Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

1977–2017 | 40 Jahre
Energieforschungsprogramm

Energieforschungs-programme der Bundesregierung

1977 – 2017

Quellen:

Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977 – 1980
Herausgeber: Der Bundesminister für Forschung und Technologie
Referat: Presse und Öffentlichkeitsarbeit
3. überarbeitete Auflage, Bonn 1979
ISBN 3-88135-044-6

Zweites Programm Energieforschung und Energietechnologien
Herausgeber: Der Bundesminister für Forschung und Technologie
Referat: Presse und Öffentlichkeitsarbeit
Bonn 1981
ISBN 3-88135-108-6

3. Programm Energieforschung und Energietechnologien
Herausgeber: Der Bundesminister für Forschung und Technologie
Referat: Öffentlichkeitsarbeit
Bonn, Februar 1991
ISBN 3-88135-211-2

4. Programm Energieforschung und Energietechnologien
Herausgeber: Der Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie
Referat: Öffentlichkeitsarbeit
Bonn, Juli 1996

Innovation und neue Energietechnologien
Das 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung
Herausgeber: Der Bundesminister für Wirtschaft und Arbeit
Referat Kommunikation und Internet/LP4
Berlin, Juli 2005

Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung
Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung
Herausgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit
Berlin, Juli 2011

Dieses Buch enthält gescannte Texte und z.T. neu erstellte Abbildungen und Tabellen, die von den Quellen abweichen können. Soweit möglich sollte die Originalquelle verwendet werden!

45 72 73 74 65 6c 6c 74 20 76 6f 6e 20 54 68 6f 72 73 74 65 6e 20 46 72 6f 65 68 6c 69 63 68

Energieforschungsprogramme der Bundesregierung

1977 - 2017

Zusammengestellt vom Projektträger Jülich im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Jülich im April 2017

Inhaltsverzeichnis

1. Energieforschungsprogramm 9

Vorwort 10

1. Einleitung 10
1.1 Grundlagen und Ziele des Programms 10
1.1.1 Ziele des Programms 10
1.1.2 Motive für die staatliche Förderung 11
1.1.3 Rahmenbedingungen für die Energieforschung 12
1.1.4 Aufstellung des Programms 12
1.1.5 Zuständigkeiten 13
1.1.6 Finanzierung 13
1.2 Ausgangslage 13
1.2.1 Energiebedarf und Energieversorgung 14
1.2.2 Energieforschung in der Bundesrepublik Deutschland 15
1.2.3 Wirtschaftliche und technische Entwicklungspotentiale neuer Energietechnologien 18
1.2.4 Energieversorgung und Umwelt 20

2. Teilprogramme 21
2.1 Rationelle Energieverwendung im Anwendungs- und im Sekundärenergiebereich 21
2.1.1 Anwendungstechnik 23
2.1.2 Sekundärenergieträger 25
2.1.3 Gase 28
2.2 Kohle und andere fossile Primärenergieträger 29
2.2.1 Kohletechnologie 31
2.2.2 Erschließung, Gewinnung und Aufbereitung von Steinkohle 35
2.2.3 Prospektion und Gewinnung von Erdöl und Erdgas 37
2.3 Neue Energiequellen 38
2.3.1 Kontrollierte Kernfusion 38
2.3.2 Sonnenenergie 40
2.3.3 Andere nichtfossile nichtnukleare Energiequellen 42
2.4 Kernenergie 45
2.4.1 Nukleare Sicherheits- und Strahlenschutzforschung 46
2.4.2 Brennstoffkreislauf 51
2.4.3 Hochtemperaturreaktoren (HTR) 57
2.4.4 Schnelle Brutreaktoren (SBR) 59
2.4.5 Kernenergieschiffsantrieb 61
2.4.6 Prototyp- und Versuchsreaktoren 61

3. Querschnittsthemen 62
3.1 Systemanalysen 62
3.2 Programmdurchführung 63
3.2.1 Zusammenarbeit mit den Bundesländern 63
3.2.2 Forschungszentren 64
3.2.3 Zusammenarbeit mit der Industrie 64
3.3 Internationale Zusammenarbeit 65
3.3.1 Europäische Gemeinschaft 65
3.3.2 Internationale Energie-Agentur 66
3.3.3 Andere multilaterale Kooperation 67
3.3.4 Bilaterale Zusammenarbeit mit Industrieländern 67
3.3.5 Bilaterale Kooperation mit Entwicklungsländern 68
3.4 Gesetzliche Regelungen und Auswirkungen auf Energieforschung und Energietechnologien 68
3.4.1 Energiewirtschaftliche Gesetzgebung 69
3.4.2 Umweltschutz-, Atom- und Strahlenschutzrecht 69
3.5 Information der Öffentlichkeit 70

Anhang ... 71

2. Energieforschungsprogramm ... 85

Vorwort ... 86

1. Einleitung ... 86
1.1 Ziele des Programms ... 86
1.2 Ausgangslage ... 88
1.2.1 Energiewirtschaftliche Situation ... 89
1.2.2 Umweltschutz und Risikoverminderung ... 90
1.2.3 Gesellschaftliche Auswirkungen ... 92
1.3 Bilanz der bisherigen Forschungsförderung ... 93
1.4 Rahmenbedingungen und Durchführung des Programms ... 96
1.4.1 Zusammenarbeit Staat - Wirtschaft; Gründe für staatliche Forschungsförderung ... 96
1.4.2 Prioritäten ... 98
1.4.3 Finanzierung und Durchführung des Programms ... 99
1.5 Forschungseinrichtungen ... 100
1.6 Internationale Zusammenarbeit ... 102
1.6.1 Europäische Gemeinschaft ... 103
1.6.2 Internationale Energieagentur (EA) der OECD ... 103
1.6.3 Kernenergieagentur (NEA) der OECD ... 103
1.6.4 Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) ... 103
1.6.5 Sonstige multilaterale Organisationen ... 104
1.6.6 Bilaterale Zusammenarbeit ... 104

2. Forschung und Entwicklung neuer Technologien zur rationellen Nutzung und Bereitstellung von Energie 105
2.1 Anwendungstechnik beim Endverbraucher ... 106
2.1.1 Haushalt und Kleinverbrauch ... 107
2.1.2 Industrie ... 107
2.1.3 Neue Technologien zur rationellen Energieverwendung im Verkehr ... 108
2.2 Techniken und Verfahren zur Bereitstellung von Sekundärenergie ... 109
2.2.1 Abwärmenutzung und Fernwärme ... 109
2.2.2 Energiespeicherung ... 110
2.2.3 Wasserstoff und Fernenergie ... 112

3. Kohle und andere fossile Energieträger ... 112
3.1 Neue Kraftwerks- und Feuerungstechniken ... 113
3.1.1 Komponenten für den Umweltschutz ... 113
3.1.2 Wirbelschichtfeuerung ... 114
3.1.3 Fortgeschrittene Systeme ... 114
3.1.4 Kokserzeugung ... 115
3.1.5 Direktverbrennung und Müllverwertung ... 115
3.2 Kohleveredelung ... 115
3.2.1 Kohlevergasung ... 116
3.2.2 Kohleverflüssigung ... 117
3.3 Lagerstättenerkundung, Bergtechnik, Aufbereitung ... 118
3.3.1 Erkundung von Kohlelagerstätten ... 118
3.3.2 Bergtechnik ... 118
3.3.3 Kohleaufbereitung ... 119
3.4 Untertagevergasung ... 119
3.5 Neue Verfahren zur Gewinnung, Aufbereitung und Speicherung von ... 119
Flüssigen Kohlenwasserstoffen und Erdgas ... 119
3.5.1 Neue Verfahren zur Gewinnung und Aufbereitung von Schwerölen, Teersanden und Ölschiefer ... 119
3.5.2 Neue Prospektions- und Explorationsmethoden ... 120
3.5.3 Verbesserte Erdöl- und Erdgasförderung ... 120
3.5.4 Speicherung von Erdöl und Erdgas im Untergrund ... 120

4. Erneuerbare Energiequellen ... 120
4.1 Systeme und Konzepte ... 121
4.2 Wärme aus Sonnenenergie ... 121
4.3 Strom aus Sonnenenergie ... 123
4.4 Energie aus Biomasse und Abfällen ... 125
4.5 Windenergie ... 127
4.6 Geothermische Energie ... 128

5. Kernbrennstoffkreislauf und Reaktorsicherheitsforschung für Leichtwasserreaktoren ... 128
5.1 Uranversorgung und Konversion ... 129
5.2 Urananreicherung ... 131
5.3 Brennelementfertigung ... 132
5.4 Entsorgung mit Wiederaufarbeitung ... 132
5.5 Andere Entsorgungstechniken ... 136
5.6 Beseitigung kerntechnischer Anlagen ... 137
5.7 Spaltstofflußkontrolle und Spaltstoffschutz ... 137
5.8 Nukleare Sicherheits- und Strahlenschutzforschung ... 138
5.8.1 Übergeordnete Ziele ... 138
5.8.2 Wichtige Ergebnisse der Sicherheitsforschung ... 139
5.8.3 Schwerpunkte der Sicherheitsforschung ... 139
5.8.4 Wichtige Forschungsaufgaben ... 140
5.9 Strahlenschutzforschung ... 141

6. Fortgeschrittene Reaktoren ... 142
6.1 Hochtemperaturreaktoren (HTR) ... 142
6.1.1 HTR zur Stromerzeugung ... 143
6.1.2 HTR für nukleare Prozeßwärme ... 144
6.2 Brutreaktoren (SBR) ... 144
6.2.1 Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage II (KNKII) ... 145
6.2.2 SNR-300 ... 145
6.2.3 Weiterführende Brüterentwicklung ... 146
6.2.4 Brüterbrennstoffkreislauf ... 146
6.3 Forschungsreaktoren ... 146

7. Kontrollierte Kernfusion ... 147

Anhang ... 149

3. Energieforschungsprogramm ... 153

Vorwort ... 154

1. Zusammenfassung ... 154
1.1 Zielsetzung des Programms ... 154
1.2 Programmschwerpunkte ... 155
1.2.1 Erneuerbare Energiequellen ... 155
1.2.2 Rationelle Energieverwendung ... 157
1.2.3 Nutzungssysteme für südliche Klimabedingungen ... 158
1.2.4 Kernenergie ... 158
1.2.5 Fusionsenergie ... 159
1.2.6 Fossile Energieträger ... 159
1.2.7 Klimabeeinflussung durch Energiesysteme ... 160
1.3 Internationale Aspekte ... 161
1.4 Durchführung des Programms ... 161

2. Begründung und künftige Ziele der staatlichen Energieforschung ... 162

3. Bilanz der bisherigen Energieforschung ... 166
Rückblick auf die bisherigen Programme, Zielsetzungen ... 166

3.1 Diversifizierung der Energieversorgung ... 167
3.2 Rationelle Energieverwendung ... 168
3.3 Minderung der Umweltbelastungen ... 169
3.4 Neue Energiequellen und Energiesysteme ... 170
3.4.1 Erneuerbare Energiequellen ... 170
3.4.2 Neue Energieversorgungssysteme ... 172
3.4.3 Fortgeschrittene Reaktorsysteme ... 172
3.4.4 Fusionsenergie ... 173
3.5 Verstärkung des Engagements der Wirtschaft ... 173

4. Weiterer Forschungsbedarf und Programmschwerpunkte ... 174
4.1 Erneuerbare Energien und rationelle Energieverwendung ... 174
4.1.1 Photovoltaik ... 175
4.1.2 Solarthermische Stromerzeugung ... 177
4.1.3 Windenergie ... 179
4.1.4 Wasserstoff ... 181
4.1.5 Geothermie, Biomasse und andere Energiequellen ... 183
4.1.6 Energieeinsparung und Solaranwendung in Haushalt und Kleinverbrauch ... 184
4.1.7 Rationelle Energieverwendung in Energiewirtschaft und Industrie, Fernwärme ... 187
4.1.8 Energiespeicher ... 189
4.1.9 Bodengebundener Transport und Verkehr ... 190
4.1.10 Nutzungssysteme für südliche Klimabedingungen ... 191
4.2 Kernenergie ... 194
4.2.1 Reaktorsicherheitsforschung ... 196
4.2.2 Strahlenschutz ... 197
4.2.3 Internationale Sicherungsmaßnahmen für Kernmaterial (Safeguards) ... 198
4.2.4 Beseitigung von kerntechnischen Anlagen ... 199
4.2.5 Kernbrennstoffkreislauf ... 199
4.2.6 Entsorgung ... 200
4.2.7 Fortgeschrittene Reaktorsysteme ... 204
4.3 Fusionsenergie ... 208
4.3.1 Überblick und Strategie ... 208
4.3.2 Tokamak-Anlagen ... 209
4.3.3 Alternativen zu toroidalen Konfigurationen ... 209
4.3.4 Technologieprogramm ... 209
4.4 Fossile Energien ... 211
4.4.1 Minderung der Umweltbelastungen bei der Nutzung fossiler Energiequellen ... 211
4.4.2 Ressourcenerschließung ... 213
4.4.3 Umwandlung fossiler Primärenergieträger ... 214
4.5 Klimabeeinflussung durch Energiesysteme, CO_2-Problem ... 215

5. Durchführung des Programms ... 216
5.1 Förderinstrumente ... 216
5.2 Institutionelle Förderung ... 217
5.3 Internationale Zusammenarbeit ... 219
5.3.1 Internationale Energieagentur (IEA) bei der OECD ... 220
5.3.2 Kernenergieagentur (NEA) der OECD ... 220
5.3.3 Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) ... 220
5.3.4 EUREKA ... 221
5.3.5 Bilaterale Zusammenarbeit ... 221
5.3.6 Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern ... 221
5.3.7 Deutsch-Deutsche Kooperation ... 221

6. Internationale Aspekte der Energieforschung - ... 222

Energieforschung in anderen Industrieländern und den Europäischen Gemeinschaften ... 222
6.1 Überblick ... 222
6.2 Energiesituation im internationalen Vergleich ... 222
6.3 Energieforschung in anderen Industrieländern ... 222

6.3.1 Japan ... 222
6.3.2 Großbritannien ... 223
6.3.3 Frankreich ... 223
6.3.4 USA ... 224
6.3.5 UdSSR ... 224
6.4 Energieforschung der Europäischen Gemeinschaften ... 225

Anhang ... 227

4. Energieforschungsprogramm ... 231

1. Gesamtsituation ... 232
1.1 Politische Ausgangslage und Programmziele ... 232
1.2 Technologiepolitische Schlußfolgerungen ... 233
1.3 Weitere Forschungs- und Entwicklungsstrategie ... 234
1.4 Rahmenbedingungen ... 238
1.5 Internationaler Vergleich ... 240

2. Rückblick auf die bisherigen Programme und ihre Zielsetzungen ... 240

3. Programmschwerpunkte ... 241
Vorbemerkungen ... 241
3.1 Reduzierung des Energiebedarfs ... 241
3.1.1 Effizienzsteigerung bei Energieumwandlung und neue Sekundärenergien ... 241
3.1.2 Rationelle Energieanwendung und Einsparung fossiler Energien in den Endenergiesektoren ... 251
3.2 Energieversorgung mit verringerter CO_2- und Umweltbelastung ... 262
3.2.1 Erneuerbare Energien ... 262
3.2.2 Kernenergie ... 275
3.3 Langfristoption für die Energieversorgung: Kontrollierte Kernfusion ... 282
3.3.1 Überblick und Strategie ... 282
3.3.2 Tokamak-Anlagen ... 282
3.3.3 Stellaratoranlagen ... 283
3.3.4 Fusions-Technik ... 283
3.4 Übergreifende Themen ... 283
3.4.1 Systemanalysen und Datenbanken ... 283

4. Durchführung des Programms ... 285
4.1 Förderinstrumente ... 285
4.2 Institutionelle Förderung ... 286
4.3 Internationale Zusammenarbeit ... 288
4.3.1 Internationale Energieagentur (IEA) bei der OECD ... 289
4.3.2 Kernenergieagentur (NEA) der OECD ... 289
4.3.3 Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) ... 289
4.3.4 EUREKA ... 289
4.4 Energieforschung der Europäischen Union ... 290

5. Anhang ... 292
5.1 Gesamtaufwendungen im Rahmen des 3. Programms Energieforschung und Energietechnologien .. 292
5.2 Stillegung und Rückbau kerntechnischer Versuchs- und Demonstrationsanlagen ... 295

5. Energieforschungsprogramm ... 299

Vorwort ... 300

Zusammenfassung ... 300

1. Einleitung ... 303
1.1 Ausgangslage ... 304
1.2 Aufgaben und Ziele der Energieforschungspolitik ... 306

1.3 Struktur und Leitlinien der Förderpolitik ... 307
1.4 Internationale Zusammenarbeit ... 308
1.5 Finanzieller Rahmen ... 311

2. Programmschwerpunkte ... 312
2.1 Energieforschung BMWA ... 312
2.1.1 Rationelle Energieumwandlung ... 312
2.1.2 Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung ... 324
2.2 Energieforschung BMU ... 326
2.2.1 Photovoltaik ... 328
2.2.2 Windenergie ... 331
2.2.3 Hochtemperatur-Solarthermie ... 333
2.2.4 Niedertemperatur-Solarthermie ... 334
2.2.5 Geothermie ... 336
2.2.6 Wasserkraft und Nutzung der Meeresenergie ... 337
2.2.7 Ökologische Begleitforschung ... 338
2.2.8 Übergreifende Forschungsthemen für erneuerbare Energien ... 339
2.2.9 Haushaltsmittel ... 339
2.3 Energieforschung BMVEL ... 340
2.3.1 Ausgangslage ... 340
2.3.2 Potenziale der Bioenergie ... 340
2.3.3 Forschungsbedarf bei der Bioenergie ... 341
2.3.4 Haushaltsmittel ... 343
2.4 Energieforschung BMBF ... 343
2.4.1 Institutionelle Förderung ... 343
2.4.2 Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung ... 354

3. Leitfaden für die Projektförderung ... 355
3.1 Voraussetzungen ... 355
3.2 Finanzielle Modalitäten der Projektförderung ... 356
3.3 Durchführung eines Projektes ... 356
3.4 Ergebnisverwertung ... 357

Anhang ... 358
Liste der Projektträger ... 358
Weitere Informationsstellen ... 358

6. Energieforschungsprogramm ... 359

Vorwort ... 360

Zusammenfassung ... 360

1. Einleitung ... 363
1.1 Energiewirtschaftliche Herausforderungen ... 363
1.1.1 Energiepolitische Vorgaben ... 366
1.2 Ziele der Energieforschungspolitik ... 367
1.3 Rahmen und Struktur der Energieforschung des Bundes ... 367
1.4 Leitlinien der künftigen Förderpolitik ... 369
1.5 Internationale Zusammenarbeit in der Energieforschung ... 371

2. Ressortübergreifende Initiativen ... 373
2.1 Energiespeicher ... 374
2.2 Netze ... 375
2.3 Solares Bauen - energieeffiziente Stadt ... 375

3. Forschungsförderung des BMWi ... 375
3.1 Energieeinsparung und Energieeffizienz ... 375
3.1.1 Energieeffizienz im Cebäudebereich und Energieoptimiertes Bauen ... 376

3.1.2 Energieeffiziente Stadt und dezentrale Energiesysteme ... 379
3.1.3 Energieeffizienz in der Industrie, im Gewerbe, im Handel und bei Dienstleistungen ... 383
3.1.4 Energiespeicher für stationäre und mobile Anwendungen ... 387
3.1.5 Netze für die Stromversorgung der Zukunft ... 388
3.1.6 Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien ... 392
3.1.7 Brennstoffzellen und Wasserstoff ... 395
3.1.8 Systemanalyse und Informationsverbreitung ... 400
3.2 Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung ... 402
3.2.2 Reaktorsicherheitsforschung ... 403
3.2.3 Endlagerforschung ... 404
3.2.4 Kompetenzerhalt und internationale Zusammenarbeit ... 404
3.3 Institutionelle Energieforschung der Helmholtz-Gemeinschaft ... 405
3.4 Haushaltsmittel ... 407

4. Forschungsförderung des BMU ... 407
4.1 Windenergie ... 409
4.1.2 Weiterentwicklung der Technologien für die Nutzung an Land und auf See ... 410
4.1.3 Windenergienutzung auf See ... 411
4.1.4 Ökologische Begleitforschung, Akzeptanzforschung Windenergie ... 411
4.2 Photovoltaik ... 412
4.2.2 Silizium-Wafertechnologie ... 413
4.2.3 Dünnschichtsolarzellen ... 414
4.2.4 Systemtechnik ... 414
4.2.5 Alternative Solarzellenkonzepte und neue Forschungsansätze ... 414
4.3 Tiefe Geothermie ... 415
4.3.2 Systemkomponenten und Explorationstechnologien ... 416
4.3.3 Daten zum Untergrund ... 416
4.3.4 Seismische Aktivität und Entsorgungsfragen ... 416
4.4 Niedertemperatur-Solarthermie ... 417
4.4.2 Kollektortechniken ... 418
4.4.3 Systemtechnik/Niedertemperatur- Solarthermie im Gebäudebereich ... 419
4.4.4 Solare Kühlung und solare Prozesswärme ... 419
4.4.5 Wärmespeicherung ... 420
4.5 Solarthermische Kraftwerke ... 420
4.5.2 Parabolrinnenanlagen ... 421
4.5.3 Fresnel-Anlagen ... 421
4.5.4 Solare Turmkraftwerke ... 421
4.5.5 Integrierte Speicher ... 421
4.6 Wasserkraft und Meeresenergie ... 422
4.7 Integration erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme ... 422
4.7.2 Regenerative Kombikraftwerke - virtuelle Kraftwerke ... 423
4.7.3 Intelligente Netze - Lastmanagement ... 424
4.7.4 Netztechnologien ... 424
4.7.5 Speichertechnologien ... 425
4.7.6 Systemdienstleistungen ... 425
4.7.7 Prognosen für Erzeugung und Verbrauch ... 425
4.8 Querschnittsforschung: Rahmenbedingungen für einen hohen Anteil erneuerbarer Energien ... 426
4.9 Haushaltsmittel ... 426

5. Forschungsförderung des BMELV ... 426
5.1 Bioenergie - Daten und Fakten ... 426
5.2 Nachhaltige Biomasseproduktion ... 431
5.3 Feste Bioenergieträger ... 432
5.4 Gasförmige Bioenergieträger/ Biogas ... 432
5.5 Flüssige Bioenergieträger/ Biokraftstoffe ... 432
5.6 Haushaltsmittel ... 432

6. Forschungsförderung des BMBF ... 433
6.1 Neue Forschungsagenda ... 433

6.2 Handlungsbedarfe ... 436
6.3 Grundlagenforschung Energieeffizienz ... 437
6.3.1 Die CO_2-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt ... 437
6.3.2 Klimaschutz: Intelligenter Umgang mit CO_2 ... 438
6.3.3 Ausrichtung von Querschnittsaktivitäten auf prioritäre Anwendungsbereiche ... 438
6.4 Grundlagenforschung Erneuerbare Energien ... 439
6.4.1 Neue Techniken und Lösungen für den Netzausbau ... 439
6.4.2 Speicher für mehr erneuerbaren Strom ... 440
6.4.3 Photovoltaik: Strom aus Sonnenenergie ... 440
6.4.4 Nutzung biologischer Ressourcen zur Energieerzeugung ... 441
6.4.5 Weitere Potenziale der Windenergie erschließen ... 441
6.4.6 Solarthermie, Photosynthese und Wasserkraft ... 441
6.5 Wissensbasierte Systemanalysen ... 442
6.6 Energieforschung und Gesellschaft ... 442
6.7 Nukleare Sicherheits- und Entsorgungsforschung und Strahlenforschung ... 443
6.8 Fusionsforschung ... 444
6.9 Institutionelle Energieforschung ... 444
6.9.1 Institutionelle Förderung im Rahmen des Energieforschungsprogramms ... 444
6.9.2 Weitere institutionelle Förderung ... 445
6.10 Haushaltsmittel ... 446

7. Leitfaden für die Projektförderung ... 446
7.1 Voraussetzungen ... 446
7.2 Ressortübergreifende Förderinitiativen ... 447
7.3 Finanzielle Modalitäten der Projektförderung ... 448
7.4 Durchführung eines Projektes ... 449
7.5 Ergebnisverwertung ... 449
7.6 Liste der Projektträger ... 449

8. Anhang ... 450
8.1 Weitere Informationsstellen ... 450

1. Energieforschungsprogramm

Vorwort

Die erste und zweite Auflage des Programms „Energieforschung und Energietechnologien 1977-1980“ sind vergriffen, so daß nach zwei Jahren eine 3. Auflage notwendig wurde. Die Finanzierung wurde auf den Stand des Bundeshaushalts 1979 gebracht. Außerdem wurden die Zeitangaben für den Ablauf größerer Projekte aktualisiert.

Da die Energieforschungspolitik eingebettet ist in die Energiepolitik der Bundesregierung, wurde die Übersicht über die Entwicklung der Aufwendungen für die Energieforschung um die Darstellung der übrigen finanziellen Maßnahmen der öffentlichen Hand auf dem Energiesektor ergänzt. Die Schwerpunkte dieser Maßnahmen liegen bei der rationellen Energieverwendung und bei der Förderung des Einsatzes deutscher Steinkohle. Durch diese vervollständigte Darstellung wird auch die Verzerrung aufgehoben, die entsteht, wenn man die Energiepolitik der Bundesregierung allein an den Aufwendungen für Forschungsvorhaben mißt.

Darüber hinaus wird es darauf ankommen, alle Anstrengungen zu unternehmen, um Erfolge auf dem Gebiet der rationellen Energieverwendung und Energieeinsparung in großem Maßstab zu erreichen. Da dieses Programm von der Bundesregierung für einen Vierjahreszeitraum beschlossen wurde, ist auch die dritte Auflage im wesentlichen unverändert.

Daraus wird deutlich, wie stark das Bedürfnis der Bürger nach Information und sachlicher Auseinandersetzung über die für unsere Zukunft wichtige Frage der Energieversorgung ist. Die Möglichkeiten, neue Energiequellen zu erschließen oder die bereitgestellte Energie vernünftiger zu verwenden, stehen im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses.

Der Forschungs- und Technologiepolitik wird eine zunehmend größere Bedeutung zur Lösung unserer Energieprobleme eingeräumt. Ihr gegenüber wird auch die Erwartung ausgesprochen, die allgemeine Frage nach der Art unseres zukünftigen Lebens dabei einzubeziehen.

Das Programm wurde im Frühjahr 1977 von der Bundesregierung verabschiedet. Es stellt ein in sich geschlossenes Konzept für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im gesamten Energiebereich dar. Es umfaßt die Bereiche der Energienutzung, der Energieumwandlung und der Energiebereitstellung. In diesem Programm werden folgende vier Schwerpunkte gesetzt:

- rationelle Energieverwendung
- Kohletechnologien
- neue Energiequellen
- Kernenergie.

Dieses Programm dient damit auch den mittel- und langfristigen Zielen der 2. Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung vom Dezember 1977, zu deren Erfüllung dieses Forschungs- und Entwicklungsprogramm wesentlich beitragen soll. Es soll darüber hinaus ein breiteres Spektrum an Wahlmöglichkeiten für die Energiepolitik gegen Ende dieses Jahrhunderts eröffnen helfen.

Maßgebend für die Gestaltung dieses Programms war die absehbare Erschöpfung der bisher überwiegend genutzten fossilen Primärenergieträger, der nach wie vor steigende Energieverbrauch in den industrialisierten Ländern, die Zunahme der Industrialisierung in den Entwicklungsländern und nicht zuletzt das Anwachsen der Weltbevölkerung. Diese Situation zwingt uns vor allem, Technologien zur rationellen Nutzung der Energie zu entwickeln und neue Energiequellen zu erschließen. Die dafür notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind im allgemeinen so teuer und langwierig, daß neben den Aufwendungen der Wirtschaft ein ergänzendes staatliches Engagement erforderlich ist. Diese Förderung ist auch deshalb sinnvoll, weil dadurch ein eher qualitatives Wachstum, das weniger Energie und Rohstoffe verbraucht, unterstützt wird. Die Entwicklung von Großtechnologien bis zur Marktreife ist eine Aufgabe, die einige Jahrzehnte umfaßt. Das Programm kann daher weder Anfang noch Ende einer Entwicklung darstellen. Es ist vielmehr ein markanter, wichtiger und, wie ich hoffe, erfolgreicher Abschnitt in einer langfristig angelegten Energieforschungspolitik. Anlaß zu Optimismus gibt die Tatsache, daß nach der erfolgreichen Entwicklung der friedlichen Nutzung der Kernenergie sich z. B. bei der Sonnenenergie schon nach relativ kurzer Zeit staatlicher Förderung auch praktische Erfolge zeigen. In den nächsten Jahren wird es darauf ankommen, entsprechende Erfolge im Bereich der Kohletechnologie zu erzielen.

Volker Hauff

Bundesminister für Forschung und Technologie

1. Einleitung

1.1 Grundlagen und Ziele des Programms

1.1.1 Ziele des Programms

Die Forschungs- und Technologiepolitik der Bundesregierung soll dazu beitragen, die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit unserer Volkswirtschaft zu erhalten und zu steigern, um die Arbeits- und Lebensbedingungen der Bürger und damit die Lebensqualität verbessern zu können.

	1977	1978	1979	1980	Summe
BMI	8	11	12	13	45
BMWi	35	61	68	71	235
Bundesländer (über 10% Sitzlandquote)	47	53	58	63	221
BMFT-Haushalt	1158	1300	1566	1732	5756
Programm für Zukunftsinvestitionen	41	138	217	92	488
	1290	1563	1921	1971	6745

Tab. 1.1/1: Haushaltsansätze 1977 und Finanzplanung 1978-1980 für Energieforschung (in Mio. DM).

Eine wesentliche Voraussetzung der bisherigen und der zukünftigen Entwicklung war und ist die Verfügbarkeit technisch-wirtschaftlich nutzbarer Energie, weil alle Bereiche unseres Lebens - von der industriellen und landwirtschaftlichen Produktion über den Dienstleistungssektor bis hin zur individuellen Lebensgestaltung - auf eine ausreichende Energieversorgung angewiesen sind. Energie ist eine Voraussetzung für den Wohlstand der Bürger unseres Landes.

Die wichtigsten Probleme, die die Energiesituation langfristig kennzeichnen, sind:

- Die Vorräte der bisher hauptsächlich genutzten fossilen Energieträger sind begrenzt. Vor allem die Weltvorräte an Erdöl und Erdgas werden in wenigen Jahrzehnten erschöpft sein.
- Ein weiteres wirtschaftliches Wachstum in den Industrieländern und der Nachholbedarf der Entwicklungsländer werden zu weltweit steigender Nachfrage nach Energieträgern und damit zu schnellerer Erschöpfung der nutzbaren Vorräte führen.
- Eine schon früher eintretende Verknappung kann sich ergeben, wenn die Gewinnung fossiler Energieträger entweder aus wirtschaftlichen Gründen oder wegen technischer Schwierigkeiten hinter der Nachfrageentwicklung zurückbleibt.
- Energieumsatz ist immer mit Umweltbelastungen verbunden, die begrenzende Bedingungen für den Umfang der Energienutzung insgesamt und die Art der Verwendung einzelner Energieträger darstellen.

Damit die Forschungs- und Technologiepolitik einen möglichst großen Beitrag zur Lösung dieser Probleme leisten kann, orientieren sich die Maßnahmen des Programms Energieforschung und Energietechnologien in Übereinstimmung mit dem Energieprogramm der Bundesregierung an den folgenden Zielen:

- mittel- und langfristige Sicherung der Energieversorgung,
- Bereitstellung der Energie zu günstigen volkswirtschaftlichen Gesamtkosten auf lange Sicht,
- sachgerechte und frühzeitige Berücksichtigung der Erfordernisse des Umweltschutzes und des Schutzes der Bevölkerung und der Beschäftigten vor Gefahren bei Energieumwandlung und Anwendung von Energie,
- Steigerung der technologischen Leistungsfähigkeit zur Erhaltung der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit in der Energietechnik.

Das Programm Energieforschung und Energietechnologien dient den langfristigen Zielen des Energieprogramms der Bundesregierung. Es ist eng mit anderen Programmen der Bundesregierung verknüpft, die in ihrer Zielsetzung seinen Bereich berühren, so vor allem das Umweltprogramm und das Rohstoffprogramm.

Technologien zur rationellen und sparsamen Energieverwendung dienen im allgemeinen allen diesen Zielen gleichzeitig. Ihnen kommt daher in diesem Programm besondere Bedeutung zu.

Das Programm darf sich aber nicht auf die Entwicklung von Technologien beschränken, die in der Bundesrepublik Deutschland und vergleichbaren Industriestaaten benötigt werden, für die Länder der Dritten Welt aber oft unbrauchbar sind. Daher wird die Entwicklung von Technologien besonders gefördert, die für diese Länder von Bedeutung sind, wie z. B. die Sonnenenergienutzung.

Unter Berücksichtigung dieser Ziele und der Gegebenheiten in der Bundesrepublik Deutschland hat dieses Programm folgende vier Schwerpunkte:

- Rationelle Energieverwendung im Anwendungs- und Sekundärenergiebereich,
- Kohle und andere fossile Primärenergieträger,
- Neue Energiequellen,
- Kernenergie.

1.1.2 Motive für die staatliche Förderung

Die Bedeutung der Energieforschung und der Entwicklung neuer Energietechnologien für die gesamte Volkswirtschaft erfordert staatliches Engagement. Dies hat vor allem zwei Gründe:

- Forschung, Entwicklung und Markteinführung neuer Energietechnologien benötigen heute Zeiträume, die nach Jahrzehnten zu bemessen sind. Das gilt besonders für die in Frage stehenden sehr risikoreichen Neuentwicklungen jenseits der betriebswirtschaftlich überschaubaren Zeiträume. Dieses Risiko und die ungewöhnlich hohen benö-

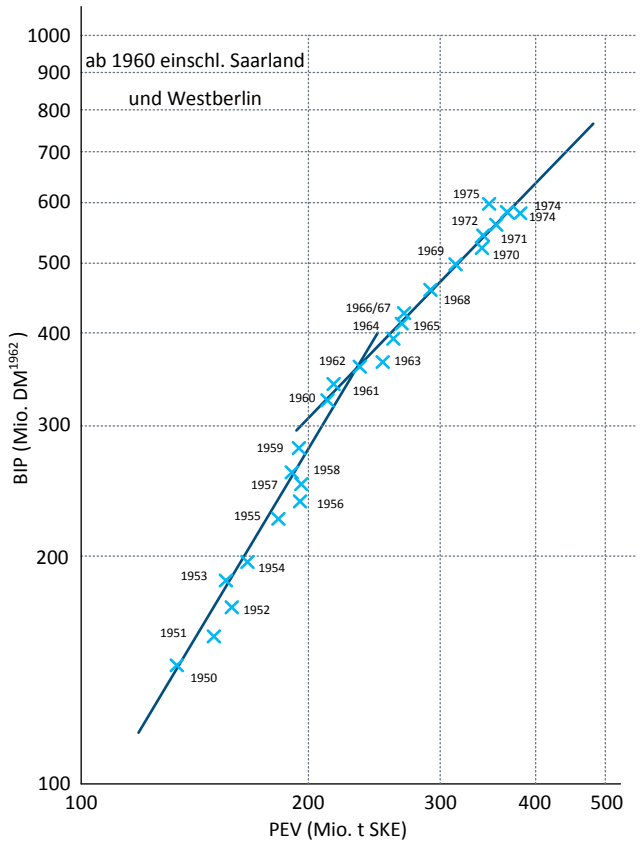


Abb. 1,2/3: Bruttoinlandsprodukt BIP vs. Primärenergieverbrauch PEV

tigten Investitionen überfordern oft selbst große Industrieunternehmen.

– Die betriebswirtschaftliche Optimierung von Technologien wird nicht von vornherein allen übergeordneten Zielen gerecht. Dies gilt insbesondere für die Berücksichtigung des Umweltschutzes, des Bevölkerungs- und Arbeitsschutzes und der Verminderung der Importabhängigkeit.

Die Einbeziehung solcher langfristig anzustrebender Ziele kann bei betriebswirtschaftlichen Entscheidungen nicht in jedem Fall durch Gesetze, Verordnungen und steuerpolitische Maßnahmen im erwünschten Umfang erreicht werden. Um diese Erfordernisse besser zur Geltung zu bringen und um andererseits die Erfahrungen der Wirtschaft in die Entwicklungen einzubeziehen, geht die Bunderegierung bei geeigneten Projekten den Weg der Zusammenarbeit zwischen Staat und Wirtschaft. Zusätzlich zu den eigenen Entwicklungen, z. B. in den Großforschungszentren, fördert der Staat daher mit öffentlichen Mitteln entsprechende Aktivitäten in der Wirtschaft und erleichtert in Einzelfällen die Markteinführung so entwickelter Technologien.

1.1.3 Rahmenbedingungen für die Energieforschung

Da die drei wichtigsten Phasen bei der Einführung neuer Energietechnologien - Forschung, Entwicklung und Demonstration - lange Zeiträume, oft Jahrzehnte benötigen, ist der mögliche Beitrag selbst relativ weit in der Entwicklung fortgeschrittener Technologien innerhalb der herkömmlichen politischen und wirtschaftlichen Planungshorizonte begrenzt. Trotz verfeinerter Prognosentechniken erschwert dabei die Langfristigkeit der Entwicklungen die Orientierung am Bedarf. Andererseits darf sich die Planung der Energieforschung auch nicht nur an den zum Planungszeitpunkt gerade aktuellen Problemen und Erwartungen orientieren. Energieforschung muß daher in den Entwicklungsprogrammen breit angelegt sein und sich mit Blick über das Jahr 2000 hinaus am oberen Grenzbereich des zu erwartenden Energiebedarfs orientieren, damit die Bereitstellung von Energie nicht zum begrenzenden Faktor der wirtschaftlichen Entwicklung wird. Dies bedeutet selbstverständlich nicht, daß Energieforschung dazu beitragen soll, Bedarf zu wecken oder zu stabilisieren. Sie soll vielmehr im Interesse der gesamten Volkswirtschaft dafür sorgen, daß der jeweilige Bedarf mit möglichst geringem Energieverbrauch, d. h. unter größtmöglicher Schonung von Ressourcen und Umwelt, so wirtschaftlich wie möglich gedeckt werden kann.

1.1.4 Aufstellung des Programms

Die Aufstellung des Programms ist durch frühere Entscheidungen und bisherige Entwicklungen und Erfahrungen beeinflußt. Da die in der Vergangenheit begonnenen Projekte zum Teil langfristig die verfügbaren Mittel binden, ist der Planungsspielraum bei der Aufstellung dieses Programms begrenzt.

Seit die Energieforschung in der Bundesrepublik Deutschland in ihrer ganzen Breite vom Staat gefördert wird, ist in zunehmendem Umfang eine übergreifende Planung für eine möglichst zielstrebige, umfassende und ausgewogene Gestaltung einer Gesamtkonzeption für die Forschungs- und Technologiepolitik auf diesem Gebiet möglich geworden. Sie stützt sich in wachsendem Maße auf systemanalytische Untersuchungen. Systemanalytische Arbeiten in den Großforschungszentren haben zusammen mit zahlreichen Studien wesentliche Grundlagen für die Planungen geliefert.

Das Programm wurde während der gesamten Zeit der Erstellung vom Fachausschuß „Energieforschung und -technik“ beraten und mitgestaltet. Für mehrere Teilprogramme wurden Beratungsausschüsse gebildet oder bestehende Beratungsgremien eingeschaltet. Auch von Verbänden und Fachleuten in Wissenschaft und Industrie kamen wertvolle Vorschläge.

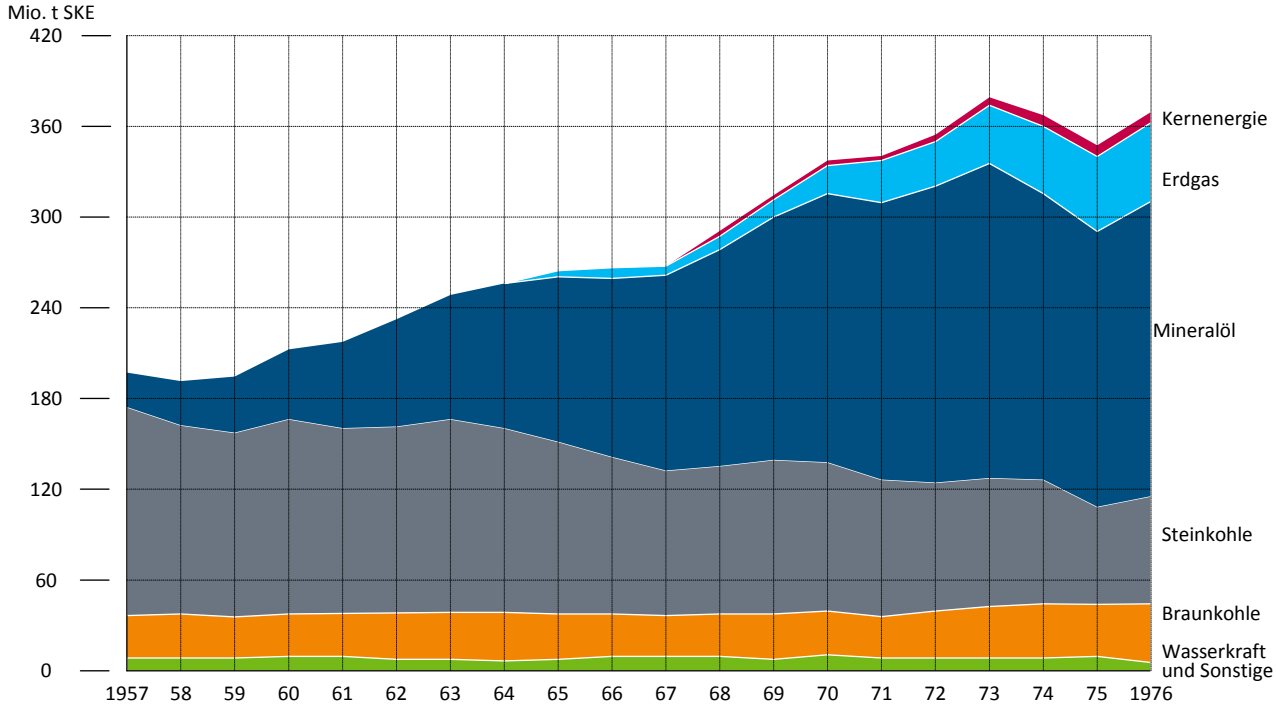


Abb. 1.2/4: Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik

1.1.5 Zuständigkeiten

Der Bundesminister für Forschung und Technologie ist federführend für das Programm. Er arbeitet dabei mit den für bestimmte Aufgabenbereiche zuständigen Bundesressorts zusammen.

In vielen Bereichen besteht eine Zusammenarbeit mit Bundesländern, insbesondere mit den „Kohleländern“ Nordrhein-Westfalen und Saarland.

Die Förderung von Erstinnovationen im Steinkohlenbergbau liegt in der Zuständigkeit des Bundesministers für Wirtschaft. Seit 1972 ist der Bundesminister des Innern zuständig für Reaktorsicherheit und Strahlenschutz (ausgenommen Reaktorsicherheitsforschung und -technik).

1.1.6 Finanzierung

Das Programm beruht auf der mittelfristigen Finanzplanung des BMFT und der mitwirkenden Bundesressorts. Ländermittel sind hier nur insoweit berücksichtigt, als sie - normalerweise über eine Sitzlandquote von 10 %-an der Finanzierung der Forschungszentren beteiligt sind. Die Beiträge der Forschungszentren zu den Vorhaben dieses Programms werden im folgenden als „Institutionelle Förderung“ bezeichnet. Die Tabelle 1.1/1 stellt den Finanzrahmen des Programms Energieforschung und -technologien 1977-1980 dar. Eine ausausführliche Darstellung findet sich im Anhang (Tab. 1.2/2 und 1,2/2a-e).

Die Ansätze für die Finanzierung des Programms stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung der jährlichen Haushalte durch die Parlamente. Verschiebungen in der Fortschreibung der Finanzpläne können zu Änderungen führen.

Aus den Mitteln des Programms für Zukunftsinvestitionen der Bundesregierung stehen für verschiedene Demonstrationsvorhaben im Energiebereich in den Jahren 1977 bis 1980 außerdem etwa 488 Mio. DM zur Verfügung. Tab.1.2/2d gibt einen Überblick über die energieforschungsrelevanten Vorhaben dieses Programms.

Die Aufwendungen für nichtnukleare und nukleare Energieforschung (ohne Fusion) haben sich stark zugunsten der nichtnuklearen Forschung entwickelt (s. a. Tab. 1.2/6). Im Rahmen der jeweils gültigen Finanzplanung wird es wahrscheinlich zu Änderungen in der Mittelverteilung kommen, die den Anteil der nichtnuklearen Energieforschung weiter erhöhen.

1.2 Ausgangslage

Auswahl und Umfang der Förderungsmaßnahmen des Programms werden von verschiedenen Gegebenheiten begrenzt und beeinflußt, vor allem durch

– die Struktur von Energiebedarf und Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland.

  Der Forschungsaufwand muß sich an der energiepolitischen Situation und den langfristigen ener-

giepolitischen Zielen orientieren. Dazu sind Untersuchungen über vergangene und künftig mögliche Entwicklungen des gesamten Energiesystems sowie Abschätzungen der Potentiale neuer Energietechnologien notwendig.

– die Forschungs- und Entwicklungskapazität.

  Für größere Forschungsprojekte muß im allgemeinen eine ' nach Art und Umfang ausreichende F&E-Kapazität ausgebaut bzw. neu geschaffen werden. Der dazu erforderliche Zeitaufwand begrenzt neben den verfügbaren Finanzmitteln die Planungsmöglichkeiten für neue F&E-Programme. Er erzeugt auch eine gewisse Trägheit gegenüber Änderungen in der Durchführung von Forschungsvorhaben. Daher ist im Interesse einer optimalen Nutzung der F&E-- Kapazitäten und des effizienten Einsatzes der Finanzmittel auch eine gewisse Kontinuität in der Durchführung von F&E-Programmen erforderlich.

– die Einschätzung der Möglichkeiten neuer Energietechnologien.

  Die Prioritätensetzung muß sich an einer - zunächst naturgemäß noch groben - Einschätzung des möglichen Versorgungsbeitrags, dem Entwicklungsaufwand und den technischen und wirtschaftlichen Realisierungsmöglichkeiten neuer Technologien orientieren. Diese Beurteilungsgrundlagen bedürfen im Hinblick auf wirtschaftliche Veränderungen und technisch-wissenschaftlichen Fortschritt regelmäßiger Überprüfung.

– die Umweltproblematik.

  Ein erheblicher Teil der Umweltbelastungen stammt aus Energieumwandlungsprozessen. Neue Energietechnologien müssen daher von vornherein auf möglichst hohe Umweltverträglichkeit hin entwickelt werden.

– die Industriestruktur.

  Die vorhandene Industriestruktur und ihre mögliche Weiterentwicklung und Modernisierung müssen, auch im Hinblick auf die Verbesserung der Exportchancen, bei der Aufstellung von F&E-Programmen berücksichtigt werden.

1.2.1 Energiebedarf und Energieversorgung

Energie ist Voraussetzung für das Funktionieren und für das Wachstum der Volkswirtschaft. Auf diese zentrale Bedeutung der Energieversorgung für alle Volkswirtschaften, insbesondere für die industrialisierten Länder wie der Bundesrepublik Deutschland weist die enge Korrelation von Primärenergieverbrauch und Bruttoinlandsprodukt (Abb. 1.2/3) hin.

1.2.1.1 Die energiepolitische Situation der Bundesrepublik Deutschland

Angesichts der besonderen Bedeutung der Energie und bestehender Risiken für die reibungslose Versorgung hat die Energiepolitik eine hohe Priorität innerhalb der Gesamtpolitik erhalten. Mit dem Energieprogramm vom September 1973, der Ersten Fortschreibung des Energieprogramms vom Herbst 1974 und den Grundlinien und Eckwerten für die Fortschreibung des Energieprogramms vom 23. März 1977 hat die Bundesregierung ein geschlossenes energiepolitisches Konzept zur Bewältigung dieser Aufgaben vorgelegt, das unserer energiepolitischen Situation Rechnung trägt.[1])

In den vergangenen 20 Jahren hat sich die Struktur der Versorgung mit Primärenergieträgern erheblich verändert (s. Abb. 1.2/4). Das Mineralöl nimmt mit einem Anteil von 52% im Jahre 1975 am Markt eine dominierende Stellung ein. Fast der gesamte Mineralölbedarf muß durch Importe gedeckt werden, da heute nur rund 5% des Mineralölbedarfs aus heimischer Förderung gedeckt werden können. Entsprechend der geographischen Verteilung der Ölvorräte mit einer Konzentrierung auf den Mittleren Osten und Afrika stammen über 90% der deutschen Importe aus diesen Regionen. Die Bedeutung dieser Lieferländer für die Ölversorgung der Bundesrepublik Deutschland wird sich auf mittlere Sicht nicht grundlegend ändern.

In den letzten Jahren hat sich der Weltölmarkt tiefgreifend umstrukturiert. Der Käufermarkt der sechziger Jahre wurde von einem Verkäufermarkt abgelöst. Mit dem Teilboykott vom Herbst 1973 wurde deutlich, daß die Rohölversorgung die Achillesferse der Energiewirtschaft ist. Am Weltölmarkt und teilweise auch an den übrigen Weltenergiemärkten sind neben ökonomischen auch politische Faktoren stärker geworden.

Die Möglichkeiten, der daraus eventuell entstehenden Gefährdung mit heimischen Ressourcen entgegenzuwirken, sind begrenzt. Obwohl die Bundesrepublik Deutschland über große Vorräte an Braun- und Steinkohle verfügt, kann die Substitution von Mineralöl nur längerfristig und nur teilweise erreicht werden, weil sie durch technische Gegebenheiten z. B. in Teilen der Industrie und im Verkehr begrenzt wird.

Wir müssen daher auf mittlere Sicht mit den bestehenden Risiken der Energieversorgung leben. Es ist allerdings möglich und auch das Ziel der Energiepolitik, diese Risiken durch Zurückdrängen des Mineralölanteils, durch Krisenvorsorge, durch ein breiteres Energieangebot, durch bessere Nutzung der heimischen Energien, durch geographische Diversifizierung der notwendigen Importe und nicht zuletzt

durch Energieeinsparung zu vermindern. Die dazu notwendigen Maßnahmen sind Gegenstand des Energieprogramms der Bundesregierung. Neben den eigenen Anstrengungen ist eine internationale Absicherung der Energieversorgung notwendig. Einerseits ist die Bundesrepublik Deutschland - wie auch andere europäische Länder - angesichts ihrer beschränkten Energiereserven nicht stark genug, um die Probleme allein zu lösen, andererseits hat ein funktionsfähiger Weltenergiemarkt - wichtigstes Ziel der deutschen Bemühungen im internationalen Bereich - nicht nur entscheidende Bedeutung für die Ölversorgung, sondern darüber hinaus auch für die Weltwirtschaft insgesamt. Gerade die Bundesrepublik Deutschland als ein Land mit hoher Exportquote ist hierauf angewiesen.

1.2.1.2 Die Struktur des Energiebedarfs

Das Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland ist in den Verbrauchssektoren durch einen hohen Anteil veredelter Energieformen gekennzeichnet. Außer Erdgas (und in sehr kleinen Mengen Steinkohle) wird kein Energieträger in seiner ursprünglichen Form eingesetzt.

Abb. 1.2/5 (siehe Anhang) zeigt das Energieflußbild der Bundesrepublik Deutschland für 1974. Im Sekundärenergiesektor dominieren z. Z. flüssige Energieträger, die für alle Verbrauchssektoren (Haushalt, Industrie und Verkehr) sowie als Rohstoff für die chemische Industrie den wesentlichen Beitrag liefern. Von wachsender Bedeutung sind die elektrische Energie, zu deren Erzeugung alle Primärenergieträger, vor allem aber Stein- und Braunkohle, beitragen, und gasförmige Energieträger (neben Kohle- und Ölprodukten vor allem das natürliche Erdgas). Fernwärme, z. Z. zu gleichen Teilen aus allen fossilen Energiequellen gewonnen, ist noch von geringer Bedeutung.

Energieverluste treten im Umwandlungsbereich vor allem bei der Erzeugung elektrischer Energie, bei fossilen Energieträgern aber auch in erheblichem Umfang bei der Anwendung (namentlich im Verkehr) auf. Wenn auch bei allen Umwandlungsverfahren die Wirkungsgrade aus physikalischen und technischen Gründen begrenzt sind, so läßt sich doch vermuten, daß unsere Energieversorgungsstruktur dem Bedarf nicht optimal angepaßt ist, denn weniger als die Hälfte der eingesetzten Primärenergie wird schließlich für den beabsichtigen Zweck genutzt.

Der Energiebedarf ist vor allem durch einen sehr hohen Wärmeanteil gekennzeichnet. Allein 40 %des gesamten Endenergieeinsatzes werden für Raumheizung verwendet, weitere 36 % für die Erzeugung von Prozeßwärme. Dabei bietet sich folgendes Bild:

- 50 % Niedrigtemperaturwärme (bis ca. 200°C)
- 26 % Hochtemperaturwärme (über 200°C)
- 24 % Licht und Kraft, davon ¾ für den Verkehr.

Die Prioritätensetzung bei den F&E-Vorhaben orientiert sich an dieser Bedarfsstruktur. So werden z. B. Technologien zur rationellen Versorgung mit Niedrigtemperaturwärme (z. B. Fernwärme, solarthermische Umwandlung) mit Vorrang gefördert.

Eine langfristige Prognose des Energiebedarfs ist schwierig und in hohem Maße unsicher. Die Schätzungen der Fachleute für das Jahr 2000 streuen erheblich. Die Mehrzahl tendiert zu etwa 600-700 Mio.. t SKE (1975 betrug der Primärenergieverbrauch 348 Mio. t SKE). Dies würde einer weiteren deutlichen, wenn auch im Vergleich zu früheren Jahren fühlbar langsameren Zunahme des Energieverbrauchs entsprechen. Um genauere Anhaltspunkte über die mögliche künftige Entwicklung zu gewinnen, hat die Bundesregierung von drei wirtschaftswissenschaftlichen Instituten eine Untersuchung über die voraussichtliche Entwicklung bis 1985 und über die Perspektive bis zum Jahr 2000 anfertigen lassen.

Bei weitreichenden Prognosen des Energiebedarfs muß bereits der Einfluß neuer Technologien berücksichtigt werden, weil durch rationelleren Energieeinsatz der Bedarf an Nutzenergie mit geringerem Primärenergieaufwand gedeckt werden kann als bei alleiniger Berücksichtigung der heute gebräuchlichen Technologien. Systemanalytische Untersuchungen haben gezeigt, daß mit Hilfe neuer bzw. verbesserter Technologien im Jahr 2000 jährliche Primärenergieeinsparungen bis zu 18 % gegenüber dem bei linearer Fortschreibung der Entwicklung bis 1974 zu erwartenden Energiebedarf denkbar sind.

Für die Planung von Energieforschungsmaßnahmen ist nicht entscheidend, ob die Prognosewerte insgesamt und die Struktur der Energieversorgung im einzelnen in dieser Weise erreicht werden. Zur Vermeidung von Versorgungsstörungen mit ihren Auswirkungen für Wirtschaft und Lebensstandard muß die Planung jedoch auf weiteres Wachstum und Verknappung einzelner Energieträger vorbereitet sein. Die Ergebnisse der Prognosen bilden daher nur einen Orientierungsrahmen für die Forschungsplanung.

1.2.2 Energieforschung in der Bundesrepublik Deutschland

Der Gedanke der Notwendigkeit einer langfristigen Vorsorge für die Energiedarbietung hat bereits vor über 20 Jahren die Entwicklung der Kernenergie durch eine erste große gemeinsame Forschungsanstrengung von Staat, Wissenschaft und

Wirtschaft eingeleitet. Forschungs- und Technologiepolitik bauen zu einem wesentlichen Teil auf den Er-

fahrungen auf, die seit dem Neubeginn von Kernforschung und Kerntechnik gesammelt wurden.

Kernforschung und Kerntechnik werden in der Bundesrepublik Deutschland von Bund und Ländern seit dem Jahre 1955 intensiv gefördert. Sie dienen ausschließlich friedlichen Zwecken. Die Ziele und die staatlichen Förderungsmaßnahmen zur friedlichen Erforschung und Nutzung der Kernenergie wurden seit 1956 in vier Atomprogrammen festgelegt. Das 4. Atomprogramm endete mit dem Jahr 1976.

Mit der Vorlage des Rahmenprogramms Energieforschung, 1974-1977 im Januar 1974 wurden Forschung und Entwicklung im Energiebereich erheblich ausgeweitet. Die bis dahin I nahezu ausschließliche Konzentration der öffentlichen Forschungsaufwendungen auf die Kernenergie wurde ergänzt durch umfangreiche und vielfältige Förderungsmaßnahmen in der nichtnuklearen Energieforschung (siehe Tab. 1.2/6, s. Anhang).

Um die Förderungsmaßnahmen der nichtnuklearen Energieforschung und der Kernenergieentwicklung als ein zusammenhängendes Konzept für die Entwicklung neuer Energie-technologien darstellen zu können, löst dieses Programm auch das Rahmenprogramm Energieforschung vor seinem Auslaufen ab.

Mit der fortschreitenden großtechnischen Nutzung der Kernenergie verlagerte sich der Schwerpunkt der Forschungsförderung von der anfänglich breiten Unterstützung grundlegender Untersuchungen immer mehr auf Großprojekte für die gezielte Entwicklung neuer Technologien. Dabei verminderten sich nach und nach die Beziehungspunkte zwischen der Grundlagen-Kernforschung, die den Aufbau der Materie untersucht, und der Kerntechnik, die die optimale Nutzung einer neuen Energiequelle anstrebt. Dagegen sind die Wechselbeziehungen der Kerntechnik zu vielen anderen Bereichen der Energietechnik, so z. B. der Elektrotechnik, der Wärmeversorgung, der Materialforschung und zu neuen Energiesystemen ständig gewachsen. Das vorliegende Programm enthält deshalb nicht mehr die Vorhaben der kernphysikalischen Grundlagenforschung, der Isotopen- und Strahlentechnik sowie der nuklearen Meßtechnik, soweit sie nicht für die Energietechnik relevant sind. Diese Programmteile sollen in anderem Zusammenhang dargestellt und fortgeführt werden.

1.2.2.1 Atomprogramme der Bundesrepublik Deutschland

Die wesentlichen Motive für die Förderung von Kernforschung und Kerntechnik waren die Entwicklung einer als notwendig erkannten Energiequelle und das Aufholen eines technologischen Rückstandes gegenüber anderen Industrienationen. Bund und Länder haben diese Entwicklung im Rahmen von vier Atomprogrammen (1956-1976) mit öffentlichen Mitteln in Höhe von rund 17,5 Mrd. DM gefördert (Tab. 1.2/7):

1956-1962	(Vorlauf und 1. Programm)	1452 Mio. DM
1963-1967	(2. Programm)	3801 Mio. DM
1968-1972	(3. Programm)	6154 Mio. DM
1973-1976	(4. Programm)	6127 Mio. DM
1956-1976	(insgesamt)	17534 Mio. DM

Tab. 1.2/7: Aufwendungen von Bund und Ländern für die Atomprogramme bis 1976

Ein erheblicher Anteil (ca. 42 %) der Aufwendungen kam der Grundlagenforschung zugute (Hochenergiephysik, Niederenergiephysik, Schwerionenforschung, nukleare Festkörperforschung, Kern-, Radio- und Strahlenchemie, nukleare Biologie, Medizin und Agrarwissenschaft sowie Beschleunigertechnik).

In der Kerntechnik wurde zunächst ein breites Spektrum von Reaktorkonzepten überwiegend in der Form von Studien, Vorprojekten und Pilotanlagen gefördert. Aus der ursprünglichen Vielzahl von Spaltungsreaktoren haben sich drei Reaktorlinien als erfolgreich bzw. aussichtsreich herausgestellt:

- die wassergekühlten Reaktoren
- die heliumgekühlten Hochtemperaturreaktoren
- die natriumgekühlten schnellen Brutreaktoren.

In der zweiten Hälfte der sechziger Jahre erreichten die Leichtwasserreaktoren (LWR) in den USA und in Europa den wirtschaftlichen Durchbruch, in einigen Ländern (z. B. Kanada) haben sich Schwerwasserreaktoren durchgesetzt.

Bei der Herstellung von LWR-Kernkraftwerken zählt die Bundesrepublik Deutschland heute zu den technologisch führenden Ländern der Welt. LWR-Kernkraftwerke werden in zunehmendem Umfang in der Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland eingesetzt (Tab. 1.2/8, s. Anhang). Vor allem in den letzten Jahren hat die deutsche Reaktorindustrie auch auf dem Weltmarkt Erfolge errungen.

Beim LWR-Brennstoffkreislauf sind, vor allem während des 4. Atomprogramms, wesentliche Fortschritte erzielt worden. Das von der Bundesrepublik Deutschland mit Großbritannien und den Niederlanden entwickelte Gaszentrifugenverfahren zur Urananreicherung hat im wesentlichen die industrielle Reife erlangt. Da zur Zeit weltweit private Anreicherungsarbeit nicht zu kostendeckenden Preisen angeboten j wird, bedarf die industrielle Einführung des Verfahrens noch der staatlichen Unterstützung.

Bereits seit 1960 werden in den Bundesrepublik Deutschland f F&E-Arbeiten zur nuklearen Entsorgung durchgeführt. Das führte u. a. zur Entwicklung und zum Bau der Prototyp-Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK), die 1971 in Betrieb genommen wurde. 1967 wurde mit Versuchsablagerungen von radioaktivem Material im ehemaligen Salzbergwerk ASSE II begonnen. In den vergangenen Jahren wurde ein geschlossenes Konzept entwickelt, das den Bau einer zentralen Entsorgungsanlage für 40-50 Kernkraftwerke vorsieht. Die Vorbereitungen zur Realisierung dieses Projekts, dessen Kosten nach dem Verursacherprinzip von der Elektrizitätswirtschaft aufgebracht werden müssen, haben begonnen.

Das 1972 zur weiteren Verbesserung der anerkannt hohen Sicherheit der deutschen LWR-Kraftwerke begonnene Reaktorsicherheitsforschungsprogramm wurde um wichtige Teilprogramme ergänzt.

HTR-Kernkraftwerke haben den Markteintritt entgegen früheren Erwartungen noch nicht erreicht. Die Rückschläge haben sowohl in den USA wie in der Bundesrepublik Deutschland zu einer Überprüfung der HTR-Programme geführt.

SBR-Kraftwerke beanspruchen nach wie vor weltweit den größten Anteil der F&E-Aufwendungen für die Kerntechnik. Ihre Entwicklung befindet sich in der Phase des Prototypbaues und der Planung von Demonstrationsanlagen.

In den letzten Jahren konnten auch bei den Bemühungen um eine Verbesserung der internationalen Zusammenarbeit bei der Kernenergieentwicklung, vor allem durch Vereinbarungen mit Frankreich und den USA, beachtliche Fortschritte erzielt werden.

Seit ungefähr 20 Jahren wird in der Bundesrepublik Deutschland auch in großem Umfang an der Erforschung der physikalischen Grundlagen der kontrollierten Kernfusion gearbeitet. Das Programm, das in enger europäischer Kooperation durchgeführt wird, konzentriert sich noch auf die plasmaphysikalischen Untersuchungen, die zum Nachweis der Realisierbarkeit von Fusionsreaktoren erforderlich sind. Für ein technologisches Entwicklungsprogramm gibt es bisher nur erste Ansätze.

1.2.2.2 Rahmenprogramm Energieforschung 1974-1977

Während der Laufzeit der ersten drei Atomprogramme und noch zu Beginn des 4. Atomprogramms war die staatliche Förderung der Energieforschung mit nur wenigen Ausnahmen auf die Kerntechnik konzentriert. Zu den Ausnahmen zählen Entwicklungsarbeiten für Batterien, die 1973 eingestellte Entwicklung der Magneto-Hydrodynamischen Energieumwandlung (MHD) und die Arbeiten an Sonnenzellen, die jedoch nur für den Einsatz im Weltraum bestimmt waren. Mit dem Rahmenprogramm Energieforschung 1974-1977 begann die gezielte staatliche Förderung der nichtnuklearen Energieforschung.

Im Vordergrund des Programms stand die einzige in der Bundesrepublik Deutschland reichlich vorhandene heimische Energiequelle, die Kohle. F&E-Vorhaben zur Kohlevergasung und -Verflüssigung konnten sich dabei nur zum Teil auf das Fundament erheblicher Erfahrungen aus dem Betrieb von Anlagen in den 40er und 50er Jahren stützen.

Mit dem Rahmenprogramm Energieforschung wurden auch zahlreiche Verbesserungen in der Energietechnik bei Umwandlung, Transport, Speicherung und Anwendung von Energie begonnen.

Auch die Entwicklung bisher technisch nicht genutzter Energiequellen wurde im Rahmen dieses Programms eingeleitet. Dabei sind insbesondere bei der Nutzung der Sonnenenergie zur Wärmeversorgung bereits beachtliche Erfolge erzielt worden. In anderen Bereichen, wie z. B. der Windenergie oder Geothermik, mußte erst das Potential und der Entwicklungsstand der Technologie ermittelt werden. Bei einigen anderen Energiequellen ist diese Phase noch nicht abgeschlossen.

Eine zusammenfassende Übersicht über die bisher in der Bundesrepublik für die Energieforschung aufgewandten öffentlichen Mittel gibt die Abb. 1.2/9 (s. Anhang).

1.2.2.3 Forschungseinrichtungen

Für die Energieforschung steht ein erheblicher Teil des wissenschaftlich-technischen Potentials der großen vom Staat getragenen Forschungszentren zur Verfügung (Tab. 1.2/10, s. Anhang). Zu den Arbeiten der Forschungszentren (Tab. f 1.2/11, s. Anhang) zählen neben kerntechnischen Vorhaben in erheblichem Umfang reine Grundlagenforschungen (etwa in der Hochenergie- oder Kernphysik), aber auch zahlreiche anwendungsorientierte Vorhaben, die keine Beziehung zur Energietechnik haben. Vorhaben der nichtnuklearen Energieforschung haben die Forschungseinrichtungen erst in bescheidenem Umfang aufgenommen.

Die Institute der Max-Planck-Gesellschaft und der Hoch- i schulen leisten in einzelnen Eiereichen, meist durch grundlagenorientierte Untersuchungen, Beiträge zur Energieforschung. Die Bundesregierung ist bemüht, die Forschungskapazität der Hochschulen verstärkt in die Durchführung des Programms einzubeziehen.

Im industriellen Bereich steht als Folge der Förderung in den Atomprogrammen eine leistungsfähige kerntechnische F&E-Kapazität zur Verfügung, die nach wie vor einen beachtlichen Anteil des von der Kernindustrie beschäftigten Personals ausmacht. Im Bereich der Kohletechnologie arbeitet das Forschungsinstitut des Deutschen Steinkohlebergbauvereins an Problemen der Energieforschung, entsprechende Aktivitäten bestehen auf der Braunkohlenseite bei der Firma Rheinbraun. In allen anderen Bereichen der Energietechnik sind die industriellen Kapazitäten breit verteilt und zum Teil noch im Aufbau begriffen. Mit fortschreitendem Entwicklungsstand bilden sich jedoch auch hier, wie z. B. bei der Sonnenenergieentwicklung, leistungsfähige Forscherteams.

Die Zahl der insgesamt in Forschungszentren und Industrie mit F&E-Vorhaben auf dem Energiegebiet Beschäftigten kann nur grob abgeschätzt werden; sie beträgt etwa 15 000.

1.2.3 Wirtschaftliche und technische Entwicklungspotentiale neuer Energietechnologien

Die Natur bietet zahlreiche Möglichkeiten, Vorräte und Vorgänge in technischen Prozessen zur Energieversorgung nutzbar zu machen. Die nutzbaren Energiequellen lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- vorratsbegrenze Primärenergie
- permanent verfügbare Primärenergien (auch leistungsbegrenzte oder regenerierbare Primärenergiequellen).

Zu den vorratsbegrenzten Primärenergien gehören die fossilen Energievorräte (Kohle, Erdöl und Erdgas), in denen Sonnenenergie in chemischer Form gespeichert ist, sowie Uran und Thorium als Primärenergiequellen der Kernenergienutzung. Potentielle Energieressourcen sind auch Deuterium und Lithium als Grundstoffe für die Kernfusion. Auch die Erdwärme hat ein endliches Potential, da ihre Nutzung mit den verfügbaren oder denkbaren Technologien auf die Ausbeutung einzelner Regionen ohne ausreichenden Wärmeaustausch mit dem Erdinneren beschränkt ist.

Der Energieumsatz in technischen Prozessen stützt sich heute noch fast ausschließlich auf vorratsbegrenzte Primärenergien, während die Naturvorgänge wie z. B. meteorologische und biologische Prozesse nahezu ausschließlich auf den permanent verfügbaren Primärenergien beruhen, die durch ihre Leistungsdichte begrenzt sind, bei der Sonnenenergie z. B. durch die pro Quadratmeter und Sekunde auf die Erdoberfläche auftreffende Strahlungsenergie. Der große Vorteil dieser Energiequellen ist, daß sie nicht erschöpft werden können, weil sie stetig gespeist werden, meist aus der Sonnenstrahlung, im Falle der Gezeitenenergie aus der Bewegungsenergie des Sonnensystems.

Unter den permanent verfügbaren Primärenergien dominiert die Sonnenenergie. Neben ihrer direkten Nutzung durch Umwandlung der Strahlung in Wärme oder Elektrizität können grundsätzlich auch eine Reihe der von der Sonne verursachten Vorgänge an der Erdoberfläche zur Energieversorgung genutzt werden, wie z. B. Wind, Wellen oder Laufwasser sowie biologische Prozesse im Gleichgewicht mit der Neubildung (z. B. in einer kontrollierten Forstwirtschaft). Auch die Gezeitenenergie, die dem Erde-Sonne-Mond-System entnommen wird, muß als leistungsbegrenzte Primärenergie betrachtet werden.

Die Nutzung dieser Primärenergien ist im allgemeinen umweltfreundlicher (wenn auch nicht völlig umweltneutral) als die von ressourcengebundenen, da hier der Ökosphäre weder zusätzliche Energie noch Verbrennungsrückstände oder radioaktive Spaltprodukte zugeführt werden, sondern nur ohnehin vorhandene Energieumsatzprozesse genutzt werden.

1.2.3.1 Vorratsbegrenzte Primärenergien

Der großen Bedeutung der vorratsbegrenzten Primärenergie - ihr Anteil an der Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland beträgt ca. 97 % - steht eine relativ große Unsicherheit bei der Bewertung der Vorräte gegenüber. Die Widersprüchlichkeit vieler Angaben beruht auf ihrer Abhängigkeit von mehreren Faktoren: je leistungsfähiger die Technik ist (Abbau in größeren Tiefen, im Meer und von ärmeren Lagerstätten; Steigerung der Ausbeute) und je höhere Gewinnungskosten man in Kauf nimmt, desto größer sind die verfügbaren Vorräte. Dabei sind die Abbaumethoden für die verschiedenen Primärenergieträger so unterschiedlich, daß einheitliche Bewertungsmaßstäbe nicht entwickelt werden können. Außerdem erhöht sich i. a. mit fortschreitender Erkundung auch die Größe der bekannten abbauwürdigen Vorräte. Bei fossilen Primärenergieträgern ist allerdings im Festlandbereich die Erkundung weitgehend abgeschlossen, bei den nuklearen Brennstoffen hingegen ist nur ein Teil der Erdoberfläche so genau erkundet worden wie bei den fossilen Energierohstoffen.

Die Abbauraten sind von Energieträger zu Energieträger sehr unterschiedlich. Eine Gegenüberstellung der Vorratsstruktur mit der Struktur des gegenwärtigen Energieverbrauchs zeigt ein deutliches Mißverhältnis: Kohle wird langsamer verbraucht als Erdöl und Erdgas, obwohl die Kohlevorräte bedeutend größer sind als die Erdöl- und Erdgasvorräte.

Die Bundesrepublik Deutschland verfügt über bescheidene Vorräte an Erdöl und Erdgas, aber über

bedeutende Stein- und Braunkohlevorkommen. Hier schwanken allerdings die quantitativen Angaben erheblich. In einer Aufstellung der Weltenergiekonferenz wurden z. B. die abbauwürdigen Steinkohlevorräte mit rd. 30 Mrd. t ermittelt, während eine Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe 6 bis 12 Mrd. t zu heutigen wirtschaftlich-technischen Bedingungen für abbauwürdig hält. Für die nach heutigem: Stand wirtschaftlich gewinnbaren Braunkohlevorräte geben beide Quellen etwa 10 Mrd. t (ca. 3 Mrd. t SKE) an, während nach Angaben der Braunkohleindustrie 35 Mrd. t (10 Mrd. t SKE) wirtschaftlich-technisch abbaubar sind.

Von beiden Kohlearten sind in der Bundesrepublik Deutschland also noch erhebliche Vorräte vorhanden, die unter heutigen Bedingungen bei gleichbleibenden Abbauraten noch mindestens 60, wahrscheinlich aber 100 bis 300 Jahre reichen werden. Ein schnellerer Abbau würde jedoch nicht nur diesen Zeitraum erheblich verkürzen, sondern auch zahlreiche zusätzliche Probleme verursachen wie z. B. die dann ungewöhnlich schnell notwendige Ausbildung von Fachkräften für Eröffnung und Betrieb neuer Zechen. Bei der bei uns teuren Steinkohleförderung erlaubt der notwendige Kompromiß zwischen wirtschaftlicher Mehrbelastung und Erhöhung der Versorgungssicherheit in Verbindung mit den Problemen der Untertagearbeit keine wesentliche Steigerung der jährlichen Förderung. Bei der Braunkohle sind es die starken Eingriffe des Tagebaus in eine dichtbesiedelte Kulturlandschaft und seine Konsequenzen (Umsiedlung, Rekultivierung, Grundwasserabsenkung), die eine erhebliche Steigerung der Förderraten erschweren.

Bei der Bewertung der Uranvorräte ist der Einfluß der Technologie besonders auffallend. Schnelle Brutreaktoren können z. B. den Energieinhalt des Urans rund 60fach besser nutzen als die heutigen Leichtwasserreaktoren. Die Größe der nutzbaren Uranvorräte hängt außerdem stark von dem Verhältnis der Uranpreise zu den fossilen Brennstoffpreisen ab. Wegen der geringen Abhängigkeit der Stromgestehungskosten in Kernkraftwerken von den Uranpreisen ist hier allerdings ein gewisser Spielraum gegeben. Die Schätzung der Uranvorräte unterliegt größeren Schwankungen als die Angaben für die fossilen Vorräte, weil die Prospektion auf Uran bisher noch nicht mit der gleichen Intensität wie z. B. beim Mineralöl betrieben worden ist.

Das durch Lithiumvorräte begrenzte Potential der Kernfusion ist größer als das Potential der mit Reaktoren heutiger Bauart nutzbaren Uranvorräte. Einige Autoren geben dafür sogar ein über dem Schnellen Brüter liegendes Potential an. Dabei spielt die Frage der Nutzbarmachung des Lithiums im Meerwasser eine große Rolle.

Die Nutzung der Erdwärme ist gegenwärtig auf die Erschließung unterirdischer Heißwasser- und Dampfvorkommen begrenzt. Heute werden weltweit (in Island, Kalifornien, Oberitalien und Neuseeland) ca. 1000 MWe zur Elektrizitätserzeugung und 5000 MWth zur Wärmenutzung aus geothermischen Anomalien gewonnen. Diese Zahl ist nicht wesentlich zu vergrößern. Zur Zeit werden nähere Untersuchungen angestellt, ob die theoretisch bestehende Möglichkeit, die Erdwärme in großen Tiefen durch Einpressen von Wasser in entsprechende Bohrungen zu nutzen, auch bei uns besteht.

Insgesamt gesehen können unter den ressourcengebundenen Energiequellen Kohle und Kernenergie wesentliche Beiträge zur Energieversorgung weit bis in das kommende Jahrhundert hinein leisten. Schnelle Brutreaktoren, Kernfusion und Geothermik können im Erfolgsfall der Entwicklung von ihrem Ressourcenpotential her jeden denkbaren Energiebedarf der Welt für Jahrhunderte befriedigen. Die Begrenzung des Nutzungspotentials entsteht hier durch Umwelt- und Standortprobleme. Die technischen Probleme dieser drei Energiequellen sind bisher nur beim Schnellen Brutreaktor in dem Umfang gelöst, der eine Einbeziehung der Technologien in eine langfristige Energieversorgungsplanung erlaubt.

1.2.3.2 Permanent verfügbare Primärenergien

Unter den permanent verfügbaren Primärenergien ist die Sonnenenergie von besonderer Bedeutung. Die auf die Fläche der Bundesrepublik Deutschland eingestrahlte Energie entspricht etwa dem 80-fachen unseres heutigen Energieverbrauchs. Nachteile und technische Probleme bei der direkten Sonnenenergienutzung entstehen aus der geringen Strahlungsdichte und der nach Tageszeit, Wetter und Jahreszeit stark schwankenden Verfügbarkeit. In der Bundesrepublik Deutschland beträgt die Sonneneinstrahlung maximal etwa 900 W/m^2, gemittelt über alle Schwankungen rund 110 W/m^2. Im Vergleich zu anderen Weltregionen (der Mittelwert beträgt in den USA ca. 200 W/m^2) liegen bei uns relativ ungünstige Verhältnisse vor. Die Nutzungsmöglichkeiten der Sonnenenergie hängen deshalb sehr weitgehend von der Leistungsfähigkeit der verfügbaren Technologien ab. Dies gilt besonders für die Energiespeichersysteme, die einen Ausgleich der im wesentlichen zeitlich entgegengesetzt verlaufenden Energiebedarfs- und Energieangebotsprofile ermöglichen müssen.

Unter den möglichen Umwandlungstechniken zur Sonnenenergienutzung (thermische und elektrische Wandlung, biologische Konversion) besitzt die thermische Wandlung zur Darbietung von Niedertemperaturwärme zumindest in der Bundesrepublik Deutschland bei weitem das größte Potential. Dieses hängt jedoch nicht nur von der technologischen Entwicklung, sondern auch von begrenzenden Faktoren

ab wie sie z. B. beim nachträglichen Einbau von Solaranlagen in bestehende Häuser auftreten. Eine quantitative Bewertung des Sonnenenergie-Potentials in der Bundesrepublik Deutschland ist schwierig. Systemanalytische Untersuchungen haben unter Berücksichtigung der technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen für das Jahr 2000 einen möglichen Energiebeitrag ergeben, der immerhin etwa dreimal so groß ist wie die heutige Energiegewinnung aus Laufwasser (umgerechnet auf den fossilen Primärenergieeinsatz). Letztere ist unter den indirekten Nutzungsmöglichkeiten der Sonne z. Z. als einzige von Bedeutung für die Energieversorgung. Das Potential des Laufwassers ist jedoch in der Bundesrepublik Deutschland mit ca. 5 Mio. t SKE/a (rund 15 Mrd. KWh_e/a) praktisch ausgeschöpft.

Die Nutzung der Windenergie ist heute in Anlagen mit einer Höchstleistung von 100 KW (mittlere verfügbare Leistung etwa 30 KW) technisch möglich. Anlagen von 1000 KW könnten gegen Ende des Jahrzehnts ausreichend erprobt sein. Ungelöst ist noch das Problem der Speicherung großer Energiemengen. Auch von der Landschaftsgestaltung her stößt die Windenergienutzung auf Grenzen. Der Beitrag zur Energieversorgung im Jahr 2000 kann in der gleichen Größenordnung liegen wie die heutige Laufwassernutzung, wenn man von den heute absehbaren technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen ausgeht.

Für die Nutzung der Wellenenergie fehlen an den deutschen Küsten weitgehend die Voraussetzungen. Die Nutzung von Temperaturgradienten ist allenfalls in tropischen Meeren realisierbar.

Bei der Gezeitenenergie ist das technische Potential relativ gering, weil eine Nutzung nur an Orten mit außergewöhnlich großem Tidenhub aussichtsreich ist. Die in La Rance / Frankreich gebaute Anlage mit ca. 200 MWe ist zur Zeit und auf längere Sicht die einzige, Anlage dieser Art in der Welt. An den deutschen Küsten liegen die erforderlichen Verhältnisse nicht vor.

1.2.3.3 Technologien zur rationellen Energieverwendung

Erhebliche Beiträge zur Sicherung der künftigen Energieversorgung können nicht nur von neuen Primärenergien, sondern auch von Technologien zur rationellen Energieverwendung im Umwandlungs- und Anwendungsbereich erwartet werden. Als besonders aussichtsreich - vor allem Im Hinblick auf die Größe des Beitrages zur Energieversorgung - gelten:

- Wärmepumpen;
  sie können Wärme von niedrigem auf höheres Temperaturniveau anheben, wobei die Leistungsabgabe ein Mehrfaches der Leistungsaufnahme ist. Mit ihrer Hilfe kann die im Boden, in der Luft oder im Wasser gespeicherte Wärme nutzbar gemacht werden.

- Wärme/Kraft-Kopplung;
  durch die gleichzeitige Erzeugung von elektrischer Energie und Heizwärme in Kraftwerken können die erheblichen Energieverluste (Abwärme) in Wärmekraftwerken vermindert und gleichzeitig in Verbindung mit Fernwärmenetzen ein wesentlicher Beitrag zur Deckung des Raumheizungsbedarfs geleistet werden.

- integrierte Energiesysteme;
  durch die richtige Auswahl und Kombination von Sekundärenergieträgern und Anwendungstechniken, wie z. B. der Wärmerückführung, können, insbesondere bei großen Verbrauchseinheiten, erhebliche Einsparungen erzielt werden.

1.2.4 Energieversorgung und Umwelt

Der Umsatz von Energie ist in vielen Fällen mit erheblichen Umweltbelastungen verbunden. Wesentliche Ursachen dafür sind die Abgabe von Wärme, Wasserdampf, Schwefeldioxid (SO_2), Kohlenoxiden (CO und CO_2), Stickoxiden (NO_x), Aerosolen sowie radioaktiven Stoffen. Um den Zielkonflikt zwischen Energieversorgung und Umweltschutz möglichst weitgehend aufzulösen, muß dem Umweltschutz schon bei der Entwicklung neuer Energietechnologien angemessen Rechnung getragen werden. Außerdem müssen für die weitere Verwendung herkömmlicher Technologien verbesserte Umweltschutztechniken entwickelt werden. Da viele Umweltbelastungen nicht auf einzelne Länder beschränkt bleiben, kommt der internationalen Zusammenarbeit große Bedeutung zu.

1.2.4.1 Wärmebelastung

Die in technischen Prozessen umgewandelte und genutzte Energie wird - mit Ausnahme geringer Mengen, die in chemischer oder physikalischer Form gespeichert werden - letztlich in Wärme umgewandelt. In der Bundesrepublik Deutschland beträgt diese Wärmefreisetzung im Mittel rund 1% des natürlichen Wärmeumsatzes. Regional (in Ballungszentren) und lokal (an Kraftwerksstandorten) ist die Veränderung der natürlichen Wärmebilanz größer. Von fossil beheizten Kraftwerken und den fortgeschrittenen Kernkraftwerken der Hochtemperaturreaktor- und Schnellbrüter-Linien werden etwa 60%, von Leichtwasserreaktor-Kraftwerken etwa 68% der freigesetzten Wärmeenergie ungenutzt an die Umgebung abgegeben. Dem preisgünstigsten Kühlverfahren, der direkten Flußkühlung, sind im Hinblick auf die Wasserqualität und -quantität Grenzen gesetzt, die wegen der anderweitigen Schadstoffbelastung der Flüsse nur noch einen engen Spielraum für die Er-

wärmung zulassen. Durch Naß- und später auch Trockenkühltürme kann dieses Problem gemildert werden.

1.2.4.2 Schadstoffbelastung

Die erheblichen Emissionen von Schadstoffen bei der Nutzung fossiler Energiequellen in Haushalt, Industrie und Verkehr liefern die wesentlichen Beiträge zur Luftverschmutzung. Diese Schadstoffe können bei zu hohen Konzentrationen gesundheitliche und materielle Schäden hervorrufen. Daher unterliegen Großanlagen einem Genehmigungsverfahren, in dem die zulässigen Emissionen festgelegt werden.

Die weitere Nutzung fossiler Energieträger erfordert aufwendige Umweltschutzmaßnahmen (z. B. Entschwefelung, Entstaubung, Beseitigung bzw. Verminderung von NO_x). Wachsende Bedenken richten sich gegen das Endprodukt der vollständigen Verbrennung fossiler Rohstoffe, das ungiftige Kohlendioxid (CO_2). Es wird befürchtet, daß die zunehmende Konzentration dieses Gases in der Atmosphäre, die bei weiter gesteigerter Verwendung fossiler Brennstoffe praktisch nicht zu verhindern ist, langfristig zu größeren klimatischen Veränderungen führen könnte.

Kerntechnische Anlagen emittieren im Betrieb radioaktive Substanzen wie z. B. Tritium (^{3}H), ^{85}Kr, ^{131}J und ^{133}Xe. Die dafür zugelassenen Abgaberaten sind sehr eng definiert und werden darüber hinaus auch bei weitem nicht ausgeschöpft. Trotzdem können daraus bei weltweit verstärkter Nutzung der Kernenergie in Zukunft ernstzunehmende Belastungen entstehen, die durch die erhöhte Emission bei Betriebsstörungen noch verstärkt werden können.

Auch die bisher nicht genutzten Energiequellen, vor allem die geothermische Energie, sind nicht frei von Schadstoff- Emissionen und anderen Umweltbelastungen, jedoch liegen hier zum Teil nur unvollständige Daten vor.

Selbst bei einem gegenüber der Vergangenheit gemäßigten Anstieg des Weltenergieumsatzes können sich aus den damit verbundenen Umweltbelastungen ernste Gefahren entwickeln. Daraus resultiert die Notwendigkeit, umweltfreundliche Energietechnologien zu entwickeln.

Eine erhebliche Verminderung der Schadstoffbelastung in Ballungszentren kann durch moderne Sekundärenergieträgersysteme wie Fernwärme, Gase und Fernenergie erreicht werden.

1.2.4.3 Sicherheitsfragen

Neben den Umweltbeeinträchtigungen im Normalbetrieb bergen auch die Anlagen der Energiewirtschaft (wie jede technische Einrichtung) Gefahren in sich. Dies gilt keineswegs nur für Kernkraftwerke mit ihrem zwar sehr kleinen, aber nicht vollständig zu beseitigenden Restrisiko für die Freisetzung von Teilen ihres radioaktiven Inventars bei allerdings extrem unwahrscheinlichen Unfällen. Auch zukünftige Fusionsreaktoren werden im Hinblick auf ihr erhebliches radioaktives Inventar nicht ohne Sicherheitsrisiko sein. Aber auch von herkömmlichen Energiequellen gehen Sicherheitsrisiken aus, so von großen Staudämmen, die bei Beschädigung, z. B. durch Erdbeben, Flutkatastrophen auslösen können. Ähnliche Bedenken gelten auch der geothermischen Energie, da ein starker lokaler Wärmeentzug zum auslösenden Faktor für Erdbeben und Bodensenkungen werden kann.

Die Hauptrisiken bei der Kohle liegen im Untertagebergbau. Bei Erdöl und Erdgas stellt der Transport in Tankschiffen und Pipelines ein Gefahrenpotential dar. Durch die zunehmende off-shore-Gewinnung von Erdöl in Verbindung mit Unterwasserpipelines werden die Gefahren für die Umwelt aus der Nutzung fossiler Energiequellen weiter verstärkt.

2. Teilprogramme

2.1 Rationelle Energieverwendung im Anwendungs- und im Sekundärenergiebereich

Die bisherige Entwicklung der industrialisierten Länder und deren Wohlstand beruhten in wesentlichem Umfang auf der Nutzung fossiler Energieträger.

Der anhaltende und weiter wachsende Energiebedarf der Industrieländer sowie der wachsende Nachholbedarf der Entwicklungsländer werden dazu führen, daß in Jahrzehnten die gewinnbaren Vorräte an fossilen Energieträgern, die in Millionen von Jahren entstanden sind, verbraucht sein werden. Erst in jüngster Zeit ist die Endlichkeit dieser Vorräte verstärkt in das Bewußtsein der Menschheit gerückt.

Durch sparsamen und rationellen Umgang mit diesen begrenzten Energievorräten muß dem bisherigen starken Anstieg des Energieverbrauchs entgegengewirkt werden.

Rationelle und sparsame Energieverwendung Ist auch erforderlich, um die mit der Energienutzung verbundenen Umweltbelastungen und -beeinträchtigungen in Grenzen zu halten, wie z. B. die Zerstörung der Landschaft sowie Freisetzung von Abwärme, Abgasen und Schadstoffen. Dabei ist besonders zu berücksichtigen, daß zwar die meisten dieser Begleiterscheinungen durch geeignete Technologien vermieden bzw. in ihren Auswirkungen gemildert werden können, daß aber bei jeder Energienutzung fast die gesamte Energie unvermeidlich in Wärme verwandelt wird.

Ziele einer Politik der rationellen und sparsamen Energieverwendung sind:

- Verringerung des Bedarfs an Endenergie ohne Einbußen an Lebensqualität oder Produktionsleistung.
- Deckung des verbleibenden Bedarfs durch ein möglichst gut angepaßtes und verlustarmes Sekundärenergieträgersystem.
- Bestmögliche Ausnutzung der Primärenergieträger bei der Gewinnung und bei der Umwandlung in Sekundärenergieträger.

Der Bedarf an Endenergie entsteht zu

- 39 % in der Industrie,
- 18 % im Verkehr und
- 43 % im Bereich Haushalt und Kleinverbrauch

Grundlage für die Planung von F&E-Vorhaben im Anwendungsbereich sind systemanalytische Untersuchungen, mit deren Hilfe aus der Vielfalt der Anwendungstechniken diejenigen ausgesucht werden können, die die größten Einsparungen erwarten lassen. Entsprechende Untersuchungen haben gezeigt, daß das größte Einsparpotential im Bereich Haushalt und Kleinverbrauch liegt, der auch die höchsten Zuwachsraten im Endenergieverbrauch aufweist. Das betrifft vor allem den großen Bereich der Versorgung mit Niedertemperaturwärme, die ungefähr 80 % des Endenergieverbrauchs in diesem Sektor ausmacht. Im Industriesektor sind schon in der Vergangenheit zahlreiche Verfahren im Hinblick auf geringen spezifischen Energieeinsatz optimiert worden, soweit der Energieverbrauch einen ins Gewicht fallenden Kostenfaktor bildete. Die F&E-Vorhaben beschränken sich daher auf die Identifikation und Verbesserung von Verfahren, die über den Anreiz der Kostenminderung hinaus wesentliche Einsparungen erwarten lassen. Im Verkehrssektor sind die wesentlichen Einsparmöglichkeiten mit systematischen Veränderungen verbunden, die von der grundlegenden Weiterentwicklung der Verkehrstechnologien nicht zu trennen sind und deshalb Bestandteil der entsprechenden Forschungsprogramme sind.

Im Bereich des Endenergieverbrauchs werden die Primärenergieträger mit Ausnahme von Erdgas i. a. nicht direkt, sondern in Form von Sekundärenergieträgern eingesetzt. Das erklärt die große Bedeutung der Umwandlungstechniken in einem modernen Energieversorgungssystem.

Die gebräuchlichsten Sekundärenergieträger sind

- elektrischer Strom
- Gase (Erdgas, Synthesegas, Stadtgas, etc.)
- flüssige Brennstoffe (Heizöl, Benzin, etc.)
- feste Brennstoffe (Koks, Briketts, etc.)
- Fernwärme.

Das künftige Einsatzpotential dieser und neu zu entwickelnder Sekundärenergieträger ist nur zu beurteilen, wenn das gesamte Energiesystem analysiert wird; solche Untersuchungen wurden zum Teil im Rahmenprogramm Energieforschung durchgeführt.

Die Entwicklung verbesserter oder neuer Technologien für Sekundärenergieträger konzentriert sich im Hinblick auf Versorgungssicherheit, rationelle Verwendung der Primärenergie, Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit auf die folgenden Bereiche:

- Umwandlung von Primär- und Sekundärenergie. Dabei werden Entwicklungen der Kraftwerktechnik und der Kohleveredelung hier nur insoweit behandelt, als sie nicht Teil der Teilprogramme Kernenergie oder Kohletechnologie sind. Von großer Bedeutung insbesondere für einen rationellen Energieeinsatz sind die Entwicklungsarbeiten zur Wärme/Kraft-Kopplung durch kombinierte Erzeugung von nutzbarer Wärme und elektrischer Energie, wodurch auch eine Minderung der anfallenden Abwärme erreicht wird.

- Transport von Strom, Fernwärme und anderen Sekundärenergieträgern. Neue Technologien werden insbesondere benötigt bei der Elektrizitäts- und Wärmeversorgung von Ballungsräumen.

- Speichermethoden insbesondere für Gase und Wärmeträger im Versorgungssystem. Solche Speichertechnologien werden benötigt, um Unterschiede im Produktions- und Verbrauchsrhythmus von Sekundärenergieträgern auszugleichen.

- Produktions-, Transport- und Speichertechnologien für neue Sekundärenergieträger wie Wasserstoff, Methanol und Wasserstoff-Kohlenmonoxid-Gemische, die durch Wasserdampfreformierung des Methans erzeugt werden („Fernenergie“). Ein besonders interessanter Aspekt dieser Entwicklungen ist, daß die zur Produktion der Sekundärenergieträger benötigte Prozeßwärme von Hochtemperaturkernreaktoren erzeugt werden könnte. Die neuen Sekundärenergieformen müssen in das Energiesystem der Zukunft sinnvoll integriert werden können.

Die F&E-Vorhaben im Bereich der Sekundärenergieträger konzentrieren sich auf

- Fernwärme unter besonderer Berücksichtigung der Wärme/Kraft-Kopplung,
- Kühlung von Kraftwerken und Abwärmenutzung und
- Erzeugung, Transport und Speicherung von Elektrizität.

Im Teilprogramm Rationelle Energieverwendung im Anwendungs- und Sekundärenergiebereich sind nur diejenigen F&E-Vorhaben zusammengefaßt, die überwiegend dem Ziel der rationellen Energieverwendung dienen. Dieses Ziel liegt jedoch zugleich auch allen anderen Teilen des Programms zugrunde. So erlauben zum Beispiel einige neue Kohleumwandlungsverfahren eine wesentlich bessere Ausnutzung der Einsatzkohle, neue Gewinnungsverfahren eine höhere Ausbeute der Lagerstätten fossiler Energieträger oder das Zentrifugenverfahren für die Urananreicherung eine deutliche Verminderung des Energieverbrauchs gegenüber dem sonst üblichen Diffusionsverfahren.

2.1.1 Anwendungstechnik

Eine Gegenüberstellung des Endenergieverbrauchs in den Sektoren Haushalt/Kleinverbrauch, Industrie und Verkehr der Jahre 1960 und 1973 zeigt eine Zunahme des Sektors Haushalt und Kleinverbrauch. Sein Anteil am Endenergieverbrauch erhöhte sich von 36% auf 44%. Der Anteil des Industriesektors fiel von 49% auf 38%, der Verkehrssektor nahm von 15% auf 18% zu.

2.1.1.1 Haushalt und Kleinverbrauch

Der überwiegende Teil der in Haushalt und Kleinverbrauch (dazu zählen auch Verwaltungsgebäude, Schulen, Handwerksbetriebe und landwirtschaftliche Betriebe) verwendeten Energie dient der Heizung und Warmwasserbereitung.

Z. B. liegt bei einem durchschnittlichen Einfamilienhaus der Bedarf an Niedrigtemperaturwärme bei 85% des gesamten Endenergiebedarfs. Deshalb konzentrieren sich die F&E-Vorhaben für die Energieanwendung in diesem Verbrauchssektor auf die Verbesserung der Wärmeökonomie.

Dazu werden Vorhaben in folgenden Bereichen gefördert

- Entwicklung von Materialien für Wärmedämmung und -Speicherung

  Dabei werden unter Verwendung preisgünstiger Ausgangsstoffe und Abfallmaterialien neue Baustoffe entwickelt, die die gewünschten Eigenschaften bezüglich Wärmedämmung und Speicherfähigkeit erfüllen.

- Energiesparende Haus- und Siedlungskonzeptionen
  Hierzu gehören die Optimierung der Wärmeverteilung innerhalb von Gebäuden, die Nutzung der Sonnenenergie durch entsprechende Ausrichtung der Gebäude, Weiterentwicklung von Heizungssystemen mit niedrigen Vorlauftemperaturen im Hinblick auf den Einsatz von Wärmepumpen und die Nutzung von Sonnenenergie und Abwärme sowie die Zentralisierung der Wärmeversorgung von Gebäudekomplexen und Siedlungen.

- Wärmepumpen
  Die Vorhaben umfassen die Entwicklung und Erprobung kostengünstiger Wärmepumpen vor allem kleiner Leistungseinheiten (10 KW) für verschiedene Temperaturniveaus, Verbesserung der Regelfähigkeit, Entwicklung von Wärmepumpen mit Verbrennungsmotoren in Kompaktbauweise sowie die Untersuchung der Umweltbeeinträchtigung in der unmittelbaren Umgebung von Wärmepumpenanlagen.

- Wärmerückgewinnung
  Hierzu gehören Untersuchungen und Entwicklungen von Systemen zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser und Abluft in Mehrfamilienhäusern, größeren Gebäudekomplexen und kommunalen Einrichtungen (z. B. Schwimmbädern), Optimierung von Wärmekreisläufen sowie Entwicklung von Komponenten und Regeltechniken.

- Wärmespeicherung
  Ergänzend zu den für die Elektroheizung bereits eingeführten Wärmespeichern sollen vor allem im Hinblick auf Sonnenenergienutzung und Wärmerückführung sowohl preisgünstige Kurzzeitspeicher als auch Langzeitspeicher für Warmwasserversorgung und Heizzwecke entwickelt werden.

- Energiesparende Haushaltsgeräte
  Hierzu sollen Meßmethoden entwickelt werden, mit deren Hilfe für den Verbraucher ergänzend zur Angabe der Leistungsaufnahme auch Anhaltspunkte über den spezifischen Energieverbrauch von Haushaltsgeräten gegeben werden können. Soweit auf europäischer oder nationaler Ebene Aktivitäten zur Entwicklung eines Produkt-Informationssystems bestehen, sollen die geplanten Arbeiten auf diese Aktivitäten abgestimmt werden und sie ergänzen.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	7	13	22	24

2.1.1.2 Industrie

Bei den Produktionskosten für Industriegüter spielen die Energiekosten eine wichtige Rolle. Aus diesem Grund hat die Industrie auf dem Weg der Kostenoptimierung seit jeher eine Senkung des spezifischen Energieverbrauchs angestrebt. Bei den niedrigen Energiepreisen in der Vergangenheit waren allerdings Kostenoptimierung und Minimierung des Energieverbrauchs weniger als heute im Gleichklang. Im Hinblick auf eine rationelle Energiever-

wendung sollte daher auch in der Industrie eine Neuorientierung erfolgen.

Zur Realisierung dieses Prinzips ist es notwendig, Klarheit über die Struktur des Energieverbrauchs zu gewinnen und die zahlreichen technischen und nichttechnischen Möglichkeiten zu seiner Beeinflussung aufzuzeigen. Deshalb wird eine Vielzahl von Untersuchungen gefördert, die das notwendige Datenmaterial und eine sorgfältige Prognose des Energiebedarfs in allen Zweigen der Produktion liefern sollen.

Die bisher durchgeführten Untersuchungen waren wegen der großen Vielfalt industrieller Produktionsprozesse außerordentlich langwierig und aufwendig. Als Ergebnis wurde ein umfangreicher Katalog vorgelegt, der neben den Möglichkeiten für Energieeinsparungen auch die Grenzen aufzeigt, bis zu denen solche Maßnahmen sinnvoll sind.

Die aufgezeigten Möglichkeiten bilden die Grundlage für systematische F&E-Arbeiten, die im Wesentlichen folgende Schwerpunkte haben:

- Verbesserung bestehender Techniken.
  Als Beispiel seien eine bessere Anpassung von Heizkesseln an den wirklichen Bedarf, die richtige Wahl des Energieträgers, die Reduktion von Strömungs-, Reibungs- oder elektrischen Widerständen sowie die Wärmedämmung im Anlagen- und Verwaltungsbereich genannt.

- Änderung von Produktionsprozessen.
  Dies zielt vor allem in zwei Richtungen: Einsparung an Prozeßwärme und Verbesserung der Prozeßorganisation. Eine Einsparung an Prozeßwärme kann z. B. durch Vermeiden überzogener Anforderungen an die Prozeßparameter erreicht werden, aber auch durch Bevorzugung weniger energieintensiver Prozesse. Beispiele hierfür sind die Anwendung von mechanischer statt thermischer Trocknung, das Verdampfen unter Vakuum, das partielle Erwärmen beim Härten und der Einsatz von Wärmerückgewinnungsanlagen. Zur Verbesserung der Organisation von Prozeßabläufen gehören die Integration mehrerer Prozesse sowie die Kapazitätsauslastung und der zeitliche Einsatz der Anlagen unter Vermeidung von Leerlaufzeiten sowie der Übergang von diskontinuierlichen zu kontinuierlichen Produktionsverfahren.

- Entwicklung neuer Technologien.
  Erste Möglichkeiten werden bei der Entwicklung neuer Beleuchtungssysteme mit höherem Wirkungsgrad gesehen. Die in diesem Zusammenhang ebenfalls interessierende Entwicklung von abriebfesten Materialien, von neuartigen Lagerungen mit geringeren Reibungsverlusten und von verbesserten Schmiermitteln wird innerhalb des Rahmenprogrammes Rohstoffforschung gefördert.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	2	10	13	11

2.1.1.3 Verkehr

Rund 18% der Endenergie und etwa 25% des gesamten Mineralöls werden in der Bundesrepublik Deutschland im Verkehrssektor verbraucht. Dieser große Anteil ist auf die hohen Zuwachsraten im Güterverkehr und in noch weit stärkerem Maß auf die Zunahme des Individualverkehrs zurückzuführen.

Die unterschiedlichen Energienutzungsgrade der einzelnen Verkehrssysteme (vgl. Tab. 2.1/1, s. Anhang) lassen Einsparungsmöglichkeiten erwarten. Rationellere Energieverwendung ist deshalb ein wichtiges Ziel der Vorhaben zur Entwicklung neuer Verkehrstechnologien, die von der Bundesregierung in gesonderten Programmen gefördert werden. Die Kosten der Untersuchungen sind mit ca. 12 Mio. DM pro Jahr in diesen Programmen enthalten.

Für die wichtigsten Verkehrsmittel werden im Hinblick auf eine Verbesserung der Energieausnutzung sowie zur Erforschung alternativer Kraftstoffe folgende Vorhaben verfolgt:

- Bei Kraftfahrzeugen die Beeinflussung von
  - Motorwirkungsgrad
  - Kraftstoffart (z.B. Methanol, Wasserstoff und auch E-An- trieb)
  - Fahrzeuggröße
  - Fahrzeugkonstruktion (Leichtbau)
  - Reifenkonstruktion (Gürtelreifen)
  - Karosserieform (Aerodynamik)
  - Entwicklung elektronischer Steuerungen für Fahrzeugmotoren.

- Beim öffentlichen Nahverkehr
  - Automatisierung des Betriebsablaufs
  - Entwicklung von elektronisch gesteuerten Antrieben, die stufenlos geregelt eine verlustarme und ruckfreie Fahrweise ermöglichen
  - Minimierung der Übertragungsverluste und Belastungsspitzen im Gesamtnetz durch geeignete Auslegung und Steuerung
  - Bremsenergie-Rückgewinnung
  - Leichtbau und Verlagerung gewichtsintensiver Komponenten aus den Fahrzeugen in die Strecke.

Beim Luftverkehr die Einführung von Mantelstromturbinen und die Verbesserungen des Wirkungsgrads im Unterschallbereich.

2.1.2 Sekundärenergieträger

2.1.2.1 Wärme/Kraft-Kopplung und Fernwärme

Im Hinblick auf den hohen Anteil des Bedarfs an Niedertemperaturwärme am gesamten Energiebedarf, vor allem im Bereich Haushalt und Kleinverbrauch, kommt allen Technologien, die eine rationelle Wärmeversorgung ermöglichen, besonders große Bedeutung zu. In dichtbesiedelten Gebieten trägt die direkte Wärmeversorgung der Haushalte über Fernwärmenetze diesem Gedanken besonders gut Rechnung. Ersatz vieler Einzelfeuerstellen durch eine zentrale Anlage ermöglicht eine bessere Energieausnutzung und bringt zugleich eine bedeutsame Verminderung von Schadstoffemissionen mit sich. Besonderes Interesse gilt der Fernwärmeversorgung unter dem Ziel der rationelleren Energieverwendung jedoch, wenn für sie auch Abwärme von thermischen Kraftwerken nutzbar gemacht werden kann. In thermischen Kraftwerken gehen rund zwei Drittel der eingesetzten Primärenergie als Abwärme verloren. Die Verluste betragen bei modernen, fossil beheizten Anlagen und bei HTR- und SBR-Kraft- werken rund 60%, bei LWR-Kraftwerken rund 68%. Eine Möglichkeit, diese großen Wärmemengen zur Substituierung anderer Primärenergieträger zu nutzen, bietet die gleichzeitige Erzeugung von Strom und nutzbarer Wärme (Wärme/Kraft- Kopplung). Bei reiner Stromerzeugung hat das Kühlwasser des Kraftwerks ein so niedriges Temperaturniveau, daß es für Heizzwecke unbrauchbar ist. Das Kraftwerk muß also so ausgelegt werden, daß die Wärme auf einem Temperaturniveau von ungefähr 100°C in ein Fernwärmenetz abgegeben werden kann. Dadurch sinkt zwar der Wirkungsgrad der Stromerzeugung im Kraftwerk, was zum Teil durch zusätzliche Kraftwerkskapazität ausgeglichen werden muß, der Gesamtnutzungsgrad der im Kraftwerk eingesetzten Primärenergie wird jedoch erheblich gesteigert. Gemittelt über die jahreszeitlichen Schwankungen kann mit Hilfe der Wärme/Kraft- Kopplung die Primärenergie wesentlich besser ausgenutzt werden als bei reiner Stromerzeugung.

Das Prinzip der Wärme/Kraft-Kopplung ist nicht neu, wurde in der Vergangenheit allerdings wegen der niedrigen Energiepreise und der relativ hohen Kosten für den Transport

fühlbarer Wärme nicht in dem Umfang angewendet, der unter heutigen Bedingungen vernünftig erscheint. Auf die gesamte deutsche Stromerzeugung bezogen macht der Anteil der in Wärme/Kraft-Kopplung betriebenen öffentlichen Kraftwerke und Industriekraftwerke zur Zeit etwa 7% aus.

Da rund 50% des Primärenergieverbrauchs für die Deckung des Wärmebedarfs auf niedrigem Temperaturniveau benötigt werden, ist grundsätzlich das technische Potential der Fernwärmeversorgung sehr groß. Durch den Einsatz der Wärme/Kraft-Kopplung kann also ein großes Wärmeangebot mit einem großen Wärmebedarf in Verbindung gebracht werden. Durch die unterschiedliche zeitliche Struktur von Bedarf und Angebot sind die Möglichkeiten jedoch begrenzt. Zudem ist die Fernwärmeversorgung auf dichtbesiedelte Räume beschränkt, wo sie nachträglich aber nur unter erheblichem Kostenaufwand eingeführt werden kann. Aus diesen Gründen sind die Schätzungen über die möglichen Energie-Einsparungen (meistens beim Ölverbrauch) durch Wärme/Kraft-Kopplung noch sehr unsicher. Sie liegen für das Jahr 2000 zwischen 10 und 30 Mio. t SKE pro Jahr (zum Vergleich: der Braunkohlenverbrauch betrug 1973 ungefähr 33 Mio. t SKE). Neben der Energieeinsparung leistet die Fernwärmeversorgung durch Wärme/Kraft-Kopplung einen bedeutenden Beitrag für den Umweltschutz, da sie die Schadstoffemissionen insgesamt herabsetzt. Dies wirkt sich in Ballungszentren, wo sie auch am wirtschaftlichsten einsetzbar ist, besonders vorteilhaft aus, weil dort die Einzelfeuerungen neben dem Straßenverkehr den Hauptteil der Luftverschmutzung verursachen. Auch am Kraftwerksstandort wird die Umweltbelastung durch die beträchtliche, allerdings saisonal unterschiedliche Verringerung der dort anfallenden Abwärmemengen vermindert.

Die Arbeiten auf dem Gebiet der Fernwärmeversorgung haben zum Ziel, Techniken zu entwickeln und zu erproben, mit denen die wirtschaftliche Nutzung der Fernwärme verbessert werden kann. Dazu ist es zunächst erforderlich, Strategien für den Aufbau von Fernwärmenetzen zu entwickeln. Zu diesem Zweck wurde ein Studienwerk erstellt, das aus einer Gesamtstudie und vier Planstudien besteht. Die Planstudien untersuchen als Modellräume vier in Bezug auf die Fernwärmeversorgung unterschiedlich strukturierte Regionen: Mann- heim/Ludwigshafen/Heidelberg, Koblenz/Bonn/Köln, westliches Ruhrgebiet, Berlin. Im Rahmen der Gesamtstudie wird ein Wärmeatlas für die Bundesrepublik Deutschland erstellt und die Anwendungsmöglichkeit der Fernwärme aus Wärme/Kraft-Kopplung in wirtschaftlicher, ökologischer und volkswirtschaftlicher Sicht untersucht. Die Planstudien sollen zu Modellen führen, die den örtlichen Fernwärmeversorgungsunternehmen Entscheidungshilfen für den schrittweisen Ausbau ihrer Versorgungsnetze und ggf. der Erzeugungsanlagen liefern.

Überregionale Fernwärmesysteme, die ganze Ballungsgebiete mit Wärme versorgen, sollen am Beispiel der „Fernwärmeschiene Ruhr“ untersucht werden. Sie soll die Fernwärmeversorgung der Ballungsgebiete zwischen Dortmund und Dinslaken übernehmen. Eine erste Ausbaustufe zwischen den Städten Gelsenkirchen, Essen und Bottrop wurde als Demonstrationsprojekt mit Mitteln des Konjunktur-

programms der Bundesregierung begonnen. Ein zweites Vorhaben zum Aufbau eines Fernwärmeverbundsystems wird an der Saar durchgeführt. Ein wichtiger Gesichtspunkt bei großen Fernwärme-Verbundsystemen, der dabei untersucht werden soll, ist der Ausgleich des Spitzenbedarfs mit Hilfe der Speicherwirkung großer Versorgungsnetze durch Änderung der Einspeisungstemperaturen. Daneben werden auch Möglichkeiten zur Einspeisung industrieller Abwärme in das Wärmeverbundsystem untersucht.

Kostenschätzung und Finanzierung der „Fernwärmeschiene Ruhr“

Kosten (Mio. DM)		Finanzierung (Mio. DM)	
Baulicher Teil	54		
Kesselanlagen	11	Zuschuß aus	
Maschinenanlagen	76	BMBF-Haushalt	108
Elektrische Anlagen	7	STEAG:	51
Meß- und		Invest.zulagen	
Regeltechnik	10	nach §§ 4a & 4b	
		Investitions-	
Baunebenkosten	28	zulagengesetz	27
	186		186

Um einen harmonischen Aufbau großer Verbundsysteme zu ermöglichen, müssen zunächst lokale Netze ausgebaut werden. Der Versorgung dieser Netze dienen kleine Heizkraftwerke. Nach Zuschalten der großen Kraftwerke übernehmen diese sog. Blockheizkraftwerke die Deckung des Spitzenbedarfs. Sie stellen bei Störungen in den Großkraftwerken die notwendige Reserve. Die Entwicklung vollautomatischer Blockheizkraftwerke wird daher gefördert.

Die hohen Investitionskosten für den Wärmetransport und die Verteilung bestimmen im wesentlichen die Kosten und damit die Konkurrenzfähigkeit der Fernwärme. Über die bereits jetzt begonnenen Arbeiten hinaus müssen neue Wege gesucht werden, um die konventionellen Techniken des Wärmetransports und des Verlegens von Transportleitungen zu verbessern. Damit soll der Wärmetransport über größere Entfernungen verbessert werden, um die Nutzung von Wärme/ Kraft-Kopplung auch bei Kernkraftwerken ohne zusätzliche Anforderungen an die Standortplanung zu erleichtern.

Von besonderer Bedeutung im Zusammenhang mit der Fernwärmeversorgung, aber auch der Nutzung unregelmäßig verfügbarer Energiequellen wie der Sonnenenergie, ist die Langzeitspeicherung von Wärme. Bei den Entwicklungsvorhaben werden sowohl zentrale wie dezentrale Wärmespeicher untersucht.

Im Programmzeitraum ist als Versuchsvorhaben der Bau eines Wärmespeichersees mit einem Inhalt von 30 000 m3 Wasser vorgesehen. Er soll zur Untersuchung der Wärmeein- und ausgabeverfahren dienen und Grundlage für die Entscheidung über künftige größere Demonstrationsprojekte sein. Darüber hinaus werden auch die Nutzungsmöglichkeiten von abgeschlossenen unterirdischen Wasservorkommen als Langzeitwärmespeicher (Aquifer-Speicher) untersucht.

Unter dem Aspekt der Erhöhung von Wirkungsgraden thermischer Kraftwerke kommt neuen Kraftwerkskonzepten und dem Einsatz von Gasturbinen in Kombinationskraftwerken große Bedeutung zu.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	13	61	56	15

2.1.2.2 Kühlung von Wärmekraftwerken und Abwärmenutzung

Damit rund zwei Dritteln der in thermischen Kraftwerken | freigesetzten Primärenergie - außer bei Anwendung der Wärme/Kraft-Kopplung - erhebliche Energiemengen als Abwärme abgegeben werden, ist die Abwärmeproblematik heute in der Bundesrepublik Deutschland zu einer vieldiskutierten Umweltbelastung an Kraftwerksstandorten und damit zu einem wichtigen Faktor bei der Standortwahl geworden. Die heute üblichen Kühlverfahren (Frischwasser-Kühlung, Naßkühltürme) können angesichts der wachsenden ökologischen Belastungen künftig nicht mehr unbegrenzt eingesetzt werden. Umweltfreundlichen Kühlverfahren bzw. einer möglichst weitgehenden Nutzung der Abwärme kommt deshalb große Bedeutung zu.

Trockenkühltürme ermöglichen eine ökologisch günstige Abwärmeabfuhr und bieten eine größere Flexibilität bei der Standortwahl, durch die eine regionale Kumulierung von Umweltproblemen vermieden werden könnte. Der erste Trockenkühlturm großer Leistung in der Bundesrepublik Deutschland wird In Verbindung mit dem Bau des Prototyp-Hochtemperaturreaktor-Kraftwerks THTR 300 in Schmehausen errichtet.

Aussichtsreiche Möglichkeiten für die Nutzung von Kraftwerksabwärme bestehen in der Landwirtschaft. Mit Hilfe der Abwärme wird der Freilandboden erwärmt, so daß der Lichtüberschuß in den Frühjahrs- und Herbstmonaten für ein zusätzliches Pflanzenwachstum ausgenutzt werden kann. Dieses Verfahren stellt also eine neue Möglichkeit für die umweltfreundliche Kühlung von Kraftwerken dar.

Zur Untersuchung dieser Möglichkeiten wird zusammen mit der Landwirtschaftskammer Rheinland, der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau und der Industrie das Projekt AGRO-THERM durchgeführt.

In der Großversuchsanlage Neurath wird die Abwärme des Braunkohle-Kraftwerks Neurath über ein In den Boden verlegtes Rohrnetz abgeleitet, um ein Gelände von ca. 7 ha zu beheizen. In einem Meßprogramm werden der Abbau der eingebrachten Wärmemenge im Boden untersucht sowie Wärme- und Wasserbilanzen aufgestellt. Auf benachbarten unbeheizten Flächen wird ein Kontrollversuch durchgeführt. Der langjährige Großversuch wird es gestatten, die Zuverlässigkeit von Material und Komponenten zu prüfen und ggf. zu verbessern. Ergänzende Untersuchungen mit der Abwärme des Kernkraftwerks Gundremmingen sollen Aufschluss über das Verhalten des Systems AGROTHERM unter anderen Klima- und Bodenverhältnissen liefern.

Außerdem wird in der Versuchsanstalt für Gemüsebau Auweiler/Köln und in der Lehr- und Versuchsanstalt für Tierhaltung Haus Riswick ermittelt, welche Kulturen und Sorten für eine Aufzucht bei Bodenheizung mit unterschiedlichen Temperaturen geeignet sind. Die Versuche werden mit landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kulturen durchgeführt und sollen auch die Möglichkeiten des Anbaus subtropischer oder tropischer Pflanzen untersuchen.

Eine wichtige Aufgabe der rationellen Energieverwendung ist die Nutzung industrieller Abwärme. Vielfach gibt es in energieintensiven Betrieben bereits integrierte Energiesysteme, die eine mehrstufige Ausnutzung der Prozeßwärme gestatten. In vielen Fällen wird aber aus Kostengründen die Abwärme nach wie vor ungenutzt an die Umgebung abgegeben. Ein erhebliches Energieeinsparungspotential wäre durch eine Kopplung industrieller Wärmeerzeugung mit dem öffentlichen Wärmebedarf gegeben. Erste Ansätze dafür bieten die Fernwärmeschienen Ruhr und Saar.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	5	7	27	29

2.1.2.3 Erzeugung, Transport und Speicherung von Elektrizität

Unter dem allgemeinen Gesichtspunkt der rationellen Energieverwendung bei der Elektrizitätserzeugung werden die im Rahmenprogramm Energieforschung begonnenen Arbeiten zur Weiterentwicklung von Turbinen, Komponenten und Werkstoffen fortgeführt. Auch die Untersuchungen zur technischen Nutzung der Supraleitung in Generatorsystemen wurden unter diesem Aspekt begonnen. Über ihre Fortsetzung soll im Programmzeitraum auf der Grundlage der gewonnenen Erfahrungen entschieden werden.

Die Entwicklung von Brennstoffzellen, die mit Wirkungsgraden von 50-60 % Elektrizität aus Wasserstoff, Methanol oder anderen Kohlenwasserstoffverbindungen gewinnen können, zielt auf spezielle Anwendungsbereiche abseits des elektrischen Versorgungsnetzes und auf den Einsatz als Notstromaggregate im Leistungsbereich von einigen Kilowatt. Ihr Vorteil liegt in der Kombination der günstigen Transport- und Speichereigenschaften der eingesetzten Brennstoffe mit den Anwendungsvorteilen der Elektrizität. Aufgrund der mit Probeaggregaten zu sammelnden Betriebserfahrungen soll über den Umfang der weiteren Förderung dieser Entwicklungen entschieden werden.

Die zunehmende Verbrauchsdichte von elektrischer Energie in Ballungsgebieten erfordert Forschung und Entwicklung im Bereich der Hochleistungsverteilernetze. Die Untersuchungen und Versuchseinrichtungen erstrecken sich sowohl auf Freileitungen als auch auf Unterbodenkabel, wobei die SF6-Technologie, die Hochspannungsgleichstromübertragung und die Drehstromkabeltechnik dominieren. Aussichtsreich erscheinen Weiterentwicklungen der vorhandenen Übertragungstechnologien in Richtung auf Zwangskühlung herkömmlicher Kabelsysteme. Hierzu ist ein Demonstrationsversuch mit wassergekühlten Kabeln vorgesehen.

Die Weiterentwicklung von Zusatzeinrichtungen wie Schaltern, Isolationen, Kühlsystemen und Stromrichtern soll nur noch in abnehmendem Umfang gefördert werden.

Vorhaben zur Entwicklung leistungsfähiger Speicher für elektrische Energie sind von zweifacher Bedeutung: sie ermöglichen eine gleichmäßige Auslastung der Kraftwerkskapazität und erleichtern die Nutzung unregelmäßig verfügbarer Energiequellen (Sonne, Wind).

Abgesehen von bereits kommerziell eingesetzten und des-, halb nicht geförderten Pumpspeichern sowie Druck- und Wärmespeichern, die dem kurzfristigen Ausgleich von Wärme- und Generatorleistung im Kraftwerk dienen, ist die Speicherung von elektrischer Energie nur im kleinen Maßstab möglich. Bei der Weiterentwicklung der Batterietechnik wird auf die speziellen Anforderungen an Batterien für Elektrofahrzeuge besonders geachtet.

Ein interessantes Vorhaben in diesem Zusammenhang ist die Entwicklung von Natrium-Schwefel-Batterien, die hohe Energiedichten erreichen und ohne Rohstoffprobleme preiswert hergestellt werden könnten.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	16	20	25	22

2.1.3 Gase

Umweltfreundlichkeit, günstige Transport- und Speichereigenschaften sowie bequeme Handhabbarkeit geben gasförmigen Sekundärenergieträgern ein hohes Potential im Energiesystem der Zukunft. Von besonderer Bedeutung ist die gute Einsatzmöglichkeit in Verbrauchsbereichen, in denen heute das zu importierende Öl vorherrscht. Die sinnvolle Nutzung des Gasversorgungssystems der Bundesrepublik Deutschland erfordert überdies den Einsatz synthetischer Gase, sobald Erdgas nicht mehr ausreichend zur Verfügung steht. Dies gilt insbesondere für synthetisches Methan bzw. Kohlenmonoxid und Wasserstoff enthaltendes Synthesegas aus der Kohlevergasung, deren Prozeßentwicklung im Teilprogramm Kohletechnologie gefördert wird.

In diesem Rahmen werden auch Entwicklungsarbeiten zur Speicherung von flüssigem Erdgas in Kavernen gefördert.

Im Projekt „Nukleare Fernenergie“ (NFE) wird ein Verfahren untersucht, bei dem durch Kopplung einer wärmeverbrauchenden und einer wärmeabgebenden chemischen Reaktion Energie über große Entfernungen in chemisch gebundener Form transportiert wird.

Methan wird unter Einkopplung von HTR-Prozeßwärme mit Wasserdampf zu einem im wesentlichen aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff bestehenden Gasgemisch umgewandelt, das nach Abkühlung auf Umgebungstemperatur über große Entfernungen in wärmeverbrauchende Gebiete geleitet wird. Hier läuft in sog. Methanisierungsanlagen die Rekombination zu Methan unter Freisetzung der eingebrachten Prozeßwärme und Nutzung für die Strom-, Prozeßdampf- und Heizwärmeerzeugung ab. Das Methan wird in einer zweiten Leitung zum HTR zurückgeführt, wo es erneut zur Umwandlung eingesetzt wird. Bei diesem geschlossenen System wird die Nutzenergie beim Verbraucher ähnlich wie bei der elektrischen Energie ohne umweltschädigende Einflüsse freigesetzt. Gegenüber der Elektrizität liegen die möglichen Vorteile im höheren Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Primär- in Sekundärenergie sowie in der Speicherfähigkeit. Gegenüber der Fernwärme liegt das positive Potential in den günstigeren Transporteigenschaften über größere Entfernungen. Darüber hinaus kann in einem sog. offenen System ein Teil des kohlenmonoxid- und wasserstoffhaltigen Gasgemischs als Synthesegas für die chemische Industrie eingesetzt werden.

Das Projekt NFE wird gemeinsam von der KFA Jülich GmbH und der Rheinischen Braunkohlenwerke AG (RBW) bearbeitet. Seine Aufgabe ist die Erprobung eines Systems für die Methanspaltung zum Anschluß an die Im Rahmen des Projekts Nukleare Prozeßwärme (PNP) entwickelte Prototypanlage zur nuklearen Kohlevergasung, Untersuchung der Transportprobleme für die Gase und Entwicklung und Erprobung eines Systems zur Methanisierung dieser Gase für den Verbrauchsbereich.

Eine weitere Möglichkeit, einen gasförmigen Sekundärenergieträger zu gewinnen, stellt die Wasserstofferzeugung durch thermochemische oder elektrolytische Wasserspaltung dar. Wasserstoff ist ein gut zu transportierender, relativ umweltfreundlicher und speicherfähiger Sekundärenergieträger. Aufgrund dieser Eigenschaften ist er auch interessant als Speichermedium für elektrische Energie zum Ausgleich der Verbrauchsschwankungen.

Bei der Entwicklung fortschrittlicher Elektrolysekonzepte wird durch Anwendung hoher Drucke und Temperaturen eine Verbesserung des Wirkungsgrades angestrebt. Bei den thermochemischen Kreisprozessen konzentrieren sich die Forschungsbemühungen auf die Suche nach großtechnisch und kostengünstig zu realisierenden chemischen Prozessen. Eine Variante dieser Entwicklungslinien, der sogenannte Hybridprozeß, verfolgt eine Kombination beider Verfahrensrichtungen.

Die langfristige Bedeutung dieser Prozesse liegt darin, daß Wärme unmittelbar in die Prozesse eingekoppelt wird, was zu einer Verbesserung des Wirkungsgrades führt. Die Wärme könnte auch durch neue Energiequellen (z. B. Hochtemperaturreaktor oder Sonnenenergie) bereitgestellt werden.

Zur Entwicklung und Beherrschung der Wasserstofftechnologie sind noch Werkstoffprobleme, z. B. bei der Einkopplung der Prozeßwärme in die thermochemischen Kreisprozesse, zu lösen. Darüber hinaus sind Sicherheitsprobleme und Fragen der Umweltbeeinflussung zu untersuchen, wenn die Wasserstofftechnologie in großem Maßstab eingeführt werden soll.

Eine rege internationale Zusammenarbeit besteht über das europäische Energieforschungsprogramm und im Rahmen der IEA. Die Vorhaben im Bereich des direkten Forschungsprogramms der Europäischen Gemeinschaften werden in der GFS Ispra bearbeitet. Auf deutscher Seite werden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Großforschungseinrichtungen, im Hochschulbereich und in der Industrie durchgeführt.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	13	15	19	20

2.2 Kohle und andere fossile Primärenergieträger

Stein- und Braunkohle sind die einzigen Primärenergieträger, von denen die Bundesrepublik Deutschland große Lagerstätten besitzt. Die Verwendung heimischer Kohle darf deshalb nicht allein unter technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten, sondern sie muß auch unter dem Aspekt der Versorgungssicherung gesehen werden. Angesichts der großen und weltweit relativ gleichmäßig verteilten Kohlevorräte wird von der Kohle auch in vielen anderen Ländern ein wichtiger langfristiger Beitrag zur Energieversorgung erwartet, insbesondere auch zur teilweisen Deckung des substituierbaren Anteils von Erdöl und Erdgas durch Kohleumwandlung. Aus diesen Gründen wird die Kohle in unserer Energieversorgung einen bedeutenden Platz behalten müssen. Dabei wird es jedoch notwendig sein, mit Hilfe von umweltfreundlichen und kostengünstigen Umwandlungstechnologien marktgerechte Endprodukte anzubieten, die dem Bedarf nach komfortablen, leicht zu handhabenden und umweltfreundlichen Energieträgern entsprechen. Kohle hat ein hohes Veredlungspotential: die mögliche Produktpalette reicht von der elektrischen Energie über gasförmige und flüssige Energieträger und Chemierohstoffe bis zum metallurgischen Koks und zur Aktivkohle.

Zur Stromerzeugung wird man auch langfristig auf den Einsatz von Kohle nicht verzichten können. Die künftigen Kohlekraftwerke müssen aber den Forderungen des Umweltschutzes und der rationellen Energieverwendung genügen. Daher konzentrieren sich die Entwicklungsarbeiten auf neue Kraftwerkskonzeptionen, wobei eine hohe Umweltfreundlichkeit ohne zusätzliche Kostenbelastung, eine weiter verbesserte Nutzung des Brennstoffes sowie die Verringerung des Bauvolumens der Kraftwerksanlagen angestrebt werden. Insbesondere ist auch Wert darauf zu legen, daß diese neuen Konzepte eine Nutzung der Abwärme im Fernheizbereich ohne Kostenbelastung gestatten.

Die Herstellung von Brenn- und Synthesegasen aus Kohle wurde bereits in der Vergangenheit großtechnisch betrieben und in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts insbesondere in Deutschland zu einem beachtlichen technologischen Stand gebracht. Die kostengünstigen Energieträger Erdgas und Erdöl wurden aber seit den 50er Jahren sehr schnell zu überlegenen Konkurrenten für das Kohlegas. Die Erdgasreserven sind jedoch begrenzt. Die steigende Nachfrage nach gasförmigen Energieträgern wird dagegen langfristig anhalten, da dieses Produkt hinsichtlich seiner Umweltfreundlichkeit, seiner leichten Handhabbarkeit und universellen Anwendbarkeit Vorzüge genießt, die andere Energieträger nur partiell aufweisen. Dabei ist außerdem von Bedeutung, daß Gas im Vergleich zur elektrischen Energie besser speicherbar ist und deshalb in größerem Maße im Grundlastbetrieb hergestellt werden kann. Gegenüber der ausschließlichen Stromerzeugung aus Kohle kann Gas mit höherem energetischem Wirkungsgrad hergestellt sowie mit günstigeren Transportkosten verteilt werden. Die Gaserzeugung aus Kohle hat deshalb auch unter dem Gesichtspunkt der rationellen Verwendung von Energieträgern erhebliche Vorteile und stellt insbesondere im Interesse einer langfristigen Sicherstellung der Energieversorgung einen Schwerpunkt innerhalb dieses Forschungs- und Entwicklungsprogramms dar. Dabei geht es einmal um die Weiterentwicklung der bestehenden Gaserzeugungstechnologie, wobei die bisherigen Kenntnisse eine wertvolle Grundlage darstellen, zum anderen werden neue Technologien zur Kohlevergasung entwickelt, wobei auf die Gaserzeugung mit Prozeßwärme aus Kernreaktoren hinzuweisen ist. Zwar sind über die Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren heute noch keine zuverlässigen Angaben möglich, doch wird für eine künftige wirtschaftliche Nutzung die Tatsache von Bedeutung sein, daß die für die Erdgasnutzung aufgebaute Infrastruktur auch für aus Kohle gewonnene Gase benutzt werden kann.

Die Herstellung von flüssigen Produkten aus Kohle spielte während des zweiten Weltkrieges aus versorgungspolitischen Gründen eine bedeutende Rolle in Deutschland. Anlagen zur Kohleverflüssigung waren bis zum Ende des zweiten Weltkrieges in Deutschland im industriellen Maßstab in Betrieb. Ein Teil dieser Anlagen wurde nach dem Krieg für Hydrierung von Rückstandsölen zu Mittelöl und Benzin umgebaut. Diese Anlagen wurden alle bis 1963 stillgelegt, nachdem durch das Wegfallen der Hydrierpräfenz ein wirtschaftlicher Betrieb unmöglich geworden war. Seitdem sind die für Errichtung und Betrieb solcher Anlagen notwendigen Kenntnisse und Erfahrungen in der Bundesrepublik Deutschland teilweise verlorengegangen.

Die Kohleverflüssigung führt zu Produkten mit höherer Energiedichte als Kohle, die hinsichtlich Transport und Speicherung die gleichen Vorteile wie Mineralöl haben. Wenn die Kohleverflüssigungsverfahren heute auch noch nicht wirtschaftlich einsatzfähig sind, so kommt ihrer Entwicklung langfristig wegen der absehbaren Verknappung des Erdöls unter den Gesichtspunkten der Versorgungssicherheit und des Technologieexports erhebliche Bedeutung zu.

Die eisenschaffende Industrie wird zur Herstellung von Roheisen im Hochofen noch lange auf metallurgischen Koks angewiesen sein. Aus diesem Grunde sowie wegen des absehbaren weltweiten Mangels an Kokskohle ist es notwendig, neben weiteren Verbesserungen der konventionellen Kammer-Verkokung auch hier neue umweltfreundliche Verfahren zu entwickeln, die die verschiedensten Kohlequalitäten nutzen können. Einen Schwerpunkt stellt in diesem

Zusammenhang die Entwicklung kontinuierlicher Verfahren zur Herstellung von Formkoks dar, mit denen es möglich ist, aus nahezu jeder Kohle einen metallurgischen Koks zu erzeugen. Im Bereich der Braunkohle zielt die Entwicklung vorwiegend darauf ab, spezielle Kokssorten für Anwendungen In der Elektrochemie und Elektrometallurgie zu erzeugen.

Es ist zu erwarten, daß Energieträger und Chemierohstoffe aus Kohle in allen Ländern, die über Kohlevorräte verfügen, in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden, um auf längere Sicht die einseitige Abhängigkeit von den knapper werdenden Energieträgern Erdöl und Erdgas zu verringern. Die Entwicklung von Verfahren zur Kohleveredlung stellt somit nicht nur einen Beitrag zur Sicherung der Energie- und Rohstoffversorgung dar, sondern sie bietet zugleich der deutschen Industrie die Möglichkeit für den Export von know how und entsprechenden Anlagen.

Insgesamt tragen die fossilen Primärenergieträger Kohle, Erdöl und Erdgas heute mit einem Anteil von95%die Hauptlast der Weltenergieversorgung. Diese Bedeutung wird in den nächsten Jahrzehnten nur langsam abnehmen, weil einerseits fossile Energieträger - wie in der Bundesrepublik Deutschland die Kohle - von den Vorräten her noch auf lange Sicht zur Sicherung der Energieversorgung beitragen können, und andererseits Erdgas sowie namentlich Mineralölprodukte quantitativ und in vielen Anwendungsbereichen auch qualitativ schwer durch neue Energieträger und Energietechnologien zu ersetzen sind. Die Erweiterung des Angebots an allen fossilen Primärenergieträgern ist daher vor allem auch unter mittelfristigen Gesichtspunkten eine wichtige Aufgabe der F&E-Politik. Dazu bestehen folgende technische Möglichkeiten:

- Die Verbesserung der Prospektions- und Explorationsmethoden.
  Nicht nur in der Bundesrepublik Deutschland Ist man bei der Erkundung von neuen Erdöl- und Erdgaslagerstätten gezwungen, sich immer schwierigeren Problemen zuzuwenden, weil die strukturell einfachen Öl- und Gaslagerstätten schon bekannt sind. Es ist daher (auch unter dem Gesichtspunkt des Technologieexports) erforderlich, neue Prospektionsmethoden zu entwickeln, qm auch unter höherem Explorationsrisiko, z. B. in größeren Tiefen, Vorkommen an Kohlenwasserstoffen unter wirtschaftlichen Bedingungen auffinden und fördern zu können.
  Da die Bohrgeschwindigkeit beim Niederbringen von Tiefbohrungen mit zunehmender Tiefe stark abfällt, die Bohrkosten deshalb überproportional ansteigen, müssen neue, wirkungsvollere Bohrverfahren entwickelt und erprobt werden.
  Die Entwicklung neuer Methoden zur Erkundung sowohl der Kontinentalränder als auch des Meeresbodens auf hoher See wird von der Bundesregierung im Rahmen des 3. Gesamtprogramms Meeresforschung und Meerestechnik 1976-1979 gefördert. Auch die Entwicklung neuer Techniken für die Ausbeutung mariner Lagerstätten von Erdöl j und Erdgas (Offshoretechniken) ist in diesem Programm erfaßt.

- Verbesserte Nutzung der Lagerstätten.
  Bei der Erdölgewinnung verbleiben unter Anwendung der „primären“ Fördermethoden (z. B. eruptive Förderung und Förderung durch Pumpen) 75-85%, bei der Anwendung „sekundärer“ Förderungsmethoden (z. B. Druckerhöhung in der Lagerstätte durch Eindrücken von Wasser) noch 60 bis 65% des Öls In der Lagerstätte zurück. Mit diesen Förderverfahren können aus den Erdölfeldern in der Bundesrepublik Deutschland von den ursprünglich vorhandenen 760 Mio. t über die bereits geförderten 140 Mio. t hinaus noch etwa 75 Mio. t den Lagerstätten entnommen werden. Die Möglichkeit, innerhalb der Bundesrepublik Deutschland neue Vorräte an Erdöl und Erdgas zu finden, ist sehr begrenzt. Der Schlüssel zu zusätzlichen Fördermengen liegt daher in „tertiären“ Gewinnungsmethoden. So läßt sich z. B. das in die Bohrung eingepreßte Flutwasser durch chemische Zusätze so verändern, daß es in stärkerem Maße Öl aus den Gesteinsporen zu drängen vermag. Für die Bundesrepublik Deutschland können damit zusätzlich 20 bis 160 Mio. t Erdöl gewonnen werden.
  Bei Erdgaslagern in der Bundesrepublik Deutschland, bei denen oft das Trägergestein nur eine geringe Durchlässigkeit besitzt, kann durch tertiäre Fördermethoden (z. B. durch Einpressen von Wasser unter hohem Druck oder durch Sprengungen und dadurch mögliches Aufbrechen des Gesteins) die Ausbeute ebenfalls gesteigert werden.
  Auch im deutschen Steinkohlenbergbau ist der Ausbeutegrad unbefriedigend. So kann z. B. ein großer Teil der Vorräte nicht abgebaut werden, weil Kohle aus Flözen mit ungünstigen Lagerstättenverhältnissen mit den heutigen hochmechanisierten Abbauverfahren nicht wirtschaftlich gewonnen werden kann.

- Die Weiterentwicklung der Steinkohlen-Bergbautechnik.
  Der deutsche Steinkohlenbergbau hat unter dem Druck I einer langjährigen Krise einen hohen Grad der Mechanisierung und der Rationalisierung erreicht. Dadurch wurde im Vergleich zu 1957 die Förderung pro Schachtanlage verdoppelt und die Förderung pro Abbaubetriebspunkt mehr als verfünffacht.
  Eine Nebenwirkung des stark mechanisierten Abbaus sind i jedoch strenge Auswahlkriterien für die Abbauwürdigkeit von Flözen und ein verminderter Ausnutzungsgrad der Lagerstätte. Zusätz-

lich sind erhebliche Kohlevorräte durch Aufgabe und Stillegung unrentabler Schachtanlagen nicht mehr gewinnbar. Das vergrößert die Diskrepanz zwischen den vorhandenen Vorräten und den unter heutigen technischen und wirtschaftlichen Bedingungen davon abbaufähigen Mengen. Die Weiterentwicklung der Bergbautechnik gewinnt dadurch noch mehr Bedeutung.
Forschung und technologische Entwicklung müssen nach einem langjährigen durch Absatzkrise und Produktionsrücknahme bedingten Rückhang verstärkt in den Bergbau Eingang finden und zu entsprechenden Innovationen in den Kernbereichen des Bergbaubetriebes wie Vortrieb, Abbau, Logistik untertage und Aufbereitung führen.
Für die Planung des Abbaus sind genaue Kenntnisse der Lagerstätten von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Zur Erkundung der Lagerstätten, insbesondere des Vorfeldes der Abbaufront, werden geophysikalische Meßmethoden weiterentwickelt und den speziellen Bedingungen des Steinkohlengebirges angepaßt.
Wegen der besonderen Lagerstättenverhältnisse und wegen des verschiedenen betrieblichen Zuschnitts der einzelnen Schachtanlagen wurden in der Vergangenheit die anstehenden Probleme bei den verschiedenen Bergwerksgesellschaften unterschiedlich angegangen. Durch eine enge Kooperation soll eine für die Zukunft systematisierende und vereinheitlichende Entwicklung verfolgt werden.
Zu diesem Zweck sind jeweils eine größere Anzahl Einzelvorhaben zu größeren Komplexen zusammengefaßt worden. Das Vorhaben „Entwicklung von Gesamtmodellen für die Steinkohlenbergwerke der Bundesrepublik Deutschland“ z.B. soll zu einer geschlossenen Konzeption für den derzeitigen Bergwerksbetrieb untertage und übertage führen. In dem Komplex „Steinkohlenbergwerk der Zukunft“ sind die Vorhaben zusammengefaßt, die unter Berücksichtigung der zukünftigen betriebsmäßigen Bedingungen im Bergbau zu Grundlagen für neue Verfahren im Bergwerksbetrieb führen sollen.
Die Weiterentwicklung im Bergbau wird auch dazu führen, daß ein zunehmend größerer Anteil menschlicher Arbeit durch weitere Mechanisierung und Automatisierung ersetzt wird. Höhere Sicherheit und bessere Qualität der Untertagearbeitsplätze werden in der Zukunft entscheidend dazu beitragen müssen, daß die Steinkohle in der Bundesrepublik Deutschland auch weiterhin als wichtiger Energieträger zur Verfügung steht.
Die Verfahren zur Erschließung und Gewinnung der deutschen Braunkohlevorräte sind hochentwickelt und bedürfen für einen weiteren Fortschritt keiner staatlichen Förderung.

– Die Nutzung von Ölschiefern.

In Ölschiefern liegen weltweit große Vorräte an Kohlenwasserstoffen vor. Die aus oberflächennahen Lagerstätten in der Bundesrepublik Deutschland gewinnbare Energie wird auf 50-100 Mio. t SKE geschätzt. Die im Gestein eingelagerten organischen Substanzen liefern bei Schwelung ein Schieferöl, aus dem flüssige Brennstoffe (Benzin und Heizöl), synthetisches Gas und zahlreiche für die chemische Industrie wichtige Nebenprodukte gewonnen werden können. Aufgrund des geringen Heizwertes (z. B. pro t ca. 0,15 t SKE für das reichhaltigste Vorkommen in der Bundesrepublik Deutschland) bedarf es optimaler Verfahrenstechniken, um Ölschiefer unter wirtschaftlichen Bedingungen nutzbar machen zu können.

2.2.1 Kohletechnologie

2.2.1.1 Elektrizitätserzeugung aus Kohle

Die konventionelle Kraftwerkstechnologie hat infolge der intensiven Entwicklungstätigkeit der Kraftwerkshersteller einen hohen Stand erreicht. Die derzeitigen Entwicklungsaktivitäten richten sich kurzfristig auf Maßnahmen zur wirtschaftlichen und technischen Bestgestaltung von Anlagenteilen und die Verwertung der Asche im Baustoffsektor. Im Bereich der konventionellen Steinkohleverstromung liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung und Erprobung von wirtschaftlich tragbaren Verfahren zur Rauchgasentschwefelung einschließlich der Entsorgung der Endprodukte dieser Verfahren.

Langfristig ist jedoch die Entwicklung neuer Verfahren zur Stromerzeugung aus Kohle anzustreben, wobei die Schwefelfreiheit der Rauchgase als wesentliche Voraussetzung der Umweltfreundlichkeit bereits durch die Prozeßführung erreicht werden soll. Außerdem ist es notwendig, die Bauausmaße zu reduzieren, um damit eine Senkung der spezifischen Investitionskosten herbeizuführen. Darüber hinaus muß für die Erhöhung des Wirkungsgrades und damit einer besseren Nutzung des Einsatzbrennstoffes Sorge getragen werden, wobei sich gleichzeitig geringere auf die elektrische Leistung bezogene Emissionen ergeben. Schließlich sollten die neuen Konzeptionen in kleinen Ausführungen einsetzbar sein, damit sie auch zur dezentralen Strom- und Heizwärmeversorgung in Siedlungsgebieten einsetzbar sind.

Größtes Einzelprojekt zur Entwicklung moderner Kohlekraftwerke ist die Optimierung einer 170-MWe-Prototypanlage in Lünen, die mit einer Lurgi-Kohledruckvergasung (KDV) arbeitet. Ziel dieses Kraftwerkskonzeptes ist neben der umweltfreundlichen Verstromung der Kohle die Steigerung des | Wirkungsgrades durch den Einsatz eines integrierten Gas/ Dampfturbinenprozesses. Zusätzlich wird für diesen Kraftwerkstyp erwartet, daß sich die

spezifischen Anlagekosten gegenüber konventionellen Steinkohlekraftwerken vermindern und die Entfernung des Schwefels in Form von HaS unter Druck im unmittelbaren Anschluß an die Vergasung Vorteile gegenüber der Rauchgasentschwefelung bringt. Das KDV-Projekt wird mit Abschluß der Entwicklungsarbeiten einen technischen Reifegrad erreicht haben, der für die nächste Entwicklungsstufe einen weiteren Einsatz öffentlicher Mittel nicht mehr notwendig machen sollte. Die Entwicklung und Verbesserung von Komponenten für diesen Kraftwerksprozeß wird vom Land Nordrhein-Westfalen gefördert.

Beim Kohleumwandlungsverfahren der Vereinigten Elektrizitätswerke Westfalen (VEW) soll durch Entgasung und Teilvergasung der Kohle vor der Verbrennung eine optimale Schwefelreduzierung erreicht werden. Erste Ergebnisse von Untersuchungen im Labor- und Technikumsmaßstab zeigen, dass die Entschwefelung des entstehenden Gases ausreicht, um den derzeitigen Anforderungen des Umweltschutzes für die Gesamtanlage zu entsprechen. Diese Ergebnisse sind die Grundlage für die Auslegung einer geplanten Versuchsanlage.

Erfolgversprechend für die umweltfreundliche Direktverbrennung der Kohle ist die Entwicklung der Wirbelschichtfeuerung. Sie ermöglicht bei Druckbetrieb eine sehr kompakte Bauweise. Außerdem werden wegen der niedrigen Verbrennungstemperatur die Stickoxidemissionen erheblich reduziert. Durch den Zusatz von Kalkstein ist eine einfache und 62 kostengünstige Entschwefelung bereits im Verbrennungsraum erreichbar. Schließlich kann man auch hier eine Gasturbine nachschalten.

Es ist geplant, eine Prototypanlage zu bauen und im Langzeitbetrieb die Einsatzmöglichkeit von Gasturbinen zu testen. Gleichlaufend dazu wird in einem gemeinsamen Programm der Internationalen Energie-Agentur (IEA) unter Beteiligung der Bundesrepublik Deutschland eine Versuchsanlage gebaut, in der die Dampferzeugung zum Betrieb einer Dampfturbine erprobt und optimiert werden soll. Beide Programme sind so aufeinander abgestimmt, daß mit minimalem Zeit- und Kostenaufwand ein wirbelschichtgefeuertes Gas-/Dampfturbinenkraftwerkskonzept entwickelt wird.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	40	70	145	79

2.2.1.2 Gaserzeugung aus Kohle

Aus Stein- und Braunkohle können unter Verwendung geeigneter Vergasungsmittel (Sauerstoff, Luft, Wasser) unter Zufuhr von Wärme Gase erzeugt werden. Die Zusammensetzung der Produktgase, die im wesentlichen aus Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Methan bestehen, kann durch Verfahrensführung und Nachbehandlung in weiten Grenzen geändert und den Anforderungen der Verbraucher angepaßt werden. Alle existierenden großtechnischen Verfahren arbeiten autotherm, d. h. die notwendige Wärme wird durch die Verbrennung eines Teils der Einsatzkohle selbst erzeugt. In der Entwicklung sind auch Verfahren, in denen die Wärme aus Hochtemperaturkernreaktoren eingesetzt werden soll.

Wegen der zunehmenden Bedeutung der Kohlevergasungstechnik müssen die im Konzept vorhandenen Verfahren weiterentwickelt werden, um die Leistung der Anlagen zu erhöhen und den Einsatz verschiedener Kohlesorten zu ermöglichen.

Das Lurgi-Druckvergasungsverfahren, bei dem stückige Kohle eingesetzt wird, wird technisch weltweit seit einigen Jahrzehnten genutzt. Es soll vor allem in der geplanten Versuchsanlage in Dorsten weiterentwickelt werden (Druck- und Leistungssteigerung, Einsatz von Kohle mit erhöhtem Gehalt an Feinkohle, Rohgasspaltung und Rohgaskonvertierung).

Steinkohle fällt bei den modernen Abbaumethoden überwiegend feinkörnig an. Das spricht für die Entwicklung der Kohlestaubvergasungsverfahren:

- Koppers-Totzek-Verfahren
- Saarberg-Otto-Generator
- Texaco-Verfahren.

Außerdem erscheint es angebracht, kostengünstige Verfahren zur Kompaktierung von Feinkohle zu entwickeln, um diese dann in Festbettgeneratoren einsetzen zu können.

Das Koppers-Trotzek-Verfahren zur Kohlevergasung unter Druck wird von der Industrie ohne öffentliche Förderung entwickelt.

An der Saar wird ein Saarberg-Otto-Generator gebaut, der bei einem Druck von 30 bar betrieben werden soll. Er stellt an die Einsatzkohle keine besonderen Anforderungen. Bei der Entwicklung sind noch einige verfahrenstechnische Probleme zu lösen.

Der Texaco-Prozeß unterscheidet sich in der Verfahrensführung in wesentlichen Punkten vom Saarberg-Otto-Generator. Er soll bei einem Druck um 40 bar arbeiten. Außerdem wird die Kohle nicht trocken, sondern als Kohle-Wasser- Gemisch eingebracht. Das bringt zwar verfahrenstechnische Vorteile, aber die Qualitätsanforderungen an den eingesetzten Kohlestaub sind höher als beim Saarberg-Otto-Vergaser.

Zur Gaserzeugung aus feinkörniger Braunkohle ist seit langem das drucklos arbeitende Winklerverfahren großtechnisch erprobt. Durch Zusatz von Kal-

kstein wird eine direkte Entschwefelung sowie die Anwendung höherer Temperaturen und Drucke ermöglicht. Dieses Verfahren wird vornehmlich entwickelt, um Reduktionsgas zu erzeugen, das ohne Abkühlung im Hochofen oder zur Direktreduktion eingesetzt werden kann.

Bei allen bisher beschriebenen Verfahren muß die für den Prozeß notwendige Energie durch Verbrennung eines Teiles der Einsatzkohle gedeckt werden. Die Entwicklung des Hochtemperaturreaktors eröffnet die Möglichkeit, diese Energie durch nukleare Prozeßwärme zu substituieren. Daraus ergeben sich höhere Gasausbeuten bezogen auf die eingesetzte Kohle und damit eine Streckung der Kohlevorräte. Diesen Vorhaben kommt auch deshalb besondere Bedeutung zu, weil die auf das Produktgas bezogenen Emissionen und die Gestehungskosten nach den bisher durchgeführten Kostenschätzungen geringer sind als bei den konventionellen Kohlevergasungsverfahren. Die bei der Kopplung einer großtechnischen Versuchsanlage mit einem Hochtemperaturreaktor auftretenden verfahrenstechnischen Probleme und die Werkstofffragen bergen ein hohes Entwicklungsrisiko und erfordern deshalb bedeutende finanzielle Aufwendungen. Z.Z. sind eine halbtechnische Anlage hydrierenden Kohlevergasung und eine halbtechnische Anlage zur Wasserdampfvergasung von Kohle in Betrieb. Sie haben eine Kapazität von je etwa 51 Kohledurchsatz pro Tag.

Die nächste Entwicklungsstufe der Versuchsanlagen zur Kohlevergasung mit Hilfe nuklearer Prozeßwärme werden Pilotanlagen sein, die einen Durchsatz von 50-1001 pro Tag haben werden. Der Bau dieser Pilotanlagen hängt sowohl von der Lösung der verfahrenstechnischen Probleme im halbtechnischen Maßstab als auch von der Weiterentwicklung des Hochtemperaturreaktors ab.

Die vielfältigen zur Zeit untersuchten Kohlevergasungsverfahren sollen so weit entwickelt werden, daß unter den Gesichtspunkten der Wirtschaftlichkeit und der möglichst breiten Einsatzmöglichkeiten die optimalen Verfahren ausgewählt werden können. Die heute schon betriebenen Demonstrationsanlagen werden in der nächsten Stufe die kommerzielle Reife erreichen. Der Einsatz öffentlicher Mittel wird im gleichen Maße zurückgehen müssen, wie die Entwicklungsrisiken verringert werden.

Die Vorhaben zur Gaserzeugung aus Kohle werden fast ausschließlich in der Industrie durchgeführt.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	41	46	46	49

2.2.1.3 Kohleverflüssigung

Bei der Kohleverflüssigung kann in Deutschland an wissenschaftliche und technische Erfahrungen früherer Jahre angeknüpft werden. Abgesehen von Pyrolyseprozessen (Schwelung, Verkokung), bei denen Flüssigprodukte nur in geringerem Umfang gewonnen werden, gibt es zwei Verfahrenswege zur Erzeugung flüssiger Produkte aus Kohle: einmal die direkte Hydrierung der Einsatzkohle, zum anderen die Vergasung zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff mit anschließender Synthese zu flüssigen Produkten (Fischer- Tropsch-Synthese). Beide Verfahrenswege wurden bis 1945 in Deutschland großtechnisch angewandt. Nach 1945 wurden bis 1962 in umgebauten Anlagen zur Kohlehydrierung in den Werken Gelsenberg, Scholven und Wesseling Crack- und Destillationsrückstände aus Erdöl zu leichteren Fraktionen umgewandelt. Auch die Fischer-Tropsch-Synthese wurde bis zu dieser Zeit im Werk Bergkamen der Schering AG durchgeführt. Obwohl spezielle Arbeiten in der Bundesrepublik Deutschland nach dem Kriege nur in begrenztem Umfang an Hochschulen und in industriellen Forschungslabors weitergeführt wurden, sind doch wesentliche neue Erkenntnisse über den physikalischen und chemischen Aufbau der Kohle und die Wirkungsweise und Aktivität von Katalysatoren gewonnen worden. Außerdem hat die chemische Verfahrenstechnik erhebliche Fortschritte gemacht, die bei den gegenwärtigen Bemühungen zur Kohleverflüssigung nutzbringend eingesetzt werden können.

Die Fischer-Tropsch-Synthese wird z. Z. noch großtechnisch in Südafrika durchgeführt. Diese Anlage, die Mitte der 50er Jahre im wesentlichen mit deutschen Kenntnissen und Erfahrungen errichtet worden ist, kann wegen der dort gültigen wirtschaftlichen Voraussetzung (äußerst niedriger Kohlepreis und hohe Mineralölpreise) kommerziell betrieben werden. Sie ist schwerpunktmäßig auf die Produktion von Vergaserkraftstoffen ausgelegt, wobei noch eine große Zahl von Nebenprodukten anfällt. Die Vergrößerung der Anlage bis auf das Zehnfache der gegenwärtigen Kapazität ist 1975 in Auftrag gegeben worden.

In der Bundesrepublik Deutschland werden von einigen Industrieunternehmen und Hochschulinstituten Entwicklungsarbeiten an der Fischer-Tropsch-Synthese durchgeführt. Hauptziel dieser Arbeiten ist die Entwicklung Verbesserter Katalysatoren.

Mit einem Forschungsprogramm der Saarbergwerke AG wird die zweistufige Hydrierung der Steinkohle untersucht. Dieses Programm ist auf die Erweiterung der Rohstoffbasis von Raffinerien durch Einbeziehung der Steinkohle ausgerichtet. Die Voruntersuchungen im Labor sollen dazu führen, daß in der nächsten Phase eine Versuchsanlage mit einem Koh-

ledurchsatz von 3 Tonnen pro Tag errichtet werden kann, die auf den Erfahrungen beruht, die mit dem erfolgreichen Betrieb einer Anlage für 250 kg Kohle/Tag dort gewonnen wurden.

Die Bergbau-Forschung GmbH in Essen führt ein Laboratoriumsprogramm zur Hydrierung von Steinkohle durch. Aufbauend auf den Erfahrungen bei der Hydrierung und Filtration von Teeren und Pechen sowie den neueren Erkenntnissen der chemischen Struktur von Steinkohlen wird z. Z. eine Versuchsanlage mit einem Durchsatz von 250 kg Kohle/Tag betrieben. Diese Versuchsanlage erlaubt die einstufige Hydrierung der Steinkohle sowohl zu schweren als auch zu mittleren Ölen.

Mit diesen Versuchsanlagen wird der Anschluß an die frühere deutsche Hydriertechnik unter Berücksichtigung des verfahrenstechnischen Fortschritts sowie der neueren Erkenntnisse in der Werkstofftechnik und in der Meß- und Regeltechnik gesucht. Ferner laufen Untersuchungen sowohl über die wirtschaftlichen Möglichkeiten der Kohleverflüssigung als auch über eine Ausbaustrategie für entsprechende Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland. Die Anlage bei der Bergbauforschung und die Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der Kohleverflüssigung werden vom Land Nordrhein-Westfalen gefördert.

Die Firmengruppe Ruhrkohle AG/Steag ist an einem Vorprojekt zu einer Kohleverflüssigungsanlage in den USA beteiligt. Bei erfolgreicher Durchführung des Vorprojektes ist eine Beteiligung am Bau und Betrieb einer Demonstrationsanlage vorgesehen. Für diese Beteiligung wurden von der Bundesregierung 60 Millionen DM bereitgestellt. Dadurch sollen die in den USA bereits vorliegenden Erfahrungen für die Entwicklung eigener Anlagen genutzt werden. Produktionsziel ist die Herstellung eines schweren, Schwefel- und aschearmen Kohleöls für den Einsatz in Kraftwerken. Entsprechend der Beteiligung an der Produktionsanlage besteht eine Option auf die Produkte.

Die Ruhrkohle AG und die STEAG AG beabsichtigen, eine Großversuchsanlage mit einer Kohleproduktion von 200 t/Tag zu errichten. Die Projektierung dieser Anlage ist im Gange. Das Vorhaben soll von der Landesregierung Nordrhein-Westfalen gefördert werden.

Die Erkenntnisse aus den Voruntersuchungen zur Kohleverflüssigung sollen die Konzentration auf je ein Verfahren der beiden möglichen Entwicklungslinien ermöglichen und zum Bau von ein oder zwei Pilotanlagen führen.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	7	9	37	66

2.2.1.4 Kokserzeugung und Direktverbrennung

Angesichts der Tatsache, daß etwa 40% der Steinkohleproduktion heute in der Bundesrepublik Deutschland zur Herstellung von metallurgischem Koks eingesetzt werden, ist dieser Bereich für den deutschen Steinkohlenbergbau von eminenter Bedeutung. Der Hochofenkoks wird sich durch andere Reduktionsmittel auch langfristig wohl kaum gleichwertig ersetzen lassen, da er sich durch gute Stückigkeit, Druck- und Abriebfestigkeit auch bei hohen Temperaturen auszeichnet und deshalb für die Verwendung im Hochofenprozeß besonders gut geeignet ist. Die Entwicklungstätigkeit insbesondere im Bereich der Bergbau-Forschung GmbH richtet sich deshalb zunächst auf die Verbesserung des konventionellen Horizontalkammerverfahrens, die mit Mitteln des Bundes und von der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl gefördert wird.

Bei der Bergbau-Forschung GmbH wird ein in Zusammenarbeit mit Lurgi entwickeltes Verfahren weiterentwickelt, mit dem es möglich ist, im Gegensatz zum Horizontalkammerverfahren in kontinuierlicher Arbeitsweise einen Formkoks auf breitester Kohlebasis herzustellen. Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in seiner kontinuierlichen Arbeitsweise, seiner hohen Flexibilität beim An- und Abfahrvorgang, Wärmeausnutzung und Umweltfreundlichkeit. Der gesamte Prozeß der Formkokserzeugung läuft in einem völlig abgeschlossenen System ab, so daß Dampf- und Staubemissionen nicht auftreten. Einer der beachtenswertesten Vorteile besteht aber in der Tatsache, daß 70% der Einsatzkohle aus einer beliebigen Kohle bestehen können, während nur 30% eine hinreichende Backfähigkeit aufweisen müssen. Damit erfolgt eine Verbreiterung der Kokskohlenbasis auf bisher nicht verkokbare Kohlen. Diese Technik ist deshalb nicht nur für die Bundesrepublik Deutschland, sondern auch für alle die Länder von Interesse, die keine Kohkskohle besitzen. Aus diesem Grunde ist die Förderung dieses Verfahrens nicht nur im Hinblick auf eine umweltfreundlichere und energiesparendere Technologie, sondern auch für die Exportwirtschaft interessant. Diese Entwicklung wird vom BMFT und vom Land Nordrhein-Westfalen gefördert.

Kostenschätzung und Finanzierung der Formkoksanlage Prosper

Kosten (Mio. DM)		Finanzierung (Mio. DM)	
Phase I (Aufbau, 1971-1974)			
		Firmenmittel	9
Investitionen	23	Zuwendung Land NW	11
Betriebskosten	3	Zuwendung BMFT	6
	26		26
Phase II (dreijähriger Versuchsbetrieb)			
Investitionen (Modifikationen)	5	Firmenmittel	9
Betriebskosten	45	Zuwendung BMFT	16
		Erlöse	22
	47		47

Ein ähnliches Verfahren, das jedoch im wesentlichen auf den Einsatz von niederflüchtigen Kohlen abzielt, ist das sogenannte Ancit-Verfahren, das schon in einer kleineren Einheit mit einem Kohledurchsatz von 250 t/Tag kommerziell arbeitet.

Neben den Arbeiten zur Erzeugung von Formkoks aus Stein- | kohle werden ähnliche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auch auf seiten der Braunkohle durchgeführt. Aufbauend auf Laboratoriumsuntersuchungen, die von der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl finanziert wurden, ist von der Rheinischen Braunkohlenwerke AG eine Versuchsverkokungsanlage mit einer Kapazität von ca. 5 t Kohlenstoff/Tag errichtet worden. Diese Anlage dient der Optimierung des Verkokungsverlaufes und der Herstellung von Formkoksprodukten für verschiedene Anwendungsbereiche, 1 insbesondere für elektro-metallurgische und elektrochemische Verfahren. In diesen Bereichen ist Formkoks aus Braunkohle aufgrund seiner hohen Reaktivität, seines hohen I elektrischen spezifischen Widerstandes und seines niedrigen Schwefelgehaltes gut einsetzbar.

Die Förderung von Verfahren zur Formkokserzeugung wird eng mit den im Rahmenprogramm Rohstofforschung vorgesehenen Arbeiten zur Verbreiterung der Basis von festen Reduktionsmitteln für die metallurgische Technik abgestimmt.

Zur Wärmeversorgung von Haushalten und Kleinverbrauchern wird Kohle nur noch in geringem Umfang eingesetzt.

Zur Versorgung von Wohnbezirken über eine Fernwärmeversorgung kann Kohle jedoch weiterhin eingesetzt werden, ohne die Komfortansprüche der Verbraucher zu beeinträchtigen. Hierbei wird in vielen Fällen direkt Heizöl ersetzt. Um E die Kohle wirtschaftlich konkurrenzfähig zu machen, müssen vollautomatisch arbeitende Kesselanlagen entwickelt werden. Dadurch läßt sich der bei kohlegefeuerten Anlagen beträchtliche Lohnkostenanteil erheblich vermindern. Mit einer besonderen Entwicklung zur Verbrennung von Anthrazitstaub soll es möglich werden, Zentralheizungsanlagen mit einem Komfort zu versorgen, der dem ölgefeuerter Anlagen entspricht.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	12	19	19	24

2.2.2 Erschließung, Gewinnung und Aufbereitung von Steinkohle

2.2.2.1 Vortriebs- und Abbausysteme; logistische Systeme

Die Weiterentwicklung und Erprobung neuer Vortriebssysteme zielt auf eine durchgreifende Erhöhung der Vortriebsleistung. Dadurch wird es in Zukunft möglich werden, neue Lagerstättenbereiche schneller und wirtschaftlicher aufzuschließen. Der Vortrieb soll hierzu durch Einsatz von Voll- und Teilschnittmaschinen weiter mechanisiert und ein reibungsloses Ineinandergreifen der Teilarbeitsvorgänge Lösen und Räumen des Gesteins mit den notwendigen Ausbauarbeiten erreicht werden. Diese Entwicklungen dienen nicht zuletzt der Erleichterung der Arbeit und der Erhöhung der Sicherheit der Vortriebsmannschaften.

Ein weiteres Vorhaben ist die Entwicklung neuer Abbautechniken. Neue Verbundausrüstungen für den Kohleabbau haben das Ziel, die maschinellen Einrichtungen und Verfahren für Kohlegewinnung, Strebförderung und Strebausbau trotz wechselnder Anforderungen durch unterschiedliche Flözlagerung und Gebirgsverhältnisse weiter zu integrieren und hierfür neue Systeme zu entwickeln.

Besondere Schwierigkeiten bereitet der kritische Übergangsbereich vom Streb zur Strecke, einer vom Gebirgs- druck übermäßig beanspruchten Zone, in der sich zwangsläufig eine Vielzahl von Betriebseinrichtungen und Arbeitsvorgängen räumlich konzentriert und zeitlich überlagert. Das bedeutet extrem schwierige Arbeitsbedingungen und erhöhte Unfallgefahr. Ziel der F&E-Vorhaben ist es, die Betriebseinrichtungen und Arbeitsvorgänge in diesem Bereich f besser aufeinander abzustimmen und dafür geeignete neue maschinelle Einrichtungen zu konzipieren und zu erproben.

Bedeutsamstes Einzelprojekt ist die Entwicklung einer Abbauausrüstung für den Einsatz in sehr mächtigen Flözen. Mit der Weiterentwicklung des Schildausbaus soll die Kohlegewinnung auch unter

tektonisch schwierigen Verhältnissen ermöglicht werden.

Für die Kohlevorräte in geneigter Lagerung, die z. Z. nur unterproportional genutzt werden können, sollen neue Möglichkeiten des leistungsfähigen Abbaus gesucht werden. Mit der Umstellung einer ganzen Schachtanlage auf Hydrobergbau soll in Deutschland erstmalig für stark geneigte und steile Lagerung eine erfolgversprechende Technik im Betriebsmaßstab erprobt werden. Dieses Verfahren, bei dem die Kohle durch Einsatz einer Wasserkanone gewonnen und zugleich gefördert wird, verspricht eine Senkung der Förderkosten und ermöglicht den Abbau mechanisch nicht oder nur sehr schwer zugänglicher Flöze in steiler Lagerung. Die Bedeutung dieses Vorhabens liegt somit wesentlich in der Erhöhung des abbauwürdigen Anteils der Lagerstätte.

In Zukunft wird der Bergbau in größere Tiefen Vordringen müssen. Die Beherrschung des Gebirgsdruckes wird damit immer schwieriger und die Gefahr von Gebirgsschlägen immer größer. Die Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet sind deshalb nicht nur aus wirtschaftlichen, sondern insbesondere aus sicherheitstechnischen Gründen von Bedeutung.

Die logistischen Systeme untertage müssen mit den erhöhten Abbauleistungen im Gewinnungsbetrieb Schritt halten. Für den Transport der Kohle über Bandstraßen und mit Zugbetrieb werden automatische Steueranlagen entwickelt und erprobt.

Durch zunehmend größere Bergwerksanlagen wird neben der Produktförderung auch die Bewältigung des Transports von Personen und Material zu einem technischen Problem. Mit unterschiedlichen und auf den Zuschnitt der Gruben abstellenden Geräte- und Verfahrensentwicklungen wie Gleislosfahrzeugen, Sesselbahnen in ansteigenden Strecken und der vollautomatischen pneumatischen Förderung staubförmiger Güter sollen sie gelöst werden.

Zur verbesserten Planung und Steuerung der Bergwerksbetriebe werden Planungsmodelle als veränderbare Nachbildungen der Betriebe und des Arbeitsablaufs entwickelt. Im Rahmen dieser Planungsmodelle sollen mit Prozessrechnern Betriebsdaten direkt erfasst werden, um übertage jederzeit ein aktuelles Bild über alle betrieblich-relevanten Daten wie z. B. Wetter, Klima, Ausgasung in der Grube zu erhalten. Eine wesentliche Verbesserung der Grundlagen für die bergmännische Planung soll durch die Schaffung einer Lagerstättendatenbank erreicht werden. Diese läßt auch erwarten, daß die Herstellung des „bergmännischen Rißwerkes“ (Karten und Pläne für bergmännische Zwecke) vereinfacht und verbessert werden kann.

Beiträge zur Wirtschaftlichkeit des Bergwerksbetriebes werden von der Errichtung einer Prozeßüberwachung des unter- tägigen Maschinenparks, der Stillstandsaufnahme und -analyse sowie langfristig von der zentralen Prozeßsteuerung erwartet.

Bei diesen Entwicklungen spielt die Verbesserung der Arbeitsbedingungen eine wichtige Rolle. Vorhaben, die sich überwiegend mit Verbesserung der Arbeitsbedingungen unter Tage befassen, sind ein wichtiger Teil des Programms zur Humanisierung der Arbeitswelt.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	56	119	144	118

2.2.2.2 Aufbereitung

Durch die hochmechanisierten Verfahren zur Kohlegewinnung und -förderung haben sich die Eigenschaften der Rohkohle verschlechtert. Die Anlagen übertage müssen deshalb für die Aufbereitung von Kohle mit erhöhtem Wassergehalt und hohem Feinstkornanteil angepaßt werden.

Mit einer Verbesserung der Verfahrenstechnik und der Anwendung moderner Meß- und Regeltechnik in der Steinkohleaufbereitung sollen die Kosten des Übertagebetriebs vermindert und eine Anpassung der Produkte an die Marktverhältnisse erreicht werden. Der zumindest teilweisen Abtrennung des in der Kohle enthaltenen mineralischen Schwefels in der Aufbereitungsanlage kommt in diesem Zusammenhang große Bedeutung zu.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	9	11	17	25

2.2.2.3 Untertagevergasung

Als langfristige Forschungsvorhaben werden Verfahren erkundet, die den Kohleabbau untertage ohne Einsatz menschlicher Arbeitskraft bei weitgehender Ausnutzung der vorhandenen Kohlelagerstätten ermöglichen sollen. Hierfür sind mikrobiologischer Abbau, chemische Zerkleinerung, Vergasung und Verflüssigung von Kohle untertage denkbar. Von diesen Verfahren bietet die Untertagevergasung am ehesten die Möglichkeit einer Realisierung. Sie wurde deshalb als Ansatzpunkt solcher langfristiger Entwicklungsarbeiten aufgegriffen. Die Untertagevergasung läßt vor allem auch die Nutzung von Flözen erhoffen, die ansonsten nicht wirtschaftlich abbaubar sind und kann insoweit zu einer besseren Nutzung unserer Kohlereserven führen.

Zur Untertagevergasung wurden in der Sowjetunion und in den Vereinigten Staaten bereits umfangreiche

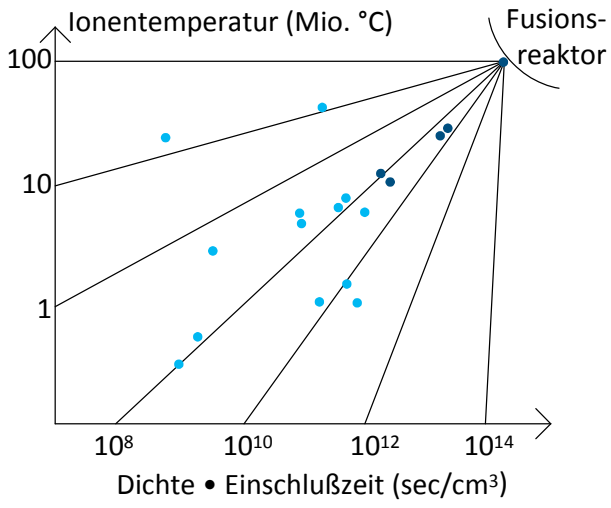


Abb. 2.3./1: Stand der Experimente in Bezug auf Ionentemperatur und Plasmadichte. Plasmaelnschlußzelt, im Vergleich zu den Minimalbedingungen für einen Fusionsreaktor (Lawson-Diagramm). (Experimente (hell) im Betrieb , (dunkel) im Bau oder in der Planung)

Vorarbeiten unternommen. Da für die Erfolgschancen die speziellen Lagerstättenbedingungen von ausschlaggebender Bedeutung sind, ist es notwendig, auf deutsche Bedingungen abstellende Laboruntersuchungen und Feldversuche zur Untertagevergasung vorzunehmen. Auch in Belgien wurde die Untersuchung der Untertagevergasung in den letzten Jahren aufgegriffen. Im Hinblick auf die Gleichartigkeit der Interessen und geologischen Bedingungen wurde im Jahre 1976 zwischen dem Königreich Belgien und der Bundesrepublik Deutschland ein Zusammenarbeitsvertrag geschlossen. Er sieht eine enge Abstimmung bei der technischen Entwicklung und die gemeinsame Durchführung von Feldversuchen vor.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	3	3	5	9

2.2.3 Prospektion und Gewinnung von Erdöl und Erdgas

2.2.3.1 Prospektion auf Erdöl und Erdgas

Mit den Methoden der angewandten Geophysik kann man Strukturbilder des Untergrundes bis in Tiefen von 6 bis 8 km erhalten. Seismische Methoden nehmen dabei eine hervorragende Stellung ein. Zur Aufklärung von Grobstrukturen im tiefen Untergrund wurden gravimetrische Methoden (Schwerefeldmessungen) und magnetische Methoden (Magnetik, Magnetotellurik) mit Erfolg eingesetzt.

Durch die Anwendung geochemischer Methoden und den Einsatz von in der Isotopentechnik entwickelten Meßverfahren können die Erfolgschancen für die Exploration auf Kohlenwasserstoffe weiter erhöht werden. Zur Verbesserung der angewandten organisch-chemischen Explorationsmethoden wurden zwei Arbeitsgruppen eingerichtet, deren Arbeitsprogramme fachlich und inhaltlich aufeinander abgestimmt sind:

- die Programmgruppe „Erdöl und organische Geochemie“ bei der KFA und
- eine Arbeitsgruppe der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover.

Zur Weiterentwicklung der Prospektionsmethoden werden Arbeiten in folgenden Bereichen gefördert:

- direkte Erkennung von Kohlenwasserstoffen und Erkundung der Lithologie mit seismischen Verfahren.
- Feldverfahren und Interpretationsverfahren.
- dreidimensionale Meß- und Darstellungsverfahren.
- Magnetotellurische Untersuchung tiefer Schichten.
- neue Tiefbohrtechniken.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	10	16	14	12

2.2.3.2 Förderung von Erdöl und Erdgas

Der Entölungsgrad einer Lagerstätte hängt entscheidend vom Mobilitätsverhältnis der Gas/Flüssigphasen innerhalb der Porenräume der Lagerstättengesteine sowie von der Grenzflächenspannung ab, die an der Phasengrenze herrscht. Die geförderten F&E-Vorhaben konzentrieren sich deshalb auf die Entwicklung geeigneter chemischer Zusätze für das Flutwasser, um eine Erniedrigung der Grenzflächenspannung Wasser/Öl und eine Erhöhung der Viskosität des Flutwassers zu erreichen.

Die Wirkung dieser Verfahren kann durch Erwärmung des gefluteten Mediums verstärkt werden. Im Labormaßstab werden Untersuchungen zum Tensidfluten, Polymerfluten und Viskosenfluten durchgeführt.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	2	2	3	7

2.2.3.3 Ölschiefer

Die derzeitigen Arbeiten zur Nutzung von Ölschiefer in der Bundesrepublik Deutschland konzentrieren sich auf zwei Vorkommen, deren großtechnische Nutzung am ehesten möglich erscheint. Sollte sich

die technisch mögliche Gewinnung des Schieferöls auch wirtschaftlich durchführen lassen, könnten damit die sicheren Erdölvorräte der Bundesrepublik Deutschland etwa verdoppelt werden.

Z. Z. werden in halbtechnischen Anlagen Schwelversuche durchgeführt, um geeignete Verfahren zur Gewinnung des Schieferöls zu ermitteln. Besondere Bedeutung haben dabei autotherme Verfahren. Untersuchungen zur Vermeidung von Umweltbelastungen sind in die Vorhaben einbezogen.

Die Untersuchungen zur technischen und wirtschaftlichen Bewertung der Ölschiefervorkommen in der Bundesrepublik Deutschland werden bis Anfang 1978 laufen.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	2	2	2	3

2.3 Neue Energiequellen

Die Erkenntnis, daß die heute vorherrschenden Energiequellen - Erdöl, Erdgas und Kohle - in absehbarer Zukunft nicht mehr zur Deckung des Weltenergiebedarfs ausreichen, führte dazu, daß die Erschließung neuer Energiequellen seit I langem eines der wichtigsten Ziele der anwendungsorientierten Forschung ist. Mit der Entwicklung der Kernspaltungstechnik hat die Forschung ihren ersten großen Beitrag zur Lösung dieses Problems geleistet. Seit mehr als zwanzig Jahren verfolgt die Kernenergieforschung auch den Weg, die Bindungsenergie der Atomkerne nicht nur durch die Spaltung schwerer Kerne wie Uran oder Plutonium, sondern auch durch die kontrollierte Verschmelzung leichter Kerne, der Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium, nutzbar zu machen. Die Forschungsarbeiten zur kontrollierten Kernfusion konzentrierten sich bisher auf die Untersuchung der physikalischen Verhältnisse und Abläufe beim Einschluß sehr heißer und dichter Plasmen, wie sie für kontrolliert ablaufende Fusionsreaktionen erforderlich sind. Hier sind noch wesentliche physikalische und technische Grundlagenprobleme zu lösen. In Zukunft müssen jedoch gleichzeitig auch die außerordentlich schwierigen Materialprobleme untersucht werden.

Unter den verschiedenen anderen Möglichkeiten, in technischen Prozessen natürliche Vorräte und Vorgänge für die Energieversorgung nutzbar zu machen, konzentriert sich die Forschung heute auf diejenigen Energiequellen, von denen unter annehmbaren ökonomischen und ökologischen Bedingungen Beiträge zur Energieversorgung erwartet werden können. Dabei steht trotz der kurzen Zeit der Entwicklungsarbeiten die direkte Sonnenenergienutzung im Vordergrund des Interesses. Besonders aussichtsreich ist dabei in Mitteleuropa die Nutzung der Sonnenenergie zur Bereitstellung von Wärme, zunächst zur Warmwasserversorgung und in einem weiteren Schritt auch zur dezentralen Heizwärmeversorgung von Gebäuden. Bei der Umwandlung in Elektrizität (entweder mit Hilfe von Fotozellen, die in der Weltraumforschung erfolgreich eingesetzt werden, oder über thermische Umwandlung) sind die Aussichten für eine wirtschaftliche Nutzung in Mitteleuropa gering, das Potential für Anwendungen zu speziellen Zwecken oder in anderen Regionen mit höheren Einstrahlungsdichten jedoch beachtlich.

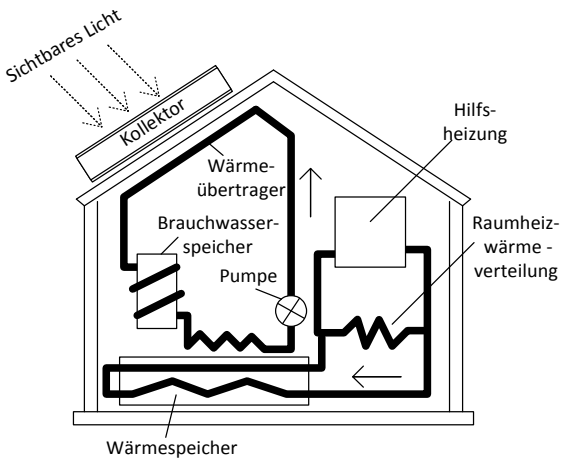


Abb. 2.3./2: Nutzung von Sonnenenergie zur Brauchwasser- und Heizwasserbereitung.

Bei den Verfahren zur Energiegewinnung aus Wind, Laufwasser, Wellen, Gezeiten oder Erdwärme konzentrierten sich die Arbeiten zunächst auf die Ermittlung des technisch und wirtschaftlich nutzbaren Potentials sowie geeigneter Umwandlungsverfahren. Für die Nutzung einiger dieser Energiequellen wie z. B. dem Wind wurden bereits technische Verfahren entwickelt.

Bei allen Entwicklungen neuer Energiequellen müssen von Anfang an Untersuchungen über zu erwartende Umweltbeeinflussung durchgeführt werden.

2.3.1 Kontrollierte Kernfusion

Die Kernfusion könnte eine ähnlich ergiebige Energiequelle wie die Brutreaktoren erschließen. Das eröffnet langfristig eine Chance für die Energieversorgung, insbesondere für die Zeit nach dem Jahre 2000, wenn es gelingt, die komplizierten physikalischen und technischen Probleme zu lösen. Neben der Erschließung großer Brennstoffvorräte (Deuterium aus Wasser, Tritium über Neutronenreaktionen aus Lithium) bieten Fusionsreaktoren die Aussicht, das radioaktive Inventar der Reaktoranlagen gegenüber dem der Spaltungsreaktoren zu verringern, obwohl die Strukturmaterialien des Fusionsreaktors durch den hohen Fluß energiereicher Neutronen in starkem Maße aktiviert und große Mengen von radioak-

tivem Tritium umgesetzt werden. Aus diesen Gründen werden auf jeden Fall auch bei Fusionsreaktoren schwierige, zum Teil neuartige Sicherheits- und Umweltschutzprobleme zu lösen sein.

Fusionsreaktoren werden ähnlich wie Leichtwasser- und Brutreaktoren zur Elektrizitätserzeugung eingesetzt werden. Da sie dabei ebenso wie die heutigen Leichtwasserreaktoren nur relativ niedrige Wirkungsgrade erreichen, zugleich aber in großen Blockeinheiten gebaut werden müssen, stellt sich hier auch das Problem der Abwärmebelastung der Kraftwerksumgebung bzw. einer sinnvollen Abwärmenutzung.

Forschungsarbeiten zur kontrollierten Kernfusion werden seit etwa 20 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland und in anderen hochindustrialisierten Ländern durchgeführt. Die Arbeiten konzentrieren sich auf die Einschließung heißer, dichter Plasmen für hinreichend lange Zeit. In den nächsten Jahren wird der Schwerpunkt der Arbeiten zur kontrollierten Kernfusion in der Fortführung großer Plasma-Einschließungsexperimente und im Studium der zugrundeliegenden Plasmavorgänge liegen müssen. Ziel der Untersuchungen ist zunächst der Nachweis einer positiven Energiebilanz bei kontrolliert ablaufenden Fusionsreaktionen. In Zukunft werden sich die Arbeiten in verstärktem Umfang auf die Untersuchung technologischer Probleme verlagern.

Nach dem jetzigen Stand der Entwicklung ist mit der Errichtung eines größeren Versuchsreaktors nicht vor dem Jahr 2000 zu rechnen. Die wirtschaftliche Nutzung der Fusionsenergie wird in diesem Jahrhundert nicht zu erreichen sein.

Arbeiten zur kontrollierten Kernfusion werden vor allem im IPP, in der KFA sowie der GfK durchgeführt. Hier konzentrieren sich mehr als 95% aller deutschen Aktivitäten - mit einem deutlichen Schwerpunkt im IPP. Zwischen den deutschen Instituten und entsprechenden Einrichtungen anderer Mitgliedstaaten von EURATOM besteht eine langjährige enge Kooperation, die durch Assoziationsverträge geregelt ist. Einige Hochschulen bearbeiten plasmaphysikalische Grundlagenprobleme im Zusammenhang mit den Forschungsprogrammen der genannten Zentren. Die DFG hat seit 1975 ein Schwerpunktprogramm „Fusionsorientierte Plasmaphysik“ eingerichtet.

Fusionsorientierte Plasmaforschung

Wichtigstes Ziel der fusionsorientierten Plasmaforschung bleibt es auch während Laufzeit dieses Programms, den stabilen Einschluß von dichten Hochtemperaturplasmen durch Magnetfelder zu erreichen. Zur fortschreitenden Annäherung an die hinsichtlich lonentemperatur, Dichte und Einschlusszeit für einen Fusionsreaktor erforderlichen Bedingungen (das sogenannte Lawson-Kriterium, Abb. 2.3/1) werden die künftigen Experimentiereinrichtungen die bisher vorhandenen an Größe immer mehr übertreffen. Dabei ist zu beachten, daß die Lawson-Kurve eine physikalische Grenzkurve ist und keine Grenzkurve für den wirtschaftlichen Betrieb von Fusionreaktoren.

Die Fusionsforschung verfolgt hinsichtlich der Realisierung der Plasmabedingungen und Einschlußverfahren noch mehrere verschiedene Verfahren. In zunehmendem Maße findet jedoch eine Konzentration auf die derzeit aussichtsreichste Linie, die Tokamaklinie statt.

Bei der Tokamakanordnung stellt der „Joint European Torus“ (JET), dessen Bau als gemeinsames Projekt der Europäischen Gemeinschaft für die Jahre 1977-1980 geplant ist, | das zentrale Experiment im Programmzeitraum dar. Dieses Vorhaben wird voraussichtlich ebenso wie ähnliche Experimente in den USA und der UdSSR in die Nähe der für einen Fusionsreaktor erforderlichen Plasmabedingungen kommen.

Die Möglichkeiten der Anwendung starker, gepulster Laser nicht nur in der Plasmadiagnostik, sondern vor allem auch zur Erzeugung fusionsfähiger Plasmen, sollen weiter verfolgt und genutzt werden.

Weitere Arbeiten befassen sich außerdem mit dem Problem der Plasma-Wand-Wechselwirkung, deren Verständnis sowohl für die Beherrschung des Plasmaeinschlusses als auch später für die Konstruktion von Reaktoren von Bedeutung sein wird.

Fusionsreaktoren

Aufbauend auf dem Memorandum zur Technologie des Fusionsreaktors, das im Jahre 1973 aufgestellt wurde, bearbeiten IPP und KFA zusammen mit GfK und HMI auch technologische Fragestellungen. Hierbei handelt es sich zunächst um Arbeiten, die zur Lösung technologischer Probleme bei der nächsten Generation von Experimentieranlagen der fusionsorientierten Plasmaforschung erforderlich sind.

Da neben physikalischen Fragen auch eine Reihe von wesentlichen technologischen Problemen über Erfolg oder Mißerfolg der Fusionsreaktorentwicklung entscheiden, werden auch technologische Arbeiten entsprechend ihrer Wichtigkeit zur Lösung noch offener kritischer Fragen verstärkt ' aufgegriffen. Aus heutiger Sicht sind dies insbesondere folgende Problemkreise: Materialfragen der ersten Wand, Brennstoffzu- und -abfuhr, Supraleitung, Sicherheitsfragen. Eine sinnvolle Prioritätensetzung dieser Arbeiten erscheint nur im Rahmen eines Gesamtkonzeptes für die Entwicklung eines Fusionsreaktors möglich. Des-

halb wird der Schwerpunkt der Arbeiten zur Fusionsreaktortechnologie zunächst auf der Erarbeitung dieses Gesamtkonzeptes liegen. In gewissem Umfang können sich auch Industrieunternehmen an den Vorhaben der Fusionsreaktortechnologie beteiligen.

Im internationalen Rahmen sollen die bestehenden Assoziationsverträge mit EURATOM fortgeführt werden. Die Kooperation wurde über die Europäischen Gemeinschaften hinaus im Rahmen der IEA ausgeweitet. Im Mai 1976 wurde ein Zusammenarbeitsabkommen zwischen EURATOM und Schweden auf dem Gebiet der Kernfusion und der Plasmaphysik unterzeichnet. Ein ähnliches Kooperationsabkommen ist mit der Schweiz vorgesehen.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	71	75	92	95

2.3.2 Sonnenenergie

Die Sonnenenergie hat langfristig die großen Vorteile, nicht an Ressourcen der Erde gebunden zu sein und keine zusätzliche Wärme- oder Schadstoffbelastung der Erde, sondern nur eine regionale Veränderung der Energiebilanz zu verursachen. Die auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland eingestrahlte Energiemenge entspricht etwa dem 80-fachen des derzeitigen Primärenergieeinsatzes. Nur ein geringer Teil davon ist unter den derzeit absehbaren technisch-wirtschaftlichen Bedingungen nutzbar.

Die wichtigsten Randbedingungen für die technische Nutzung sind

- die geringe Energiedichte der Sonnenstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland (max. etwa 1000 Watt/m2, im Jahresmittel ca. 110 Watt/m2)
- die Schwankungen der Energiedarbietung je nach Tageszeit, Wetter und Jahreszeit, die im wesentlichen entgegengesetzt zu den Energiebedarfsschwankungen laufen.

Aus dem zweiten Grund ist die Sonnenenergieforschung eng mit anderen Bereichen der Energietechnik, vor allem der Entwicklung leistungsfähiger Langzeitspeicher für Wärme und Elektrizität verbunden.

Sonnenenergie kann technisch genutzt werden durch

- fotothermale Konversion zur Wärmeversorgung
- fotovoltaische oder fotothermale Konversion zur Elektrizitätserzeugung
- biologische und chemische Konversion zur Erzeugung von Kohlenwasserstoffen
- fotolytische Konversion zur Wasserstofferzeugung.

Thermische Nutzung

Die einfachste Umwandlungsform solarer Strahlungsenergie ist Wärme auf einem Temperaturniveau bis zu 100° C. Diese Niedertemperatur-Wärme kann zur Brauchwasserbereitung und zu Hausheizungszwecken, also im größten Energieverbrauchsbereich, verwendet werden. Ein technisches System zur Umwandlung von Solarenergie in Niedertemperaturwärme zeigt Abb. 2.3/2.

Als Voraussetzung für die Markteinführung von Niedertemperatur-Kollektorsystemen sind folgende Maßnahmen notwendig:

- Komponentenentwicklung (Kollektoren, Speicher etc.)
- Erprobung von Systemen und Einzeltechniken
- Demonstration der Funktionsfähigkeit
- Nachweis der Wirtschaftlichkeit.

Durch die nach dem Rahmenprogramm Energieforschung 1974-1977 eingeleiteten F&E-Maßnahmen konnten in allen vier Bereichen wesentliche Fortschritte erzielt werden. Zur s Erprobung der entwickelten Komponenten werden Demonstrationsprojekte gefördert. Hervorzuheben sind hier insbesondere die Experimentierhäuser in Aachen und Essen sowie ein Großprojekt (Schwimmbadheizung) in Wiehl.

Vorbereitung der Markteinführung solarer Heizungssysteme muß eine technische und kostenmäßige Optimierung erfolgen. Hierzu gehört die Ermittlung der günstigsten Werkstoffe und Isolationsmaßnahmen, auch im Hinblick auf die Gewährleistung einer ausreichenden Lebensdauer der Anlagen. Darüber hinaus ist zur Leistungssteigerung von Kollektorsystemen eine verstärkte Forschung für selektive Kollektorbeschichtungen sowie Untersuchungen auf dem Gebiet des Systemverhaltens erforderlich.

F&E-Projekte auf dem Gebiet der Speicherung zielen auf die Bereitstellung möglichst kompakter, kostengünstiger und wartungsarmer Mittel- und Langzeitspeicher. Der Mangel an ausgereiften Speichern stellt das Hauptproblem bei der Nutzung der Sonnenenergie zur Raumheizung dar.

Da für die Brauchwasserbereitung das Speicherproblem nicht von gleicher Bedeutung ist, kann man davon ausgehen, daß innerhalb der nächsten Jahre die wirtschaftliche Reife solarer Warmwasserbereitungsanlagen erreicht werden kann. Ein Erfolg dieser Entwicklungen wäre angesichts der schlechten Wirkungsgrade von Ölheizungen bei der Brauchwasserbereitung in den Sonnenmonaten energie- und umweltpolitisch von erheblicher Bedeutung.

Für solare Hausheizungssysteme liegt das Schwergewicht der F&E-Aktivitäten in den Bereichen

- technische und wirtschaftliche Integration der entwickelten Speicher in das System „Hausheizung“
- Entwicklung und Optimierung von Hybridsystemen, bei denen ein Teil des Wärmebedarfs durch herkömmliche Heizungen gedeckt wird,
- Entwicklung von Heizungssystemen mit möglichst geringer Vorlauftemperatur.

Mit der fortschreitenden Entwicklung soll die Integration solarer Nutzungssysteme in die bestehende Haustechnik und Architektur demonstriert werden. Versuchsanlagen und Demonstrationsobjekte sollen auch zum Vergleich unterschiedlicher Kollektoren und Speicher herangezogen werden oder dem Nachweis der Qualifikation eines Prototyps zur Markteinführung dienen.

Zur Vorbereitung der Markteinführung werden Systemstudien durchgeführt, die Aufschluß über die Chancen solarer Warmwasser- und Hausheizungssysteme geben und die damit verbundenen volkswirtschaftlichen Auswirkungen, insbesondere bezüglich der Energiebilanz, abschätzen sollen.

Auf dem Gebiet der konzentrierenden Kollektoren (Spiegel, Linsen) zur Bereitstellung von Prozeßwärme mittlerer und hoher Temperatur wird weiterhin grundlegende Forschungsarbeit geleistet werden müssen. Die Aussichten für die Nutzung dieser Kollektoren, die anders als ebene Niedrigtemperatur-Kollektoren praktisch nicht auf die diffuse Himmelsstrahlung ansprechen, sind angesichts der bei uns vorherrschenden meteorologischen Bedingungen (nur ca. 1600 Stunden Sonnenschein pro Jahr) ungünstig. Deshalb liegt der Schwerpunkt der angewandten Forschung mehr Technologien für den Einsatz in sonnenreichen Ländern der Erde, insbesondere auch in Entwicklungsländern.

Elektrische Nutzung

Die Umwandlung von Sonnenenergie in Elektrizität kann entweder direkt über photovoltaische Prozesse oder indirekt über thermische Prozesse erfolgen. In beiden Fällen sind die Anlagenkosten noch viel zu hoch für einen wirtschaftlichen Betrieb in der Bundesrepublik Deutschland. Außerdem ist wegen des niedrigen Wirkungsgrades der Flächenbedarf für Sonnenkraftwerke nach beiden Verfahren sehr groß. In der Bundesrepublik Deutschland würde ein Kraftwerk mittlerer Leistung (1000 MWe) bei der durchschnittlichen Einstrahlungsdichte von 110 Watt/m^2 und bei einem Umwandlungswirkungsgrad von 10% eine Fläche von etwa 100km^2 benötigen. Das entspricht etwa 25% der Fläche von West-Berlin. In einem relativ dichtbesiedelten und sonnenarmen Land wie der Bundesrepublik Deutschland ist die Anwendung dieser Technologie deshalb wenig aussichtsreich. Ihr kommt im Vergleich zur Umwandlung in Wärme auch deshalb geringere Bedeutung zu, weil der Wärmebedarf bei weitem höher als der Elektrizitätsbedarf ist. Die F&E-Arbeiten auf diesem Gebiet zielen daher gegenwärtig hauptsächlich auf die Entwicklung kleinerer Anlagen, die in sonnenreichen Gebieten der Erde zur dezentralen Energieversorgung eingesetzt werden können.

Im europäischen und darüber hinausgehenden internationalen Rahmen kann langfristig jedoch an die Erstellung großer Sonnenkraftwerke (z. B. im Mittelmeerraum) gedacht werden, die durch die Erzeugung eines transportablen Sekundärenergieträgers (z. B. Wasserstoff) einen Teil des Energiebedarfs Europas decken könnten.

Die direkte Umwandlung von Sonnenstrahlung in elektrische Energie geschieht mit Hilfe von Fotozellen, die bisher nur für sehr spezielle Anwendungsgebiete, z. B. in der Raumfahrt, eingesetzt werden. Silizium-Einkristall-Zellen erreichen Wirkungsgrade von 10-15%, Kadmiumsulfid-Zellen solche um 5%. Zur Entwicklung neuerer Zellentypen(Galliumarsenid, polykristalline Siliziumzellen ect.) sind noch umfangreiche Forschungen erforderlich. Da die gegenwärtigen Marktpreise aller bisher bekannter Solarzellen um mehrere Größenordnungen über denen vergleichbarer Energieumwandlungssysteme liegen, ist vor allem die Entwicklung von neuen Basismaterialien und kostensparenden Produktionsverfahren von ausschlaggebender Bedeutung. Erste Erfolge auf diesem Weg sind bereits zu verzeichnen.

Die indirekte Umwandlung der Sonnenenergie in Elektrizität kann in solarthermischen Kraftwerken sowohl über Niedertemperatur- als auch über Hochtemperaturkollektoren erfolgen. Niedertemperaturkollektoren benötigen zwar keine konzentrierenden Elemente, müssen jedoch für den Antrieb der Turbine mit niedrigsiedenden Flüssigkeiten arbeiten. Konzentrierende Kollektoren mit Nachführsystemen ermöglichen zwar die Anwendung herkömmlicher Wasserdampfprozesse oder der aus der Brutreaktorentwicklung bekannten Natriumtechnologie, lassen sich wirtschaftlich sinnvoll jedoch nur in Regionen mit relativ geringem Anteil an diffuser Himmelsstrahlung einsetzen. Die einzelnen Komponenten beider Umwandlungssysteme werden in der Bundesrepublik Deutschland entwickelt. Ihre Kombination zu Systemen, die zu Pumpzwecken bzw. zur Stromerzeugung eingesetzt werden können, soll danach unter Optimierung bezüglich der Herstellungskosten, des Wartungsbedarfs, der Lebensdauer und der Möglichkeit der Eigenproduktion in geeigneten Ländern durchgeführt werden.

Biologische und chemische Nutzung

Grundsätzlich ist eine Nutzung der Sonnenenergie mit Hilfe der Fotosynthese möglich. Durch Fermentierung, Pyrolyse, chemischer Reduktionsverfahren oder einfache Verbrennung des biologischen Materials kann die über Fotosyntheseprozesse gebundene solare Strahlenenergie zu einem geringen Teil wieder freigesetzt bzw. in Form von Wasserstoff oder Methan zur Verfügung gestellt werden. Der Wirkungsgrad der Fotosynthese liegt jedoch unter 1%. Für rein energetische Zwecke ist der Anbau von Pflanzen z. Z. nicht sinnvoll. Neben Energieaspekten muß die Gewinnung von Nährstoffen und anderen Koppelprodukten berücksichtigt und in entsprechenden Forschungsvorhaben näher untersucht werden.

Übergreifende Maßnahmen

Um die Markteinführung der Solartechnologien zu erleichtern, ist eine Reihe ergänzender Maßnahmen erforderlich, vor allem die Erstellung von Installationsrichtlinien für Auswahl und Montage solarer Systeme, von entsprechenden Wärmedämmungsvorschriften und von Richtlinien baurechtlicher Art (Ausrichtung von Gebäuden, Dachneigung, Abschattung durch Neubauten usw.).

Um alle Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben sinnvoll auswerten zu können, strebt die Bundesregierung den Ausbau eines Netzes von Meßstationen mit zentraler Erfassung und Auswertung von meteorologischen und technischen Daten an. Die stationären Meßstationen werden dabei von mobilen Einheiten unterstützt. Die F&E-Vorhaben werden von systemanalytischen Untersuchen begleitet.

Die internationale Zusammenarbeit bei der Nutzung der Sonnenenergie ist sowohl bilateral (Ägypten, Australien, Indien, Israel) als auch multilateral in vielfältiger Weise angelaufen. Sonnenenergie ist ein Teil des Energieforschungsprogramms der Europäischen Gemeinschaften. Das Programm sieht während seiner Laufzeit von 1975-1979 insgesamt Mittel von rund 17,5 Mio. Rechnungseinheiten vor; sie verteilen sich auf sechs Teilvorhaben.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	23	32	57	57

2.3.3 Andere nichtfossile nichtnukleare Energiequellen

Neben den bisher behandelten fossilen und nuklearen Energiequellen sowie der Sonnenenergie bietet die Natur noch eine große Zahl von Möglichkeiten, Vorgänge oder Ressourcen in technischen Prozessen nutzbar zu machen und dabei zumindest vom theoretischen Potential her gesehen einen Beitrag zur Energieversorgung zu leisten. Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand sind darunter nur Windenergie und geothermische Energie in der Bundesrepublik Deutschland in begrenztem Umfang nutzbar. Um aber auch bei den anderen theoretisch nutzbaren Energiequellen den Fortschritt der Erkenntnisse zu fördern und eine umfassende Information über den jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik in der Welt sicherzustellen, beteiligt sich die Bundesrepublik Deutschland an internationalen Forschungsprogrammen auf fast allen Gebieten. Die Bundesregierung wird sich insbesondere auch an internationalen Projekten beteiligen, die im Rahmen der IEA geplant sind.

2.3.3.1 Windenergie

Der Wind gehört zu den Energiequellen, die der Mensch zur Fortbewegung (Segelschiffe) und zur Arbeitserleichterung (Pumpwerke, Getreidemühlen) seit Jahrtausenden nutzt. Wind läßt sich direkt und verhältnismäßig einfach in mechanisch nutzbare Energie umwandeln. Preisgünstige fossile Brennstoffe verdrängten die Windenergie jedoch zunehmend, wobei der große Nachteil der Windenergie, ihre lokal und zeitlich stark schwankende Verfügbarkeit, eine große Rolle gespielt hat. Angesichts des verhältnismäßig großen theoretischen Potentials der Windenergie besteht heute wieder ein wachsendes Interesse an Technologien zu ihrer wirtschaftlichen Nutzung. Von der Windenergie sind jedoch nur dann nennenswerte Beiträge zur Energieversorgung zu erwarten, wenn entweder leistungsfähige Energiespeicher zur Verfügung stehen oder wenn es gelingt, Windkraft-Verbundanlagen in die bestehende Energieversorgungsstruktur zu integrieren.

Für den Einsatz von Windenergieanlagen in der Praxis sind folgende Leistungsbereiche ins Auge zu fassen:

- Anlagen mit einer Leistung bis 100 kW zur dezentralen Energieversorgung, vorzugsweise in entlegenen Gebieten. Hier wird die Windenergie voraussichtlich am ehesten wirtschaftlich konkurrenzfähig sein, vor allem, wenn auf konstanten Energiefluß und damit auf den Einsatz von Energiespeichern verzichtet werden kann.
- Größere Anlagen mit einer Leistung von 100 kW bis in den MW-Bereich für die Einspeisung in Versorgungsnetze, die die zeitlichen Schwankungen ausgleichen können oder für den Betrieb von Pumpspeicherwerken und Druckluftspeichern.

An diesen Einsatzmöglichkeiten haben sich F&E-Arbeiten bei der Weiterentwicklung und Verbesserung bekannter Anlagenkonzepte sowie der Untersuchung neuer Entwicklungslinien zu orientieren. Da der Energieertrag einer Windkraftanlage stark von der Windgeschwindigkeit abhängt, ist für den wirtschaftlichen Betrieb solcher Anlagen eine optimale

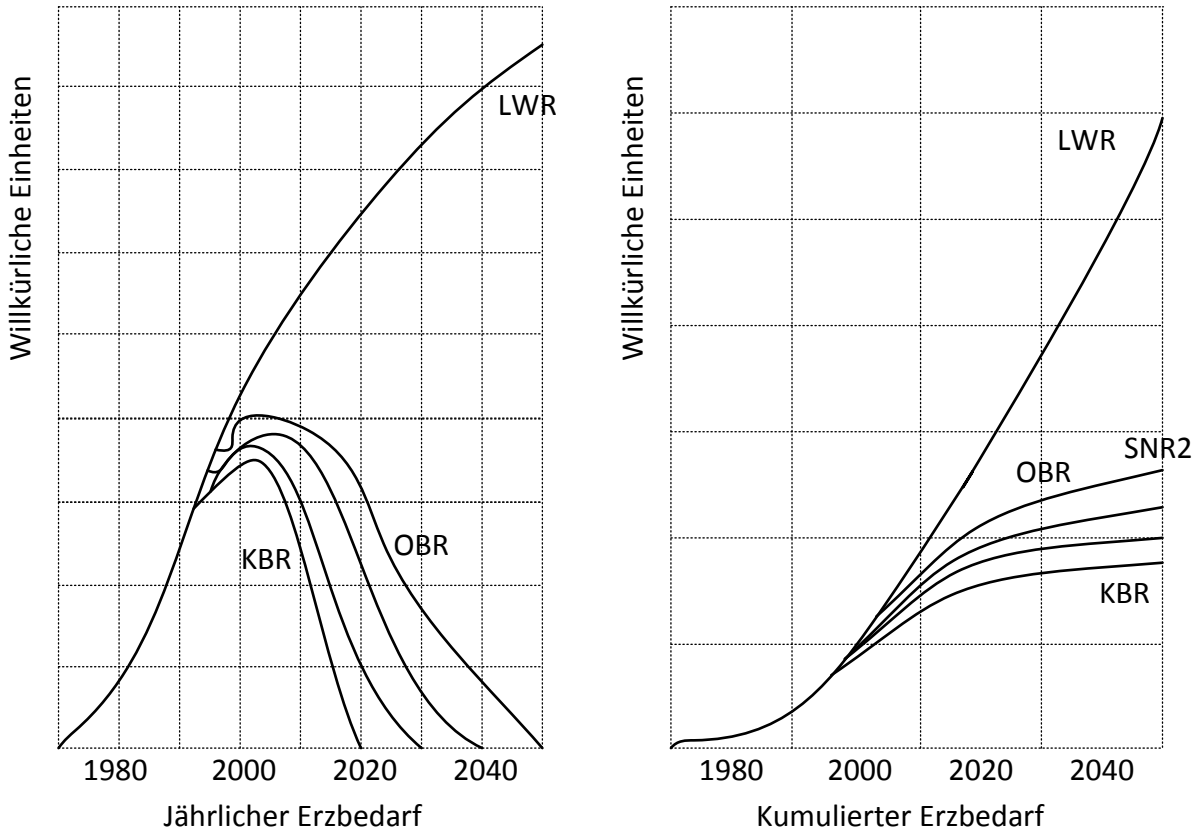


Abb. 2.4/1:: Vergleich des Natururanbedarfs für LWR-Nutzung und für Nutzung von SBR mit LWR für einen angenommenen Verlauf des Elektrizitätsverbrauchs zwischen 1980 und 2050.
OBR: oxidische Brennelemente
KBR: karbidische Brennelemente

Anpassung an den vorgesehenen Standort erforderlich. Die z. Z. verfügbaren meteorologischen Daten müssen daher entsprechend aufbereitet und ergänzt werden, um präzise Angaben über das Windenergieangebot zu erhalten. An diesen Zielvorstellungen orientieren sich die laufenden F&E-Vorhaben

- Erfassung und Aufbereitung von Windenergiedaten für technische Anwendungen
- Untersuchungen zur wirtschaftlichen Anwendung von Windkraftanlagen kleiner Leistung
- Untersuchungen zur wirtschaftlichen Produktion von Windkraftanlagen großer Leistung und deren Einbeziehung in bestehende Energieversorgungsstrukturen.

Künftige Arbeiten dienen der Entwicklung kostengünstiger, einfacher und wartungsarmer Kleinanlagen sowie deren Verbund mit anderen Energiearten sowie Untersuchungen über größere Anlagen (unter anderem im Verbundbetrieb mit anderen Kraftwerken).

Die Bundesregierung beabsichtigt, sich im Rahmen der IEA an internationalen Projekten zu beteiligen. Die IEA hat sich dabei folgende Aufgaben gestellt:

- Ermittlung von Größe und Verteilung des Windenergieaufkommens
- Bestimmung der wichtigsten Anwendungsbereiche
- Abschätzung der möglichen Versorgungsbeiträge bis zum Jahr 2020
- Ausarbeitung von Empfehlungen für F&E-Vorhaben.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	5	10	14	24

2.3.3.2 Geothermische Energie

Die Nutzungsmöglichkeit der geothermischen Energie ist durch Wirtschaftlichkeit und Umweltprobleme der einzelnen Verfahren bestimmt. Ausreichende Temperaturniveaus (ca. 200°C) liegen in der Regel erst in sehr großen Tiefen (6000 m) vor. Ihre Erschließung ist wegen der hohen Bohrkosten unwirt-

schaftlich. Eine Ausnahme bilden sogenannte geothermische Anomalien, bei denen schon in geringer Tiefe ein relativ hohes Temperaturniveau vorliegt. Zudem ist die Entnahme geothermischer Energie nur möglich, wenn heißes Wasser oder Wasserdampf im Untergrund vorhanden ist. Darüber hinaus muß der Untergrund genügend durchlässig sein, damit diese Flüssigkeiten den Wärmeinhalt beim Durchdringen des Gesteins aufnehmen und transportieren können. Solche geologischen Verhältnisse sind lokal begrenzt und nur vereinzelt anzutreffen. Zur Zeit wird geothermische Energie in Island, Italien, Kalifornien und Neuseeland zur Elektrizitätsversorgung (weltweit ca. 1000 MWe) und Wärmeversorgung (weltweit ca. 5000 MW) genutzt. In der Bundesrepublik Deutschland wird wegen der niedrigen Temperatur und des daraus folgenden schlechten Wirkungsgrades bei der Elektrizitätserzeugung Erdwärme voraussichtlich nur zu Heizzwecken eingesetzt werden können.

Als alternative Möglichkeit bietet sich das sogenannte „hot-dry-rock-Verfahrens“ an, das zur Zeit in den USA verfolgt wird. Hierbei wird das heiße Gestein im Untergrund durch Sprengungen oder Einpressen von Wasser künstlich gebrochen und an den so entstehenden Spaltflächen Dampf erzeugt. Dieser wird über eine zweite Bohrung entnommen.

Wegen der sehr begrenzten Vorkommen an Heißwasservorräten könnte die geothermische Energie in der Bundesrepublik Deutschland nur mit Hilfe des „hot-dry-rock-Verfahrens“ einen fühlbaren Beitrag zur Energieversorgung leisten. Die Aktivitäten

- Sammlung geothermischer Daten
- geothermische Prospektion und Exploration sowie
- Erprobung neuer Prospektionsverfahren

dienen dazu, zunächst die geothermischen Verhältnisse innerhalb der Bundesrepublik Deutschland zu erkunden und die Möglichkeit der Nutzung der Erdwärme auszuloten.

Zur Beurteilung der geothermischen Energie müssen auch die Umwelt- und Sicherheitsprobleme untersucht werden, die mit dem Entzug von Wasser und Wärme aus dem Untergrund und mit den Verunreinigungen des Wassers verbunden sind.

Zur Entwicklung von Technologien zur Nutzung der Wärme heißer Gesteinsschichten beteiligt sich die Bundesrepublik Deutschland am „hot-dry-rock-Projekt“ in den USA und an einem Programm der IEA mit den Teilprojekten

- Abschätzung geothermischer Ressourcen
- Abschätzung der Umweltprobleme
- Technologische Entwicklungen für nichtelektrische Anwendung
- „hot-dry-rock-Verfahren"
- kleine elektrische Kraftwerke.

Darüber hinaus dient der Forschung und Entwicklung der geothermischen Energie ein Teilprogramm des Energieforschungsprogramms der Europäischen Gemeinschaften. Das Programm umfaßt für die Jahre 1975-1978 folgende Projektbereiche

- Zusammenstellung der geothermischen Daten
- Verbesserung der Explorationsmethoden
- Nutzung von Heißwasservorkommen
- Technologie der Dampfvorkommen (hohe Enthalpie)
- Ausbildung von Spezialisten.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	2	9	11	17

2.3.3.3 Sonstige nichtfossile nichtnukleare Energiequellen

Bei den übrigen Möglichkeiten, neue Energiequellen zu erschließen, handelt es sich überwiegend um die Nutzung von Vorgängen im Meer, Die in der Bundesrepublik Deutschland für diese Energiequellen schon aus geographischen Gründen geringen Potentiale rechtfertigen keine eigenständigen Entwicklungsprogramme. Um auf allen diesen Gebieten aber stets umfassend und aktuell unterrichtet zu sein und ggf. durch einzelne Beiträge zum Fortschritt der Technik auch auf diesen Gebieten beitragen zu können, beteiligt sich die Bundesrepublik Deutschland an mehreren internationalen Programmen, vor allem im Rahmen der Internationalen Energieagentur. Dabei handelt es sich vor allem um

- Gezeitenenergie
- Wellenenergie
- Gradienten des Salzgehaltes der Ozeane
- Gradienten der Temperatur der Ozeane
- Meeresströmungen.

Die gemeinsamen Vorhaben umfassen in allen Bereichen:

- Ermittlung von Größe und Vorkommen der Energieressourcen
- wirtschaftlich-technische Bewertung von Konzepten für die Energiegewinnung aus diesen Energiequellen
- Abschätzung des möglichen Beitrages zur Energieversorgung bis zum Jahr 2000
- Empfehlungen über gemeinsame F&E-Projekte.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	2	2	3	5

2.4 Kernenergie

ln den letzten Jahren haben Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren (LWR) in großen Leistungseinheiten den Durchbruch zur technischen und wirtschaftlichen Reife erreicht, i Dadurch ist es möglich geworden, neben Kohle, Erdöl und Erdgas auch die Kernenergie zur Sicherung unserer Energieversorgung heranzuziehen. Auftragsvergabe und Betrieb von Kernkraftwerken erfolgen durch die Elektrizitätsversorgungsunternehmen nach marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten. Es ist Aufgabe des Staates, dafür zu sorgen, daß durch die breite Nutzung dieser neuen Technologien keine unzumutbaren Gefährdungen für die Bevölkerung eintreten. Aus diesem Grund werden von den Genehmigungsbehörden für Bau und Betrieb von Kernkraftwerken strenge Sicherheitsauflagen gemacht. Um die dazu nötigen Kenntnisse zu vertiefen und die Sicherheitstechnik weiter zu entwickeln, werden-wissenschaftliche und technische Untersuchungen durchgeführt. Sie erfolgen in unmittelbarem Auftrag des Staates, um die öffentlichen Anliegen gegenüber den Hersteller- oder Betreiberinteressen zur Geltung zu bringen. Dazu dienen die F&E-Arbeiten des Teilprogramms „Nukleare Sicherheits- und Strahlenschutzforschung".

Eine wichtige Aufgabe von erheblichem Sicherheitsinteresse ist die Schließung des Brennstoffkreislaufs für die Leichtwasserreaktoren. Hierzu ist in der Bundesrepublik Deutschland das Konzept einer integrierten Entsorgungsanlage entwickelt worden. Es sieht die Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennelemente, die Rezyklierung von Plutonium und Uran sowie die Endlagerung der radioaktiven Spaltprodukte an einem Ort vor. Dabei sind entsprechend den Interessenlagen die Verantwortlichkeiten zwischen den Beteiligten in der 4. Novelle zum Atomgesetz klar festgelegt worden:

- die Industrie baut und betreibt die Anlagen für die Wiederaufarbeitung, die Abfallbehandlung und die Zwischenlagerung des Abfalls.
- die Regierung betreibt das Endlager.
- die Kosten für die Implementierung dieses Konzepts werden nach dem Verursacherprinzip von den Energieversorgungsunternehmen getragen.

Die notwendigen sicherheitsrelevanten F&E-Arbeiten einschließlich von Bau und Betrieb der Pilot- und Versuchsanlagen werden von der Regierung gefördert.

Im Entsorgungskonzept der Bundesregierung ist der Schritt der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente von besonderer Bedeutung. Er erlaubt einerseits eine um ca. 25-30% bessere Ausnutzung der für LWR verfügbaren Kernbrennstoffe und ermöglicht es andererseits, die radioaktiven Abfälle in eine sicher endlagerfähige Form zu überführen. Beide Gründe haben für ein rohstoff- und brennstoffarmes Land, das so dicht besiedelt ist wie die Bundesrepublik Deutschland, besonderes Gewicht. Die Bundesrepublik Deutschland kann deshalb, anders als die USA, die hinsichtlich dieser Gesichtspunkte in einer grundsätzlich anderen Lage ist, den Zeitpunkt der kommerziellen Wiederaufarbeitung nicht hinausschieben.

F&E-Politik auf dem Gebiet der Kernenergie hat neben den Sicherheitsinteressen auch Vorsorgeaspekte zu berücksichtigen. Hierzu gehören die Aufwendungen für die Sicherung der Uranversorgung und die Urananreicherung ebenso wie die Entwicklung fortgeschrittener Reaktorsysteme wie dem gasgekühlten Hochtemperatur (HTR)- und dem natriumgekühlten Schnellbrutreaktor (SBR).

Der HTR ist sowohl zur Bereitstellung von Prozeßwärme (900°-1000° C) für industrielle Zwecke als auch für die Stromerzeugung interessant. Durch die Anwendung der Prozeßwärme zur Gaserzeugung aus Kohle könnte - unter Ausnutzung des vorhandenen Verteilungsnetzes für Erdgas - langfristig ein wesentlicher Beitrag zur Sicherung unserer Gasversorgung erreicht werden. Für die Entwicklung des Hochtemperatur-Prozeßwärmereaktors könnte es aus technischen und wirtschaftlichen Gründen sinnvoll sein, den Weg über den Bau eines stromerzeugenden HTR zu gehen. Voraussetzung dafür wäre jedoch, daß sich die Industrie in angemessenem Umfang an Entwicklung und Bau dieses Kraftwerks beteiligt.

Die Entwicklung des SBR hat für die Sicherung unserer Stromversorgung große Bedeutung, weil mit seinem Einsatz der nutzbare Energieinhalt des Urans etwa um das 60-fache gesteigert werden kann. Allein die Verwendung der großen Mengen an abgereichertem Uran aus dem Betrieb der LWR, die bei einer Markteinführung des SBR später zur Verfügung stehen werden, könnte die Bundesrepublik Deutschland für einige hundert Jahre unabhängig von Primärenergieimporten für die Stromerzeugung machen. Abb. 2.4/1 zeigt für eine angenommene Entwicklung der Stromerzeugung in Kernkraftwerken, wie der Natururanbedarf der Bundesrepublik Deutschland durch den Einsatz der SBR gesenkt werden kann.

Die Entwicklung der Schnellen Brutreaktoren wird daher von vielen Industriestaaten mit sehr hohen finanziellen Aufwendungen vorangetrieben. Im Zusammenhang mit der Errichtung von Prototyp- und Demonstrationsanlagen entschied man sich in allen diesen Ländern für den Typ des Natriumgekühlten Brutreaktors (Tab. 2.4/2, s. Anhang).

Nach dem Stand dieser Entwicklungsprogramme ist eine breite Nutzung von Brutreaktoren frühestens in den 90er Jahren möglich. Die Dringlichkeit des kom-

merziellen Einsatzes von Brutreaktoren ist von der Energieversorgungssituation des jeweiligen Staates und von der künftigen Entwicklung des Weltenergiemarktes abhängig.

Ein wirtschaftlicher Betrieb von Brutreaktoren erfordert die Wiederaufarbeitung der Kernbrennstoffe. In den USA wurde im Zusammenhang mit dem Beschluß, die kommerzielle Wiederaufarbeitung auf unbestimmte Zeit zu vertagen, eine Umstrukturierung des Brutreaktorprogramms eingeleitet. Es wird jedoch auf experimenteller Basis fortgesetzt.

Sowohl für den SBR als auch für den HTR gilt, daß

- sie erst dann zur Energieversorgung herangezogen werden, wenn ihre Sicherheits- und Umweltaspekte sorgfältig untersucht worden sind; die entsprechende Reaktorsicherheitsforschung ist zunächst noch weitgehend Bestandteil der Reaktorentwicklung. Zur Lösung allgemeiner, von einzelnen Projekten unabhängiger Probleme wird sie im Programmzeitraum aus der Reaktorentwicklung mehr und mehr herausgelöst. Sie ist insofern erst zum Teil im Kapitel „Nukleare Sicherheits- und Strahlenschutzforschung“ ausgewiesen.
- ihre Markteinführung wesentlich von der Verfügbarkeit bzw. Entwicklung der entsprechenden Einrichtungen des Brennstoffkreislaufs abhängt. Die entsprechenden F&E- Vorhaben sind im Hinblick auf das frühe Entwicklungsstadium noch Bestandteil der Reaktorentwicklung.
- die Entwicklungskosten für neue Reaktorsysteme einschließlich Brennstoffkreislauf für Staaten von der Größe der Bundesrepublik Deutschland auf die Dauer allein nicht aufzubringen sind. Die Bundesregierung wird sich daher um eine verstärkte internationale Zusammenarbeit bemühen. Über die bereits bestehende Kooperation mit Belgien und den Niederlanden beim Bau des SNR 300 hinaus ist. u. a. eine Zusammenarbeit mit Frankreich und den USA bei der Entwicklung von SBR und HTR vereinbart.

Die Nutzung des LWR zum Antrieb ziviler Schiffe stellt langfristig eine interessante Anwendungsmöglichkeit der Kernenergie im Transportsektor dar. Da jedoch z. Z. nicht alle Voraussetzungen für den Bau eines größeren Reaktorschiffes gegeben sind, wird die Entwicklung dieser Technik nur in geringem Umfang fortgesetzt.

Auf dem gesamten Gebiet der Kernenergie werden Vorhaben nur gefördert, wenn sie im öffentlichen Interesse Staatsaufgaben sind (z. B. bei Sicherheits- und Überwachungsfragen) oder wenn ihre Durchführung von der Industrie nicht über Genehmigungsauflagen erreicht werden kann.

Die Höhe der Aufwendungen für Forschung und Entwicklung im Bereich der Kernenergie ist zu einem wesentlichen Teil durch die Mittel für die Errichtung von, Demonstrationsanlagen (SNR 300, THTR 300, Gaszentrifuge) bestimmt, deren Bau während des 3. und 4. Atomprogramms begonnen wurde.

2.4.1 Nukleare Sicherheits- und Strahlenschutzforschung

Ziel der Untersuchungen auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes ist es, bei der Nutzung der Kernenergie in einem so dicht besiedelten Gebiet wie der Bundesrepublik Deutschland den Schutz der Bevölkerung in bestmöglicher Weise zu gewährleisten.

Bei der Entwicklung der Kernenergie haben hohe Anforderungen an Reaktorsicherheit und Strahlenschutz von Anfang an im Vordergrund gestanden. Als Ergebnis hat heute die Reaktortechnik - gerade auch in der Bundesrepublik Deutschland - einen hohen Sicherheitsstand erreicht. Dieser Standard ist Grundlage der Genehmigungsentscheidungen für Kernenergieanlagen und bildet einen wesentlichen Aspekt beim Export dieser Anlagen.

Wenn Reaktorsicherheit und Strahlenschutz trotz des bereits erreichten hohen Niveaus weiter mit staatlicher Unterstützung gefördert werden, so hat dies im Wesentlichen folgende Gründe:

- das verbleibende Risiko der Bevölkerung, durch Störfälle zu Schaden zu kommen, soll auch bei zunehmender Kernenergienutzung klein bleiben im Vergleich zu anderen zivilisatorischen Risiken, die die Gesellschaft akzeptiert.
- die Strahlenbelastung des mit Wartung und Reparaturen beschäftigten Personals soll durch verbesserte Auslegung der kerntechnischen Anlagen und durch Weiterentwicklung der technischen Hilfsmittel weiter herabgesetzt werden.
- die mittlere Strahlenbelastung der nicht beruflich strahlenexponierten Bevölkerung aufgrund der friedlichen Nutzung der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland soll soweit wie möglich unter den nach der Strahlenschutzverordnung maximal zulässigen lokalen Werten liegen, die ihrerseits der Schwankung der natürlichen Strahlenbelastung Rechnung tragen.

Durch die Förderung der nuklearen Sicherheitsforschung sollen die Sicherheitsreserven von Kernenergieanlagen und deren Systemen noch genauer ausgelotet und die Sicherheitstechnik - auch im Hinblick auf eine spätere Stillegung der Anlagen - weiterentwickelt werden. In diesem Zusammenhang sind die Arbeiten zur Quantifizierung der mit der Kernenergienutzung verbundenen Risiken von besonderer Bedeutung; diese Quantifizierung setzt eine Analyse

der Feinstruktur komplexer Störfälle voraus, zeigt Schwachstellen im Sicherheitssystem auf und erleichtert zugleich eine sachliche Auseinandersetzung über die Zumutbarkeit der verbleibenden Restrisiken. Daher verbessert eine solche Analyse die Möglichkeit, Zielkonflikte zwischen Umgebungsschutz und Arbeitsschutz zu lösen.

Im Programmzeitraum sollen die bisher auf den LWR ausgerichteten F&E-Arbeiten auf Untersuchungen zur Sicherheit fortgeschrittener Reaktorsysteme ausgeweitet werden, die bisher hauptsächlich im Rahmen der Projektentwicklung durchgeführt wurden. Die Bearbeitung von sicherheitstechnischen Aufgabenstellungen bei den Anlagen des Brennstoffkreislaufs wird mit der Reaktorsicherheitsforschung weiterhin eng koordiniert, bleibt aber vorerst überwiegend Teil der jeweiligen Entwicklungsvorhaben.

Aufgabe der Strahlenschutzforschung ist es, die Kenntnisse über das Verhalten von Radionukliden in Umwelt und Organismen sowie über Wirkung und Nachweisbarkeit insbesondere kleiner Strahlungsdosen zu erweitern. Diese Arbeiten sind nicht nur für die Fortentwicklung von Strahlenschutzmaßnahmen und des Strahlenschutzrechtes wesentlich, sondern auch für die Präzisierung von Risikoaussagen, die im Zentrum der öffentlichen Diskussion um die friedliche Nutzung der Kernenergie stehen.

In engem Zusammenhang mit nuklearer Sicherheits- und Strahlenschutzforschung stehen diejenigen Forschungsförderungsmaßnahmen der Bundesregierung im Rahmen anderer Programme, die auf eine Senkung der zivilisatorisch bedingten Strahlenbelastung ausgerichtet sind, insbesondere im Bereich medizinischer Strahlenanwendung.

Die Vorhaben der Reaktorsicherheitsforschung werden in den Kernforschungszentren KfK, KFA, GKSS, HMI, GFS (Ispra), der GRS, der BAM und Industrieunternehmen durchgeführt.

2.4.1.1 LWR-Sicherheitsforschung

Das LWR-Sicherheitsforschungsprogramm setzt im wesentlichen die bisherigen großen Vorhaben fort:

- Die Projekte „Kernnotkühlung“ und „Containment bei Kühlmittelverlust“ dienen einem verbesserten Detailverständnis der Auswirkungen von Kühlmittelverluststörfällen. Untersucht werden dabei insbesondere der Ausströmvorgang, die thermohydraulischen Vorgänge im Primärkreislauf und ihre mechanischen Auswirkungen, die Kühlung des Reaktorkerns während des Ausströmvorganges und den folgenden Phasen der Kernnotkühlung, das mechanische Verhalten des Reaktorkerns infolge der Aufheizung und damit verbundenen Spaltproduktfreisetzung, die durch einen Rohrbruch ausgelösten dynamischen Belastungen des Containments und seiner Einbauten sowie die integrale Druck- und Temperaturbelastung des Containments sowie seine langfristige Dichtheit.
- Das Projekt „Bauteilsicherheit“ zielt auf Störfallverhinderung durch weitere Verbesserung von Werkstoff- und Fertigungsqualität. Das Projekt soll auch ein genaueres Verständnis der Sicherheitsreserven von druckführenden Komponenten des Kühlkreislaufs vermitteln.
- Das Projekt „Bauteilsicherheit“ hat die Untersuchung von Versagensformen von Rohrleitungen und Behältern unter Innendruck zum Gegenstand. Dabei sollen insbesondere deren Auswirkungen auf die Wirksamkeit der Sicherheitsbarrieren in der Reaktoranlage genauer untersucht werden.
- Das Projekt „Kernschmelzen“ soll die thermischen, chemischen und mechanischen Auswirkungen eines postulierten Notkühlversagens aufklären, um die Auswirkungen auf das Containment besser beschreiben und das Ausmaß der mit einem Kernschmelzfall verbundenen Spaltproduktfreisetzung realistisch angeben zu können.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	94	109	119	123

2.4.1.2 Sicherheitsforschung zu fortgeschrittenen Reaktortypen

Die Sicherheitsforschung für neue Reaktorsysteme war im 4. Atomprogramm integraler Bestandteil der jeweiligen Entwicklungsprogramme. Im Zeitraum des vorliegenden Programms werden entsprechend dem Entwicklungsfortschritt auch hier spezifische Sicherheitsforschungsprogramme erstellt. Einige wichtige Sicherheitsforschungsvorhaben werden jedoch in den nächsten Jahren noch im Zusammenhang mit der Entwicklung und den Genehmigungsverfahren von einzelnen Prototyp- oder Demonstrationsanlagen durchgeführt werden müssen. Ein Teil der Aufwendungen für die Sicherheitsforschung bei fortgeschrittenen Reaktorsystemen bleibt deshalb auch in diesem Programm Bestandteil der Reaktorentwicklungskosten.

Bei SBR liegen aus Bau und Genehmigung schneller natriumgekühlter Brutreaktoren im In- und Ausland inzwischen ausreichende Erfahrungen vor, um analog zum LWR-Sicherheitsforschungsprogramm ein SBR-Sicherheitsforschungsprogramm in Angriff nehmen zu können. Auch diese Arbeiten dienen einem vertieften Verständnis möglicher Störfälle und erweitern so die Basis für zukünftige Genehmigungsentscheidungen sowie Risikoanalysen. Es ist vorgesehen, verschiedene zentrale Fragestellungen in internationaler Zusammenarbeit arbeitsteilig anzugehen.

Für HTR ist in der KFA in ähnlicher Weise mit Vorbereitungen zur Erstellung eines Sicherheitsforschungsprogramms begonnen worden. Definition und Durchführung dieses Programms werden auf die weitere HTR-Entwicklung abgestimmt.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	13	8	25	35

2.4.1.3 Vom Reaktorsystem unabhängige Sicherheitsforschung

Einige wichtige Aufgaben der Reaktorsicherheitsforschung können weitgehend einheitlich für alle Reaktorlinien bearbeitet werden:

- Beim Projekt „Qualitätssicherung“ stehen Entwicklungen zur Früherkennung beginnender Schäden und vor allem Methoden zur fernbedienten, zerstörungsfreien Prüfung von Bauteilen des nuklearen Kühlkreislaufs im Vordergrund.
- Das Projekt „Äußere Einwirkungen“ umfaßt Experimente, Simulationsversuche und analytische Arbeiten über die Folgen äußerer Einwirkungen wie Erdbeben, Flugzeugabsturz, Explosionsdruckwellen und sonstiger Fremdeinwirkungen auf die Funktionstüchtigkeit der Sicherheitseinrichtungen. Damit werden zugleich die Voraussetzungen für einen integralen Schutz auch gegen Explosivstoffe und Geschosse verbessert.
- Im Projekt „Spaltprodukttransport und Strahlenbelastung“ werden Spaltproduktfreisetzung und Transport sowie meteorologische Ausbreitungsvorgänge untersucht, die für die Planung von Katastrophenschutzmaßnahmen sowie für Risikoanalysen von besonderer Bedeutung sind. Das Projekt umfaßt ferner die Entwicklung verbesserter Methoden zur Spaltproduktrückhaltung und Dekontamination. Ziel dieses Projektes ist es aber insbesondere auch, Verfahren und Geräte für Wartungs-, Reparatur- und Stillegungsarbeiten (einschließlich Beseitigung) an Kernenergieanlagen zu entwickeln, die eine Durchführung dieser Tätigkeiten unter möglichst geringer Strahlenbelastung des dafür eingesetzten Personals ermöglichen.
- Das Projekt „Risiko und Zuverlässigkeit“ soll auf den in allen anderen Projekten gefundenen Ergebnissen aufbauen und eine quantitative Analyse des durch den Betrieb von kerntechnischen Anlagen bedingten Risikos durchführen. Neben der Auswertung des Rasmussen-Berichtes und seiner Übertragung auf die für deutsche Standorte und für die deutsche Sicherheitstechnik gültigen Verhältnisse gilt es, die Methodik der Risikoanalyse fortzuentwickeln und die statistischen Eingabedaten abzusichern, um die Unschärfe des Endergebnisses stärker einzugrenzen. In diesem Zusammenhang müssen auch die Gefahren und Auswirkungen menschlichen Fehlverhaltens untersucht werden.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	24	27	31	28

2.4.1.4 Stillegung und Beseitigung von Kernenergieanlagen

Die Möglichkeiten für Stillegung und Beseitigung von Kernenergieanlagen hängen stark von der Repara-

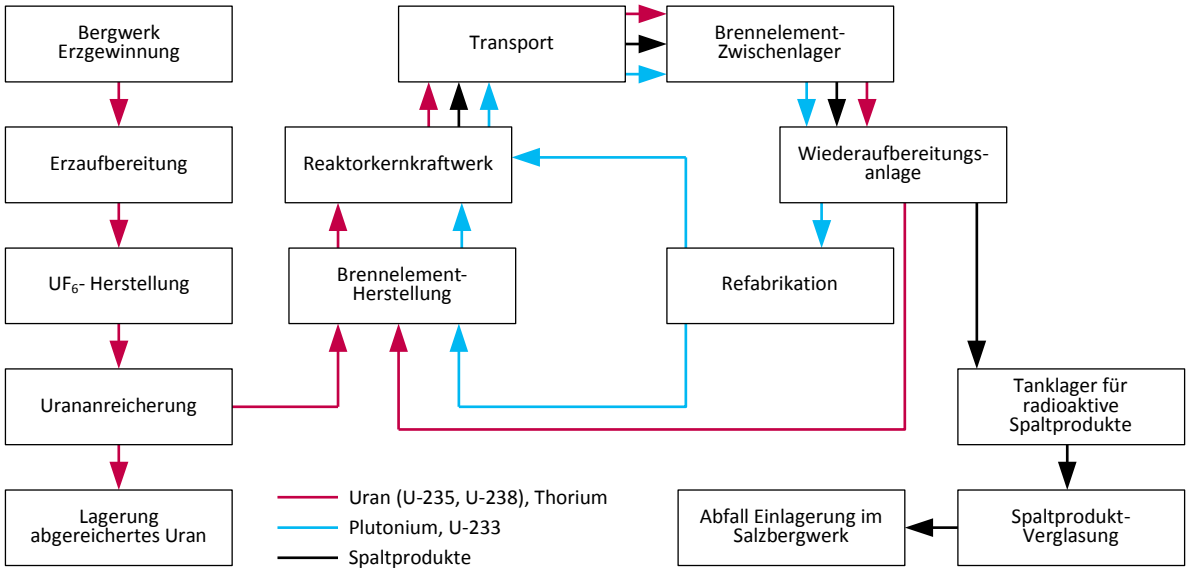


Abb. 2,4/3: Die Kernenergie und ihr Brennstoffkreislauf bei Wiederverwendung von Spaltstoffen aus abgebrannten Brennelementen

tur- und Wartungsfreundlichkeit der Anlagen ab. Daher ist das Projekt „Spaltprodukttransport und Strahlenbelastung“ speziell auch für die Bearbeitung solcher Probleme ausgelegt. Dabei wird als Ausgangssituation auch der Anlagenzustand nach einem schweren Störfall zugrunde gelegt.

Neben der Entwicklung geeigneter Technologien für Ausbau, Zerlegung, Dekontamination, Transport und Lagerung schwerer Reaktorkomponenten steht gleichgewichtig die Erarbeitung einer optimalen Organisation aller jeweils erforderlichen Einzelmaßnahmen.

Die Erprobung der entwickelten Vorgehensweisen soll an Demonstrationsprojekten (z. B. MZFR) erfolgen.

Die in diesem Projektbereich erzielten Forschungsergebnisse sollen unmittelbaren Einfluß auf die Gestaltung zukünftiger Kernenergieanlagen haben, um Wartung, Reparaturen und Stillegung zu erleichtern.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	2	1	9	10

2.4.1.5 HDR-Projekt

Im stillgelegten 100 MWth-Heißdampfreaktor (HDR) werden nach Entladung des Reaktorkerns im Rahmen des „HDR-Projektes“ Untersuchungen der Auswirkungen von Kühlmittelverluststörfällen auf Druckbehältereinbauten und Containment, Untersuchungen zur Genauigkeit der verfügbaren Methoden der zerstörungsfreien Prüfung von Reaktordruckbehältern, Untersuchungen zur Belastungsfähigkeit des Reaktordruckbehälters auch unter extremen Bedingungen und vorangegangener Schwächung, Untersuchung des Verhaltens der Anlage und der Einbauten bei Simulation erdbebenartiger Belastung sowie Leckratenuntersuchungen des Containments durchgeführt.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	14	15	15	19

2.4.1.6 Internationale Zusammenarbeit bei der Reaktorsicherheitsforschung

In der Reaktorsicherheitsforschung kommt der internationalen Zusammenarbeit besondere Bedeutung zu, nicht nur um die hohen Kosten durch Arbeitsteilung zu senken, sondern auch, um eine möglichst breite und gleichmäßige Anwendung sicherheitstechnischer Erkenntnisse zu gewährleisten.

Im Rahmen bilateraler und multilateraler Verträge zur internationalen Zusammenarbeit bei der Reaktorsicherheitsforschung ist u. a. eine Öffnung des HDR-Projektes für ausländische Partner und eine deutsche Beteiligung bei verschiedenen Großprojekten im Ausland, insbesondere bei amerikanischen Programmen vorgesehen.

Im Rahmen des LOFT (Loss-of-Fluid-Test) -Programms wird erstmals in einem Reaktor mit einer thermischen Leistung von 50 MWth ein integraler Test der Wirksamkeit der Notkühlung nach einem Kühlmittelverluststörfall durchgeführt. Das PBF-Projekt (Power Burst Facility) zielt vor allem auf eine detaillierte In-Pile-Untersuchung des Verhaltens der Brennelemente bei Störung der Wärmeabfuhr nach einem Kühlmittelverluststörfall und bei Leistungstransienten. Im HSST-Programm (Heavy Section Steel Technology) stehen Untersuchungen zur Sicherheit von Reaktordruckbehältern an Proben und Behältern verschiedener Größe im Vordergrund.

2.4.1.7 Strahlenschutzforschung

Aufgabe der Strahlenschutzforschung ist es, die Strahlenexposition des Menschen durch die verschiedenen natürlichen und zivilsatorischen Strahlenquellen zu erfassen, das damit verknüpfte Gefährdungsrisiko abzuschätzen und zu beurteilen sowie die notwendigen technischen Verfahren zur Reduktion der Strahlenexposition zu entwickeln und zu verbessern. Im Rahmen der friedlichen Nutzung der Kernenergie stehen dabei folgende Aufgaben im Vordergrund: die Weiterentwicklung der Strahlenschutzmeßtechnik; die Verbesserung der Verfahren zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe in kerntechnischen Anlagen; die Untersuchung des ökologischen Verhaltens freigesetzter radioaktiver Stoffe; die Analyse und Bilanzierung des Strahlenschaden-Risikos durch kerntechnische Anlagen sowohl im Normalbetrieb als auch bei Störfällen. Die Zielsetzung wird dabei durch die Bestimmungen der neuen Strahlenschutzverordnung, die am 1. 4. 1977 in Kraft getreten ist, vorgegeben.

Im Programmzeitraum sollen insbesondere folgende, zum Teil bereits begonnene Vorhaben durchgeführt werden:

Verbesserung des Strahlenschutzes der Beschäftigten in kerntechnischen Anlagen

- Technische Maßnahmen zur Erhöhung der Reparatur- und Wartungsfreundlichkeit kerntechnischer Anlagen
- Verbesserung der Verfahren zur Dosimetrie ionisierender Strahlen (Orts- und Personendosimetrie) und zur Inkorporationsüberwachung

- Entwicklung von Meßtechniken zur Analyse der Strahlenexposition in speziellen Bergwerken, insbesondere Urangruben
- Erstellung eines zentralen Personendosisregisters

Entwicklung und Verbesserung der Verfahren zur Rückhaltung und Emmissionsüberwachung radioaktiver Stoffe

- Untersuchungen zur Erhöhung des Abscheidewirkungsgrads von Jodfiltern
- Ertüchtigung von Filtersystemen für Störfallbedingungen
- Entwicklung von Verfahren zur Rückhaltung von 3H, 14C und 85Kr bei Wiederaufarbeitungsanlagen
- Verbesserung der meßtechnischen Verfahren zur Emissionsüberwachung, insbesondere von 14C und Aktiniden

Untersuchungen über das ökologische Verhalten freigesetzter radioaktiver Stoffe

- Ermittlung von Ausbreitungs- und Ablagerungsparametern in der Atmosphäre
- Untersuchungen zur Wanderung von Radionukliden im Boden und im Grundwasser
- Studien zur Durchmischung radioaktiver Abwässer in Oberflächen- und Meerwasser
- Untersuchungen über die Überführung radioaktiver Stoffe in Lebensmittel und Trinkwasser und ihre Aufnahme in den Menschen
- Arbeiten zur Analyse der lokalen, regionalen und globalen Verteilung spezieller langlebiger Radionuklide (3H, '"C, 85Kr,129J, Aktiniden)

Analyse und Bilanzierung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch kerntechnische Anlagen

- Verbesserung der meßtechnischen Verfahren zur Umgebungsüberwachung

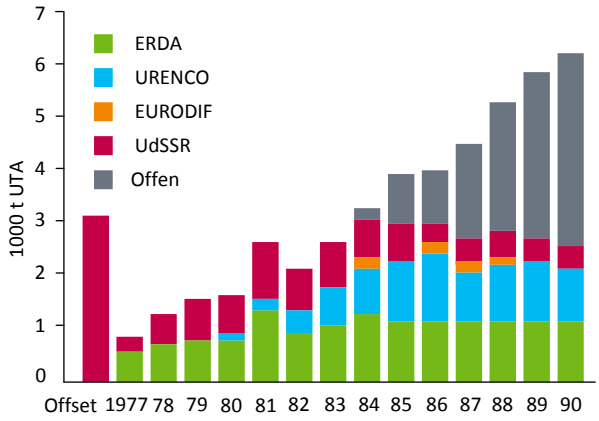


Abb. 2.4/4: Trennarbeitsbedarf der Bundesrepublik Deutschland und vertraglich gesicherte Marktanteile (Stand: Anfang 1977)

- Erarbeitung verbesserter Modelle für die relevanten Expositionswege zum Menschen
- Analyse der Individual- und Kollektivdosen im Normalbetrieb und bei Störfällen
- Untersuchungen zur Notfallschutzplanung
- Prognose der zukünftigen Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Kerntechnik

Spezielle Probleme der Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle

- Weiterentwicklung der Verfahren zur Konditionierung, insbesondere von hochaktiven Abfällen
- Ermittlung der Kriterien für die Oberflächen nahe Lagerung und für die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen
- Risikoanalyse für den Transport verbrauchter Brennelemente und für die Endlagerung radioaktiver Abfälle

Arbeiten über die biologisch-medizinischen Grundlagen des Strahlenschutzes

- Untersuchungen der physikalischen und biochemischen Primärprozesse der Strahlenwirkung in Abhängigkeit von der Strahlenqualität
- Untersuchungen über die Verteilung radioaktiver Stoffe im Organismus
- Tierexperimentelle Untersuchungen über das Risiko somatischer Strahlenspätschäden im Bereich kleiner Strahlendosen in Abhängigkeit von der räumlichen und zeitlichen Dosisverteilung
- Arbeiten zur Analyse des genetischen Strahlenrisikos
- Synergistische Effekte durch die Einwirkung von Strahlung und chemischen Schadstoffen
- Durchführung epidemiologischer Erhebungen bei Personengruppen mit erhöhter Strahlenexposition
- Erarbeitung von Konzepten für die Festlegung von Grenzwerten der Strahlenexposition und der Zufuhr radioaktiver Stoffe zum Menschen.

Diese Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind erforderlich, um die mit der vorgesehenen Ausweitung der Kernenergienutzung verknüpften Strahlenschutzprobleme zu lösen und um die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik notwendigen Maßnahmen rechtzeitig einleiten zu können. Das Programm trägt der Tatsache Rechnung, daß beide Bereiche des Strahlenschutzes, der Bevölkerungsschutz und der Strahlenschutz der Beschäftigten, von gleicher Wichtigkeit sind.

Für beide Bereiche ist die weitere Förderung der biologisch-medizinischen Strahlenschutzforschung erforderlich, um zu einer genaueren Abschätzung des Strahlenschaden-Risikos zu gelangen, die die Basis für eine Nutzen-Risiko-Analyse der Kerntechnik ist. Auf dem Gebiet des Bevölkerungsschutzes ist vor

allem eine erhebliche Intensivierung der Forschung auf dem Gebiet der Radioökologie notwendig, um eine detailliertere Erfassung der Strahlenexposition der Bevölkerung über die verschiedenen, komplexen Verteilungswege zu erreichen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß in Zukunft ein zunehmender Anteil der kerntechnischen Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland durch die globale Freisetzung langlebiger, mobiler Radionuklide, insbesondere 14C und 85Kr, verursacht wird. Es ist daher notwendig, international einheitliche Regelungen für die Emissionsgrenzwerte dieser Radionuklide zu treffen.

Die Vorhaben des Strahlenschutzforschungsprogramms werden in den Kernforschungszentren KfK, KFA, GSF, GKS und HMI, in Bundesämtern und Bundesanstalten (u. a. Bundesgesundheitsamt, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bundesforschungsanstalt für Fischerei) sowie an Landesanstalten, Hochschulinstituten und der GRS durchgeführt.

2.4.2 Brennstoffkreislauf

Bei der nuklearen Energieversorgung muß das Kernkraftwerk im Zusammenhang mit dem Brennstoffkreislauf als Gesamtsystem gesehen werden. Langfristig sind alle Komponenten dieses Systems für eine wirtschaftliche und sichere Nutzung der Kernenergie erforderlich.

Der Brennstoffkreislauf umfaßt für alle Reaktorsysteme (LWR, SBR, HTR)

- die Versorgung der Kernkraftwerke mit Brennstoff,
- die Entsorgung der Kernkraftwerke von abgebranntem Brennstoff einschließlich radioaktiver Abfälle sowie der Rückführung von nicht verbrauchtem und neu erzeugtem Brennstoff

Der LWR-Brennstoffkreislauf, der am weitesten entwickelt ist, ist in Abb. 2.4/3 dargestellt. Er besteht aus folgenden Teilbereichen:

- bei der Versorgung
  - Prospektion und Exploration bzw. Beschaffung von Natururan
  - Konversion zu UF_6
  - Anreicherung von ^{235}U
  - Fertigung der Brennelemente
- bei der Entsorgung:
  - Lagerung bestrahlter Brennelemente
  - Wiederaufbereitung bestrahlter Brennelemente mit dem Ziel, Uran, Plutonium und Abfallprodukte voneinander zu trennen
  - Rückführung von Plutonium zur Herstellung neuer Brennelemente
  - Rückführung von Uran in die Anreicherungsanlage
  - Behandlung der radioaktiven Abfälle
  - sichere Endlagerung der Abfälle.

Der Brennstoffkreislauf für die fortgeschrittenen Reaktorlinien weicht in einigen Teilen vom LWR-System ab. Während die schnellen Brutreaktoren einen dem LWR-System ähnlichen Uran-Plutonium-Kreislauf benötigen, fordert der Betrieb von Hochtemperaturreaktoren einen weitgehend selbständigen Brennstoffkreislauf, für den vor allem im Bereich der Entsorgung eigene Entwicklungen erforderlich sind.

Die Anlagen des LWR-Brennstoffkreislaufs befinden sich in der Bundesrepublik Deutschland im Gegensatz zu den LWR-Kernkraftwerken noch im Stadium der Pilotanlagen oder Prototypen. Daher müssen in einigen Bereichen noch erhebliche Anstrengungen unternommen werden, um möglichst schnell einen funktionierenden Brennstoffkreislauf aufzubauen. Dabei arbeiten Industrie und Staat eng zusammen. Öffentliche Mittel werden bei der Versorgung für die Steigerung der Versorgungssicherheit und bei der Entsorgung vor allem für sicherheitsrelevante F&E-Vorhaben aufgewendet.

Sämtliche kerntechnische Anlagen und der Transport von Kernmaterialien unterliegen dem internationalen System der Spaltstofffußkontrolle. Ziel dieser Maßnahmen ist es, Entwendung und Mißbrauch von Spaltmaterial zu verhindern (physical protection) und die ausschließlich friedliche Verwendung sicherzustellen.

Die Entwicklungskosten für HTR- und SBR-Brennstoffkreis- lauf sind während der Laufzeit dieses Programms noch Bestandteil der F&E-Projekte zur Entwicklung der neuen Reaktorsysteme und werden deshalb dort mit ausgewiesen.

2.4.2.1 Natururanversorgung

Die Förderung der Uranversorgung durch die Bundesregierung erfolgt seit vielen Jahren im Hinblick auf

- die Risiken des jungen und stark expandierenden Weltmarktes,
- die Langfristigkeit der Explorationsvorhaben und
- die enge Verbindung der Uranversorgung mit dem gesamten nuklearen Brennstoffkreislauf.

In der Bundesrepublik Deutschland gibt es keine nennenswerten Uranvorkommen. Deshalb unterstützte die Bundesregierung die deutsche Industrie durch bedingt rückzahlbare Zuschüsse bei Prospektions- und Explorationsvorhaben und durch Risikobeteiligung für Uranabnahmeverpflichtungen beim Ankauf von Anteilen an Uranlagerstätten im In- und

Ausland. Dabei wird angestrebt, den Uranbedarf der Bundesrepublik Deutschland auch über das Jahr 1980 hinaus bis zu 60 % aus eigenen Lagerstätten oder Beteiligungen zu decken. Der Rest soll auf dem Weltmarkt zugekauft werden.

In den Jahren 1973-1975 wurden fast 100 Mio. DM für die Uranprospektion und -exploration bereitgestellt. Im gleichen Zeitraum wurden die Arbeiten bei 11 aussichtsreichen Projekten fortgesetzt und über 30 neue Projekte in aller Welt in Angriff genommen. Dabei wurde neben einer Reihe von aussichtsreichen Indikationen auch ein größeres Uranvorkommen in Kanada entdeckt. Eine zusätzliche Sicherung in der Uranversorgung stellt das bilaterale Regierungsabkommen mit Brasilien dar, das im Jahr 1975 unterzeichnet wurde. Es eröffnet die Möglichkeit einer deutschen Beteiligung an der Suche und der Gewinnung von Uran. Das Abkommen enthält auch brasilianische Lieferzusagen für Natururan.

Parallel zu den Aktivitäten im Ausland wurden die Bemühungen fortgesetzt, auch im Inland Uran zu finden. Dabei gelang es, ein neues Vorkommen im Schwarzwald zu entdecken, dessen Abbau jedoch ebenso wie bei anderen deutschen Vorkommen zu den gegenwärtigen Bedingungen nicht lohnend ist. Weiterhin wurden Untersuchungen zur Urangewinnen aus Meerwasser, Phosphaten und Armerzen aufgegriffen.

Die bisherigen Maßnahmen und Erfolge haben dazu beigetragen, daß der überwiegende Teil des deutschen Natururanbedarfs bis 1982 gedeckt ist. Zur Deckung des Bedarfs nach 1982 sind allerdings noch erhebliche weitere Anstrengungen erforderlich, die dadurch erschwert werden, daß die Suche nach neuen Lagerstätten in zunehmendem Maß aufwendiger, langwieriger und teurer wird.

Die Bundesregierung wird ihre Beteiligung an begonnenen Prospektions- und Erschließungsvorhaben bis einschließlich 1979 aufrechterhalten. Die Kosten dieser Vorhaben werden z. Z, zu je 20 % von der Bergbauindustrie und den Elektrizitätsversorgungsunternehmen und zu 60 % vom Bund getragen. Angesichts der wirtschaftlichen Situation der mit der Uranexploration befaßten Unternehmen erscheint eine Erhöhung des Anteils der Industrieaufwendungen gerechtfertigt. Die zukünftige Beteiligung der Bundesregierung an der Uranprospektion soll nach Auslaufen der in diesem Programm vorgesehenen Maßnahmen den Konditionen für die bereits bestehende Förderung kommerzieller Explorationsvorhaben angepaßt werden.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	37	29	25	2

2.4.2.2 Konversion

Die Konversion des vom Uranproduzenten gelieferten Natururans (U308) zu Uranhexafluorid (UF6) als Eingangsmaterial der Anreicherungsanlagen ist ein relativ einfacher chemischer Prozeß. Große Kapazitäten bestehen hierfür sowohl in Großbritannien als auch in den USA und Kanada. Die Konversion wird aus Gründen der Transportökonomie und der Massenproduktion nur an wenigen Stellen durchgeführt. Sie stellt keinen kritischen Schritt im Brennstoffkreislauf dar und kann jederzeit von der deutschen Industrie aufgenommen werden, sobald der Bedarf hierfür besteht und die anfallenden Mengen groß genug sind. Die erforderliche Erfahrung in der Herstellung und im Umgang mit Fluor ist bei der deutschen chemischen Industrie in ausreichendem Maße vorhanden.

2.4.2.3 Urananreicherung

LWR benötigen als Kernbrennstoff angereichertes Uran, in dem der 235U-Gehalt von den natürlichen 0,7% auf ca. 3% angehoben ist. Zur Zeit erfolgt diese Urananreicherung in den USA, in Frankreich und der UdSSR in Anlagen, die nach dem Diffusionsverfahren arbeiten. Der Zubau an Kernkraftwerken hat zur Folge, daß spätestens in den 80er Jahren der Bedarf durch die bestehenden Anlagen nicht mehr gedeckt werden kann. Daher wurden erhebliche Mittel bereitgestellt, um gemeinsam mit Großbritannien und den Niederlanden eine europäische Anreicherungskapazität durch die Entwicklung und Nutzung des Gaszentrifugenverfahrens aufzubauen. Außerdem wurde bei der KfK das Trenndüsenverfahren weiterentwickelt.

Die Versorgung der deutschen Kernkraftwerke mit Anreicherungsarbeit konnte bis 1982 durch langfristige Verträge mit allen anbietenden Produzenten, auch auf der Basis des Zentrifugenverfahrens, sichergestellt werden (Abb. 2.4/4).

Gaszentrifugenverfahren

Das Gaszentrifugenverfahren wurde wegen seines besonders niedrigen Energieverbrauchs, der Flexibilität in der Anlagengröße und der Anpassungsmöglichkeit der Zubaugeschwindigkeit an den Bedarf ausgewählt.

Im Rahmen des 1970 zwischen Großbritannien, den Niederlanden und der Bundesrepublik Deutschland geschlossenen Zusammenarbeitsvertrages zur Uranranreicherung werden heute Prototyp-Anlagen in Almelo und Capenhurst betrieben. Demonstrationsanlagen mit einer Kapazität von 400 t UTA/a sind in Betrieb. Die bilaterale Anreicherungsgesellschaft URENCO ist Lieferverpflichtungen eingegangen, die den Betrieb von Anlagen mit einer Kapazität von 20001

UTA/a erfordern. Da an einer schnellen Markteinführung dieses Verfahrens im Hinblick auf

- die Steigerung der Versorgungssicherheit durch die Nutzung eigener Technologien und Anlagen
- die erheblich rationellere Verwendung von Energie im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen

ein erhebliches öffentliches Interesse besteht, hat die Bundesregierung den deutschen Industriepartnern der URENCO Zuschüsse zum Bau der ersten Anlagen und Garantien zur Abdeckung der Betriebsrisiken in Höhe von rd. 700 Mio. DM zugesagt.

Die Bundesregierung wird F&E-Arbeiten auch weiterhin fördern. Ziel dieser Maßnahme ist es, das noch vorhandene Entwicklungspotential der Zentrifugentechnik auszuschöpfen, damit die Wirtschaftlichkeit weiter verbessert und das Betriebsrisiko gesenkt werden kann.

Trenndüsenverfahren

Im Rahmen des Abkommens zwischen Brasilien und der Bundesrepublik Deutschland über die Zusammenarbeit auf dem Kernenergiegebiet wurde eine Beteiligung der brasilianischen NUCLEBRAS an dem Weiterentwicklungsprogramm des Trenndüsenverfahrens vereinbart sowie der Bau einer Demonstrationsanlage von 1801 UTA/a in Brasilien durch die ! Unternehmen Steag, Interatom und Nuclebras vorgesehen.

Sonstige Anreicherungsverfahren

Die Arbeiten auf den Gebieten der Urananreicherung mit i neuen Verfahren (z. B. mit Lasern und nach dem Plasmarotationsverfahren), die sich noch im Grundlagenstadium befinden, werden auch in Zukunft in beschränktem Umfang weitergefördert, um das technische Potential solcher Verfahren auszuloten.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	98	129	116	137

2.4.2.4 Brennelementfertigung

Die Fertigung von Uranoxid-Brennelementen heutiger Bauart für LWR ist inzwischen technisch soweit ausgereift, daß keine Unterstützung der Industrie mehr erforderlich ist. Als einzige staatlich geförderte F&E-Aktivität werden bei der GKSS in beschränktem Umfang neue Legierungen zur Verbesserung von Sicherheit und Betriebsverhalten der Brennelemente untersucht.

Die Entwicklung der Brennelement-Technologie für SBR ist Teil des Gesamtkonzepts zur Förderung dieses fortgeschrittenen Reaktorsystems. Die Arbeiten werden sich zunächst auf UO2/PuO2-Brennstoffe konzentrieren, die auch im SNR 300 eingesetzt werden. Hauptziele der Experimente sind

- Erhöhung der Betriebssicherheit des Hüllrohrmaterials,
- Steigerung des erreichbaren Abbrandes.

Daneben sind auch erste Untersuchungen zu karbidischen Brennstoffen vorgesehen. Industrie und GfK arbeiten bei der Brennelementtechnologie für SBR eng zusammen. Daneben gibt es eine breite internationale Kooperation, einmal im Rahmen des Projekts SNR 300 mit Belgien und den Niederlanden, zum anderen aber auch mit England, Frankreich und den USA.

Das Brennelementprogramm für die HTR-Projekte wird von Industrie und KFA gemeinsam bearbeitet. Die Untersuchungen werden sich in Zukunft auf die Weiterentwicklung der kugelförmigen Brennelemente konzentrieren. Ziele dieser Arbeiten sind

- Erhöhung der Spaltproduktrückhaltung bei hohen Temperaturen,
- Erhöhung der Schwermetallkonzentration, um höhere Konversionsraten zu erreichen,
- Entwicklung eines für den zukünftigen Kugelhaufen- Großreaktor geeigneten Partikels mit entsprechender Beschichtung.

Die Kosten für diese Entwicklungsarbeiten sind in den Kosten der HTR- und SBR-Linien enthalten bzw. für die LWR-Brennelemente im Reaktorsicherheitsforschungsprogramm.

2.4.2.5 Entsorgungskonzept für LWR

Für die Entsorgung der LWR-Kernkraftwerke ist in der Bundesrepublik Deutschland folgendes Konzept vorgesehen:

- Zwischenlagerung, Wiederaufarbeitung, Spaltstoffrezyklierung, Abfallbehandlung und Abfalllagerung stellen ein räumlich integriertes Gesamtsystem dar.
- Für mittel- und schwachaktive Abfälle wird eine Endlagerung unmittelbar am Standort der Wiederaufarbeitung vorgesehen.
- Der hochaktive Abfall kann als verfestigtes Produkt zwischengelagert werden. Die Frist zwischen dem Anfall des flüssigen hochaktiven Abfalls aus der Wiederaufarbeitung und seiner Verfestigung kann flexibel gestaltet werden. Hochaktive Abfallzwischenlagerung kann in rückholbarer Form für Zeiten bis zu mehreren Jahrzehnten in besonderen Bauten erfolgen.
- Die Endlagerung der verfestigten hochaktiven Abfälle wird in stabilen geologischen Formationen erfolgen, die einen weitgehenden Abschluß von

der Biosphäre ermöglichen. In der Bundesrepublik Deutschland ist eine Lagerung in Salzstöcken vorgesehen, die seit hundert Millionen Jahren geologisch stabil sind. Die Einlagerung in Salzformationen wird erst nach langjährigen sorgfältigen Erprobungen mit experimentellen Mengen im Versuchsendlager ASSE II erfolgen.
- Die Beseitigung kerntechnischer Anlagen ist in dieses Gesamtkonzept integriert.
- Dieses Konzept sollte später auch auf Hochtemperatur- und Brüter-Brennstoffkreislauf übertragen werden können.

Dieses Konzept soll gemeinsam mit der Industrie bis Ende der 80er Jahre verwirklicht werden. Dabei wird davon ausgegangen, daß Bau und Betrieb der Wiederaufarbeitungsanlagen ebenso wie Abfallbehandlung und Rückführung der wiederverwendbaren Kernbrennstoffe Aufgabe der Industrie sind. Entsprechend ihrer Interessenlage wird sich die Bundesregierung bei diesen Vorhaben beteiligen durch

- Förderung der notwendigen sicherheitsrelevanten F&E-Arbeiten einschl. Bau und Finanzierung des Betriebs entsprechender Pilot- und Versuchsanlagen,
- Bereitstellung des Potentials der Kernforschungszentren zur Entwicklung von Alternativen bzw. erst langfristig realisierbaren technologischen Teilschritten,
- Förderung einer intensiven internationalen Zusammenarbeit.

Die räumliche Konzentration und teilweise Integration der einzelnen Schritte des Entsorgungssystems an einem Standort führt zu einer erheblichen Minderung des Risikos. Insbesondere die Transporte von radioaktivem bzw. spaltbarem Material werden drastisch vermindert. Dies gilt vor allem für das Plutonium, das künftig dann nur noch in abgebrannten bzw. neufabrizierten Brennelementen, das heißt verdünnt mit Uran als hartes Keramikmaterial in Metallumhüllung transportiert werden muß. In dieser Form ist ein Mißbrauch des Materials praktisch ausgeschlossen. Ebenso entfallen durch die unmittelbare Endlagerung am Ort auch die Transporte der bei der Wiederaufarbeitung anfallenden radioaktiven Abfälle. Darüber hinaus läßt sich für ein räumlich zusammengefaßtes System von Anlagen auch einfacher ein abgestimmtes wirksames Sicherheitskonzept verwirklichen.

Bei der Teilung der Aufgaben, die zur Schließung des Brennstoffkreislaufs noch bewältigt werden müssen, hat der Bund die seit 1976 im Atomgesetz verankerte Verantwortung für die Endlagerung der radioaktiven Abfallprodukte. Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) soll die Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle für den Bund durchführen. Dies vor allem deshalb, weil die lange Lebensdauer der verbleibenden radioaktiven Stoffe eine langfristige Risikoabdeckung erfordert, die nur durch den Staat in erforderlichem Umfang garantiert werden kann. Dabei müssen die Kosten, die mit der Errichtung und dem Betrieb des Endlagers verbunden sind, in voller Höhe von den Betreibern der Kernkraftwerke getragen werden.

Entsprechend der Konzeption der integrierten Entsorgungsanlage und der Verantwortung des Bundes für die Endlagerung hat die Bundesregierung auch die Bereitstellung eines geeigneten Standortes übernommen.

Dieses Entsorgungskonzept gilt analog auch für HTR- und SBR-Systeme. Es wird mit einer späteren Markteinführung dieser Reaktorlinien schrittweise verwirklicht werden.

Wiederaufarbeitung

Die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente stellt eine Art Weiche im nuklearen Brennstoffkreislauf dar: unverbrauchte (Uran) und erbrütete (Plutonium) Kernbrennstoffe werden für die spätere Nutzung in neuen Brennelementen zurückgewonnen (die zurückgewonnenen Kernbrennstoffe decken allerdings bei heutigen Uran- und Trennarbeitspreisen nicht voll die Kosten); die radioaktiven Spaltprodukte werden abgetrennt und zu sicher lagerfähigem Abfall weiter verarbeitet.

Die mit Bundesmitteln errichtete und betriebene WAK in Karlsruhe und die mit deutscher Beteiligung betriebene internationale Eurochemic-Anlage in Mol haben in den letzten Jahren Betriebserfahrungen bei der Wiederaufarbeitung der r Brennelemente aus heutigen LWR-Kernkraftwerken geliefert.

! Dabei wurde bestätigt, daß das in USA, Frankreich und Großbritannien in den 40er Jahren für militärische Nuklearprogramme entwickelte PUREX-Verfahren grundsätzlich auch für LWR-Brennstoffe geeignet ist. Es zeigten sich aber auch I eine Reihe von schwachen Stellen im Prozeß, die die Verfügbarkeit einer Anlage herabsetzen würden und die dement- | sprechend vor Inbetriebnahme einer industriellen Anlage noch beseitigt werden müssen. Hierzu gehören vor allem:

- Optimierung und Weiterentwicklung von Komponenten,
- Verbesserung von in-line-Instrumentierung und Meßanalytik,
- Minimierung der Abfallmengen,
- Entwicklung und Erprobung von Einrichtungen zur Rückhaltung der radioaktiven Isotope von Jod, Krypton, Kohlenstoff und Wasserstoff.

Die industrielle Anlage soll Ende der 80er Jahre in Betrieb genommen werden. Sie wird eine Kapazität von rund 1500 t Brennstoff pro Jahr haben. Als erster Schritt zur Verwirklichung dieses Vorhabens muß etwa ab 1982 eine Zwischenlagerkapazität für abgebrannte Brennelemente bereitgestellt werden. Am zweckmäßigsten wäre eine Errichtung am Standort der Entsorgungsanlage. Im Endausbau sollte das Lager ein Aufnahmevermögen von 3000-5000 t haben.

Auf industrieller Seite haben mehrere große Energieversorgungsunternehmen die DWK (Deutsche Gesellschaft für Wiederaufbereitung von Kernbrennstoffen mbH) gebildet. Die DWK hat die Aufgabe übernommen, die industrielle Wiederaufarbeitungsanlage termingerecht zu bauen und in Betrieb zu nehmen.

Zur Bewältigung der hier entsprechend der Arbeitsteilung mit der Industrie auf den Staat zukommenden Aufgaben (vornehmlich bei der Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik) wurde im Kernforschungszentrum Karlsruhe 1974 das „Projekt Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung (PWA)“ gegründet. Es soll in enger Zusammenarbeit mit der Industrie die sicherheitsrelevanten F&E-Probleme bearbeiten, deren Lösung für Bau und Betrieb der Großanlagen notwendig sind.

Auf dem Gebiet der Wiederaufarbeitung besteht eine enge europäische Zusammenarbeit über die United Reprocessors GmbH (URG), an der das französische CEA, die britische BNFL und die deutsche KEWA[2]) beteiligt sind. Die URG, die 1973 als Reaktion auf die damals bestehenden Überkapazitäten auf dem Gebiet der Wiederaufarbeitung in Europa gegründet worden war, sieht heute ihre wesentliche Aufgabe darin, den Erfahrungsaustausch zwischen den drei Partnern zu fördern und Aushilfe bei Kapazitätsengpässen in einem Partnerland zu leisten. Als erste große Anlage steht der URG die französische Wiederaufarbeitungsanlage in Cap de la Hague zur Verfügung. Die umgebaute (ehemals militärische) englische Anlage in Windscale kann seit einem Störfall im Herbst 1973 für die Wiederaufarbeitung von LWR-Brennstoffen nicht mehr genutzt werden.

Die F&E-Arbeiten zur HTR-Wiederaufarbeitung beschränken sich z. Z. auf den Bau einer kleinen Versuchsanlage in der KFA (JUPITER), in der AVR-Brennelemente versuchsweise aufgearbeitet werden sollen. Für abgebrannte Brennelemente des THTR 300 und der folgenden HTR ist nach Zwischenlagerung die Wiederaufarbeitung in einer Anlage mittlerer Kapazität vorgesehen. Größe und Baubeginn dieser Anlage wird dem Zeitverlauf der HTR-Einführung angepaßt. Die in der GfK vorgesehenen Arbeiten zur Wiederaufarbeitung von SBR-Brennelementen wurden zurückgestellt zugunsten der LWR-Wiederaufarbeitungsaktivitäten, auf denen sie später weitgehend aufbauen können.

Spaltstoffrückführung

Mit der Rückführung des unverbrauchten Urans und des erbrüteten Brennstoffs wird der Brennstoffkreislauf geschlossen. Die F&E-Arbeiten auf diesem Gebiet konzentrieren sich in den nächsten Jahren vorwiegend auf die Lösung der Probleme, die der großtechnische Einsatz von Plutonium mit sich bringt. Das in den LWR-Kernkraftwerken entstehende Plutonium hat ähnliche Eigenschaften wie das normalerweise als Kernbrennstoff dienende Isotop 235U und kann daher ebenfalls zur Energieerzeugung genutzt werden, wenn es in die Reaktoren zurückgeführt wird. Die Rückführung des Plutoniums erscheint sowohl aus sicherheitstechnischen wie auch aus wirtschaftlichen Gründen wesentlich sinnvoller als die Beseitigung als radioaktiver Abfall, denn dadurch wird eine Akkumulation von Plutonium im Abfallendlager verhindert und gleichzeitig werden Kosten für den Erwerb und die Anreicherung von Uran gespart.

Seinen wichtigsten Einsatz findet dieser Kernbrennstoff allerdings erst mit der Einführung von Schnellbrutreaktoren (etwa ab Anfang der 90er Jahre).

Die Herstellung Pu-haltiger Brennelemente ist wegen der Radiotoxizität des Plutoniums und wegen des notwendigen Umgangs mit großen Mengen offener radioaktiver Substanzen sehr aufwendig. Diese Technologie ist jedoch in den letzten Jahren so weit entwickelt worden, daß die Bundesrepublik Deutschland hier eine führende Stellung einnimmt. Dennoch sind im Hinblick auf die Übertragung in den großtechnischen Maßstab noch weitere Entwicklungsarbeiten notwendig, die gemeinsam mit der Industrie in Angriff genommen werden sollen. Hierzu gehört vor allem die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und eine Erhöhung in der Verfügbarkeit der Fertigung.

Vordringliches Ziel der F&E-Arbeiten ist es jedoch, die bisher geringe Belastung von Mensch und Umwelt auch bei Durchsatz größerer Plutoniummengen nicht zu erhöhen.

Das bei der Wiederaufarbeitung gewonnene unverbrauchte und noch leicht angereicherte Uran wird in die Brennelementfertigung zurückgeführt. Hierbei handelt es sich um einen rein industriellen Prozeß, für den eine staatliche Förderung nicht notwendig ist. Auch die Probleme, die im Zusammenhang mit der Akkumulierung von 236U auftreten, werden allein durch die Industrie bearbeitet.

Die im LWR-System entwickelten Rückführungstechnologien schaffen die technologische Basis für den

späteren SBR-Kreislauf. Zur Rückführung des 233U im Thorium- Urankreislauf des HTR werden grundlegende Untersuchungen zur Entwicklung dieser Technologie in der KFA und teilweise der Industrie durchgeführt

Abfallbehandlung

Die Behandlung der radioaktiven Abfälle vor der Endlagerung erstreckt sich sowohl auf die Abfälle, die bei Wiederaufarbeitungsanlagen anfallen, wie auch auf alle sonstigen Abfallprodukte von kontaminierten Kleidungsstücken bis hin zu den in den Reaktoren aktivierten metallischen Strukturteilen. Ziel dieser Behandlung ist es, die radioaktiven Abfälle in verfestigte Produkte umzuwandeln, die die notwendige chemische und physikalische Stabilität über sehr lange Zeiträume unter den Bedingungen der Endlagerung behalten.

Bei der Wiederaufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe fallen erhebliche Mengen an flüssigem Abfall an. Für die schwach- und mittelaktiven Anteile dieses Abfalls existieren bereits seit längerer Zeit erprobte und bewährte Konzepte zur Verfestigung, z. B. Verfestigung mit Beton oder Bitumen. Die F&A-Arbeiten auf diesem Gebiet haben als wesentliches Ziel, das Volumen der Abfallprodukte zu verringern und die chemisch-physikalische Stabilität der Endprodukte zu verbessern. Bei den hochaktiven Abfällen wird weltweit das Konzept der Einbettung in glasartige Substanzen verfolgt. Hier müssen auch bei uns in den nächsten Jahren die Laborergebnisse in die Praxis übertragen werden.

Für die festen Abfälle der Wiederaufarbeitungsanlagen, insbesondere die Brennstabhüllrohrabschnitte, müssen die Verfahren zur Dekontamination und Kompaktierung auch im Hinblick auf eine eventuell mögliche Wiedergewinnung des Zirkons weiterentwickelt werden. Für die gasförmigen Abfälle wie Jod, Tritium oder Krypton werden ebenfalls noch geeignete und über lange Zelt stabile Fixierungsmethoden entwickelt und erprobt.

Bei Reaktoren entstehen im Normalbetrieb nur schwach- und mittelaktive Abfälle (z. B. Schlämme, lonentauscher- harze), die durch Bituminierung, Betonierung oder Einbettung in Polystyrol verfestigt werden. Diese Verfahren sollen durch gezielte F&E-Arbeiten noch verbessert werden, um die Auslaugraten der Produkte zu senken und ihre Langzeitstabilität weiter zu erhöhen.

Endlagerung

Die Endlagerung der radioaktiven Abfälle muß so vorgenommen werden, daß eine Gefährdung der Biosphäre für Tausende von Jahren ausgeschlossen wird. In der Bundesrepublik Deutschland wird die Verbringung der Abfälle in tiefe, geologisch stabile Formationen, die keine Verbindung zur Biosphäre haben, als die beste Lösung angesehen. Besonders geeignet erscheinen Salzformationen, insbesondere Salzdome, die bereits seit hundert Millionen Jahren geologisch stabil und frei von Wasser sind. Im ehemaligen Salzbergwerk ASSE II wird seit 1967 durch die GSF ein umfangreiches Forschungs- und Versuchsprogramm zur Endlagerung durchgeführt.

Bisher werden dort im Rahmen eines Langzeitgroßversuchs verfestigte schwach- und mittelaktive Abfälle in geeigneten Behältern eingelagert. Die Versuchseinlagerung von begrenzten Mengen verfestigter hochaktiver Abfallprodukte soll nach Abschluß eines umfangreichen Vorerkundungsprogramms gegen Ende dieses Jahrzehnts beginnen.

Neben Salzformationen werden auch andere stabile geologische Formationen, z. B. Granit und Ton, auf ihre Eignung zur Errichtung von Endlagerungen untersucht.

Alle F&E-Arbeiten auf dem Gebiet der Abfallbehandlung und Abfalllagerung finden in enger internationaler Abstimmung und Zusammenarbeit statt, z. B. im Rahmen von EURATOM, OECD/NEA, OECD/IEA, IAEO oder aufgrund bilateraler Verträge mit anderen Ländern (z. B. USA). Durch die enge internationale Zusammenarbeit soll sichergestellt werden, daß die Endlagerkonzepte in den verschiedenen Ländern gleichartigen Sicherheitsanforderungen genügen.

Transport von Kernbrennstoffen

Das Konzept der räumlichen Konzentration von Anlagen des Brennstoffkreislaufs vermeidet weitgehend Transporte von Kernbrennstoffen und radioaktiven Abfällen über das öffentliche Verkehrssystem. Abgesehen von frischen Kernbrennstoffen bleibt nur noch der Transport der abgebrannten Brennelemente, für die Transportbehälter benötigt werden, die sie auch bei Störfällen bzw. Unfällen sicher einschließen Um den sich ändernden Schutzanforderungen, auch im Hinblick auf gewaltsame Einwirkungen von außen, gerecht werden zu können, ist eine ständige international abgestimmte Fortentwicklung der Transportbehälter und der Transportsysteme erforderlich.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	137	169	183	215

2.4.2.6 Spaltstoffflußkontrolle und Spaltstoffschutz

Die ständige Überwachung des spaltbaren Materials in kerntechnischen Anlagen ist Aufgabe des internationalen Kontrollsystems nach dem NV-Vertrag und dem EURATOM-Vertrag. Ziel dieser Maßnahmen ist

es, eine Abzweigung oder mißbräuchliche Verwendung von Spaltmaterial für nichtfriedliche Zwecke zu verhindern. Diese Kontrollen müssen wirksam und zuverlässig sein, dürfen jedoch im internationalen Vergleich keine Wettbewerbsnachteile verursachen. Das Kontrollsystem folgt dem unter wesentlicher Mitwirkung der Bundesrepublik Deutschland entwickelten System der instrumentierten Spaltstoffflußkontrolle an einer begrenzten Zahl von strategisch wichtigen Punkten einer Anlage.

Das Projekt Spaltstoffflusskontrolle der KfK liefert für die Ausarbeitung des Überwachungssystems für die verschiedenen kerntechnischen Anlagen entscheidende Beiträge. In den nächsten Jahren wird sich die Projektarbeit vor allem auf die Auswertung der ersten, nach diesem neuen System erfolgten Kontrollen, konzentrieren. Gemeinsam mit den internationalen Kontrollbehörden sowie den Betreibern soll nach Verbesserungsmöglichkeiten gesucht werden. Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Anpassung des Kontrollkonzepts für die im Rahmen von bilateralen Zusammenarbeitsverträgen und Exporten zu liefernden kerntechnischen Anlagen an die Verhältnisse in den jeweiligen Ländern.

Neben dieser Kontrolle des spaltbaren Materials auf seinem Weg durch die kerntechnischen Anlagen, die vor allem zu einer frühzeitigen Entdeckung einer Abzweigung führen soll, ist in den letzten Jahren wegen der Gefahr des Übergreifens der weltweit zunehmenden Terror- und Sabotageakte ein ergänzender Schutz des spaltbaren Materials vor solchen Anschlägen getreten. Es ist eine vordringliche Aufgabe, hierfür moderne, sinnvoll den ganzen Brennstoffkreislauf umfassende Schutzsysteme fortzuentwickeln, die bautechnische, elektronische und organisatorische Maßnahmen verbinden. Diesen Bemühungen kommt das Konzept der integrierten Entsorgung entgegen.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	6	8	8	8

2.4.3 Hochtemperaturreaktoren (HTR)

Die HTR-Entwicklung wurde in enger Zusammenarbeit mit den USA durchgeführt. Zahlreiche Aufträge für HTR-Kraft- werke in den USA ließen eine rasche Markteinführung auf der Basis des amerikanischen Konzepts (mit blockförmigen Brennelementen) erwarten. Wirtschaftliche und technische Probleme führten jedoch 1975 dazu, daß die die Entwicklung tragende amerikanische Herstellerfirma General Atomic alle Aufträge verlor bzw. unter Verlusten zurückgab. Dadurch wurde wegen der hohen Kosten für Entwicklung und Markteinführung eines neuen Reaktorsystems (Größenordnung 10 Mrd. DM) eine Neuorientierung auch des deutschen HTR-Programms notwendig.

Die Entwicklung eines Konzepts für die Weiterentwicklung des HTR in der Bundesrepublik Deutschland geht von dem besonderen Interesse an der Nuklearen Prozeßwärme aus, mit deren Hilfe bei der Erzeugung von Gas aus Kohle die verfügbaren Kohlemengen besser genutzt werden könnten als bei der autothermen Vergasung. Die Zeit bis zur möglichen Auftragsvergabe für eine erste nukleare Prozeßwärmeanlage in der 2. Hälfte der 80er Jahre soll dazu genutzt werden, um weitere Erfahrungen zu sammeln.

Die Weiterführung der Linie des stromerzeugenden HTR könnte dabei nützlich sein. Es ist jedoch erforderlich, die bisher für den stromerzeugenden HTR und den Prozesswärme-HTR unterschiedlichen Konzepte technisch möglichst weitgehend zu vereinheitlichen.

Um die in unserem Land durchgeführten F&E-Arbeiten und die Erfahrungen bei Bau und Betrieb des AVR und des THTR 300 voll nutzen zu können, werden dem vereinheitlichten Konzept kugelförmige Brennelemente zugrunde gelegt.

Da die Entwicklung eines neuen Reaktorsystems einschließlich eines - im Falle des HTR eigenständigen - Brennstoffkreislaufs von der Bundesrepublik Deutschland nicht allein getragen werden kann, werden Art und Umfang der weiteren HTR-Entwicklung nicht zuletzt davon abhängen, ob die Bemühungen um eine möglichst breite internationale Zusammenarbeit Erfolg haben. In der Bundesrepublik Deutschland müssen die vorhandenen - aus der früheren Breite der Entwicklungsprogramme relativ großen - Entwicklungskapazitäten zusammengefaßt werden. Darüber hinaus ist es erforderlich, daß sich die potentiellen Betreiber für ström- und gaserzeugende Anlagen enger zusammenschließen und stärker engagieren. Durch diese technische und organisatorische Konzentration des HTR-Programms, die 1977 abgeschlossen werden soll, wird es möglich, die finanziellen Aufwendungen der öffentlichen Hand zu vermindern.

Der Bau des Prototyp-Kraftwerks THTR 300, der für dieses, neue HTR-Programm von grundlegender Bedeutung ist, wird im Programmzeitraum zu Ende geführt. Er wird - nicht zuletzt aufgrund der Kostensteigerungen - den größten Teil der für die HTR-Entwicklung verfügbaren Mittel beanspruchen. Die F&E-Arbeiten zur Nutzung des HTR zur Kohlevergasung werden im Rahmen des Projekts Nukleare Prozeßwärme fortgeführt. Ob und wann es, aufbauend auf dem THTR 300, zum Baubeschluß für einen großen stromerzeugenden HTR kommt, wird in erster Linie vom technischen und finanziellen Engagement interessierter Elektrizitätsversorgungsunter-

nehmen abhängen. Die Arbeiten zum zugehörigen Brennstoffkreislauf werden im Hinblick auf die gegenüber den früheren Erwartungen langsamere Markteinführung des HTR gestreckt.

2.4.3.1 THTR 300

1970 haben Bund und Land Nordrhein-Westfalen den Bau eines 300-MWe-Prototyp-Kernkraftwerks mit einem HTR mit kugelförmigen thoriumhaltigen Brennelementen (THTR 300) beschlossen. Entwicklung und Bau des THTR 300 stützen sich u. a. auf die Erfahrungen mit dem Betrieb des 15-MWe- AVR-Versuchskernkraftwerks, dessen Weiterbetrieb in den nächsten Jahren noch wertvolle Ergebnisse zu liefern verspricht.

Im Zusammenhang mit der Errichtung des THTR 300 steht auch der Bau des ersten großen Trockenkühlturms in der Bundesrepublik Deutschland (Kühlleistung ausreichend für 550 MWe). Wegen der höheren Kühlmitteltemperaturen bei HTR-Kraftwerken vermindert der Einsatz von Trockenkühltürmen den Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung nicht so stark wie bei Kraftwerken mit niedrigeren Kühlmitteltemperaturen.

Der THTR 300 wird wegen Bauverzögerungen voraussichtlich nicht vor 1981 dem Betreiber übergeben werden.

Auftraggeber und Zuschußempfänger ist die Hochtemperatur-Kernkraftwerk-Gesellschaft mbH (HKG)[3]). Auftragnehmer ist ein Konsortium, das von den Firmen Brown, Boverie & Cie. AG (BBC), Hochtemperatur Reaktorbau GmbH (HRB) und NUKEM GmbH gebildet wird. Die Erhöhung der Gesamtkosten gegenüber dem 4. Atomprogramm resultiert überwiegend aus Mehraufwendungen aufgrund von zusätzlichen bzw. nachträglichen Genehmigungsauflagen in Verbindung mit den eingetretenen Bauverzögerungen und der allgemeinen Preisentwicklung.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	60	102	100	111

2.4.3.2 HTR-Weiterentwicklung

Prozesswärme-HTR

Langfristiges Ziel von Entwicklungen zur Erzeugung von Prozeßwärme durch HTR ist Substitution von Ölprodukten und Erdgas durch umweltfreundliche Sekundärenergieträger aus Kohle. Die besondere Eignung des HTR beruht auf der hohen Temperatur seines Kühlmittels Helium (900 bis1000°C); zudem verspricht der HTR-Einsatz gegenüber der Alternative, solche Prozeßwärme weiter wie heute auf fossiler Basis zu erzeugen, eine Schonung heimischer Rohstoffe sowie eine Kostenverminderung.

Das Projekt „Prototypanlage Nukleare Prozeßwärme“ (PNP) untersucht die Verwendung von HTR-Prozeßwärme zur Erzeugung von Gas aus Braun- und Steinkohle, das in das vorhandene Gasversorgungssystem eingespeist werden kann. Der Kohle wird damit ein neuer Einsatzbereich erschlossen, in dem eine fühlbare Substitution oder Ergänzung von Mineralölprodukten bzw. Erdgas möglich ist. Das Projekt PNP wird von den folgenden Partnern bearbeitet: KFA, GHT, HRB, Bergbauforschung und Rheinbraun. Hierbei bearbeiten KFA, GHT und HRB das nukleare Wärmeerzeugungssystem, Bergbauforschung die Wasserdampfvergasung und Rheinbraun die hydrierende Vergasung von Kohle. Die Projektleitung für a die Konzept- und Referenzphase liegt bei der KFA. In der Phase I sollen baureife Unterlagen für eine erste Anlage (Leistung etwa 500 MWth) erarbeitet werden. Phase I gliedert sich in:

- Konzeptphase (Mitte 1975 bis Ende 1976): Erarbeitung des Konzepts einer Großanlage (ca. 3000 MWth), Übertragung dieses Konzepts auf die 500-MWth-Referenzanlage; Dauerbetrieb halbtechnischer Kohlevergasungsanlagen für 100 kg Kohlenstoff/Stunde.
- Referenzphase (Ende 1976 bis Ende 1979): Planung der Referenzanlage, Detaillierung ihrer Hauptkomponenten, Sicherheits- und Kostenanalyse; Planung und Errichtung von Kohlevergasungsanlagen für ein bis zwei Tonnen Kohlenstoff/Stunde.
- Detaillierungsphase (ab Anfang 1980): Erstellung baureifer Unterlagen für die Referenzanlage, Angebotsangabe, Genehmigungsverfahren; Betrieb der Pilotanlagen zur Kohlevergasung.

Die Errichtung der 500-MW-Anlage würde in einer anschließenden Phase II erfolgen.

Der Reaktor im Projekt PNP war von Anfang an als Kugelhaufenreaktor geplant. Die hohen, gegenüber dem THTR 300 erheblich gesteigerten Temperaturen des Heliumgases machen im Bereich des Reaktors und der Gaserzeugungsanlagen umfangreiche Untersuchungen notwendig. Die im Teilprogramm Reaktorentwicklung veranschlagten Mittel sind zusammen mit den vom Land Nordrhein-Westfalen vorgesehenen 160 Mio. DM nur für die Entwicklung des nuklearen Wärmeerzeugungssystem bestimmt, während die Entwicklung der Kohlevergasung zum Teilprogramm Kohletechnologie gehört.

Im Rahmen der von PNP entwickelten Referenzanlage zur HTR-Prozeßwärme-Erzeugung soll nach Möglichkeit auch das im Projekt „Nukleare Fernenergie“ (NFE) entwickelte System erprobt werden, das im Teilprogramm 2.1 näher beschrieben ist. Die Ar-

beiten an der thermischen, katalytischen : Wasserzerlegung zur Wasserstoffgewinnung unter Verwendung von HTR-Prozeßwärme werden im Programmzeitraum noch keine spezifischen Reaktorentwicklungen erfordern.

Weiterentwicklung des HTR zur Stromerzeugung

Die F&E-Vorhaben zum stromerzeugenden HTR müssen sich Zunächst an der Forderung eines möglichst einheitlichen Konzepts für die verschiedenen Einsatzbereiche des HTR orientieren. In der nächsten Phase des Programms müssen davon ausgehend zusammen mit den potentiellen Betreibern die Anforderungen an die Auslegung der Anlage und wichtige technische Randbedingungen definiert werden. Dazu zählt auch eine Entscheidung über die Wahl des Behälters (Spannbetonbehälter oder vorgespannter Gußbehälter) und die Auslegung des Brennstoffkreislaufs (Verwendung von hochangereichertem Uran und Thorium oder niedrigangereichertem Uran ohne Thorium) sowie die Betrachtung von Problemen der Reaktorregelung, der späteren Stillegung sowie der Wartungs- und Reparaturfreundlichkeit. Im Zusammenhang mit diesen Arbeiten werden auch die Ergebnisse des HHT-Projekts berücksichtigt.

Für die detaillierte Planung eines HTR-Demonstrationskraftwerks in der nächsten Programmphase ist ein entsprechender Auftrag eines Betreiberkonsortiums erforderlich. Eine Bauentscheidung wird nicht vor dem Vorliegen von Betriebserfahrungen mit dem THTR 300 getroffen werden können.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	114	108	130	158

2.4.4 Schnelle Brutreaktoren (SBR)

Der Schwerpunkt der deutschen SBR-Entwicklung liegt auch während der Laufzeit dieses Programms auf der Errichtung des Prototyp-Schnellbrüterkraftwerks SNR 300. Darüber hinaus werden vorbereitende Arbeiten zur Errichtung großer Schnellbrüterkraftwerke gefördert. Der mit der Zusammenarbeit mit Belgien und den Niederlanden beim Bau des SNR 300 eingeschlagene Weg der internationalen Kooperation soll verstärkt fortgesetzt werden. Insbesondere ist eine enge Kooperation mit Frankreich auf Regierungs- und Herstellerseite eingeleitet worden. Große Elektrizitätsversorgungsunternehmen aus der Bundesrepublik (RWE), Frankreich (EdF) und Italien (ENEL) sind durch Vertrag ein erhebliches Engagement für die Markteinführung des SBR eingegangen. Dadurch ist eine Nutzung der Erfahrungen aus dem Betrieb des seit 1974 laufenden 250-MWe-SBR-Kraftwerks „Phönix“ und des 1976 begonnenen 1200-MWe-Kraftwerks „Super-Phénix“ möglich. Der Baubeschluß für ein im wesentlichen von deutschen Herstellern zu errichtendes Demonstrationskraftwerk wird erst aufgrund von Betriebserfahrungen mit dem SNR 300 Anfang der 80er Jahre möglich sein. Daher sind im Programmzeitraum keine wesentlichen Entscheidungen im SBR-Teil erforderlich.

2.4.4.1 SNR 300

1972 haben die Bundesrepublik Deutschland, Belgien und die Niederlande die gemeinsame Förderung eines 280-MWe- Prototyp-Kraftwerks mit einem natriumgekühlten Schnellbrutreaktor (SNR 300) beschlossen. Der Bau des SNR 300 stützt sich auf die F&E-Arbeiten in den beteiligten Ländern sowie auf die Erfahrungen mit dem 20-MWe-Versuchskraftwerk KNK (Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage) der KfK. Nach umfangreichen Vorarbeiten wurde damit der SBR-Typ ausgewählt, dessen Entwicklung zur Zeit weltweit als technisch bei weitem aussichtsreichste Variante verfolgt wird.

Die Bauarbeiten am SNR 300 haben im April 1973 begonnen. Mit der Fertigstellung der Anlage wird 1983 gerechnet. Verzögerungen gegenüber der Planung im 4. Atomprogramm sind im wesentlichen dadurch eingetreten, daß dieser Prototyp bereits den gleichen Genehmigungskriterien wie kommerzielle Reaktoren unterliegt.

Die Tabelle (s. S. 130) gibt eine Übersicht über die voraussichtlichen Kosten und die Finanzierung des SNR 300. Gegenüber dem 4. Atomprogramm sind erhebliche Kostensteigerungen insbesondere auch durch unvorhergesehene Genehmigungsauflagen eingetreten. In den Kostenangaben sind die belgischen und niederländischen Aufwendungen für bauzugehörige Forschung und Entwicklung sowie für Plutonium-Beschaffung nicht enthalten. Das gleiche gilt für die erheblichen Beiträge der KfK, die einen Teil der F&E-Arbeiten trägt.

Kostenschätzung und Finanzierung des S N R 300 einschließlich Preisgleitung:

Kosten (Mio. DM)		Finanzierung (Mio. DM)	
Lieferverträge (einschl. Brennelementerstausstattung und technische und wirtschaftliche Risiken)	2601	Eigenfinanzierungsanteil SBK	221
Bauherrn kosten (einschl. Bauzinsen)	167	Zuschuß Belgiens	382
Bauzugehöriges Forschungs- und Entwicklungsprogramm (deutscher Anteil)	283	Zuschuß Niederlande	382
Plutonium für Brennelementerstausstattung (deutscher Anteil)	41	Zuschuß des Bundes	1829
		Investitionszulage	255
		Zuschuß der Industrie	23
	3092		3092

Auftraggeber ist die Schnell-Brüter-Kernkraftwerksgesellschaft mbH (SBK)[4]). Auftragnehmer ist die Internationale Natrium-Brutreaktor-Baugesellschaft mbH (INB)[5]). Auftraggeber und Auftragnehmer werden unterstützt von Forschungszentren in den drei Ländern: Gesellschaft für Kernforschung Karlsruhe (GfK); Centre d'Etudes Nacleaires (CEN), Mol; Nijverheidsorganisatie TNO, ECN Pletten.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	189	151	225	219

2.4.4.2 Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage II (KNKII)

Entwicklung, Bau und Inbetriebnahme der KNK bei der KfK dienten bisher überwiegend dem Studium der Natriumtechnologie. KNK erreichte 1973 erstmals volle Leistung und wurde etwa ein Jahr mit einem thermischen Oxidcore erfolgreich betrieben. In der Version KNK II wird nun die Anlage mit einem schnellen UO2/PuO2-Core ausgerüstet, um vermehrte Kenntnisse der Plutonium-Technologie zu erwerben. Die erneute Inbetriebnahme der KNK II ist für Ende 1977 vorgesehen. Durch den Betrieb sollen zusätzliche Erfahrungen für das Projekt SNR 300 gewonnen werden; längerfristig ist die Nutzung der KNK II für umfangreiche Brennelementbestrahlungs- und Instrumentierungsversuche vorgesehen.

Auftraggeber für das KNK-Projekt ist die KfK, Haupt-Auftragnehmer sind Interatom und Alkern.

Im Programzeitraum werden nur die Betriebskosten anfallen, die im Haushalt der KfK veranschlagt sind.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	57	47	54	61

2.4.4.3 Weiterführende Schnellbrüterentwicklung

Im Programmzeitraum werden neben der Errichtung des SNR 300 weiterführende Arbeiten zur Projektierung und Entwicklung von SBR-Kraftwerken großer Leistung durchgeführt. Entsprechend dem Entwicklungsfortschritt dieser Linie wird sich auch die Industrie durch erhebliche Finanzierungsbeiträge beteiligen.

Wenn erste Betriebserfahrungen mit dem SNR 300 vorliegen, wird die Bundesregierung prüfen, ob die Errichtung eines SBR-Demonstrationskraftwerks in der Bundesrepublik Deutschland, das überwiegend von der Industrie zu finanzieren wäre, gefördert werden soll. In der Zwischenzeit wird auf der Basis einer Kooperation der deutschen, französischen und italienischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen (RWE, EdF und ENEL) durch Beteiligung an ausländischen SBR-Demonstrationskraftwerken (Super-Phenix) eine erweiterte Erfahrungsbasis geschaffen.

An der Entwicklung von SBR-Kraftwerken großer Leistung beteiligen sich die Firmen Interatom, Belgonucleaire (Bel gien), Neratoom (Niederlande) sowie die Forschungszentren KfK und ECN. Es wird weiterhin angestrebt, die Zusammenarbeit vor allem auch im Bereich der Herstellerindustrie auf eine breitere internationale Basis zu stellen.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	61	60	73	94

2.4.4.4 Gasbrüter

Als Alternativlösung zum natriumgekühlten Brutreaktor gilt der heliumgekühlte Brutreaktor, der für die Bundesrepublik Deutschland wegen seiner erwarteten hohen Brutrate und wegen der technologischen Nähe zum heliumgekühlten Hochtemperaturreaktor längerfristig interessant erscheint. Diese Entwicklung stellt eine Option dar, über deren Anwendung erst später entschieden werden kann. Dementsprechend beschränkt sich der F&E-Aufwand auf die Beteiligung an internationalen Vorhaben (Brennelemente, Sicherheil), die im Rahmen der OECD-NEA bearbeitet werden.

Die Arbeiten zum gasgekühlten Brutreaktor werden im Rahmen der F&E-Programme von KFA und KfK durchgeführt. Durch Zusammenarbeitsverträge sind

KWU, das belgische CEN in Mol und die amerikanische General Atomic Company assoziiert.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	8	9	9	8

2.4.5 Kernenergieschiffsantrieb

Die Eignung von Kernenergie für den Antrieb ziviler Schiffe wurde außer in den USA und der UdSSR vor allem durch die Bundesrepublik Deutschland mit dem Betrieb der „Otto Hahn" erfolgreich demonstriert. Vorteile dieser Antriebsart liegen in der Unabhängigkeit von Treibstoffversorgung über größere Zeiträume und in möglicherweise geringeren Brennstoffkosten bei großen und schnellen Schiffen.

Deshalb werden langfristig interessante Anwendungsmöglichkeiten für den Kernenergieschiffsantrieb gesehen. Hierzu gehört der Einsatz z. B. in Containerschiffen oder in Spezialschiffen oder anderen Anlagen in Gebieten, bei denen die Versorgung mit Treibstoff besonders aufwendig und schwierig ist.

Die Probleme bei der Einführung des Kernenergieschiffsantriebs liegen zur Zeit In der weltweiten Rückläufigkeit beim Einsatz großer Handelsschiffe mit hohen Antriebsleistungen (50 000 WPS und darüber) sowie in der Schwierigkeit, Hafenanlaufgenehmigungen für Kernenergieschiffe mit der für die Schiffahrt notwendigen Freizügigkeit zu erhalten. In vielen Ländern ist die Gesetzgebung für solche Genehmigungsverfahren noch nicht voll entwickelt.

„Otto Hahn"

Die „Otto Hahn" mit einer Antriebsleistung von 10 000 WPS ist zur Zeit das einzige in Betrieb befindliche Kernenergie- Handelsschiff der Welt. Das Schiff hat seit Oktober 1968 auf über 120 Forschungs- und Frachtreisen mehr als 600 000 Seemeilen zurückgelegt und auch mit seinem 2. Reaktorkern bisher ein vorzügliches Betriebsverhalten gezeigt.

Das Schiff soll, wie schon in der Vergangenheit, weiterhin Erfahrungen über den Dauerbetrieb des Reaktors liefern. Damit wird es nicht nur möglich, das Langzeitverhalten der Reaktorkomponenten genau zu untersuchen, sondern auch die Zuverlässigkeit dieser Antriebsart in dem Maß zu demonstrieren, wie es in der Schiffahrt gefordert wird. Die bei der Untersuchung der Reaktorkomponenten gewonnenen Ergebnisse über das Materialverhalten sind auch auf Landreaktoren übertragbar.

Neben diesen F&E-Aufgaben wird die „Otto Hahn" auch weiterhin dazu dienen, bei Frachtfahrten Häfen für die Kernenergieschiffahrt zu erschließen. Hierbei soll vor allem auch eine Konzentration auf diejenigen Häfen erfolgen, bei denen das Handelsaufkommen besonders hoch ist. Da die „Otto Hahn" in erster Linie als Versuchsschiff gebaut worden ist, kann trotz ihrer weitgehend kommerziellen Bereederung auch In Zukunft nicht mit einem kostendeckenden Betrieb gerechnet werden.

Demonstrations-Reaktorschiff

Bei den vorbereitenden Arbeiten für ein Demonstrationsschiff mit Kernenergieantrieb stand bisher ein 80 000 WPS Containerschiff (NCS 80) im Vordergrund. Die Bundesregierung sieht es als wesentliche Voraussetzung für eine Förderung an, daß ein nationales oder internationales Reederkonsortium als Bauherr, Eigentümer und Betreiber ein solches Demonstrations-Reaktorschiff überwiegend finanziert. Diese Voraussetzung konnte bisher nicht erfüllt werden.

Die Arbeiten zum NCS 80 sind deswegen 1976 zu einem vorläufigen Abschluß gebracht worden. Alle Erkenntnisse, die aus dem atomrechtlichen Konzeptgenehmigungsverfahren und den Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit gewonnen worden sind, werden dokumentiert.

Die F&E-Arbeiten zur Weiterentwicklung des nuklearen Schiffsantriebs, deren Schwerpunkt bei der GKSS liegen wird, werden sich auf die Bearbeitung spezieller Probleme beschränken, deren Lösung für die Markteinführung dieser Technologie erforderlich ist. Die Erkenntnisse, die beim Weiterbetrieb der „Otto Hahn" gewonnen werden, fließen hier ein.

Es ist beabsichtigt, sowohl Betrieb und F&E-Programm der „Otto Hahn" wie auch die Weiterentwicklungen in der GKSS in internationaler Zusammenarbeit durchzuführen.

Aufwendungen:	1977	1978	1979	1980
Mio. DM	24	24	11	13

2.4.6 Prototyp- und Versuchsreaktoren

In gewissem Umfang erfordern Verpflichtungen aus Bau und» Betrieb älterer Prototyp- und Versuchsreaktoren im Programmzeitraum noch ein Engagement der öffentlichen Hand.

Dabei handelt es sich um folgende Anlagen:

- Mehrzweckforschungsreaktor Karlsruhe
  Seit 1974 wird der MZFR unter der alleinigen finanziellen Verantwortung der KBG (Kernkraftwerksbetriebsgesellschaft mbH) mit hoher Verfügbarkeit zur Stromerzeugung genutzt. Sein Weiterbetrieb ist bis 1981 vorgesehen. Allerdings müssen die notwendigen sicherheitstechnischen

und wirtschaftlichen Voraussetzungen noch geprüft werden. Parallel dazu werden während der Laufzeit dieses Programms alle Vorbereitungen für eine prototypische Stillegung des MZFR getroffen, um daraus wesentliche Kenntnisse für die Technik der Stillegung von Leichtwasserreaktoren zu gewinnen.

– Kernkraftwerk Niederaichbach
  Nachdem das KKN etwa 40% seiner Leistung erreicht hatte, wurde die Inbetriebnahmephase wegen technischer Störungen beim Dampferzeuger 1974 abgebrochen und die Einstellung des Projekts beschlossen, weil einerseits der Linie keine Marktchancen mehr zugesprochen, andererseits die Fertigstellung mit vertretbarem zeitlichen und finanziellen Aufwand sowie ein späterer kostendeckender Betrieb nicht mehr erwartet werden konnten.
  Die Arbeiten zur vertraglich vereinbarten ersten Phase der Stillegung, dem sogenannten sicheren Einschluß, sind im Wesentlichen abgeschlossen. Gegebenenfalls werden sich Planung und Durchführung weiterer erforderlicher Stillegungsmaßnahmen anschließen.

– Heißdampfreaktor Großwelzheim
  Der HDR wird für sicherheitstechnische Großexperimente im Rahmen des Reaktorsicherheitsforschungsprogramms eingesetzt.

3. Querschnittsthemen

Forschungs- und Technologiepolitik im Energiebereich ist nicht nur auf die Durchführung von F&E-Vorhaben beschränkt. Sie steht in enger Wechselbeziehung zur Industriestruktur unseres Landes. Sie ist in vielfältiger Weise Gegenstand sich verstärkender Bemühungen um internationale Zusammenarbeit. Sie bedarf spezieller Instrumente, insbesondere der Erhaltung und Fortentwicklung einer wissenschaftlich-technischen Kapazität in Industrie und Forschungseinrichtungen. Sie erhält Randbedingungen aus der Gesetzgebung und erfordert oftmals durch ihren Fortschritt neue gesetzgeberische Initiativen. Schließlich bedarf sie wegen ihres komplexen und komplizierten Inhalts mehr als andere forschungspolitische Bereiche einer verstärkten Bemühung um die Information der Öffentlichkeit.

3.1 Systemanalysen

Sowohl für den einzelnen industriellen Prozeß als auch ins- j gesamt für die Volkswirtschaft und das Ökosystem ist Energie eine der wichtigsten Bestimmungsgrößen. Für die Entscheidungsfindung in der Forschung und Entwicklung auf dem Energiegebiet genügt es deshalb nicht, nur den zahlenmäßigen Beitrag der Energie zu einem Einzelprozeß, einem Industriesektor oder allgemein zu einem technisch-wirtschaftlichen System zu erfassen. Wichtiger ist die Kenntnis der Beziehungen zwischen der Energie und den anderen Bestimmungsgrößen des betrachteten Systems wie z. B. Beschäftigung, Kapital, Rohstoffeinsatz, Umweltbelastung. Probleme dieser Art werden mit den Methoden der Systemanalyse untersucht.

Für Erforschung, Entwicklung und Markteinführung neuer Technologien auf dem Energiegebiet muß mit Zeiträumen von 20 bis 30 Jahren gerechnet werden, in Einzelfällen (z. B. bei der kontrollierten Kernfusion) sogar noch mehr. In diesen Zeiträumen sind erhebliche Teile des Sozialprodukts für Forschung und Entwicklung sowie für den Aufbau der entsprechenden Energieinfrastruktur aufzuwenden. Um die Gefahr j zu verkleinern, hierbei Fehlentwicklungen einzuleiten, muß j versucht werden, mit den Mitteln der Systemanalyse Zusammenhänge und Dynamik des Energiesektors aufzuzeigen. Hierbei sollen zur Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen alternative zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten analysiert und deren jeweilige Konsequenzen ermittelt bzw. beschrieben werden. Die Komplexität der zu betrachtenden Systeme erfordert u. a. den Einsatz mathematischer rechnergestützter Methoden.

Untersuchungen dieser Art gewinnen zunehmend an Bedeutung auch für die Aufstellung von Forschungsprogrammen. So wurden für die Formulierung des vorliegenden Programms u. a. folgende Studien herangezogen:

– Einsatzmöglichkeiten neuer Energiesysteme
– Auf dem Wege zu neuen Energiesystemen
– Gesamtstudie über die Möglichkeiten der Anwendung der Fernwärmeversorgung in der Bundesrepublik Deutschland
– Technologien zur Einsparung von Energie
– Künftiger Bedarf an elektrischer Energie in Abhängigkeit von wirtschafts- und gesellschaftspolitischen Entwicklungen und dessen Deckung, insbesondere mit Hilfe der Kernenergie.

Eine umfangreiche Analyse des Gesamtsystems Mensch- Energie-Umwelt wird von der Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen im Rahmen des Programms ASA (Angewandte Systemanalyse) bearbeitet. Die Einzelaufgaben sind so abgegrenzt, daß sie in sich geschlossene, einzeln verwertbare Studien darstellen. Erst nach Fertigstellung der Einzelstudien soll die Verknüpfung zum Gesamtprojekt Energie vorgenommen werden.

Für die Zukunft sind eine Reihe von Arbeiten geplant, in denen nicht nur der Energie-, sondern auch der Rohstoffaufwand von Energietechnologien untersucht werden soll. Dahinter steht der Gedanke, daß das Ziel der rationelleren Energieverwendung

oft dem Ziel des schonenden Umgangs mit Rohstoffen zuwiderläuft. Die Systemanalyse soll hier dazu beitragen, eine optimale Verwendung von Energie und Rohstoffen zu ermöglichen.

Die langen Entwicklungszeiten und die Höhe der nötigen Mittel machen eine dauernde sorgfältige Überprüfung zumindest der großen Projekte notwendig. Daher werden heute alle größeren F&E-Vorhaben auf dem Energiegebiet von systemanalytischen Studien begleitet. Beispiele für solche Studien sind:

- Systemanalyse Entschwefelungsverfahren
- Studien über die Einführung von Fernwärmesystemen in begrenzten Gebieten
- Gesamtstudie über die Möglichkeiten der Fernwärmeversorgung mittels Kraft/Wärme-Kopplung
- Technologien zur Einsparung von Energie
- Systemstudie „Elektrische Hochleistungsübertragung“
- Begleitende systemanalytische Untersuchungen zum Projekt Nukleare Prozeßwärme.

Zwischenergebnisse dieser Untersuchungen wurden bei der Aufstellung dieses Programms berücksichtigt.

Allen systemanalytischen Untersuchungen gemeinsam ist der große Bedarf an Information über die Entwicklung der Volkswirtschaft, die in Zukunft verfügbaren Ressourcen, die technischen Entwicklungspotentiale und die Beeinflussung der Umwelt. Einrichtung, Unterhaltung und laufende Modernisierung von Datenbanken stellen daher eine wichtige und umfangreiche Aufgabe dar.

Modelluntersuchungen und systemanalytische Arbeiten werden von Hochschularbeitsgruppen, Arbeitsgruppen in Großforschungszentren und von Firmen wie z. B. Ingenieurbüros durchgeführt. Finanziert werden diese Arbeiten zum Teil aus der Grundfinanzierung von Hochschulen und Großforschungszentren. Viele systemanalytische Untersuchungen sind integrierender Bestandteil spezieller Forschungsvorhaben und werden daher aus den dafür zur Verfügung stehenden Mitteln finanziert; hierzu gehören z. B. Untersuchungen über die Entwicklungsmöglichkeiten der Wasserstofftechnologie.

Die immer enger werdende internationale Verflechtung der Volkswirtschaften führt auch auf dem Gebiet der Energieforschung und Energietechnologie dazu, daß viele Probleme in internationaler Kooperation bearbeitet werden. Im Rahmen der europäischen Gemeinschaften wird eine Untersuchung durchgeführt, deren Ziel die Erstellung eines Energiemodells ist, mit dem die Energiewirtschaft der Europäischen Gemeinschaften dargestellt und untersucht werden kann. Auch die systemanalytischen Untersuchungen des NASA (Internationales Institut für Angewandte Systemanalyse) in Laxenburg bei Wien, in dessen Programm der Energieproblematik besondere Bedeutung zukommt, werden von der Bundesregierung über die Max-Planck-Gesellschaft unterstützt.

Eine Aufgabe, die nur international gelöst werden kann, ist die Untersuchung des Einflusses anthropogener Energieerzeugung auf das Großklima. Dazu muß zunächst einmal ein Klimamodell entwickelt werden, mit dem man in die Lage versetzt wird, die natürlichen Klimaschwankungen zu verstehen und auch langfristig vorherzusagen. Zur Durchführung dieser Arbeiten wurde das internationale Global Atomspheric Research Programm (GARP) gegründet. Ziel der Untersuchung Ist zunächst die Erarbeitung eines internationalen F&E-Programms. Auf deutscher Seite arbeitet das Max- Planck-Institut für Klimaforschung an diesem Programm mit. Außerdem untersucht die DFVLR in Zusammenarbeit mit dem MPI für Klimaforschung, dem Deutschen Wetterdienst und verschiedenen Hochschulinstituten den Einfluß anthropogener Energieerzeugung auf das Klima.

3.2 Programmdurchführung

Der Bundesminister für Forschung und Technologie ist federführend für die Maßnahmen des Programms Energieforschung und Energietechnologien 1977-1980 verantwortlich. Einige Aufgabenbereiche liegen in der Zuständigkeit anderer Bundesressorts, so ein Teil der atomrechtlichen Fragen und die Strahlenschutzforschung im Geschäftsbereich des Bundesministers des Innern, die Förderung der Innovation im Steinkohlenbergbau im Geschäftsbereich des Bundesministers für Wirtschaft. Die Abwicklung der einzelnen F&E-Projekte ist in einigen Gebieten, insbesondere im gesamten Bereich der nichtnuklearen Energieforschung, an Projektträger in den Großforschungseinrichtungen delegiert.

3.2.1 Zusammenarbeit mit den Bundesländern

Für die Zusammenarbeit zwischen Bund und Ländern bei der Energieforschung lassen sich verschiedene Kooperationsformen unterscheiden:

- die Standortländer der Großforschungszentren des Bundes im allgemeinen zu 10% an der Finanzierung beteiligt und wirken z. B. im Aufsichtsrat bei der Festlegung der Forschungsziele und F&E-Projekte mit („Globalsteuerung“).
- bei vielen F&E-Projekten des Bundes arbeiten die von den Ländern finanzierten Hochschulen und Fachhochschulen als Partner in einer Arbeitsgemeinschaft oder als Unterauftragnehmer mit.
- einige Bundesländer führen eigene Forschungs- und Entwicklungsprojekte oder Forschungspro-

gramme durch. Diese Vorhaben sind vielfach standortbedingt, was besonders bei den „Kohleländern“ Nordrhein-Westfalen und Saarland zutrifft. Diese Länderaktivitäten ergänzen oft die Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundes. Beide werden - auch bei reiner Länderfinanzierung - aufeinander abgestimmt.

Bei den auf alleinige oder überwiegende Initiative der Länder durchgeführten Energieforschungs- und Entwicklungsvorhaben lassen sich einige Schwerpunkte der Aktivitäten erkennen:

- Vorhaben im Bereich der Bergbautechnik und der Kohletechnologien, die von geologischen Untersuchungen über bergbausicherheitliche Fragen bis zur Entwicklung von Katalysatoren für die Kohleverflüssigung reichen. Besondere Bedeutung haben Technologien zur Kohlevergasung und die Entwicklung von modernen umweltschonenden Kraftwerkskonzepten.
- Entwicklung neuer Energiequellen, vor allem Nutzung der Sonnenenergie.
- geologische Untersuchungen zur Nutzung der Erdwärme.

Daneben gibt es eine Reihe kleinerer Projekte, wie z. B. energiesparende Fahrzeugantriebssysteme, Entwicklung von Energiespeichern, Anwendung von Wärmepumpen für Gebäudeheizung.

3.2.2 Forschungszentren

Die Forschungszentren bilden eines der wichtigsten Instrumente der Forschungs- und Technologiepolitik.

Etwa die Hälfte der Maßnahmen des Programms Energieforschung und -technologie werden in vom Staat getragenen Forschungseinrichtungen durchgeführt. Die Forschungszentren in Geesthacht (GKSS), Jülich (KFA), Karlsruhe (KfK) und München (IPP) hatten Ende 1975 ca. 8200 Mitarbeiter. Die staatlichen Zuschüsse für ihre F&E-Aufgaben lagen zu diesem Zeitpunkt bei etwa 620 Mio. DM. Die Forschungsprogramme von KfK, GKSS und KFA sind zu ihrem überwiegenden Teil auf anwendungsnahe Themenstellungen aus dem Bereich der Kernenergietechnik ausgerichtet. Daneben werden jedoch auch anwendungsorientierte Arbeiten auf den Gebieten Biologie, Datenverarbeitung, Elektrochemie, Meerwasserentsalzung, Meerestechnik und Umweltforschung sowie zu einem gewissen Teil auch reine Grundlagenuntersuchungen durchgeführt. In bescheidenem aber wachsendem Umfang nehmen die Zentren auch Aufgaben der nichtnuklearen Energieforschung auf. Im Gegensatz zu der Programmvielfalt der anderen Forschungszentren konzentriert sich das IPP auf die Erforschung der physikalischen Grundlagen für die kontrollierte Kernfusion. Es bildet - neben dem Institut für Plasmaphysik der KFA - den Schwerpunkt der deutschen Arbeiten zur kontrollierten Kernfusion. Beiträge zu diesem Programm leisten auch die GSF (in der Umwelt- und Strahlenschutzforschung sowie bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle), das HMI (vor allem für die Fusionsreaktortechnologie) und die DFVLR (in einigen Bereichen der nichtnuklearen Energieforschung).

Die nuklearen und nichtnuklearen Aufgaben der genannten Forschungszentren auf dem Gebiet der Energieforschung ergeben sich aus den allgemeinen Zielen des Energieforschungsprogramms und sind daher in den vorangegangenen Kapiteln enthalten. Wichtige Partner der Zentren sind die einschlägige Industrie sowie Hochschulen, Max-Planck- Institute und internationale Laboratorien.

Die Tätigkeit der Zentren erfordert und ermöglicht in besonderem Maße eine weitschauende und kritische Beobachtung der wissenschaftlich-technischen Szene und der Entwicklung des gesellschaftlichen Bedarfs. Dies gilt nicht nur für die Aufgaben der Zentren selbst, sondern auch für die gesamte Forschungs- und Technologiepolitik. Dabei können die Forschungszentren durch ihre Erfahrung und auf der Grundlage ihrer wissenschaftlichen Kapazität Entscheidungshilfen durch Prognosen und Analysen beisteuern. Eine Zusammenarbeit geeigneter Gruppen in den Forschungszentren wurde mit dem Programm Angewandte Systemanalyse (ASA) innerhalb der Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen angestrebt.

Neben den fachlichen und finanziellen Planungen für die genannten Großforschungszentren im Zeitraum dieses Programms werden eine Reihe übergreifender Organisatorischer und struktureller Maßnahmen fortgeführt. Ihr Ziel ist Ja es, das wissenschaftliche und technische Potential der Zentren bei der Lösung von Aufgaben öffentlichen Interesses verstärkt zu nutzen. Die Arbeiten der Zentren sollen sich deshalb in weiter zunehmendem Maß auf Vorhaben konzentrieren, die zur Erhöhung der Sicherheit großtechnischer Anlagen und zur Verbesserung des Umweltschutzes beitragen, j Dies ist jedoch nicht nur als Zuarbeit für die staatlichen Genehmigungs- und Aufsichtsfunktionen zu verstehen, sondern vor allem auch als Auftrag zur konstruktiven Weiterentwicklung von Verfahren, deren Verbesserung aus Volkswirtschaftlichem Interesse wünschbar ist.

3.2.3 Zusammenarbeit mit der Industrie

Etwa die Hälfte des Finanzvolumens des Programms Energieforschung und Energietechnologien wird als Zuschuß zu F&E-Arbeiten der einschlägigen Industrie vergeben. Durch die frühe und mit Entwicklungsfortschritten der Projekte verstärkte Zusammenarbeit mit der Industrie soll gewährleistet

werden, daß die Technologien marktgerecht entwickelt und möglichst schnell und problemlos in den Markt eingeführt werden können. Mit der Vergabe öffentlicher Mittel an die Industrie ist eine Reihe von Auflagen verbunden, die den jeweiligen Gegebenheiten des einzelnen Projekts Rechnung tragen können. Nach den Zuwendungsbedingungen (BKFT 75) liegt der Schwerpunkt dieser Auflagen auf Nutzungsrechten des Bundes an den technischen Ergebnissen und auf einer nach der Förderungshöhe abgestuften Lizenzpflicht gegenüber dritten Unternehmen. Als eine Variante hierzu kann bei der Förderung besonders marktnaher Entwicklungen eine ratenweise Rückzahlung der Förderungsmittel im Erfolgsfall verlangt werden. In diesem Fall entfällt jedoch die Lizenzpflicht gegenüber dritten Unternehmen. Darüber hinaus besteht als dritte Möglichkeit, bei längerfristig und breiter angelegten F&E-Vorhaben fallweise eine exklusive Nutzung der Ergebnisse - gegen einen finanziellen Ausgleich für den Bund - zu vereinbaren. Durch diese Zuwendungsbedingungen soll gewährleistet werden, daß nicht nur große Unternehmen, die gerade bei den F&E-Vorhaben im Energiebereich dominieren, sondern auch mittlere und kleinere Unternehmen an der Förderung partizipieren können.

Für ein rohstoffarmes Industrieland wie die Bundesrepublik Deutschland ist die Leistungsfähigkeit der Wirtschaft von ausschlaggebender Bedeutung. In Zukunft wird der Export von Großanlagen, modernen Technologien und technischen Informationen gegenüber den heute gängigen Massengütern an Bedeutung gewinnen. Dies gilt insbesondere für die Energietechnik als einem der Schlüsselbereiche moderner Volkswirtschaften.

Aus diesen Gründen wird bei der Entwicklung neuer Energietechnologien den Exportmöglichkeiten besondere Beachtung geschenkt und die Notwendigkeit der technischen Hilfe für Entwicklungsländer in Rechnung gestellt. Solche Überlegungen sind von besonderer Bedeutung für Länder, die am Beginn einer industriellen Entwicklung stehen.

3.3 Internationale Zusammenarbeit

Bemühungen um eine bessere internationale Zusammenarbeit spielen seit langem in der Energieforschungs- und Technologiepolitik eine wichtige Rolle. Dafür gibt es mehrere Gründe:

- Die ähnlichen Probleme in der Energieversorgung fast aller Industrieländer verlangen ähnliche Anstrengungen zu ihrer Lösung. Durch eine stärkere Zusammenarbeit und Arbeitsteilung bei Forschung und technischer Entwicklung ist es möglich, die verfügbaren Kenntnisse, Kapazitäten und Mittel besser zu nutzen. Zudem überschreiten technische Entwicklungsvorhaben, etwa neue Reaktorsysteme, nach erforderlichem finanziellem Entwicklungsaufwand und Risiko bei der Markteinführung oft die Grenzen der Leistungsfähigkeit einzelner Volkswirtschaften.

- Umwelt- und Sicherheitsprobleme neuer Energiequellen, insbesondere die Belastung von Atmosphäre und Gewässern mit Schadstoffen sowie die Fragen der Sicherheit kerntechnischer Anlagen, des Strahlenschutzes verlangen vor allem im dichtbesiedelten Mitteleuropa grenzübergreifende Lösungen.

- Die frühzeitige Kooperation bei Forschung und Entwicklung ist eine wichtige Voraussetzung für die spätere Offenheit der Märkte, auch im Hinblick auf die Entwicklung einheitlicher Anforderungen und Normen.

- Entwicklungsländer stehen gerade in der Frage der künftigen Energieversorgung vor besonderen Problemen. Der große Nachholbedarf gegenüber Lebensstandard und damit auch Energieverbrauch der Industrieländer ist im Hinblick auf die Ölpreisentwicklung nicht mit herkömmlichen Technologien zu decken. Auch sind viele hochentwickelte Technologien, die etwa wie die Kernenergie auf eine Mindestleistungsgröße der Volkswirtschaft und eine komplizierte Infrastruktur angewiesen sind, hier nicht immer geeignet. Es besteht deshalb ein wachsender Bedarf an angepaßten Technologien, die in Kooperation mit den Entwicklungsländern marktreif gemacht werden müssen.

3.3.1 Europäische Gemeinschaft

Zur besseren Nutzung der in Europa verfügbaren F&E-Ressourcen und im Hinblick auf die integrationspolitische Bedeutung gemeinsamer Forschungs- und Technologiepolitik bemüht sich die Europäische Gemeinschaft seit langem um eine intensive Zusammenarbeit bei Forschung und Entwicklung. Der Erfolg ist unterschiedlich: während z. B. bei der noch im Stadium grundlegender Untersuchungen befindlichen Kernfusion von einer echten, vollständig integrierten Forschung gesprochen werden kann, sind in anderen, insbesondere anwendungsnahen Forschungsbereichen lediglich Ansätze vorhanden.

Das neue Mehrjahresprogramm der Gemeinsamen Forschungsstelle 1977-1980 wird sich im Energiebereich auf folgende Tätigkeitsbereiche konzentrieren:

- klassische Kernenergie
  - Nukleare Sicherheit (Ispra)
  - Plutoniumbrennstoffe und Aktiniden (Karlsruhe)
  - Behandlung von radioaktiven Abfällen (Ispra)

- Anwendung der Kernenergie im außerelektrischen Bereich
  - Hochtemperaturwerkstoffe (Petten)
  - Wasserstoff (Ispra)
- Neue Energien
  - Sonnenenergie (Ispra).

Für die Energieforschung sind rund 64% des gesamten Finanzvolumens von 346 Mio. Rechnungseinheiten vorgesehen (1 RE = 3,66 DM).

Neben diesen „direkten" gemeinsamen Forschungsvorhaben gewinnen zunehmend „indirekte" Programme an Gewicht, bei denen EG-Kommission Forschungsinstitute und Industrieunternehmen in den Mitgliedsländern mit der Durchführung von Forschungsvorhaben beauftragt und hierfür Mittel bereitstellt.

Nach diesem Prinzip geht das neue Energieforschungsprogramm der EG vor, das im Juli 1975 für vier Jahre vom Rat verabschiedet und im Dezember 1976 geringfügig verändert wurde. Es konzentriert sich weitgehend auf langfristige Entwicklungsvorhaben in der nichtnuklearen Energieforschung:

- Sonnenenergie
- Geothermik
- Wasserstoff-Technologie
- Energieeinsparung
- Systemmodelle.

Die Maßnahmen stellen in vielen Bereichen eine Ergänzung der nationalen F&E-Programme dar.

Die Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl unterstützt in gewissem Umfang F&E-Vorhaben im Kohlebereich mit Hilfe von Finanzumlagen, die von der einschlägigen Industrie erhoben werden.

Euratom befaßt sich auch mit der Entwicklung von einheitlichen Sicherheitsnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte. Durch geeignete Überwachungsmaßnahmen gewährleistet Euratom ferner, daß Kernbrennstoffe nicht mißbräuchlich verwendet werden und leistet somit im Zusammenwirken mit der IAEO einen wichtigen Beitrag zu den Sicherheitsmaßnahmen im Rahmen des NV-Vertrages.

In der Zukunft wird die EG neben der Durchführung der bestehenden gemeinsamen Programme ihre Aufgabe auch in der Koordinierung der nationalen Programme sehen. Die Bundesregierung unterstützt diese Bemühungen und wird deshalb auch dieses Programm der Kommission übermitteln und in den zuständigen Gremien - vor allem dem Ausschuß für wissenschaftliche und technische Forschung und seinem Unterausschuß Energie - zur Diskussion vorlegen. Die Bundesregierung würde es begrüßen, wenn andere Mitgliedstaaten ihre Programme ebenso formulieren und zur Diskussion stellen würden.

3.3.2 Internationale Energie-Agentur

Die als Folge der Washingtoner Energiekonferenz vom Februar 1974 im Rahmen der OECD gegründete Internationale Energieagentur (IEA) hat vornehmlich eine Intensivierung der Zusammenarbeit der ölverbrauchenden Industrieländer zum Ziel*). Neben Vereinbarungen über Krisenbewältigung, Energieeinsparung und beschleunigte Entwicklung zusätzlicher Energiequellen (Kohle, Öl, Gas und Kernenergie) hat die IEA auch der breiten internationalen Zusammenarbeit in der Energieforschung neue Impulse gegeben.

Ausschlaggebend für die bemerkenswert rasch erzielten Anfangserfolge sind die Kooperationsprinzipien:

- a la carte - Prinzip (nur die ernsthaft interessierten Mitgliedsländer nehmen an einzelnen Projekten teil, nicht interessierte Länder können Kooperationsvorhaben anderer Länder nicht verhindern):

- lead organisation - Prinzip (die Ausführung des Projekts wird einer nationalen Stelle übertragen und nur in großen Zügen von internationalen Gremien gesteuert).

Zusammenarbeitsprojekte wurden bereits in folgenden Forschungsbereichen beschlossen oder vorbereitet:

- Abwärmenutzung,
- Nutzung von Haus- und Industrieabfällen,
- Wasserstoffproduktion,
- Kohletechnologie,
- Nukleare Sicherheit,
- Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle,
- rationelle Energieverwendung,
- kontrollierte Kernfusion,
- Sonnenenergie.

Als weitere Bereiche wurden aufgegriffen:

- Hochtemperaturreaktoren für Prozeßwärme,
- Dezentralisierte Kleinkraftwerke,
- Geothermische Energie,
- Windenergie,
- Wellenenergie,
- Temperaturgradienten in Weltmeeren,
- Konversion biologischer Materialien.

Mitglieder der IEA sind: Belgien, Dänemark, Bundesrepublik Deutschland, Griechenland, Großbritannien, Irland, Italien, Japan, Kanada, Luxemburg, Neusee-

land, Niederlande, Norwegen (mit bes. Status), Österreich, Schweden, Schweiz, Spanien, Türkei, USA.

In den Programmteilen, in denen eine Überschneidung mit europäischen Programmen vorliegt, wird die Zusammenarbeit mit der EG-Kommission eng koordiniert. In dieser Überschneidung liegt deshalb weniger die Gefahr von Doppelarbeit als vielmehr die Chance einer koordinierten Zusammenarbeit der europäischen Länder mit den anderen wichtigen Industrieländern der westlichen Welt.

1976 wurde in der IEA mit der Erarbeitung einer Energie-F&E- Strategie begonnen, die auf der Grundlage systemanalytischer Untersuchungen wesentliche Anhaltspunkte für technologische Potentiale, Forschungsbedarf und den möglichen Beitrag neuer Technologien zur künftigen Energieversorgung liefern und damit die Grundlage für ein koordiniertes Vorgehen in nationalen und internationalen Programmen bilden soll.

Die Zusammenarbeit in etwas größerem, thematisch aber speziellerem Rahmen der Kernenergieagentur NEA oder OECD wird auch weiterhin vor allem der Information und Koordinierung auf ausgewählten Gebieten der Kerntechnik und der nuklearen Sicherheit dienen sowie Studien im Bereich des Brennstoffkreislaufs umfassen.

In der Anlage der Eurochemic in Mol (Belgien) und im Rahmen OECD-IEA und -NEA soll ein internationales F&E-Programm zur Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle ausgeführt werden, an dem sich zahlreiche westeuropäische Länder, die Europäische Gemeinschaft, Japan und die USA beteiligen wollen.

Das Reaktorprojekt der OECD in Halden (Norwegen) dient vor allem Untersuchungen zur Reaktorsicherheit sowie zur Entwicklung rechnergesteuerter Kontrollmethoden für Kernkraft- werke, an denen sich mehrere deutsche Stellen beteiligen. |

3.3.3 Andere multilaterale Kooperation

Die Arbeit der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) in Wien gilt vor allem dem weltweiten Erfahrungsaustausch, der Hilfe für Entwicklungsländer und nicht zuletzt dem Aufbau und der Durchführung eines Sicherungssystems unter dem NV-Vertrag. Die Tätigkeit der IAEO wird weiterhin j von der Bundesregierung nachhaltig unterstützt werden.

Auch andere Unterorganisationen der Vereinten Nationen, insbesondere UNESCO und ECE, haben sich seit der Ölkrise des Jahres 1973 verstärkt einigen Fragen von Energieforschung und -technologie angenommen.

Im Rahmen der NATO (CCMS) werden neben Umweltschutzvorhaben vor allem die Bereiche rationelle Energieverwendung und Sonnenenergie behandelt.

Die Europäische Atomenergie-Gesellschaft (EAES), der die Kernenergiebehörden aus 13 europäischen Ländern angehören, fördert in bescheidenem Rahmen den Erfahrungsaustausch bei der Durchführung der nationalen Kernenergieprogramme.

3.3.4 Bilaterale Zusammenarbeit mit Industrieländern

Die bilaterale Kooperation mit anderen Industrieländern ist eine wesentliche Ergänzung der umfangreichen Bemühungen um multilaterale Zusammenarbeit. Bei vielen Teilprogrammen und bei konkreten aufwendigen Projekten sind oft nur die Interessen von zwei oder drei Partnerländern zur Deckung zu bringen.

In den vergangenen Jahren ist deshalb auf dem Gebiet der Energieforschung und Energietechnologien der Bedarf an Erfahrungsaustausch und Zusammenarbeit zwischen den Industrieländern immer größer geworden. Dies bezieht sich sowohl auf die Industrie als auch auf die staatlichen Forschungseinrichtungen. Die Bundesregierung bemüht sich deshalb, bilaterale Zusammenarbeitsverträge auf wichtigen und geeigneten Gebieten zu schließen. Das beinhaltet auch die Kooperation mit den Ländern Osteuropas.

Die intensive Zusammenarbeit mit den westeuropäischen Nachbarländern zeigt sich in ihrem Umfang besonders deutlich bei den großen Vorhaben:

- Entwicklung und Bau des SNR 300 gemeinsam mit Belgien und den Niederlanden
- Entwicklung und Bau von Urananreicherungsanlagen nach dem Gaszentrifugenverfahren gemeinsam mit Großbritannien und den Niederlanden
- Zusammenarbeit mit Frankreich bei Entwicklung und Nutzung fortgeschrittener Reaktorsysteme
- Austausch von Erfahrungen bei der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente und Koordinierung der Nutzung vorhandener Anlagen gemeinsam mit Frankreich und Großbritannien im Rahmen des URG-Abkommens.

Besonders ausgeprägt ist auch die Zusammenarbeit mit den USA. Hier sind bilaterale Vereinbarungen über folgende Gebiete geschlossen worden:

- Reaktorsicherheitsforschung (BMFT-USAEC)
- Reaktorsicherheit und Strahlenschutz (BMI-NRC)

- Behandlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle (BMFT- USAEC)
- Schnelle Brutreaktoren (BMFT-ERDA)
- Gasgekühlte Reaktoren (insbes. HTR) (BMFT-ERDA).

Weitere Beispiele für Kooperationen sind die Abkommen mit Australien, Brasilien, Iran, Japan, Jugoslawien, Kanada oder Rumänien.

Vereinbarungen mit weiteren Industrieländern, so etwa mit der Sowjetunion, sind vorgesehen.

3.3.5 Bilaterale Kooperation mit Entwicklungsländern

Die schwierige Situation der Entwicklungsländer im Hinblick auf eine ausreichende und preiswerte Energieversorgung ist spätestens seit der Ölkrise 1973 ganz deutlich geworden. Seitdem hat sich, auch ausgelöst durch die hohen Preise für Primärenergie, die wirtschaftliche Lage dieser Länder drastisch verschlechtert. Aus diesem Grund ist die Entwicklung neuer Technologien zur Energieversorgung auch über die Grenzen der Industrieländer hinaus weltweit von Bedeutung. Die Konferenz über internationale wirtschaftliche Zusammenarbeit (KlWZ) und andere internationale Konferenzen zwischen Entwicklungs- und Industrieländern behandeln deshalb auch dieses Thema.

Zunächst wird es für die Entwicklungsländer darauf ankommen, die konventionellen Energiequellen, insbesondere die Wasserkraft, voll zu nutzen. Daneben wird langfristig auch die Übertragung fortgeschrittener Energietechnologien erforderlich werden. Dabei darf nicht übersehen werden, daß zur Beherrschung dieser Technologien gewisse Voraussetzungen vorhanden sein müssen, wie etwa eine ausreichende i wissenschaftlich-technische Infrastruktur. Dies gilt besonders für das komplizierteste Energiesystem, die Kernenergie.

Sie könnte dort in Frage kommen, wo an weit auseinanderliegenden Orten konzentriert größere Energiemengen benötigt j werden, um etwa dort vorhandene Rohstoffvorkommen abzubauen und zu verarbeiten oder aber größere Städte zu versorgen. Hierzu muß nach einer Energiebedarfsplanung, welche die Erfahrungen der Industrieländer nutzt, rechtzeitig ein umfangreiches Ausbildungsprogramm begonnen werden. Die IAEO hat in den letzten Jahren damit begonnen, solche Programme auf internationaler Ebene durchzuführen, wobei die GfK einen wichtigen Beitrag leistet.

Neben der Kernenergie kann in Zukunft für die Entwicklungsländer auch die Verwendung der Sonnenenergie sowie in einigen gesonderten Fällen auch die Nutzung von Windenergie oder Erdwärme an Bedeutung gewinnen. Diese Technologien können häufig den regionalen und geographischen Besonderheiten der Entwicklungsländer Rechnung tragen und sind zugleich auch zur Deckung von dezentral anfallendem Energiebedarf geeignet.

Im Rahmen dieses Programms wird deshalb der Entwicklung der Sonnenenergienutzung gerade auch im Hinblick auf ihre Verwendung in Entwicklungsländern Priorität eingeräumt. Die Nutzung dieser Primärenergiequelle ist vor allem beim dezentralen Kleinverbrauch zu sehen, bei dem die Energie etwa zur Raumklimatisierung oder zur Entsalzung von Meer- und Brackwasser benötigt wird. Die technische Entwicklung muß allerdings dabei die klimatisch und wartungstechnisch schwierigen Verhältnisse berücksichtigen.

Folgende Vorhaben sind u. a. geplant:

- Verwendung von Heatpipes zur Entsalzung von Meerwasser in Jordanien
- Bau eines solarthermischen Generators mit 10 kW Spitzenleistung in Ägypten und in Indien
- Einsatz von Heatpipes für Kühlungszwecke in Ägypten.

Ebenso wie in den Industrieländern ist auch für die Entwicklungsländer der gesamte Komplex der rationellen Energieverwendung einschließlich der Isoliertechnik von Bedeutung.

Die Zusammenarbeit zwischen Entwicklungsländern und der Bundesrepublik Deutschland wird in zunehmendem Maß auch durch die Industrie getragen. Diese Tendenz soll im Rahmen des Programms ebenso verstärkt werden wie die Kooperation von Forschungszentren und Hochschulen. Hierbei sind folgende Aktivitäten geplant:

- Austausch von Experten und wissenschaftlichen Informationen
- Veranstaltung von gemeinsamen Seminaren
- Durchführung gemeinsamer Vorhaben in Grundlagen- und angewandter Forschung
- Gemeinsame Anpassung fortgeschrittener Technologien an die Bedingungen der Entwicklungsländer
- Unterstützung bei der Einführung neuer Technologien und beim Aufbau wissenschaftlicher und technischer Einrichtungen.

3.4 Gesetzliche Regelungen und Auswirkungen auf Energieforschung und Energietechnologien

Die Erzeugung und Verteilung von Energie ist vielfältigen staatlichen Regelungen unterstellt. Ihre Ziele sind Sicherheit und Umweltschutz sowie die Stär-

kung heimischer Energiequellen. Die Forschungs- und Technologiepolitik wird dadurch wesentlich beeinflußt. Auf der einen Seite beschleunigen Investitionszulagen die Einführung neuer Technologien wie z. B. energiesparende Energieversorgungssysteme, insbesondere den Ausbau von Fernwärmenetzen und Wärme- Kraft-Kopplung. Zum anderen stellt die Weiterentwicklung des Umweltrechtes gerade im Energiesektor ständig neue Forderungen an Forschung und Technik. Ebenso beeinflussen Forschung und Entwicklung die weitere Ausgestaltung des Umweltrechts. Um Innovationshemmnisse rechtzeitig abzubauen, muß zudem untersucht werden, wo bestehende rechtliche Bestimmungen die Einführung neuer Energietechnologien und die rationelle Verwendung von Energie unsachgemäß behindern.

3.4.1 Energiewirtschaftliche Gesetzgebung

Das Energiewirtschaftsgesetz verpflichtet die Elektrizitätsversorgungsunternehmen, dem Energiebedarf ein jederzeit ausreichendes und kostengünstiges Angebot gegenüberzustellen. Dieser gesetzliche Zwang zur Versorgungsvorsorge muß in Anbetracht knapper werdender Energieressourcen, veränderten Verbraucherverhaltens und steigender Umweltprobleme zunehmend als Aufforderung auch an die Energieversorgungsunternehmen interpretiert werden, sich bei Entwicklungsarbeiten im Energiebereich eigenständig zu engagieren.

Zur Sicherung des Einsatzes heimischer Steinkohle zur Elektrizitätserzeugung haben die Verstromungsgesetze wesentlich beigetragen. Seit der Verabschiedung des 3. Verstromungsgesetzes 1975 wird beim Stromverbrauch ein Zuschlag erhoben (ab 1. 4.1976: 4,5%), der zum Ausgleich der Mehrkosten der Steinkohleverstromung dient. Nach diesem Gesetz können auch Investitionskostenzuschüsse beim Neubau von Heizkraftwerken mit Wärme/Kraft-Kopplung auf Steinkohlenbasis gegeben werden.

Das Investitionszulagengesetz enthält eine Regelung, nach der zur Förderung rationeller Energieverwendung bestimmte Investitionen mit einer 7,5%igen Investitionszulage aus Steuermitteln bezuschußt werden können; als förderungswürdig sind genannt: Heizkraftwerke, Müllkraftwerke, Müllheizwerke, Wärmepumpenanlagen sowie Fernheizwerke zur Übernahme von Spitzenlasten in Fernwärmenetzen.

Das Energieeinsparungsgesetz aus dem Jahr 1976 verpflichtet jedermann zu energiesparendem Wärmeschutz bei neu zu errichtenden Gebäuden und rationellem Betrieb von Heizungs- und Lüftungsanlagen oder Anlagen zur Brauchwasserversorgung; insbesondere verpflichtet das Gesetz auch zur Instandhaltung solcher Anlagen mit dem Ziel, einen höheren Energieverbrauch als zur bestimmungsgemäßen Nutzung erforderlich ist, zu vermeiden.

3.4.2 Umweltschutz-, Atom- und Strahlenschutzrecht

Im Bereich des Umweltschutzes stehen eine ganze Reihe von Regelungen in Wechselwirkung mit der Energieforschung und der Entwicklung neuer Energietechnologien. Auch hier ist die staatliche Förderung der technischen Entwicklung nur gerechtfertigt, wo die wirtschaftlichen und technischen Risiken für die entsprechenden Unternehmen oder Wirtschaftszweige unzumutbar groß sind.

Von besonderer Bedeutung für den Energiesektor sind das Bundesimmissionsschutzgesetz und das Atomgesetz einschließlich der zugehörigen Verordnungen. Die auf diesen Grundlagen vorgeschriebenen Höchstwerte für die Abgabe von Schadstoffen an die Umwelt sowie die Sicherheitsanforderungen insbesondere an kerntechnische Anlagen erfordern oder induzieren Forschung und Entwicklung aus mehrfachem Grund;

- Die Einhaltung der neuen Grenzwerte erfordert an einigen Stellen des Energiesystems noch technische Entwicklungen. Beispiele sinp die Rauchgasentschwefelung oder die Rückhaltung radioaktiver Edelgase bei Wiederaufbereitungsanlagen.
- Die hohen Kosten, die mit der Einhaltung dieser Bestimmungen verbunden sind, sind Anreiz, wirtschaftliche Verfahren zur Rückhaltung chemischer oder radioaktiver Schadstoffe zu entwickeln und zu erproben.
- Die durch Umweltschutzbestimmungen veränderten Kosten mancher herkömmlicher Verfahren verbessern die wirtschaftlichen Aussichten umweltfreundlicherer Alter- nativ-Technologien (Beispiel: Kohledruckvergasung).
- Die mit wachsendem Energieverbrauch zunehmende Dichte von Energieanlagen in der Bundesrepublik Deutschland wird eine weitere Verringerung von Schadstoffabgaberaten erfordern, wenn die Schadstoffkonzentrationen nicht ansteigen sollen. Dies gilt Insbesondere für die Abgabe radioaktiver Stoffe beim Betrieb kerntechnischer Anlagen. In diesem Zusammenhang stehen auch die Untersuchungen, die auf eine Verringerung des Abwärmeproblems abzielen.
- Nukleare Sicherheitsforschung Ist auch ein direktes Erfordernis atomrechtlicher Prinzipien. Da die Genehmigung einer kerntechnischen Anlage nur erteilt werden darf, wenn „die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden“ getroffen ist, stellt die Fortentwicklung der Sicherheitstechnik entsprechend dem allgemeinen technischen Fortschritt eine dauernde Aufgabe dar.

Die technologische Entwicklung, insbesondere die verstärkte Kernenergienutzung, hat in den vergangenen Jahren starken Einfluß auf die Fortentwicklung

gesetzlicher Normen f genommen. So wurde in der 3. Novelle zum Atomgesetz das nukleare Haftungs- und Deckungsrecht entsprechend internationaler Abkommen reformiert und in der 4. Novelle die Bundeszuständigkeit für Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle festgelegt. Die neugefaßte Strahlenschutzverordnung schafft das rechtliche Instrumentarium, mit dem auch bei verstärkter Nutzung der Kernenergie die Strahlenbelastung der Bevölkerung sowie der in kerntechnischen Anlagen berufstätigen Personen in vertretbaren Grenzen gehalten werden kann. Gegenüber der früheren Fassung werden die bei der Abgabe radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen an die Umgebung einzuhaltenden Grenzwerte präzisiert und herabgesetzt, zusätzliche Vorkehrungen eingeführt, die zur Beherrschung oder Eindämmung unvorhergesehener Gefahrenquellen geeignet sind, und die Sicherungs-, Kontroll- und Überwachungsvorschriften weiter detailliert und teilweise verschärft. Eine bereits vorgelegte Neufassung der Atomanlagenverordnung soll dazu beitragen, die Bestimmungen über das atomrechtliche Genehmigungsverfahren an das Bundesimmissionsschutzgesetz anzupassen und die Genehmigungspraxis zu vereinheitlichen.

Eine Fortentwicklung des Atomrechts, insbesondere des atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens wird im Hinblick auf die folgenden Zielsetzungen geprüft:

- Eine rationellere, transparentere und zügigere Durchführung der atomrechtlichen Genehmigungsverfahren, bei gleichzeitiger Beibehaltung eines höchstmöglichen Sicherheitsstandards
- Eine sinnvolle Verknüpfung der verschiedenen vor Genehmigung einer kerntechnischen Anlage anzustellenden Prüfungen
- Eine verbesserte Information und Beteiligung der betroffenen Öffentlichkeit an den Genehmigungsverfahren
- Eine intensive Aufsicht bei zunehmender Zahl zu kontrollierender Anlagen und Tätigkeiten
- Die Entwicklung standardisierter Anlagen und Anlagenteile.

In Vorbereitung sind die folgenden Verordnungen bzw. Allgemeinen Verwaltungsvorschriften:

- Verordnung zu § 12 Abs. 1 Nr. 8 Atomgesetz zum Schutz der kerntechnischen Anlagen gegen Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen Dritter
- Reaktorsicherheits-Verordnung zur Kodifizierung der Sicherheitsanforderungen bei Reaktoren
- Atomrechtliche Verteilungsordnung über Grundsätze für die Verteilung der Haftungssumme, falls ein Schaden den Haftungshöchstbetrag nach Atomgesetz übersteigt
- Deckungsvorsorge-Verordnung zur Anpassung der geltenden Verordnung an neue Haftungsbestimmungen
- Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke, die in § 7, Abs. 2 Nr. 2 und 4 des Atomgesetzes als sicherheitstechnische Genehmigungsvoraussetzungen angesprochen sind.

Daneben wird die Bundesregierung in Zusammenarbeit mit den Landesbehörden, den Gutachtern und der Wirtschaft durch die Förderung kerntechnischer Regelwerke zur Festlegung allgemeingültiger Anforderungen für weitere Einzelheiten kerntechnischer Einrichtungen in dem durchzuführenden Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren beitragen.

3.5 Information der Öffentlichkeit

Im Zusammenhang mit der beginnenden Nutzung der Kernenergie wird in der Bundesrepublik Deutschland eine breite, öffentliche Diskussion über diese neue Technologie geführt. Entscheidungen über technologische Fragen, die wesentlichen Einfluß auf die künftigen Lebensbedingungen haben können, finden in der Öffentlichkeit mit Recht breiteres Interesse.

Voraussetzung für die unabhängige Meinungsbildung des Bürgers ist ein ausreichender, umfassender Informationsstand. Die Bundesregierung hält es deshalb für ihre Aufgabe, durch eine umfassende und von wirtschaftlichen Interessen freie Information die zur Meinungsbildung erforderlichen Kenntnisse zu vermitteln.

Im Jahre 1975 wurde dem BMFT die Federführung in einer vom Bund in Zusammenarbeit mit den Ländern durchgeführten Informations-Kampagne über die Kernenergienutzung übertragen. Dieser Auftrag wurde in den Jahren 1975/76 ausgefüllt durch Anzeigen, die zur Diskussion aufriefen, einem Taschenbuch, das die Vorteile und Probleme der Kernenergie schilderte und einer umfassenden, wissenschaftlich fundierten Dokumentation über die Entscheidungsgrundlagen der Bundesregierung. Zahlreiche große Diskussionsveranstaltungen und Wochenendseminare wurden veranstaltet und gefördert. Außerdem wird ein Informationsbrief über allgemein interessierende Fragen herausgegeben.

Die Bundesregierung ist der Auffassung, daß das mit dieser Aktion begonnene sachliche Gespräch mit den Bürgern fortgesetzt werden muß. Die Verdeutlichung von Konzeption und Maßnahmen dieses Programms stellt deshalb auch einen wesentlichen Aspekt in der staatlichen Forschungs- und Technologiepolitik dar. Es ist deshalb vorgesehen, die Bemühungen um eine bessere Information der Bevölkerung über neue Energie-Technologien, insbesondere über die Kernenergie, im begonnenen Rahmen fortzusetzen.

Anhang

Finanzielle Aufwendungen für das Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977-1980.

Erläuterungen zu den Tabellen 1.2/2 und 1.2/2a-e.

Tab. 1.2/2 enthält, aufgeteilt nach den Sachkapiteln des Programms, eine Übersicht über die Gesamtaufwendungen, wobei die Mittel aus dem Programm für Zukunftsinvestitionen extra aufgeführt sind.

Tab. 1.2/2a enthält unter der Überschrift „Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977-1980“ die gesamten Aufwendungen, aufgeteilt auf die einzelnen Unterkapitel des Programms. Die Zahlen der Tab. 1.2/2a entstehen durch Aufaddieren der einzelnen Beiträge, die in den Tab. 1.2/2b bis 1.2/2e zusammengestellt sind. In Tab. 1.2/2b sind nach demselben Schema die Aufwendungen des BMFT für Projektmittel zusammengestellt. Unter „Projektmittel“ sind die Mittel des BMFT-Haushalts ohne die Beiträge der Großforschungszentren zu verstehen. Letztere sind in Tab. 1.2c unter der Überschrift „Institutionelle Förderung“ zusammengestellt. Da normalerweise der Haushalt eines Großforschungszentrums zu 90% vom Bund und zu 10% von dem Bundesland getragen wird, in dem sich das Großforschungszentrum befindet, sind in diesen Zahlen ca. 10% Ländermittel enthalten. In Tab. 1.2/2d sind die energieforschungsrelevanten Vorhaben aus dem Programm für Zukunftsinvestitionen zusammengefaßt. Bei jedem einzelnen Vorhaben ist vermerkt, zu welchem Kapitel des Forschungsprogramms das Vorhaben gehört. Tab. 1.2/2e zeigt die Aufwendungen von BMI und BMWi für energieforschungsrelevante Vorhaben, wobei auch hier jeweils vermerkt ist, zu welchem Kapitel des Forschungsprogramms die Aufwendungen gehören.

Tab. 1.2/2: Übersicht über die Gesamtaufwendungen für Energieforschung und Energietechnologien 1977-1980 einschließlich Programm für Zukunftsinvestionen (in Mio. DM)

	1977	1978	1979	1980	Summe
2.1 Rationelle Energieverwendung im					
Anwendungs- und Sekundärenergiebereich:					
- Forschungsprogramm	46	70	119	121	356
- Programm für Zukunftsinvestitionen	10	56	43	-	109
	56	126	162	121	465
2.2 Kohle und andere fossile Primärenergieträger:					
- Forschungsprogramm	148	220	293	335	996
- Programm für Zukunftsinvestitionen	31	77	139	57	304
	179	297	432	392	1300
2.3 Neue Energiequellen:					
- Forschungsprogramm	103	125	160	180	574
- Programm für Zukunftsinvestitionen	-	3	17	12	32
	103	128	177	198	606
2.4 Kernenergie:					
- Forschungsprogramm	952	1010	1136	1242	4340
- Programm für Zukunftsinvestitionen	7	2	14	18	34
	952	1012	1150	1260	4374
Gesamtaufwendungen:					
- Forschungsprogramm	1249	1425	1704	1879	6257
- Programm für Zukunftsinvestitionen	41	138	217	92	488
	1290	**1563**	**1921**	**1971**	**6745**

Tab. 1.2/2a: Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977-1980 - Gesamtaufwendungen

Mio. DM	1977	1978	1979	1980	Summe 1977/1980
2.1.1.1 Haushalt und Kleinver-brauch	7	13	22	24	66
2.1.1.2 Industrie	2	10	13	11	36
2.1.1.3 Verkehr	-	-	-	-	-
2.1.1 Anwendungstechnik	9	23	35	35	102
2.1.2.1 Wärme/Kraft-Kopplung und Fernwärme	13	61	56	15	145
2.1.2.2 Kühlung von Kraftwerken und Abwärmenutzung	5	7	27	29	68
2.1.2.3 Erzeugung, Transport und Speicherung von Elektrizität	16	20	25	22	83
2.1.2 Sekundärenergieträger	34	88	108	66	296
2.1.3 Gase	13	15	19	20	67
2.1 Rationelle Energieverwendung im Anwendungs- und Sekundärenergiebereich	56	126	162	121	465
2.2.1.1 Elektrizitätserzeugung aus Kohle	40	70	145	79	334
2.2.1.2 Gaserzeugung aus Kohle	41	46	46	49	182
2.2.1.3 Kohleverflüssigung	7	9	37	66	119
2.2.1.4 Kokserzeugung und Direktverbrennung	12	19	19	24	74
2.2.1 Kohletechnologie	100	144	247	218	709
2.2.2.1 Vortriebs-und Abbausysteme, logistische Systeme	53	119	144	118	434
2.2.2.2 Aufbereitung	9	11	17	25	62
2.2.2.3 Untertage-Vergasung	3	3	5	9	20
2.2.2 Erschließung, Gewinnung und Aufbereitung der Steinkohle	65	133	166	152	516
2.2.3.1 Prospektion auf Erdöl und Erdgas	10	16	14	12	52
2.2.3.2 Förderung von Erdöl und Erdgas	2	2	3	7	14
2.2.3.3 Ölschiefer	2	2	2	3	9
2.2.3 Prospektion, Erschließung, Gewinnung und Aufbereitung fossiler Primärenergieträger	14	20	19	22	75
2.2 Kohle und andere fossile Primärenergieträger	179	297	432	392	1300
2.3.1 Kontrollierte Kernfussion	71	75	92	95	333
2.3.2 Sonnenenergie	23	32	57	57	169
2.3.3.1 Windenergie	5	10	14	24	53
2.3.3.2 Geothermische Energie	2	9	11	17	39
2.3.3.3 Sonstige Energiequellen	2	2	3	5	12
2.3.3 Andere nichtnukleare Energiequellen	9	21	28	46	104
2.3 Neue Energiequellen	103	128	177	198	606

Tab. 1.2/2a: Fortsetzung

Mio. DM	1977	1978	1979	1980	Summe 1977/1980
2.4.1.1 LWR-Sicherheitsfor-schung	94	109	119	123	445
2.4.1.2 Sicherheitsforschung zu fortgeschrittenen Reaktortypen	13	8	25	35	81
2.4.1.3 Vom Reaktorsystem unabhängige Sicherheitsforschung	24	27	31	28	110
2.4.1.4 Stillegung und Beseitigung von Kernenergie anlagen	2	1	9	10	22
2.4.1.5 HDR-Projekt	14	15	15	19	63
2.4.1.6 Internationale Zusammenarbeit bei der Reaktorsicherheitsforschung	-	-	-	-	-
2.4.1.7 Strahlenschutzforschung	14	16	18	19	67
2.4.1 Nukleare Sicherheitsforschung und Strahlenschutz	161	176	217	234	788
2.4.2.1 Natururanversorgung	37	29	25	2	93
2.4.2.2 Konversion	-	-	-	-	-
2.4.2.3 Urananreicherung	69	79	68	62	278
2.4.2.4 Brennelementfertigung	-	-	-	-	-
2.4.2.5 Entsorgungskonzept für LWR	137	169	183	215	704
2.4.2.6 Spaltstoff-Flußkontrolle und Spaltstoffschutz	6	8	8	8	30
2.4.2 Brennstoffkreislauf	249	285	284	287	1105
2.4.3.1 THTR 300	-	-	1	1	2
2.4.3.2 HTR - Weiterentwicklung	114	108	130	158	510
2.4.3 Hochtemperaturreaktoren (HTR)	114	108	131	159	512
2.4.4.1 SNR 300	33	43	44	44	164
2.4.4.2 Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage II (KNK II)	57	47	54	61	218
2.4.4.3 Weiterführende Schnellbrüterentwicklung	61	60	73	84	278
2.4.4.3 - Beiträge zur internationalen Schnellbrüterkooperation	-	-	-	10	10
2.4.4.4 Gasbrüter	8	9	9	8	34
2.4.4 Schnelle Burtreaktoren (SBR)	159	159	179	207	704
2.4.5 Kernenergie-Schiffsantrieb	24	24	11	13	72
2.4.6 Prototyp- und Versuchsreaktoren	-	-	-	-	-
2.4.6 - Kernenergie (F&E)	707	752	822	900	3181
2.4.6 - 2000-jato-Gaszentrifugendemoanlage	29	50	48	75	202
2.4.6 - THTR300	60	102	99	110	371
2.4.6 - SNR 300	156	108	181	175	620
2.4 Kernenergie, gesamt	952	1012	1150	1260	4374
Programm, gesamt	**1290**	**1563**	**1921**	**1971**	**6745**

Tab. 1.2/2b: Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977-1980 – Aufwendungen des BMFT - Projektmittel

Mio. DM	1977	1978	1979	1980	Summe 1977/1980
2.1.1.1 Haushalt und Kleinverbrauch	6	12	21	23	62
2.1.1.2 Industrie	2	10	13	11	36
2.1.1.3 Verkehr	-	-	-	-	-
2.1.1 Anwendungstechnik	8	22	34	34	98
2.1.2.1 Wärme/Kraft-Kopplung und Fernwärme	3	5	13	15	36
2.1.2.2 Kühlung von Kraftwerken und Abwärmenutzung	5	7	27	29	68
2.1.2.3 Erzeugung, Transport und Speicherung von Elektrizität	16	20	25	22	83
2.1.2 Sekundärenergieträger	24	32	65	66	187
2.1.3 Gase	2	4	5	6	17
2.1 Rationelle Energieverwendung im Anwendungsund Sekundärenergiebereich	34	58	104	106	302
2.2.1.1 Elektrizitätserzeugung aus Kohle	36	12	36	33	117
2.2.1.2 Gaserzeugung aus Kohle	15	28	29	45	117
2.2.1.3 Kohleverflüssigung	6	8	24	59	97
2.2.1.4 Kokserzeugung und Direktverbrennung	8	14	14	17	53
2.2.1 Kohletechnologie	65	62	103	154	384
2.2.2.1 Vortriebs- und Abbausysteme, logistische Systeme	29	73	97	78	277
2.2.2.2 Aufbereitung	2	1	1	1	5
2.2.2.3 Untertage-Vergasung	3	3	5	9	20
2.2.2 Erschließung, Gewinnung und Aufbereitung der Steinkohle	34	77	103	88	302
2.2.3.1 Prospektion auf Erdöl und Erdgas	8	9	7	5	29
2.2.3.2 Förderung von Erdöl und Erdgas	2	2	3	7	14
2.2.3.3 Ölschiefer	2	2	2	3	9
2.2.3 Prospektion, Erschließung Gewinnung und Aufbereitung fossiler Primärenergieträger	12	13	12	15	52
2.2 Kohle und andere fossile Primärenergieträger	111	152	218	257	738
2.3.1 Kontrollierte Kernfusion	-	-	-	-	-
2.3.2 Sonnenenergie	20	24	33	37	114
2.3.3.1 Windenergie	4	9	13	23	49
2.3.3.2 Geothermische Energie	2	9	11	17	39
2.3.3.3 Sonstige Energiequellen	2	2	3	5	12
2.3.3 Andere nichtnukleare Energiequellen	8	20	27	45	100
2.3 Neue Energiequellen	28	44	60	82	214

Tab. 1.2/2b: Fortsetzung

Mio. DM	1977	1978	1979	1980	Summe 1977/1980
2.4.1.1 LWR-Sicherheitsforschung	41	53	44	39	177
2.4.1.2 Sicherheitsforschung zu fortgeschrittenen Reaktortypen	9	6	23	33	71
2.4.1.3 Vom Reaktorsystem unabhängige Sicherheitsforschung	24	27	31	28	110
2.4.1.4 Stillegung und Beseitigung von Kernenergieanlagen	2	1	9	10	22
2.4.1.5 HDR-Projekt	10	12	12	14	48
2.4.1.6 Internationale Zusammenarbeit bei der Reaktorsicherheitsforschung	-	-	-	-	-
2.4.1.7 Strahlenschutzforschung	-	-	-	-	-
2.4.1 Nukleare Sicherheitsforschung und Strahlenschutz	86	99	119	124	428
2.4.2.1 Natururanversorgung	35	27	23	-	85
2.4.2.2 Konversion	-	-	-	-	-
2.4.2.3 Urananreicherung	55	59	48	40	202
2.4.2.4 Brennelementfertigung	-	-	-	-	-
2.4.2.5 Entsorgungskonzept für LWR	56	75	73	90	294
2.4.2.6 Spaltstoff-Flußkontrolle und Spaltstoffschutz	-	-	-	-	-
2.4.2 Brennstoffkreislauf	146	161	144	130	581
2.4.3.1 THTR 300	-	-	-	-	-
2.4.3.2 HTR-Weiterentwicklung	32	32	44	70	178
2.4.3 Hochtemperatürreaktoren (HTR)	32	32	44	70	178
2.4.4.1 SNR 300	-	-	-	-	-
2.4.4.2 Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktor-. anlage II (KNKII)	34	5	-	-	39
2.4.4.3 Weiterführende Schnellbrüterentwicklung	18	13	23	28	106
2.4.4.4 Gasbrüter	-	-	-	-	-
2.4.4.4 - Beiträge zur internationalen Schnellbrüterkooperation	-	-	-	10	10
2.4.4 Schnelle Brutreaktoren (SBR)	52	18	23	38	155
2.4.5 Kernenergie-Schiffsantrieb	-	-	1	1	2
2.4.6 Prototyp- und Versuchsreaktoren	-	-	-	-	-
2.4.6 - Kernenergie (F&E)	316	310	331	363	1320
2.4.6 - 2000-jato-Gaszentrifugen- demoanlage	29	50	48	75	202
2.4.6 - THTR 300	60	102	99	110	371
2.4.6 - SNR300	156	108	181	175	620
2.4 Kernenergie, gesamt	561	570	659	723	2513
Programm, gesamt	**734**	**824**	**1041**	**1168**	**3767**

Tab. 1.2/2c: Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977-1980 – Aufwendungen des BMFT – Institutionelle Förderung

Mio. DM	1977	1978	1979	1980	Summe 1977/1980
2.1.1.1 Haushalt und Kleinverbrauch	1	1	1	1	4
2.1.1.2 Industrie	-	-	-	-	-
2.1.1.3 Verkehr	-	-	-	-	-
2.1.1 Anwendungstechnik	1	1	1	1	4
2.1.2.1 Wärme/Kraft-Kopplung und Fernwärme	-	-	-	-	-
2.1.2.2 Kühlung von Kraftwerken und Abwärmenutzung	-	-	-	-	-
2.1.2.3 Erzeugung, Transport und Speicherung von Elektrizität	-	-	-	-	-
2.1.2 Sekundärenergieträger	-	-	-	-	-
2.1.3 Gase	11	11	14	14	50
2.1 Rationelle Energieverwendung im Anwendungsund Sekundärenergiebereich	12	12	15	15	54
2.2.1.1 Elektrizitätserzeugung aus Kohle	-	-	-	-	-
2.2.1.2 Gaserzeugung aus Kohle	-	-	-	-	-
2.2.1.3 Kohleverflüssigung	-	-	-	-	-
2.2.1.4 Kokserzeugung und Direktverbrennung	-	-	-	-	-
2.2.1 Kohletechnologie	-	-	-	-	-
2.2.2.1 Vortriebs-und Abbausysteme, logistische Systeme	-	-	-	-	-
2.2.2.2 Aufbereitung	-	-	-	-	-
2.2.2.3 Untertage-Vergasung	-	-	-	-	-
2.2.2 Erschließung, Gewinnung und Aufbereitung der Steinkohle	-	-	-	-	-
2.2.3.1 Prospektion auf Erdöl und Erdgas	2	7	7	7	23
2.2.3.2 Förderung von Erdöl und Erdgas	-	-	-	-	-
2.2.3.3 Ölschiefer	-	-	-	-	-
2.2.3 Prospektion, Erschließung, und Aufbereitung fossiler Primärenergieträger	2	7	7	7	23
2.2 Kohle und andere fossile Primärenergieträger	2	7	7	7	23
2.3.1 Kontrollierte Kernfusion	71	75	92	95	333
2.3.2 Sonnenenergie	3	5	7	8	23
2.3.3.1 Windenergie	1	1	1	1	4
2.3.3.2 Geothermische Energie	-	-	-	-	-
2.3.3.3 Sonstige Energiequellen	-	-	-	-	-
2.3.3 Andere nichtnukleare Energiequellen	1	1	1	1	4
2.3 Neue Energiequellen	75	81	100	104	360

Tab. 1.2/2c: Fortsetzung

Mio. DM	1977	1978	1979	1980	Summe 1977/1980
2.4.1.1 LWR-Sicherheitsforschung	53	56	75	84	268
2.4.1.2 Sicherheitsforschung zu fortgeschrittenen Reaktortypen	4	2	2	2	10
2.4.1.3 Vom Reaktorsystem unabhängige Sicherheitsforschung	-	-	-	-	-
2.4.1.4 Stillegung und Beseitigung von Kernenergieanlagen	-	-	-	-	-
2.4.1.5 HDR-Projekt	4	3	3	5	15
2.4.1.6 Internationale Zusammenarbeit bei der Reaktorsicherheitsforschung	-	-	-	-	-
2.4.1.7 Strahlenschutzforschung	5	5	6	6	22
2.4.1 Nukleare Sicherheitsforschung und Strahlenschutz	66	66	86	97	315
2.4.2.1 Natururanversorgung	2	2	2	2	8
2.4.2.2 Konversion	-	-	-	-	-
2.4.2.3 Urananreicherung	14	20	20	22	76
2.4.2.4 Brennelementfertigung	-	-	-	-	-
2.4.2.5 Entsorgungskonzept für LWR	81	92	92	102	367
2.4.2.6 Spaltstoff-Flußkontrolle und Spaltstoffschutz	6	8	8	8	30
2.4.2 Brennstoffkreislauf	103	122	122	134	481
2.4.3.1 THTR300	-	-	1	1	2
2.4.3.2 HTR-Weiterentwicklung	82	76	86	88	332
2.4.3 Hochtemperaturreaktoren (HTR)	82	76	87	89	334
2.4.4.1 SNR 300	33	43	44	44	164
2.4.4.2 Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage (KNKII)	23	42	53	61	179
2.4.4.3 Weiterführende Schnellbrüterentwicklung	43	47	50	56	196
2.4.4.4 Gasbrüter	8	9	9	8	34
2.4.4 Schnelle Brutreaktoren (SBR)	107	141	156	169	573
2.4.5 Kernenergie-Schiffsantrieb	24	24	10	12	70
2.4.6 Prototyp- und Versuchsreaktoren	-	-	-	-	-
2.4.6 - Kernenergie (F&E)	382	429	461	501	1773
2.4.6 - 2000-jato-Gaszentrifugendemoanlage	-	-	-	-	-
2.4.6 - THTR300	-	-	-	-	-
2.4.6 - SNR 300	-	-	-	-	-
2.4 Kernenergie, gesamt	382	429	461	501	1773
Programm, gesamt	**471**	**529**	**583**	**627**	**2210**

Tab. 1.2/2d: Energieforschungsrelevante Vorhaben im programm für zukunftsinvestitionen (in Mio. DM)

Vorhaben	Beitrag zu Kapitel	1977	1978	1979	1980	Summe 1977/ 1980
1. Fernwärmeversorgung	2.1.2.1					
- Fernwärme Ruhr		1	45	35	-	81
- Fernwärme Saar		9	11	8	-	28
2. VEW-Kohle- umwandlungsverfahren	2.2.1.1	1	1	42	-	44
3. Umweltfreundliches Steinkohlekraftwerk	2.2.1.1	3	57	67	46	173
4. Technologiezentrum Saar zur Kohlevergasung	2.2.1.2	13	9	6	-	28
5. Kohlestaubdruckvergasung	2.2.1.2	8	4	4	-	16
6. Pilotanlage Nukleare Fernenergie	2.2.1.2	5	5	7	4	21
7. Pilotanlage Kohlehydrierung	2.2.1.3	1	1	13	7	22
8. Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung auf Sonnenenergiebasis	2.3.2	-	3	17	12	32
9. Zentrale Entsorgungsanlage für radioaktive Abfälle (GSF)	2.4.2.5	-	-	4	5	9
10. Demoanlage zur Verarbeitung radioaktiver Abfälle (AZUR)	2.4.2.5	-	2	14	18	34
		41	**138**	**217**	**92**	**488**

Tab. 1.2/2e: Aufwendungen des BMI und des BMWi für energieforschungsrelevante Vorhaben (in Mio. DM)

Vorhaben	Beitrag zu Kapitel	1977	1978	1979	1980	Summe 1977/ 1980
BMWi: Kokserzeugung	2.2.1.4	4	5	5	7	21
BMWi: Vortriebs- und Abbausysteme, logistische Systeme	2.2.2.1	24	46	47	40	157
BMWi: Kohleaufbereitung	2.2.2.2	7	10	16	24	57
BMI: Strahlenschutzforschung	2.4.1.7	9	11	12	13	45
		44	**72**	**80**	**84**	**280**

Tab. 1.2/6: Übersicht über die Entwicklung der Aufwendungen von Bund und Ländern im Sektor Energie (in Mio. DM)

		1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	
I.	nukleare Energieforschung	789	831	924	1079	1004	952	1012	1150	1260	Energieforschung und -entwicklung
II.	nichtnukl. Energieforschung	10	18	110	222	233	267	476	679	616	
III.	Fusionsforschung	57	64	76	80	85	71	75	92	95	
IV.	Kohlehilfen[1)]	1240	1693	1965	2088	2707	3571	5273	6000	6110	Kohlehilfen
V.	4,35-Mrd-DM-Energiesparprogramm		–	–	–			–	830	880	Rationelle Energieverwendung
VI.	Betriebszuschüsse für Fernwärmebetrieb (ZIP)[2)]	–	–	–	–	–	20	60	(180)	(180)	
VII.	Sonstige Hilfen[3)]	-	-	-	10	29	52	68	112	135	
Gesamt nuklear/nichtnuklear (ohne Fusion) (I./II.+ IV + V + VI + VII)		**0,63**	**0,49**	**0,45**	**0,46**	**0,34**	**0,24**	**0,15**	**0,15**	**0,16**	

Anm.: der unregelmäßige Verlauf des Verhältnisses der Aufwendungen für nukleare zu nichtnuklearer Forschung spiegelt den unregelmäßigen Mittelabfluß einiger großer Projekte wider.

1) umfaßt Verstromungsbeihilfen, Kokskohlenbeihilfe, Investitionshilfen für Umweltschutzinvestition, Sozialhilfen für Bergarbeiter, Stillegungshilfen. Zahlen für 1979 und 1980 geschätzt.

2) Zahlen für 1979 und 1980 beruhen auf Schätzungen der Industrie.

3) Innovationshilfen (BMWi), Aufklärung und Beratung (BMWi), Einzelmaßnahmen (BML), Zulagen nach § 4 a Invest.-Zulagengesetz (BMF).

Tab. 1.2/8: Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland (Stand Frühjahr 1979)
In der folgenden Tabelle bedeuten:
DWR = Druckwasserreaktor
SWR = Siedewasserreaktor
HTR = Hochtemperaturreaktor
SNR = Schneller natriumgekühlter Reaktor

Nr.	Projekt	Standort	Betreiber	Hersteller	Typ Leistung in MWE brutto	Antragstellung nach § 7 AtG	Erteilung der 1. TEG	Nukleare Inbetrieb-nahme
1	VAK	Kahl/Main, Bayern	RWE, Bayernwerk	AEG/GE	SWR 16	Jul 58	08.11.1960	30.11.1960
2	AVR	Jülich, Nordrhein-Westfalen	AVR	BBK	HTR 15	04.02.1958	16.09.1960	26.08.1966
3	MZFR	Karlsruhe, Baden-Württemberg	GFK, KBG	Siemens (KWU)	DWR (D20) 58	22.06.1961	20.08.1962	29.09.1965
4	KRB I	Gundremmingen/ Donau, Bayern	RWE, Bayernwerk	AEG-GE	SWR 250	13.07.1962	20.06.1965	14.08.1966
5	KWL*)	Lingen/Ems Niedersachsen	VEW	AEG (KWU)	SWR 252	23.03.1964	08.04.1965	20.07.1968
6	KWO I	Obrigheim/Neckar Baden-Württemberg	KWO	Siemens (KWU)	DWR 345	16.07.1964	16.03.1965	22.09.1968
7	KWW	Würgassen/Weser Nordrhein-Westfalen	Preussen elektra	AEG (KWU)	SWR 670	19.07.1967	19.01.1968	22.10.1971
8	KKS	Stade/Elbe Niedersachsen	NWK, HEW	Siemens (KWU)	DWR 662	28.07.1967	05.07.1968	08.01.1972
9	Biblis A	Biblis/Rhein, Hessen	RWE	Siemens (KWU)	DWR 1204	11.06.1969	31.07.1970	16.07.1974
10	KKP I	Philippsburg/Rhein Baden-Württemberg	BAG/EVS	AEG (KWU)	SWR 900	03.10.1969	09.10.1970	09.03.1979
11	KKB	Brunsbüttel/Elbe Schleswig-Holstein	HEW/NWK	AEG (KWU)	SWR 806	10.11.1969	02.04.1970	23.06.1976
12	THTR 300	Hamm-Uentrop/Lippe Nordrhein-Westfalen	HKG	BBC/HRB/ NUKEM	HTR 308	12.01.1970	03.05.1971	geplant 1981
13	KNK II**)	Karlsruhe, Baden-Württemberg	KfK, KBG	INTERATOM	Natriumkühl-ung 21	05.06.1970	02.05.1975	10.10.1977
14	SNR300	Kalkar/Rhein Nordrhein-Westfalen	SBK	INB	SNR 327	29.10.1970	18.12.1972	geplant 1983
15	GKN I	Neckarwestheim/ Neckar, Baden-Württemberg	Neckarwerke TWS, DB	Siemens (KWU)	DWR 813	02.04.1971	24.01.1972	26.05.1976
16	KKU	Esenshamm/Weser Niedersachsen	NWK, Preussen-elektra	Siemens (KWU)	DWR 1300	07.04.1971	28.06.1972	16.09.1978
17	Biblis B	Biblis/Rhein, Hessen	RWE	Siemens (KWU)	DWR 1300	03.05.1971	06.04.1972	25.03.1976
18	KKK	Krümmel/Elbe Schleswig-Holstein	HEW, NWK	AEG (KWU)	SWR 1316	14.07.1971	07.06.1974	geplant 1981
19	KKI-1	Ohu/Isar, Bayern	Bayernwerk Isar-Amper- werke	AEG (KWU)	SWR 907	20.07.1971	16.05.1972	20.11.1977
20	Mülheim-Kärlich	Mülheim-Kärlich/Rhein Rheinland-Pfalz	RWE	BBR	DWR 1295	22.12.1972	09.01.1975	geplant 1982

*) Das seit 15.1.1977 abgeschaltete KWL wird umgebaut und ohne den nuklearen Teil wieder in Betrieb genommen werden.

**) Der Betrieb von KNK I wurde 1975 eingestellt. Für den Betrieb derselben Anlage mit neuem Kern (KNKII) wird ein eigenes Genehmigungsverfahren durchgeführt.

Nr.	Projekt	Standort	Betreiber	Hersteller	Typ Leistung in MWE brutto	Antragstellung nach § 7 AtG	Erteilung der 1. TEG	Nukleare Inbetrieb-nahme
21	KKG	Grafenrheinfeld/Main Bayern	Bayernwerk	KWU	DWR 1300	07.06.1973	21.06.1974	geplant 1980
22	KWS-1**)	Wyhl/Rhein, Baden-Württemberg	BAG, EVS	KWU	DWR 1362	10.10.1973	22.01.1975	geplant 1986
23	KWS-2***)	Wyhl/Rhein, Baden-Württemberg	BAG, EVS	KWU	DWR 1362	10.10.1973		wird z. Z. vom Betreiber nicht weiterverfolgt.
24	KWG	Grohnde/Weser Niedersachsen	Preussen- elektra, Interargem	KWU	DWR 1361	03.12.1973	08.06.1976	geplant 1983
25	KBR	Brokdorf/Elbe Schleswig-Holstein	NWK, HEW	KWU	DWR 1365	12.03.1974	25.10.1976	geplant 1984/85
26	KRB-II Block B	Gundremmingen/ Donau, Bayern	RWE, Bayernwerk	KWU	SWR 1310	15.03.1974	16.07.1976	geplant 1982
27	KRB-II Block C	Gundremmingen/ Donau, Bayern	RWE, Bayernwerk	KWU	SWR 1310	15.03.1974	16.07.1976	geplant 1982
28	KWB	Borken/Schwalm Hessen	Preussen- elektra		DWR 1300	11.09.1974		
29	KKV Block 1	Vahnum/Rhein	RWE	KWU	DWR 1300	29.11.1974		
30	KKV Block 2	Vahnum/Rhein Nordrhein-Westfalen	RWE	KWU	DWR 1300	29.11.1974		
31	Biblis C	Biblis/Rhein, Hessen	RWE	KWU	DWR 1303	18.04.1975		
32	Biblis D***)	Biblis/Rhein, Hessen	RWE	KWU	DWR 1303	18.04.1975		
33	GKNII	Neckarwestheim/ Neckar, Baden-Württemberg	Neckarwerke TWS, DB	KWU	DWR 845	23.06.1975		geplant 1986/87
34	KKPII	Philippsburg/Rhein Baden-Württemberg	BAG, EVS	KWU	DWR 1262	24.06.1975		geplant 1982/83
35	KKH	Hamm/Lippe Nordrhein-Westfalen	VEW, Elektromark	KWU	DWR 1303	23.06.1975		
36	KKE	Lingen/Ems Niedersachsen	KLE		DWR 1300	Aug 78		
37	Neupotz 1	Neupotz/Rhein	RWE/ Pfalzwerke	BBR	DWR 1330	16.06.1977		geplant 1986/87
38	Neupotz 2	Neupotz/Rhein	RWE/ Pfalzwerke	BBR	DWR 1330	16.06.1977		
39	KKI-2	Ohu/Isar Bayern	Bayernwerk Isar-Amper- Werke	KWU	DWR 1304	Mrz 76		geplant 1985/86

**) 1. TEG durch Gerichtsbeschluß vom 14. 3.1977 (Verwaltungsgericht Freiburg) für unrechtmäßig erklärt.

***) Die Projekte werden z. Z. vom Antragsteller nicht weiterverfolgt.

Tab. 1.2/9: Ausgaben für das Rahmenprogramm Energieforschung von 1974 bis 1976

		1974	1975	1976	Summe
2.1.1	Anwendungstechnik	5	24	17	46
2.1.2	Sekundärenergieträger	10	43	35	88
2.1.3	Gase	1	3	5	9
2.1	Rationelle Energieverwendung im An-wendungs- und Sekundärenergiebereich	16	70	57	143
2.2.1	Kohletechnologie	68	74	68	210
2.2.2	Erschließung, Gewinnung und Aufbereitung der Steinkohle	25	7	19	51
2.2.3	Prospektion, Erschließung, Gewinnung und Aufbereitung fossiler Primärenergieträger	-	9	12	21
2.2	Kohle und andere fossile Primärenergieträger	93	90	99	282
2.3.2	Sonnenenergie	1	10	17	28
2.3.3	Andere nichtfossile nichtnukleare Energiequellen	-	11	2	13
2.3	Neue Energiequellen	1	21	19	41
	Rahmenprogramm gesamt:	110	181	175	466
	2. Konjunkturprogramm (Fernwärmeschiene Ruhr):	-	41	38	79
	Nichtnukleare Energieforschung und Energietechnologie 1974—1976:	110	222	213	545

*) Aufgeschlüsselt nach der Gliederung des Programms Energieforschung und Energietechnologien 1977—1980.

Tab. 1.2/10: Übersicht über die an der Energieforschung beteiligten Forschungszentren

Name		Grün-dung	Träger	Mitarbeiter Ende 1976	Investitions- und Betriebs-kosten bis 1976 Mio. DM	Aufgabenschwerpu nkte
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe	KfK	1956	Bund Baden-Würt-temberg	3207	2520	Kerntechnik (Schneller Brüter) Kernforschung
Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jülich	KFA	1956	Bund Nordrhein-Westfalen	3360	2610	Kerntechnik (Hochtemperatur-Reaktoren) Kernforschung
Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schiffahrt mbH, Hamburg Reaktorstation Geesthacht	GKSS	1956	Bund Bremen, Hamburg Nieder-sachsen Schles-wig-Holstein	553	470	Kerntechnik NS „Otto Hahn"
Hah n-Meitner-I nstitut für Kernforschung Berlin GmbH, Berlin	HMI	1957	Bund Berlin	660	378	Kernforschung (Chemie, Physik)
Deutsche Forschungsund Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V., Köln	DFVLR	1969	Bund	3135	1199	Luft- und Raumfahrt
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching bei München	IPP	1960	Bund Bayern	1052	475	Kernforschung (Plasma-Fusions-forschung)
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Neuherberg b. München	GSF	1964	Bund	1328	610	Kernforschung (Biologie, Medizin)

2. Energieforschungsprogramm

Vorwort

Das hier vorgelegte Zweite Programm Energieforschung und Energietechnologien schließt an das „Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977 -1980" an. Es ist jedoch keine bloße Fortschreibung der bisherigen Aktivitäten. Aufgrund der bislang gemachten Erfahrungen wurden neue Akzente gesetzt und die Mittel auf erfolgversprechende Entwicklungen konzentriert.

Die absehbare Entwicklung der nationalen und weltweiten Energieversorgung erfordert eine weitgehende Umstrukturierung unserer Energieversorgung und -nutzung. Energie muß rationeller und sparsamer als bisher genutzt, die Abhängigkeit vom Erdöl entschieden vermindert werden. Die traditionellen Energieträger müssen durch Einsatz neuer Energiequellen, auch der sogenannten regenerativen Energien, entlastet werden.

Diesen Strukturwandel gilt es mit der Entwicklung und Anwendung .entsprechender Technologien zu unterstützen. Dabei sind in Forschung und Entwicklung vielfältige Kriterien zu beachten, wie sie beispielsweise von der Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergie-Politik" des 8. Deutschen Bundestages für die Energiepolitik formuliert worden sind. Ein verantwortliches Abwägen von Vor- und Nachteilen verschiedener Energiesysteme erfordert, daß für alle Energietechniken neben dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit auch der Umweltschutz und die Verminderung verschiedenartiger Risiken berücksichtigt werden müssen.

Bei der Aufstellung des Programms wurde diesen Aspekten Rechnung getragen. Die beschriebenen Maßnahmen orientieren sich vor allem an den Zielen: mittel- und langfristige Sicherung der Energieversorgung, Bereitstellung und rationelle Nutzung der Energie zu günstigen volkswirtschaftlichen Gesamtkosten, sachgerechte und frühzeitige Berücksichtigung der Erfordernisse des Umweltschutzes, sparsamer Umgang mit natürlichen Ressourcen und Schutz der Bevölkerung und der Beschäftigten vor Gefahren der Energiegewinnung, -Umwandlung und -anwendung sowie Steigerung der technologischen Leistungsfähigkeit zur Erhaltung der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit in der Energietechnik. Die Energieforschung soll dazu beitragen, einseitige Abhängigkeiten zu vermindern, Versorgungsrisiken zu verringern, die Leistungsbilanz zu entlasten sowie mögliche Auswirkungen von Energietechniken auf unser politisches und soziales System zu berücksichtigen. Neue Energietechniken sollen dabei helfen, internationale Verteilungskämpfe um knapper werdende Ressourcen zu vermeiden und die Entwicklungsländer bei ihren Bemühungen um das Erschließen neuer Energiequellen zu unterstützen.

Die Bundesregierung geht bei der Aufstellung dieses Programms davon aus, daß die Energiewirtschaft und die anlagenherstellende Industrie sich stärker als bislang an der Finanzierung von Entwicklung und Demonstration neuer Energietechniken beteiligen.

Als Gründe für eine staatliche Förderung bleiben weiterhin gültig, wenn

- es sich um besonders risikoreiche und langfristige Entwicklungen handelt,
- z. B. unter dem Gesichtspunkt der Risikominimierung unserer Energieversorgung Entwicklungen begonnen werden müssen, weil die gegebene Marktsituation keinen ausreichenden Anreiz für die Wirtschaft darstellt,
- wichtige Aspekte des Umweltschutzes, des Schutzes der Bevölkerung und der Arbeitenden zu berücksichtigen sind.

Das vorliegende Programm leistet damit seinen Beitrag zur Unterstützung der energiepolitischen Maßnahmen der Bundesregierung.

Andreas von Bülow

Bundesminister für Forschung und Technologie

1. Einleitung

1.1 Ziele des Programms

Die Forschungs- und Technologiepolitik der Bundesregierung soll dazu beitragen, die Lebens- und Arbeitsbedingungen der Bürger und die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit unserer Wirtschaft zu erhalten und zu verbessern.

Weil fast alle Bereiche unseres Lebens - von der industriellen und land- ' wirtschaftlichen Produktion über den Dienstleistungssektor bis zur individuellen Lebens- und Freizeitgestaltung - mit der Nutzung von Energie verbunden sind, ist es eine besonders wichtige und anspruchsvolle Aufgabe, den Bedarf an Energie zu möglichst günstigen ökonomischen und ökologischen Bedingungen zu decken.

Die Lösung dieser Aufgabe ist in den letzten Jahren nicht einfacher geworden. Anhaltende Versorgungsrisiken bei Energieimporten, vor allem bei dem noch immer wichtigsten Energieträger Mineralöl, die stärkere Empfindlichkeit unserer Volkswirtschaft gegenüber der ökonomischen Belastung durch die Energieimporte und vor allem auch die gewachsenen Anforderungen an die Umweltfreundlichkeit der Energieversorgung stellen große Probleme dar. Angesichts begrenzter heimischer Energiepotentiale können hier von neuen Techniken sowohl zum effektiveren Umgang mit Energie wie zur Erschließung

neuer Energiequellen und zur Verminderung der Umweltbelastungen Beiträge zur Lösung der Probleme erwartet werden. Darüber hinaus müssen Forschung und Technik auch zur Lösung des Energieproblems der Entwicklungsländer beitragen, weil deren wirtschaftliche Entfaltung von der Verfügbarkeit preisgünstiger Energie entscheidend begrenzt wird. Hieraus entsteht Bedarf an geeigneten Energietechnologien für die Dritte Welt und an solchen Energietechnologien für Industrieländer, die die Versorgungsmöglichkeiten von Entwicklungsländern nicht weiter einengen.

Damit die Forschungs- und Technologiepolitik einen möglichst großen Beitrag zur Lösung dieser Probleme leisten kann, orientieren sich die Maß nahmen des zweiten Energieforschungsprogramms an den folgenden Zielen:

- mittel- und langfristige Sicherung der Energieversorgung,.
- Bereitstellung und rationelle Nutzung der Energie zu günstigen volkswirtschaftlichen Gesamtkosten,
- sachgerechte und frühzeitige Berücksichtigung der Erfordernisse des Umweltschutzes, des sparsamen Umgangs mit natürlichen Ressourcen und des Schutzes der Bevölkerung und der Beschäftigten vor Gefahren bei Energieumwandlung und Anwendung von Energie,
- Steigerung der technologischen Leistungsfähigkeit zur Erhaltung der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit in der Energietechnik.

Das Programm unterstützt damit auch die Energiepolitik der Bundesregierung, die in der Dritten Fortschreibung des Energieprogramms vom November 1981 dargestellt ist. Es steht gleichzeitig in enger Beziehung zu anderen Programmen der Bundesregierung, vor allem in den Bereichen der Umwelt- und der Rohstoffpolitik.

Mit der Förderung der Entwicklung neuer Energietechniken durch Staat und Wirtschaft und deren erfolgreicher Einführung in die breite Nutzung werden auch Arbeitsplätze gesichert und neu geschaffen.

In Übereinstimmung mit den energiepolitischen Schwerpunkten der Bundesregierung umfassen die Arbeiten bei Forschung, Entwicklung und Demonstration (F, EuD) im Energiebereich folgende Bereiche:

- rationelle und sparsame Energieverwendung;

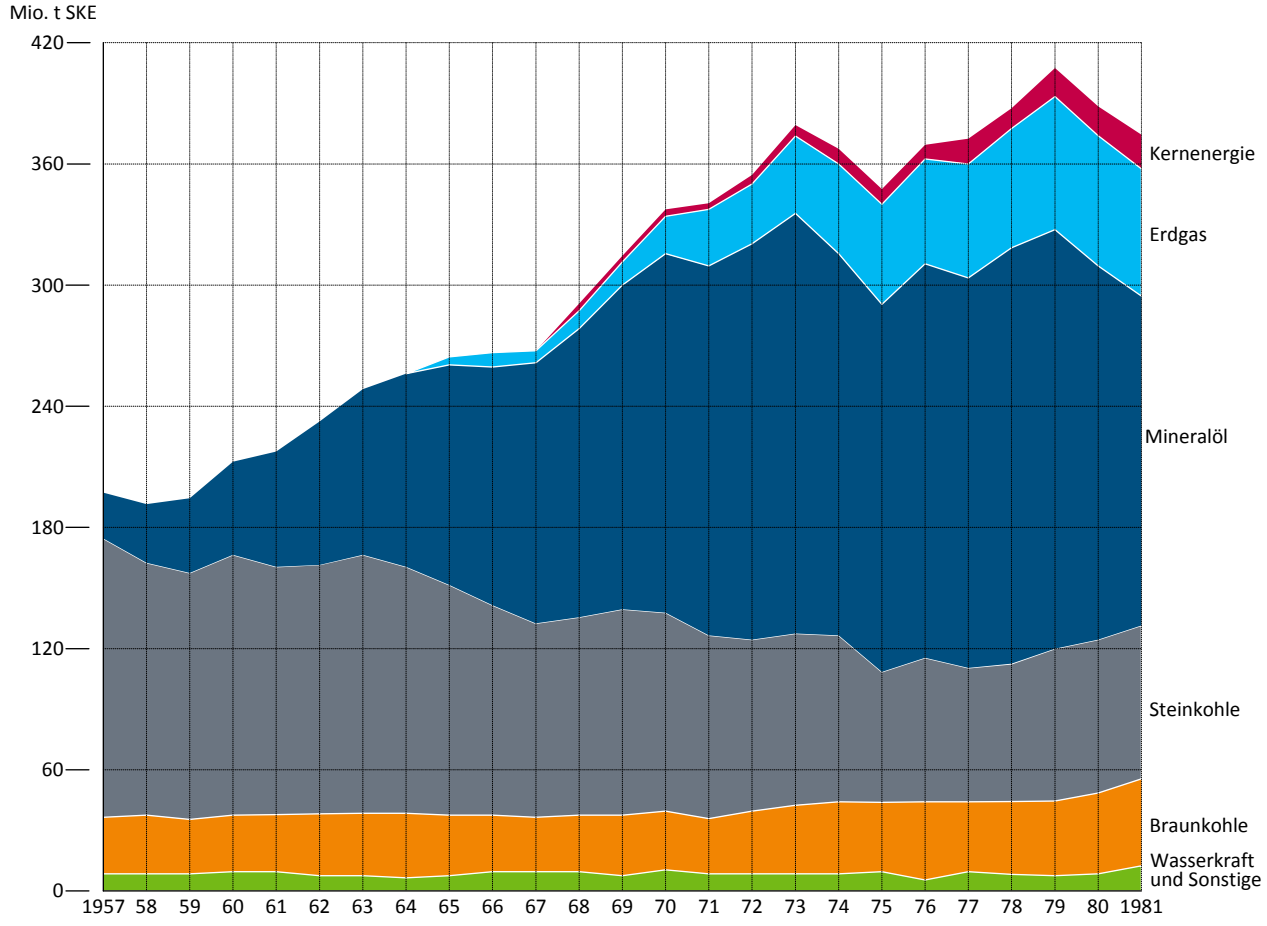


Abb.1: Entwicklung und Zusammensetzung des Primärenergieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschland

- Kohle und andere fossile Energieträger; erneuerbare Energiequellen;
- Kernbrennstoffkreislauf und Reaktorsicherheit für Leichtwasserreaktoren;
- Fortgeschrittene Reaktoren;
- Kontrollierte Kernfusion.

Die Energieforschungspolitik muß ihr besonderes Augenmerk auf „robuste" Entwicklungslinien richten, also auf solche, die für eine Vielzahl verschiedener künftiger Situationen und Rahmenbedingungen der Energieversorgung gleichermaßen erforderlich sind.

1.2 Ausgangslage

Die absehbare Entwicklung der nationalen und weltweiten Energieversorgung erfordert eine weitgehende Umstrukturierung unserer Energieversorgung und -nutzung, z. B. durch die Reduzierung des Öl-Anteils. Diesen Strukturwandel gilt es mit der Entwicklung neuer Energietechnologien zu unterstützen. Dabei sind auch in der Forschung und Entwicklung vielfältige Kriterien zu beachten, wie sie beispielsweise von der Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergie-Politik" des 8. Deutschen Bundestages für die Energiepolitik formuliert worden sind. Ein verantwortliches Abwägen von Vor- und Nachteilen verschiedener Energiesysteme erfordert, daß neben dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit auch verstärkt Fragen der Umwelt- und Sozialverträglichkeit, der Versorgungssicherheit wie auch der internationalen Verträglichkeit berücksichtigt werden.

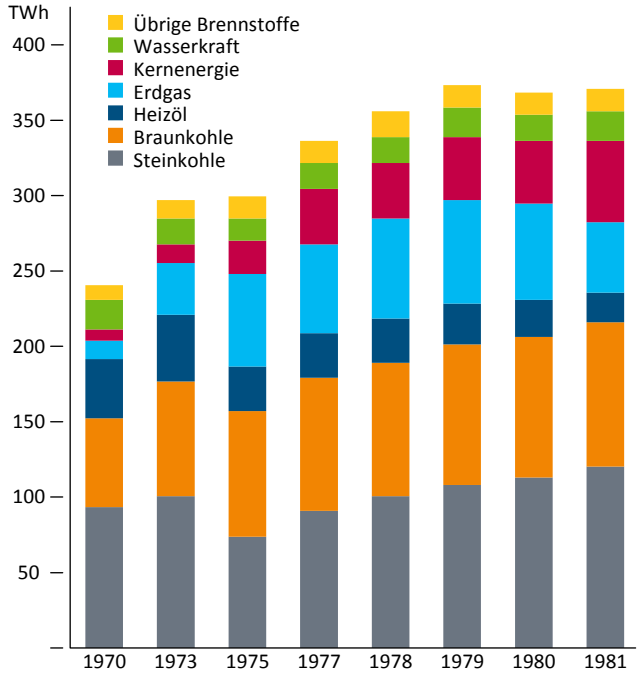


Abb. 4: Zusammensetzung des Primärenergieeinsatzes zur Elektrizitätserzeugung in der Bundesrepublik Deutschland

Die Entwicklung komplexer neuer Technologien bis zum wirtschaftlichen Einsatz beansprucht oft sehr lange Zeiträume. Höhe und Struktur der Energienachfrage sind jedoch selbst für relativ kurze Zeiträume nicht exakt vorausschätzbar, weil sich viele Bestimmungsgrößen - z. B. Verbraucherverhalten, Preisrelationen, außenwirtschaftliche Daten - im Zeitverlauf ändern. Daher bleibt trotz aller Bemühungen um eine gesicherte Basis für die Forschungsplanung immer eine erhebliche Unsicherheit hinsichtlich der Größe und des Zeitpunkts des Bedarfs an neuen Technologien. Deshalb können die Maßnahmen des Programms nicht auf bestimmte Zukunftserwartungen abgestellt werden. Sie müssen vielmehr so breit angelegt sein, daß sie künftige energiepolitische Handlungsspielräume erweitern, um den verschiedenen denkbaren Entwicklungen gerecht werden zu können. Die Bedeutung des Energieproblems rechtfertigt einen breiten Ansatz, der keine erfolgversprechende Entwicklungsrichtung ausschließt. Es muß jedoch mit wachsendem Fortschritt und wachsender Erkenntnis der Aufwand für einzelne Forschungsbereiche immer stärker an den gewonnenen Erfahrungen und deutlicher erkennbaren Erwartungen gemessen werden. Bei eventuell notwendig werdenden Kurskorrekturen muß aber auch berücksichtigt werden, daß Auf- und Abbau leistungsfähiger Forschungskapazitäten nicht in kurzen Zeitspannen möglich sind.

Theoretisch ist Energie fast unbeschränkt vorhanden, zwischen theoretisch möglichen und praktisch nutzbaren Potentialen bestehen jedoch vielfach sehr große Unterschiede. Aufgabe der Energieforschung ist es, für die Energieversorgung nutzbare Potentiale zu identifizieren und erkannte Potentiale für Energieeinsparung und Energiebereitstellung für den wirtschaftlichen Einsatz unter Einhaltung der genannten Randbedingungen zu erschließen.

Der Primärenergieeinsatz in der Bundesrepublik hat im Durchschnitt der letzten 10 Jahre nur noch geringfügig zugenommen, 1980 und 1981 war er sogar rückläufig. Besonders bedeutsam ist es, daß sich als Folge des sparsamen und rationellen Umgangs mit Energie die jahrelang enge Koppelung zwischen Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch deutlich reduziert hat. So sank von 1973 bis 1981 der Primärenergieverbrauch um 2 %, während das reale Bruttosozialprodukt um insgesamt 17,1% zunahm. Auch wenn somit der Zuwachs des Energieverbrauchs erheblich niedriger ausgefallen ist als in früheren Vorausschätzungen angenommen wurde, und auch wenn sich die Energiemarktsituation aus vielen Gründen derzeit beruhigt hat, darf das nicht über die weiterbestehenden politisch bedingten Versorgungsrisiken sowie die längerfristigen Energieprobleme

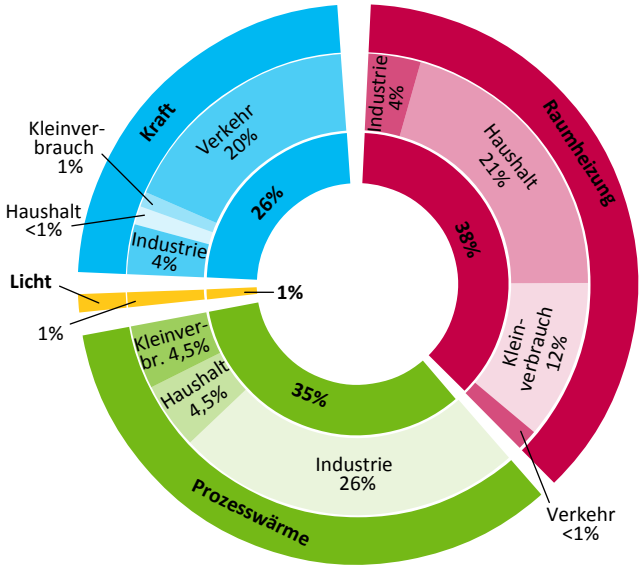


Abb. 2 Aufteilung des Energieverbrauchs auf die Verbrauchssektoren (Stand 1979)
(Quelle: Forschungsstelle für Energietechnik, München)

hinwegtäuschen. Trotz abgeflachtem wirtschaftlichen Wachstums und wirksamer Anstrengungen, Energie zu sparen, ist davon auszugehen, daß der Energieverbrauch der Industrieländer weiter-wenn auch schwächer als in der Vergangenheit-zunehmen wird. Wesentlich stärker steigt wahrscheinlich die Energienachfrage der Dritten Welt, so daß man von einer langfristig angespannten Weltversorgungslage ausgehen muß.

1.2.1 Energiewirtschaftliche Situation

Die Bundesrepublik Deutschland hatte 1981 einen Primärenergieverbrauch von 371,0 Mio. t SKE zu verzeichnen, der sich folgendermaßen zusammensetzte (vgl. auch Abb. 1):

- 44,5% Mineralöl
- 21,2% Steinkohle
- 10,8% Braunkohle
- 15,9% Erdgas
- 4,6% Kernenergie
- 3,0% Wasserkraft und sonstige Energiequellen.

95% des Mineralöls und rd. 60% des Erdgases mußten eingeführt werden. Die hohe Importabhängigkeit, vor allem beim Mineralöl, bedeutet ein ständiges Risiko für unsere Energieversorgung. Darüber hinaus führten die in den letzten Jahren sprunghaft gestiegenen Aufwendungen für die Energieimporte (1981 netto 75 Mrd. DM, das entspricht rund 20 % des Wertes der deutschen Ausfuhren) zu gravierenden gesamtwirtschaftlichen Wachstums- und Wohlstandsverlusten. Diese Entwicklungen haben deutlich gemacht, daß die Verringerung des Ölanteils am Energieverbrauch und die strukturelle Anpassung der Volkswirtschaft an die weltweit veränderte Energiesituation von großer Bedeutung für die künftige Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit sind. Die schrittweise Ausschöpfung weiter bestehender Einsparpotentiale und eine stärkere Nutzung aller Energieträger, die Öl ersetzen und deren Einsatz ökonomisch, ökologisch und sozial vertretbar ist, erhöht die Versorgungssicherheit und stärkt die Volkswirtschaft. Diesen Prozeß durch die Entwicklung wirtschaftlicher, neuer Energietechnologien zu beschleunigen, ist ein wichtiges Ziel der Forschungspolitik.

Als Ergebnis der Bemühungen um Substitution und besonders hohe Einsparungen bei Mineralölprodukten ist eine Trendwende festzustellen: der in den 50er und 60er Jahren ständig gestiegene Anteil des Mineralöls an der Primärenergieversorgung erreichte 1973 mit 55,2% seinen höchsten Stand und ging bis 1981 auf 44,5 % zu rück. Dies entspricht etwa dem Wert von 1966 (der absolute Verbrauch stieg von 1966 bis 1981 allerdings wegen des gestiegenen Gesamtprimärenergieverbrauchs von 122 auf 165 Mio t SKE).Weit wichtiger als das absolute Verbrauchsniveau ist für die Ausrichtung der Energieforschung die Struktur des Energiebedarfs. Der große Bedarf an Niedertemperatur-Wärme, vor allem für die Raumheizung, wird aus der Abb. 2 deutlich: Der Endenergieverbrauch im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch dient zu rund 80% der Raumheizung, die wiederum zu ca. 60% von Mineralöl abhängig ist. Da die Niedertemperatur-Wärmeversorgung grundsätzlich von jedem Sekundärenergieträger übernommen werden könnte, liegt hier ein besonders großes Substitutionspotential, das vor allem durch Fernwärme in Verbindung mit Wärme-Kraft-Kopplung, durch Gas, aber auch durch neue Energiequellen erschlossen werden kann. Zudem besteht in diesem Bereich auch ein hohes Energiesparpotential durch Wärmedämmung, energiesparende Bauweisen, passive Solarenergienutzung und bessere Heizungsanlagen.Der Bereich der Prozeßwärme, der rund 75% des Endenergieverbrauchs des Industriesektors ausmacht, verteilt sich ungleichmäßig auf die verschiedenen Temperaturbereiche mit besonders hohem Bedarf im Bereich niedriger (100 -300°C) und sehr hoher (1 200-1 500°C) Temperaturen (Abb. 3). Die Versorgung dieses Sektors erfolgt zu fast gleichen Teilen durch die Energieträger Kohle, Öl, Gas und Strom. Möglichkeiten zur Energieeinsparung und zur Substitution von Öl sind in diesem Sektor nicht ähnlich evident wie im Haushaltssektor. Nur über eine differenzierte Analyse einzelner Produktionsprozesse und durch Entwicklung dafür geeigneter Verfahren können hier nennenswerte Verbesserungen erzielt werden.

Der Sektor Verkehr hängt nach wie vor dominierend vom Mineralöl ab. Wegen des hohen Anteils des Individualverkehrs sind hier Verbesserungen vor allem

durch energiesparende Kraftfahrzeuge zu erzielen, während das Substitutionspotential in allen anderen Sektoren bei weitem größer und erfolgversprechender ist.

Am wenigsten an bestimmte Primärenergieträger gebunden sind die Sekundärenergieträger Strom und Fernwärme. Elektrische Energie wird in der Bundesrepublik nur noch zu geringen, vielfach allein technisch bestimmten Anteilen aus Mineralöl erzeugt (vgl. Abb. 4), so daß das unmittelbare Substitutionspotential gering ist. Mittelbar können jedoch z. B. Energieträger, die ihrerseits Mineralöl substituieren können, in der Stromerzeugung durch Kernenergie ersetzt werden. Z. B. können Erdgas und Braunkohle auf diese Weise freigesetzt werden und dann direkt (Erdgas) oder indirekt (Braunkohle durch Vergasung) Öl ersetzen.

Der Verbrauch an elektrischer Energie ist in den letzten Jahrzehnten rascher gewachsen als der Primärenergieverbrauch. Der hohe Stromverbrauch in der Bundesrepublik ist hauptsächlich verantwortlich für die Verluste im Umwandlungssektor, die bei etwa 14% der insgesamt eingesetzten Primärenergie liegen. Die gute Regelbarkeit des Stroms bei der Anwendung kompensiert jedoch in vielen Fällen die Verluste im Kraftwerkssektor, die bei Wärmekraftwerken etwa 60% betragen, so daß sich trotzdem in vielen Fällen, vorallem im Industriesektor, eine bessere Primärenergienutzung ergibt als mit anderen Energieträgern. Bei der Anwendung elektrischer Energie zur Niedertemperaturheizung gilt dies allerdings nicht, sie sollte deshalb in erster Linie auf die Auslastung von Lasttälern beschränkt bleiben.

Weiter wachsende Bedeutung im Interesse einer rationellen Energieverwendung kommt der Fernwärmeversorgung zu, vor allem dann, wenn sie in Koppelprozessen sonst teilweise nicht genutzte oder nutzbare Wärme, die in der Industrie oder in Kraftwerken anfällt, in die Versorgung einbezieht. Der noch geringe Anteil der Fernwärme (vgl. Abb. 5 im Anhang) wird nicht zuletzt durch die staatliche Förderung des Ausbaus ständig zunehmen.

Die Nutzung regenerativer Energiequellen steht in der Bundesrepublik Deutschland trotz erheblicher Entwicklungsanstrengungen in allen Bereichen noch am Anfang. Für den deutschen Markt wurden bis einschließlich 1981 Solaranlagen zur Warmwasserbereitung mit ca. 200000 m2 Kollektorfläche hergestellt (das entspricht etwa 20 000 Einzelanlagen) und bis Ende 1980 ca. 63 000 Wärmepumpenanlagen zur Nutzung der Umgebungswärme installiert. Das zeitweise rasche Tempo der Markteinführung hat sich jedoch nicht zuletzt wegen der derzeitigen Situation auf dem Erdölmarkt vorerst verlangsamt.

Insgesamt gesehen zeigt die Entwicklung von Energieverbrauch und Energieversorgungsstruktur, daß die Anpassung der deutschen Volkswirtschaft an die veränderten Bedingungen der Energieversorgung voranschreitet; sie bleibt aber eine Daueraufgabe, z u deren Verwirklichung Forschung und Technologie wichtige Beiträge leisten können und müssen.

1.2.2 Umweltschutz und Risikoverminderung

Gewinnung, Umwandlung, Transport und Nutzung von Energie sind immer mit mehr oder weniger großen Umweltbelastungen durch die Abgabe von Abwärme, Schwefeldioxid, Kohlenoxiden, Stickoxiden, Kohlewasserstoffen, Aerosolen, Stäuben oder radioaktiven Stoffen verbunden. Bei der Beurteilung der Umweltbeeinflussung müssen neben dem Betrieb auch die Umweltauswirkungen durch die erforderlichen Vorleistungen für die Herstellung der Anlagen berücksichtigt werden, z. B. die Erzeugung des Materials zu deren Bau. Darüber hinaus muß der Flächenbedarf sowie der Verbrauch an anderen Ressourcen (wie z. B. Wasser) beachtet werden. Um Fehleinschätzungen hinsichtlich der Umwelteinwirkungen bestimmter Produkte und Dienstleistungen zu vermeiden, ist es folglich erforderlich, den jeweils kumulierten Energieverbrauch und die damit zusammenhängenden Umweltbeeinflussungen zu berücksichtigen. Zu dem Gesamtkomplex „Energie und Umwelt" hat der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen in einem Sondergutachten 1981 umfassend Stellung genommen und Forschungsempfehlungen ausgesprochen, die in den einzelnen Sachkapiteln berücksichtigt wurden.

Umweltauswirkungen durch die Nutzung von Energietechniken müssen differenziert betrachtet werden. In Einzelfällen können sich positive Wirkungen ergeben. Da jedoch die Umweltbeeinflussung überwiegend ungünstig ist, zählt es zu den Aufgaben der

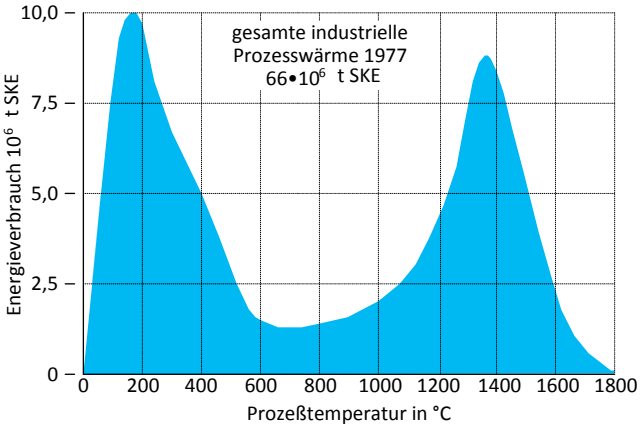


Abb. 3: Prozeßwärmeverbrauch in der Industrie in Abhängigkeit von der Prozeßtemperatur (Quelle: Forschungsstelle für Energietechnik, München)

Energieforschung, die Umweltbeeinflussung zu ermitteln und so gering wie möglich zu halten. Dies gilt gleichermaßen für alle Energietechniken, wenn auch die Notwendigkeit hierzu von Bereich zu Bereich variiert. Bei Kohletechnologien, Reaktorsicherheit und nuklearem Brennstoffkreislauf steht der Umweltschutz im Vordergrund der Entwicklungsarbeiten.

Wegen der mit Energieeinsatz verbundenen Umweltprobleme trägt eine rationellere Energieverwendung meist auch zum Umweltschutz bei. Andererseits erfordert eine Reihe von Umweltschutztechniken, wie z. B. manche Rauchgasentschwefelungsanlagen bei Kohlekraftwerken, einen höheren Energieeinsatz. Auch andere Ziele, wie z. B. die Humanisierung des Arbeitslebens, stehen nicht immer mit den Zielen des Energiesparens im Einklang.

Besondere Bedeutung kommt bei der Umweltentlastung der Abwärmenutzung und Kraft-Wärme-Kopplung zur gleichzeitigen Erzeugung von Elektrizität und Wärme in Verbindung mit der Fernwärmeversorgung zu.

Fast zu jeder Emission von Schadstoffen lassen sich geeignete Rückhaltetechniken entwickeln. Die Entwicklung wirtschaftlicher Verfahren hierzu ist einer der Schwerpunkte dieses Energieforschungsprogramms.

Die Berücksichtigung der Umweltschutzerfordernisse bereits in der Planung und in der Konzeption neuer energietechnischer Anlagen ist zweifellos die kostengünstigste und wirksamste Art, Umweltbelastungen zu reduzieren. Ein Beispiel hierfür ist die Wirbelschichtfeuerung, bei der durch Zuschläge zur Kohle in der Brennkammer Schwefel bereits während des Verbrennungsprozesses gebunden wird und so nur in geringen Mengen als Schwefeldioxid in die Rauchgase gelangen kann.

Die Nachrüstung bestehender Anlagen, bei denen es sich um langlebige technische Investitionsgüter handelt, sowie die Nachbesserung etablierter Technologien mit Umweltschutzeinrichtungen kann die bereits vorhandenen Umweltbelastungen reduzieren. Hier genügt es nicht, die Entwicklung neuer Technologien und den Bau neuartiger Anlagen abzuwarten. Vielmehr ist es erforderlich, spezielle Vorrichtungen zu entwickeln, um eine weitere Nutzung der entsprechenden Anlagen und Technologien zu ermöglichen. Auch unter diesem Gesichtspunkt wurden im ersten Energieforschungsprogramm z. B. die Technologien zur Rauchgasentschwefelung gefördert.

Die Entsorgung von Energieanlagen ist ein weiterer wichtiger Aspekt des Umweltschutzes und auch der Sicherheit. Konditioniert und geordnet beseitigt werden müssen radioaktive Abfälle aus dem Betrieb von Kernkraftwerken und von Wiederaufarbeitungsanlagen, aber auch unterschiedliche Schlacken, Aschen und abgeschiedene Staubmengen aus Verbrennungsprozessen. Für die Konditionierung und Endlagerung radioaktiver Abfälle gibt es bereits weit entwickelte Techniken, deren späterer großtechnischer Einsatz tragbare Kostenbelastungen für die kommerzielle Nutzung der Kernenergie erwarten läßt. Die Beseitigung von Kohleverbrennungsrückständen ist technisch weitgehend gelöst.

Ein besonderes Problem der Kohlenutzung sind die Abraumhalden des Bergbaus, die zu einer mit wirtschaftlichen Mitteln kaum zu reduzierenden Belastungen in den Revieren führen.

Die gesamte Primärenergie wird - mit Ausnahme geringer Mengen, die in chemischer oder physikalischer Form gespeichert werden - letztlich vollständig in Wärme umgewandelt. In der Bundesrepublik Deutschland beträgt diese Wärmefreisetzung im Mittel rd. 1% des natürlichen Wärmeumsatzes. Regional (in Ballungszentren und lokal an Kraftwerksstandorten) ist die Veränderung der natürlichen Wärmebilanz größer. Besondere Abwärmequellen sind ferner bestimmte Industrieanlagen. Neben ungünstigen Umwelteinwirkungen durch Abwärmeemission in die Atmosphäre (z.B. Beschattung und Wolkenbildung durch Naßkühltürme) kann Abwärme andererseits in Ballungsgebieten zu besserer Durchlüftung und damit auch zu einer Reduzierung von Umweltbelastungen aus Emissionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden, Kohlenmonoxide u. ä. führen.

Abwärmeabgabe an Gewässer, zumeist an Flüsse, führt zu zusätzlicher Verdunstung und - wenn dem nicht entgegengewirkt wird - zur Reduzierung der Sauerstoffkonzentration. Trockenkühltürme vermeiden dieses Problem, erhöhen aber den Energieverbrauch und damit die insgesamt abgegebene Wärmemenge.

Seit einigen Jahren wird befürchtet daß die in der Atmosphäre zunehmende Konzentration von Kohlendioxid (CO_2), das bei der Verbrennung fossiler Energieträger entsteht, längerfristig zu größeren klimatischen Veränderungen führt. Die politischen und wirtschaftlichen Konsequenzen derartiger globaler Klimaveränderungen könnten schwerwiegend sein. Die bisher durchgeführten Untersuchungen und Analysen zur Einschätzung dieses „Treibhauseffektes" lassen jedoch noch keine abschließende Beurteilung zu. Das CO_2-Problem muß daher im Rahmen der Klimaforschung in internationaler Kooperation weiter untersucht werden.

Ein weiteres ernstes Problem, welches mit der Verbrennung fossiler Energieträger zusammenhängt, muß im steigenden Säuregehalt der Niederschläge, verursacht durch die bei der Verbrennung freigesetzten Schadstoffe wie Schwefeldioxid und Stickoxi-

de, gesehen werden. Mit der Aufnahme dieser Säure und einer Vielzahl weiterer Luftverunreinigungen durch Gewässer und Boden setzt eine ganze Kette von Folgereaktionen ein. Die Auswirkungen auf die Umwelt reichen von der Auslaugung des Bodens bis hin zur Belastung mit Schwermetallen.

Die öffentliche Diskussion über die Risiken der Energietechniken hat sich bisher vor allem auf die Kernenergie konzentriert. Zunehmend wird aber deutlich, daß alle Energiesysteme Umwelt-, Sicherheits- und Versorgungsrisiken mit sich bringen, wenn auch unterschiedlich in Wirkung um Umfang. Vielfach fehlen allerdings verläßliche Grundlagen, diese Risiken in ihrer absoluten Größe einzuschätzen sowie die Risiken unterschiedlicher Energietechnologien zu vergleichen. Das gilt insbesondere hinsichtlich der Wirkung von Schadstoffen, die im Normalbetrieb oder bei Störfällen freigesetzt werden, wozu insbesondere auch mögliche teratogene (keimschädigende) und mutagene (erbgutschädigende) Effekte von Schadstoffen aus der Kohlenutzung zählen. Dabei ist es auch erforderlich, andere technische und naturgegebene Risiken als Maßstab heranzuziehen.

Der Bundesminister für Forschung und Technologie wird im Rahmen eines neugeschaffenen Förderschwerpunktes „Risiko- und Sicherheitsforschung", Methoden für eine bessere Beschreibung von Risiken weiterentwickeln und sie in konkreten Analysen und Techniken für Energieerzeugung, -transport, -Speicherung und -Umwandlung anwenden. Diese Ergebnisse können Basis für gezielte Technologieentwicklungen zur Reduzierung besonders hoher Risiken sein. Darüber hinaus sollten Ergebnisse von Risikountersuchungen auch in die komplexe Güterabwägung zwischen ökonomischen, ökologischen und sicherheitstechnischen Fragen einbezogen werden.

1.2.3 Gesellschaftliche Auswirkungen

Energiepolitische Fragen finden in der Öffentlichkeit großes Interesse. Im Vordergrund steht dabei der Wunsch nach einer ausreichenden, preiswerten und verläßlichen Energieversorgung. Dieser Wunsch wird mit der Erwartung verknüpft, daß das Energieversorgungssystem möglichst umwelt- verträglich und risikoarm ist.

Als schwierig hat sich sowohl die Abschätzung möglicher Auswirkungen von Technologien erwiesen als auch die Tatsache, daß diese Auswirkungen von einzelnen Bevölkerungsgruppen unterschiedlich-manchmal sogar völlig gegensätzlich - beurteilt werden. Einerseits werden neue Energietechnologien mit starker Skepsis betrachtet andererseits werden manche seit langem genutzte Techniken, die mit Risiken sowie Umwelt- und Gesundheitsbeeinträchtigungen verbunden sind, aus wirtschaftlichen oder sozialen Gründen verteidigt. Hinsichtlich neuer Energietechnologien werden aber auch weitere Befürchtungen geäußert, wie z. B. daß ihr Einsatz die individuellen Lebensbedingungen beeinträchtigen könne, u a durch veränderte Anforderungen im Arbeitsleben, daß politische Freiräume eingeschränkt würden und daß neue Abhängigkeiten entstünden. In diesem Zusammenhang stellt sich auch die wichtige Frage nach Erhalt und Schaffung von Arbeitsplätzen.

In dieser Diskussion um die Auswirkungen bestimmter Technologien und deren Akzeptanz spielen auch Art und Gestaltung der Entscheidungsprozesse eine wichtige Rolle. Die bisherige Diskussion hat weithin klargemacht, daß energiepolitische Entscheidungen über die Nutzung bestimmter Techniken auf vielen Ebenen getroffen werden. So beeinflußt der Bürger die Struktur und den Umfang des Energieverbrauchs dadurch, daß er z. B. bei Raumheizung und Verkehr Energie spart oder nicht. Im staatlichen Bereich tragen Bund, Länder und Gemeinden gleichermaßen Verantwortung für die zukünftige Ausgestaltung unserer Energieversorgung.

Einen neuen Weg der parlamentarischen Auseinandersetzung mit den Chancen und Risiken neuer Technologien hat-im Zusammenhang mit der Beratung über die Brutreaktortechnolgie- der Deutsche Bundestag in der achten und neunten Wahlperiode durch die Einsetzung von Enquete-Kommissionen „Zukünftige Kernenergie-Politik" beschriften. Die Ergebnisse der ersten Enquete-Kommission haben die Diskussion über Energiepolitik und Technologiepolitik erheblich beeinflußt.

Diesem gesamten Fragenkomplex, der durch die Wechselwirkung zwischen dem Bereich der Technik einerseits und den Bereichen der Verfassung, des Rechts, der Wirtschaft, des Sozialen und des Geistig-Kulturellen andererseits aufgeworfen wird, muß weiterhin Aufmerksamkeit geschenkt werden. Dazu soll versucht werden, durch sozialwissenschaftliche Untersuchungen ein klares Bild über die gesellschaftlichen Auswirkungen neuer Energietechnologien zu gewinnen.

Technologische Fragen, die wesentlichen Einfluß auf die künftigen Lebensbedingungen haben können, finden in der Öffentlichkeit große Aufmerksamkeit. Voraussetzung für die unabhängige Meinungsbildung und eine sachliche Diskussion ist ein möglichst umfassender Informationsstand. Die Bundesregierung sieht es deshalb als ihre Aufgabe an, hierzu objektive Informationen zu vermitteln.

Seit 1975 hat der Bund unter Federführung des BMFT in Zusammenarbeit mit den Ländern Informationsaktionen (Diskussionsveranstaltungen, Seminare, Bereitstellung von Informationsmaterial) über Kernenergie durchgeführt In den letzten Jahren

erweiterte sich die öffentliche Diskussion über den engen Rahmen der Kernenergie hinaus auf die gesamte Energiepolitik und Energietechnik (Energiedialog). Die Bundesregierung wird diesen Dialog unter Einbeziehung der Umweltproblematik mit allen interessierten Gruppen und Institutionen fortsetzen.

1.3 Bilanz der bisherigen Forschungsförderung

Zum Zeitpunkt der Vorlage dieses Programms kann die staatliche Förderung in der Energieforschung auf rund 25 Jahre Kernenergieentwicklung und fast zehn Jahre Förderung der nicht-nuklearen Energietechnik zurückblicken.[6])

In dieser Zeit sind erhebliche Mittel für die Förderung von FuE in den einzelnen Teilbereichen der Energieforschung eingesetzt worden (vgl. Tab. 2 im Anhang). Wenn auch nicht alle Vorhaben die erhofften Ergebnisse brachten, so sind doch insgesamt erhebliche Erfolge erzielt worden.

Obwohl die Nutzung der Kernenergie in den letzten Jahren langsamer als ursprünglich erwartet fortgeschritten ist, ist doch der technische Erfolg der vier Atomprogramme unübersehbar. Durch gemeinsame Anstrengungen von Wissenschaft, Wirtschaft und Staat konnte der 1956 bestehende technologische Rückstand rasch aufgeholt werden. Mit der Inbetriebnahme des weltweit ersten 1 300 MWe-Leichtwasserreaktor (LWR)-Kraftwerks Biblis demonstrierte die deutsche Nukleartechnik 1975 das Erreichen einer internationalen Spitzenposition. Nicht zuletzt aufgrund der hochentwickelten Reaktorsicherheitstechnik hat die deutsche Nukleartechnik international einen guten Ruf; dies wird durch eine Reihe von Exportaufträgen belegt. Trotz in den vergangenen Jahren verlangsamten Ausbaus der Kernenergienutzung im Inland konnte die deutsche Nuklearindustrie ihre internationale Position auch in den letzten Jahren halten.

Auf dem Gebiet des Kernbrennstoffkreislaufs war vor allem die Entwicklung der Gaszentrifuge ein großer technischer Erfolg. Wegen der Besonderheiten des bisher von den Staaten mit militärischen Nuklearprogrammen beherrschten Anreicherungsmarktes bedarf die Gaszentrifuge aber noch der staatlichen Unterstützung.

Auf dem Gebiet der Wiederaufarbeitung von LWR-Brennelementen ist durch die staatliche Förderung die Voraussetzung zum Bau größerer Anlagen geschaffen worden.

Die zur Erfüllung der staatlich geforderten Entsorgung von der Elektrizitätswirtschaft gegründete Deutsche Gesellschaft zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (DWK) übernimmt in wachsendem Umfang die finanzielle und technische Verantwortung. Sie bleibt dabei in wichtigen Teilbereichen auf die Mitarbeit der Forschungszentren und die Nutzung der Versuchsanlagen wie der WAK Karlsruhe zum weiteren Erfahrungsgewinn an-, gewiesen. Wie bei der Reaktorentwicklung, so bleibt auch nach Übernahme und Weiterentwicklung der Entsorgungstechnologie zur großtechnischen Nutzung durch die Industrie für die staatliche Förderung eine wichtige begleitende Rolle in der Untersuchung sicherheits- und umweltrelevanter Fragestellungen bestehen.

Bei der Konditionierung und Endlagerung radioaktiver Abfälle ist die Bundesrepublik Deutschland als Folge frühzeitig begonnener, konsequenter FuE-Förderung weit fortgeschritten. Vor allem der langjährige Betrieb der Versuchsanlage ASSE hat für die Endlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle weltweit Maßstäbe gesetzt Technologien zur Konditionierung und Endlagerung hochradioaktiver Abfälle sind weit entwickelt, ihre Demonstration steht bevor.

Bei der Entwicklung der Hochtemperaturreaktoren (HTR) hat die staatliche FuE-Förderung dazu geführt, daß die Reaktorindustrie nach eigenen Angaben HTR-Kraftwerke jeder Leistungsklasse bis 1 300 MWe fast ohne weitere FuE-Anstrengungen bauen kann. Eine industrielle Anwendung dieser Reaktorlinie für Kraftwerke ist jedoch nicht absehbar. Die für eine weitere staatliche Förderung dieser Reaktorlinie ausschlaggebende Anwendung zur Hochtemperatur-Prozeßwärme-Lieferung vor allem für die Kohlevergasung hat noch nicht die nötige technische Reife erreicht, da sich die Probleme der Materialien und Anwendungstechniken im Laufe der Entwicklung als nicht kurzfristig lösbar herausstellten. Zudem sind die wirtschaftlichen Verhältnisse für die Kohlevergasung in dem für einen Einsatz von nuklearer Fremdenergie notwendigen großtechnischen Umfang noch nicht gegeben.

Im Bereich der Brutreaktoren zählt die Bundesrepublik Deutschland trotz erheblicher finanzieller Anstrengungen im internationalen Vergleich hinsichtlich des Betriebs von Demonstrationsanlagen nicht zur Spitzengruppe. Ähnliche Anlagen wie der noch im Bau befindliche SNR 300 in Kalkar sind in Frankreich, Großbritannien und der UdSSR, kleinere sind in den USA, in Japan und in Karlsruhe teilweise bereits seit vielen Jahren mit Erfolg in Betrieb (s. Tab. 4, Anhang). Angesichts der langfristigen Bedeutung dieser Technologie und der voraussichtlich in den meisten anderen Ländern langen Zeit bis zu einer umfangreichen Markteinführung sollte dieser Rückstand aber nicht überbewertet werden. Entscheidend ist letztlich bei einer solchen komplexen Technologie die Einpassung in die technischwirtschaftliche Umgebung und ihre Genehmigungsfähigkeit unter den meist international nicht

übertragbaren Kriterien. Durch die Unterwerfung des SNR 300 unter ein normales Genehmigungsverfahren wird hierzu eine an Zeit und Geld zwar aufwendige, für die Zukunft aber möglicherweise wichtige Investition aufgebracht. Bei den Bemühungen des Staates um eine stärkere finanzielle Beteiligung der Elektrizitätsversorgungsunternehmen konnte im Fall des SNR 300 in Kalkar mit den .Elektrizitätsversorgungsunternehmen eine grundsätzliche Übereinkunft erzielt werden.

Die sehr enge und partnerschaftliche Zusammenarbeit in der Brutreaktortechnologie in Europa vor allem mit Belgien, den Niederlanden und mit Frankreich sowie äuf ausgewählten Gebieten mit den USA, zeigt, daß der technische Kenntnisstand durch den unterschiedlichen Baufortschritt einzelner Anlagen nicht vollständig beschrieben wird.

Die Tatsache, daß im Falle der Brutreaktortechnologie erstmals in der Geschichte der Technik in Deutschland die Nutzung einer bestimmten Technologie ausdrücklich unter den Vorbehalt einer Entscheidung durch das Parlament gestellt wurde, hat die Entwicklung der vergangenen Jahre zweifellos mitgeprägt. Auch in anderen Ländern, vor allem in den USA Ende der 70er Jahre, ist die Brutreaktorentwicklung kritisch diskutiert worden.

In Verbindung mit der ebenfalls diskutierten Frage über die Weiterverbreitung von Kernwaffen im Zusammenhang mit der. weltweit zunehmenden Nutzung der Kerntechnik kam es zur Internationalen Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs (INFCE, 1977-1980), an der 66Staaten und 5 internationale Organisationen mitwirken. INFCE bestätigte die große Bedeutung der Brütertechnologie für große Industrieländer. Diese Technologie stellt weiterhin in den Energieforschungsprogrammen aller großen Industrieländer einen Schwerpunkt dar (s. Tab. 3, 4 und 5, Anhang).

Während der 80er Jahre wird die für die staatliche Forschungsförderung besonders teure Phase der Errichtung von Prototyp- und Demonstrationsanlagen für einige Bereiche zu Ende gehen, so für die Urananreicherung und mit Inbetriebnahme der Kraftwerke THTR 300 und SNR 300 auch für die fortgeschrittenen Reaktorlinien.

Auch in anderen Bereichen, wie z. B. der Reaktorsicherheitsforschung, wird als Ergebnis der bisherigen Förderung der Bedarf an staatlicher Forschungsförderung voraussichtlich zurückgehen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß mit zunehmender kommerzieller Nutzung von Leichtwasserreaktoren Hersteller und Betreiber in noch stärkerem Maße eigene Anstrengungen zur sicherheitstechnischen Weiterentwicklung und zur Steigerung der betrieblichen Zuverlässigkeit unternehmen müssen.

Die Ergebnisse der Reaktorsicherheitsforschung haben eine solide Grundlage zum Verständnis des Ablaufes und zur Bewertung der Folgen möglicher Stör- und Unfälle geschaffen. Dabei konnten die Sicherheitsreserven bestätigt und genauer quantifiziert werden. So bilden z. B. de Ergebnisse zur Zuverlässigkeit und Bruchsicherheit von Komponenten der Kühlkreisläufe die Grundlage für ein neues von der Reaktorsicherheitskommission akzeptiertes Sicherheitskonzept aufgrund dessen die bisher für die sicherheitstechnische Auslegung von Leichtwasserreaktoren bestimmenden großen Rohrbrüche weitgehend ausgeschlossen werden können.

Über die rein technischen Entwicklungen hinaus haben die umfangreichen, langfristigen Forschungsarbeiten zu den Umweltauswirkungen der Kernenergie, zum Strahlenschutz, zur Emissionsrückhaltung, zur Risikoabschätzung und generell zur Sicherheit einen hohen Standard erreicht, der Vorbild für andere Technologiebereiche sein kann.

Die gleichfalls seit 25 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland geförderte Erforschung der kontrollierten Kernfusion ist weltweit noch immer sehr weit von der Anwendung entfernt. Zum wissenschaftlichen Verständnis der Plasmaphysik sind in den letzten Jahren deutliche Fortschritte gemacht worden, die den Nachweis der grundsätzlichen Machbarkeit in Reichweite erscheinen lassen. Wesentliche Fragen, wie z. B. die Konstruktion eines Fusionsreaktors, sind jedoch noch offen. Die Untersuchung der für die Anwendung entscheidend wichtigen technologischen Probleme einschließlich der Materialfragen steht noch ganz am Anfang. Das erschließbare Potential und die erzielten Fortschritte rechtfertigen jedoch eine Fortsetzung der Arbeiten auf angemessenem Niveau vor allem im Rahmen der europäischen Zusammenarbeit unter zunehmender Konzentration auf die physikalischen und technischen Schlüsselprobleme.

Im Bereich der nicht-nuklearen Energietechnik ist eine Erfolgsbilanz wegen der kürzeren Entwicklungszeit nicht unter vergleichbaren Umständen zu ziehen. Nach der anfangs bewußt sehr breit angelegten Förderung ist jetzt eine stärkere Konzentration auf erfolgversprechende Technologien möglich. Einige Technologien, deren Entwicklung in vergangenen Programmen gefördert wurden, sind in der Markteinführung, die z. T. mit energiepolitischen Maßnahmen erleichtert und beschleunigt wird. Manchen Entwicklungen steht jedoch die eigentliche Prüfung, die Überwindung der Hürde in die breite Anwendung, noch bevor.

Für die Förderung vieler nicht-nuklearer Energietechnologien sind die Vorarbeiten bereits vor Beginn der ersten Energiekrise 1973 begonnen worden, zu einer Zeit also, als der Abstand der denkbaren wirt-

schaftlichen Nutzungsbedingungen zu etablierten Energietechniken unüberwindbar groß erschien. Die zwischenzeitlich eingetretenen dramatischen Energiepreissteigerungen haben gezeigt, daß es richtig war, das Potential neuer Energietechnologien nicht aufgrund der momentanen Konkurrenzfähigkeit zu beurteilen. Dadurch sind die Marktchancen für eine Reihe dieser Technologien erheblich gewachsen. Andererseits hat sich aber gezeigt, daß bei einigen nicht nuklearen Technologien der große Abstand zur Konkurrenzfähigkeit auch bei weiter steigendem Energiepreisniveau durch technische Entwicklungen nicht über ein gewisses Maß hinaus zu verringern ist.

Die Entwicklung der Verfahren zur Kohleveredelung hat durch die anfangs bewußt breite Anlage nicht nur an vergangenen Fähigkeiten anknüpfend die wissenschaftlich-technische Kapazität auf diesem Gebiet enorm belebt sie hat auch die Grundlage dafür gelegt daß die Bundesregierung im Januar 1980 ein Kohleveredelungsprogramm beschließen konnte. In dessen Rahmen wurde im Oktober 1981 beschlossen, zunächst die Errichtung erster Demonstrationsanlagen zur Kohlevergasung zu unterstützen und Vorarbeiten zur Entscheidung über den Bau von ein bis maximal zwei Demonstrationsanlagen zur Kohleverflüssigung zu fördern. Dabei kommen durchweg neue Technologien mit weiterem großen Entwicklungspotential zur Anwendung. Der dadurch gesicherte internationale technologische Vorsprung muß angesichts großer Anstrengungen in anderen Ländern, vor allem in den USA Und Japan, durch anhaltende Förderung zur Weiterentwicklung der Technologie verteidigt werden. Deshalb ist die Demonstration dieser Technik im Inland zur Wahrung der Exportchancen auch dann sinnvoll, wenn eine breite Anwendung bei Einsatz heimischer Steinkohle auf anhaltende Probleme der Wirtschaftlichkeit stößt.

Wesentliche Verbesserungen der Umweltschutztechnik von Kohlekraftwerken konnten im Zeitraum des ersten Energieforschungsprogramms erzielt werden; viele dieser Techniken werden inzwischen eingesetzt. Die Förderung muß mit veränderten Schwerpunkten (z. B. Stäube, Schwermetalle) fortgesetzt werden. Die Förderung der Kohle-Bergbau-Technik hat wesentlich zur Leistungssteigerung des deutschen Steinkohlebergbaus und zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen Untertage beigetragen.

Im Bereich der rationellen Energieverwendung sind im Rahmen der Energieforschungsprogramme wichtige Beiträge erarbeitet worden. Lange bevor Energiesparen zu einem Begriff in der öffentlichen Diskussion wurde, sind hier Entwicklungen eingeleitet worden, deren breite Anwendung heute durch die Energiepolitik gefördert wird. Hinzuweisen ist hierauf die Fernwärme, deren Bedeutung unter Nutzung vorhandener Wärmequellen wie Kraftwerke und Industrieanlagen durch Demonstrationsprojekte und Planstudien bewertbarer gemacht wurde. Damit wurde zum verstärkten Ausbau der Fernwärme, die in allen Energieprogrammen der Bundesregierung hohe Priorität erhalten hat, beigetragen. Mit der Förderung von gas- und kohlebetriebenen Blockheizkraftwerken und Wärmepumpen wurden weitere Voraussetzungen geschaffen, Energie, vor allem Öl, zu sparen. Auch in anderen Bereichen wie der Wärmedämmung, Wärmerückgewinnung und der Umweltwärmenutzung durch Wärmepumpen hat die Förderung von Studien-, Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben wichtige Beiträge geleistet, Techniken zur rationellen Energieverwendung bereitzustellen, deren breite Nutzung seit einigen Jahren beschleunigt wird, z. B. durch das „4,35 Mrd.-DM-Programm".

Viele Technologien zur rationellen Energienutzung und zur Nutzung regenerativer Energiequellen sind allerdings auch mit dieser Förderung noch weit von einer wirtschaftlichen Nutzung entfernt. Dies gilt auch-jedenfalls in Mitteleuropa-für viele Bereiche der dezentralen Solarenergienutzung zur Wärmedarbietung mit Ausnahme der Warmwasserbereitung im Sommer und der Schwimmbadheizung. Kennzeichnend für diese Technologien ist, daß verbleibende Probleme nicht immer durch zusätzliche FuE-Aufwand allein einer Lösung näher gebracht werden können. Vielmehr ist bei solchen Technologien die Integration in die bestehenden Anlagen und Strukturen von ausschlaggebender Bedeutung. Hier haben sich deshalb zunächst Demonstrationsvorhaben als besonders wichtiges Förderungsinstrument erwiesen. Im Anschluß an technisch erfolgreiche Einzeldemonstrationen können spezifische Fördermaßnahmen die breite Anwendung und Ausreifung wirtschaftlich aussichtsreicher Techniken beschleunigen.

Die bisherigen Arbeiten zur Nutzung der Sonnenenergie haben zu einer realistischen Einschätzung der Möglichkeiten und Grenzen geführt Insbesondere geben die bisherigen Erfolge bei den Projekten zur solarelektrischen Direktumwandlung Anlaß zu größerem Optimismus. Die erzielten Fortschritte bei der Herstellung preisgünstiger Solarzellen und die noch erkennbaren Entwicklungspotentiale lassen Chancen für eine Anwendung bis hin zu mittleren Leistungsbereiche (1 MWe) erwarten und rechtfertigen verstärkte Anstrengungen in der Zukunft.

Das Potential großer solarthermischer Kraftwerke vor allem für sonnenreiche Zonen der Erde und von Windkraftwerken, die evtl. auch in Deutschland einen gewissen Beitrag zur Energieversorgung leisten könnten, kann erst nach Vorliegen von Betriebsergebnissen aus den im ersten Energieforschungs-

programm errichteten bzw. begonnenen Projekten beurteilt werden.

Bei der Wärmeversorgung werden der passiven Sonnenenergienutzung für Anwendungen in der Bundesrepublik Deutschland größere Chancen eingeräumt als dem Einsatz aktiver Komponenten, wie z. B. Sonnenkollektoren.

Die anlagetechnischen Voraussetzungen für die Nutzung energiereicher Abfallstoffe sind in Teilbereichen so weit entwickelt, daß eine verstärkte Einbindung in die Energieversorgung schon heute wirtschaftlich möglich ist.

Die darüber hinaus sehr breite und durch internationalen Erfahrungsaustausch sehr intensive Untersuchung sonstiger Techniken zur rationellen Energieverwendung und zur Nutzung regenerativer Energiequellen hat während des ersten Energieforschungsprogramms keine Ansatzpunkte für die Vermutung ergeben, es seien eventuell wesentliche Bereiche oder Technologien übersehen oder noch nicht erfaßt worden. Auch wenn sich bei manchen Techniken nach der Durchführung von F, EuD-Projekten der Abstand zur Wirtschaftlichkeit als unüberwindbar groß erwiesen hat, so ist doch auch die dadurch klarere Beurteilungsgrundlage für die Chancen dieser Energietechnologien ein wichtiges Ergebnis der Förderung. Angesichts der hohen politischen Priorität von Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung und zur Nutzung regenerativer Energiequellen muß diese Arbeit zur Erschließung möglicher und zur Bewertung vermuteter Potentiale fortgesetzt werden.

Anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bedeuten keine Garantie für den Erfolg, sei es in technischer, sei es in wirtschaftlicher Hinsicht, oder sei es bezüglich des Zeitpunktes, zu dem eine neue Technik verfügbar wird. Ein schrittweises Vorgehen kann dieses Risiko verkleinern. Nach Abschluß einer Entwicklungsphase und vor Beginn der nächsten - meist teureren -, ist der bisherige Erfolg zu werten und die weiteren Erfolgsaussichten abzuschätzen, wobei zugleich die Zahl der denkbaren technischen Varianten einer Entwicklungsphase auf die aussichtsreichsten Möglichkeiten verkleinert wird. Zwar läßt sich so das Gesamtrisiko verkleinern, aber es läßt sich nicht völlig ausschließen. So haben eine Reihe von Vorhaben sowohl im nuklearen als auch im nichtnuklearen Bereich zu technisch erfolgreichen Entwicklungen geführt, ohne daß sich eine unmittelbare breite wirtschaftliche Nutzung, die sich selbst trägt, absehen läßt, obwohl dies zu Beginn der jeweiligen Entwicklungsarbeiten anders eingeschätzt wurde. Dies gilt z. B. für den nuklearen Schiffsantrieb, dessen technisch außerordentlich erfolgreiche Entwicklung wegen aus- bleibender Nachfrage eingestellt werden mußte. Ein anderer Fall dürfte z. B. die Stromerzeugung mittels solar-thermischen Anlagen sein, de z.T. bereits technisch erfolgreich praktiziert wird, und bei der bis zur wirtschaftlichen Nutzung mit Sicherheit noch ein größerer Zeitraum zu überbrücken sein wird. Mit einem derartigen Risiko ist auch jede künftige anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsarbeit unausweichlich verbunden.

In jedem Einzelfall ist unter Berücksichtigung aller Gegebenheiten und Einschätzung der zukünftigen Möglichkeiten über das weitere Vorgehen zu entscheiden. So kann es z. B. in einzelnen Fällen eine ausführliche Dokumentation der bisherigen Arbeiten und Ergebnisse eine ausreichende Basis für eine eventuelle spätere Wiederbelebung der entsprechenden Entwicklungen sein. In anderen Fällen müssen im Interesse einer wirksamen Minimierung von Versorgungsrisiken entsprechende Kapazitäten in Forschungseinrichtungen bzw. der Industrie vorgehalten werden.

Diese Bilanz wird durch weitere Ergebnisdarstellungen der bisherigen Förderung jeweils in den einzelnen Fachkapiteln ergänzt. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben ausführlich in z. T. periodisch erscheinenden zusammenfassenden Statusberichten und den Abschlußberichten zu den jeweiligen Einzelprojekten veröffentlicht.

1.4 Rahmenbedingungen und Durchführung des Programms

1.4.1 Zusammenarbeit Staat - Wirtschaft; Gründe für staatliche Forschungsförderung

In unserer weitgehend marktwirtschaftlich organisierten Volkswirtschaft gehört es zu den Aufgaben der Wirtschaftsunternehmen, neue Technologien zu entwickeln und in d en Markt einzuführen sowie die hierfür erforderlichen Aufwendungen zu tragen. Von der Wirtschaft werden dabei vor allem Projekte mit überschaubaren technischen Schwierigkeiten und absehbaren wirtschaftlichem Erfolg durchgeführt. Die besondere Bedeutung der Energieversorgung und neuer Energietechnologien für die gesamte Volkswirtschaft erfordert jedoch in wichtigen Fällen auch das Engagement des Staates.

Dabei ist neben einer generellen Förderung die finanzielle Unterstützung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten durch den Staat ein wirksames und erforderliches Instrument. Jedoch muß grundsätzlich vor einer staatlichen Förderung geprüft werden, ob die privatwirtschaftlichen Kräfte allein nicht ausreichen, die erwünschten Entwicklungs- und Anpassungsprozesse rechtzeitig oder mit der notwendigen Intensität in Gang zu bringen.

Hierbei ist auch zu berücksichtigen, daß in geeigneten Bereichen durch das Setzen von Rahmenbedingungen gleichfalls volkswirtschaftlich gewünschte Entwicklungen gefördert werden können, z. B. durch bestimmte Vorgaben beim Umweltschutz. Das Instrument des finanziellen Anreizes ist jedoch - auch wegen seiner Flexibilität - meist den vielfältigen unterschiedlichen Gegebenheiten und Anforderungen der Praxis angemessener.

Gründe für die staatliche Förderung können insbesondere gegeben sein, wenn:

- Entwicklungen mit hohem wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichem Risiko verbunden sind z. B. weil die Entwicklungszeiten die betriebswirtschaftlich überschaubaren Zeiträume überschreiten und der finanzielle Einsatz für die in Frage kommenden Unternehmen zu groß ist.
- unter volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten Technologien erarbeitet werden sollen, deren Entwicklung in der gegebenen Marktsituation nicht oder nicht ausreichend, durchgeführt wird.
- bei technischen Entwicklungen wichtige Gesichtspunkte des Umweltschutzes, des Bevölkerungs- und Arbeitsschutzes zu wenig berücksichtigt werden.

Darüber hinaus ist staatliche Förderung bei der Grundlagenforschung sowie dort notwendig, wo Erkenntnisse über Auswirkungen von Energietechniken (Reaktorsicherheit, Endlagerung etc.) gewonnen werden müssen, z. B. für den Erlaß bzw. für die sinnvolle Ausfüllung von Gesetzen und Vorschriften. Diese Forschungsarbeiten sowie anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben werden überwiegend in staatlich geförderten Forschungseinrichtungen, z. B. den Großforschungszentren, durchgeführt Bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten der Wirtschaft müssen die Unternehmen, weil sie die entwickelten Technologien bzw. die Forschungsergebnisse später als Hersteller oder Anwender nutzen wollen, einen angemessenen Teil der Kosten selbst tragen. Daher werden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der Wirtschaft im allgemeinen nur mit einer Förderquote von 50% unterstützt In Fällen besonderen öffentlichen Interesses oder besonders großer Risiken für die betreffenden Unternehmen kann der Fördersatz höher sein, bei marktnaher Entwicklung auch geringer. Auch bei langfristigen und risikoreichen Entwicklungen darf jedoch die finanzielle Verantwortung nicht auf Dauer überwiegend beim Staat liegen, weil sonst die Gefahr von Fehlentwicklungen und eines späteren Scheiterns der Markteinführung trotz erheblicher volkswirtschaftlicher Aufwendungen zu groß wird.

Bei der Förderung der Markteinführung neuer Energietechniken nach deren erfolgreicher Demonstration müssen besonders strenge Maßstäbe angesetzt werden.

Die grundlegenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Erschließung nuklearer und nichtnuklearer Energietechnologien sind in vielen Fällen relativ weit vorangeschritten. Bei den Schritten von Forschung über Entwicklung zur Innovation kommt künftig den aufwendigen Phasen des Baus und der Erprobung von Demonstrationsanlagen sowie der breiten Diffusion von erfolgreichen Techniken in die Anwendung größere Bedeutung zu. Noch mehr als bisher sind hier künftig die Unternehmen der Energiewirtschaft gefordert.

Ein unmittelbares Interesse an der Entwicklung neuer Technologien hat zunächst die Industrie, die energietechnische Anlagen herstellt. Nur durch technologische Weiterentwicklung und durch die Mitwirkung bei neuen Schlüsseltechnologien kann sie ihre Leistungsfähigkeit auf dem Weltmarkt behaupten.

Auch die Energieversorgungsunternehmen haben jedoch ein Interesse an modernen leistungsfähigen Technologien. Insbesondere ist es für sie wichtig, daß die Entwicklung so gestaltet wird, daß die neue Technik in der geeigneten Form und zur richtigen Zeit verfügbar ist. Deshalb ist künftig eine höhere Eigenleistung und Mitverantwortung der Energiewirtschaft bei der Energieforschung anzustreben. Daraus ergibt sich eine entsprechende Kostenbelastung der Energieverbraucher mit Forschungsaufwendungen.

Wegen des hohen Anteils vor Technologien mit Bedeutung für die Elektrizitätserzeugung im Energieforschungsprogramm richtet sich diese Forderung vor allem an die Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU). Vor diesem Hintergrund und wegen der einhellig positiven Einschätzung der Brütertechnologie durch die Elektrizitätswirtschaft ist die Forderung der Bundesregierung nach einer stärkeren finanziellen Beteiligung der Elektrizitätswirtschaft am Prototyp-Brüterkraftwerk SNR 300 in Kalkar zu sehen. Diese Forderung fand die Unterstützung aller Fraktionen des Deutschen Bundestages. Mit Unterstützung der betroffenen Landesregierungen hat die Bundesregierung In Verhandlungen mit den Elektrizitätsversorgungsunternehmen eine grundsätzliche Übereinkunft erzielt. Danach sollen zukünftig mehr als 25 % der Kosten der Anlage von der Elektrizitätswirtschaft getragen werden (ursprünglich betrug der Anteil rd. 8%). Die Bundesregierung begrüßt, daß auch der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) erklärt hat, daß die fortgeschrittenen Reaktoren bei der Beteiligung unseres Landes an der weltweiten technologischen Entwicklung In diesem Bereich eine herausragende Rolle spielen. Er hat in diesem Zusammenhang ferner zum Ausdruck gebracht, daß sich diese stärkere finanzielle Beteiligung der Elektrizitätswirtschaft insoweit, als sie von

den betroffenen Versorgungsunternehmen nicht intern aufgefangen werden kann, auch In den Strompreisen niederschlagen wird, wobei allerdings gewährleistet sein müsse, daß die Industriellen Sonderabnehmer nicht stärker belastet werden als die Tarifabnehmer.

Die Bundesregierung Ist der Ansicht, daß Insgesamt die damit verbundenen zusätzlichen Belastungen jedoch gering und vertretbar sind angesichts der Tatsache, daß damit langfristige Investitionen zur Minderung der Energieversorgungsrisiken ermöglicht werden.

Unabhängig von derSNR-300-Flnanzlerung bemüht sich die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) um eine freiwillige gemeinschaftliche Forschungsförderung durch die Elektrizitätswirtschaft. Die Bundesregierung begrüßt und unterstützt diese Initiative Im Interesse einer größeren unternehmerischen Mitverantwortung und Mitgestaltung bei der Technologieentwicklung.

Ein internationaler Vergleich zeigt, daß von der Elektrizitätswirtschaft auch in anderen Ländern teilweise erhebliche Mittel für die Entwicklung künftig benötigter Technologien aufgebracht werden. So bringen z. B. eine große Zahl von EVU In den USA insgesamt jährlich 260 Mio $ auf freiwilliger Basis für die Finanzierung des Electric Power Research Institute (EPRI) auf. Die japanischen EVU finanzieren aufgrund gesetzlicher und freiwilliger Regelungen jährlich FuE-Arbeiten zur Elektrizitätserzeugung und -Verteilung In Höhe von ca. 1,5 Mrd DM. Auch In anderen Ländern mit privatwirtschaftlich organisierter Elektrizitätsversorgung, wie In Spanien, leisten die EVU einen großen Beitrag zur Finanzierung der Energieforschung. In diesem Zusammenhang muß auch gesehen werden, daß die staatlichen Elektrizitätsversorgungsunternehmen, z. B. In Frankreich, Großbritannien, Italien, z. T. erhebliche Beiträge zur Entwicklung und Markteinführung neuer Technologien leisten.

Die Forderung nach einem stärkeren finanziellen Engagement an Forschung und Entwicklung beschränkt sich jedoch nicht nur auf die Elektrizitätswirtschaft. Auch andere Branchen der Energiewirtschaft sind In Zukunft zu verstärkten Anstrengungen aufgerufen. Von der Bereitschaft zu größerem Engagement wird die Zukunft neuer Großprojekte und Teilgebiete des Energieforschungsprogramms abhängen.

Auch im Interesse der Wettbewerbsfähigkeit unserer Volkswirtschaft Im internationalen Vergleich muß die Bundesrepublik Deutschland zu einer Zusammenarbeit von Energiewirtschaft, anlagenherstellender Industrie und Staat kommen. Die Bundesregierung wird auch weiterhin auf eine Verstärkung und Verbesserung dieser Zusammenarbeit hinwirken.

1.4.2 Prioritäten

Auf der Grundlage der eingangs genannten Ziele und Schwerpunkte des Energieforschungsprogramms entwickelt sich die weitere Prioritätensetzung Im ständigen Dialog zwischen Wirtschaft, Wissenschaft, Regierung und Parlament. In den letzten Jahren hat sich der Deutsche Bundestag verstärkt mit Fragen der Energieforschungspolitik beschäftigt (zwei große und zwanzig Kleine Anfragen, 16 Anträgen, 1 Beschlüsse sowie152 mündliche und schriftliche Fragen während der 8. Legislaturperiode). Bei der Aufstellung dieses Programms wurden insbesondere auch der Bericht der Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergiepolitik" des 8. Deutschen Bundestages und die Ergebnisse seiner Beratung im Bundestag beachtet Die Im Programm vorgesehenen FuE-Arbeiten sollen - auch im Sinne der Enquete-Kommission - eine Erweiterung des energiepolitischen Handlungsrahmens ermöglichen.

Bei der Entscheidung über einzelne Technologien ist deren möglicher Beitrag zur Erreichung der Programmziele zu berücksichtigen. Neben dem theoretischen Potential einer Technik muß vor allem die Aussicht auf ihre wirtschaftliche Nutzung berücksichtigt werden. Ferner sind Aspekte der Umweltverträglichkeit, der Verminderung einseitiger Abhängigkeiten, der Verringerung von Versorgungsrisiken und der Entlastung der Leistungsbilanz sowie mögliche Auswirkungen von Energietechniken auf unser politisches und soziales System zu bedenken. Neben diesen Aspekten, bei denen die nationale Energieversorgung im Vordergrund steht kann auch die Förderung von Energietechniken z. B. für Entwicklungsländer wichtig sein, selbst wenn diese Techniken für unsere Energieversorgung keinen oder nur einen geringen Beitrag versprechen. Neue Energietechniken können so die nationale und weltweite Versorgungslage verbessern und mithelfen, internationale Verteilungskämpfe um knappe Ressourcen zu vermelden und Internationale Spannungen abzubauen. Bei der Förderung spielen auch industriepolitische Aspekte eine wichtige Rolle, um die internationale Kooperationsfähigkeit deutscher Hersteller zu erhalten.

Grundsätzlich sollen Technologien um so eher gefördert werden, je mehr sie zur Erfüllung der genannten Bedingungen beitragen.

Eine besondere Rolle kommt den von der Bundesregierung berufenen Beratern zu, die unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus abgeschlossenen und laufenden Vorhaben ihre Empfehlungen formulieren.

Zur Beurteilung vieler dieser Fragen müssen disziplinübergreifende Studien, Systemanalysen, Modellrechnungen und sozialwissenschaftliche Forschungsarbeiten herangezogen werden.

Beim Setzen und Verändern von Prioritäten und der Bereitstellung entsprechender Mittel ist jedoch eine Reihe von besonderen Randbedingungen bei Forschung, Entwicklung und Demonstration zu beachten, deren wichtigste im folgenden kurz behandelt werden.

Die erfolgreiche Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben erfordert Zeiträume von meist mehreren Jahren. Dies gilt insbesondere bei der Durchführung von Großprojekten. Forschungsförderung erfordert daher Stetigkeit als Mindestvoraussetzung für den Erfolg. Die Forderung nach Kontinuität ergibt sich auch aus der Tatsache, daß sich leistungsfähige Forschungseinrichtungen mit qualifiziertem Personal nicht sehr rasch aufbauen oder vergrößern lassen; starke Kürzungen können neben sozialen Problemen auch den dauerhaften Verlust qualifizierter Mannschaften zur Folge haben.

Hinzu kommt, daß unterschiedliche Energietechniken völlig unterschiedliche Forschungs- und Entwicklungsprobleme aufwerfen können. Neben dem wahrscheinlichen Beitrag zu den Zielen des Programms und den erforderlichen Entwicklungszeiten bis zur Marktreife ist daher auch zu berücksichtigen, daß die Lösung dieser Probleme oft einen sehr unterschiedlichen spezifischen Mitteleinsatz erfordert. Extreme Beispiele hierfür sind die Entwicklung eines Solarkollektors einerseits und die Erforschung der kontrollierten Kernfusion andererseits. Weitere Unterschiede im erforderlichen Mitteleinsatz können sich auch aus einem unterschiedlichen Entwicklungsstand der Technologien von der Grundlagenforschung über Labor- und Versuchsanlagen bis hin zu teuren Demonstrationsanlagen und zur Markteinführung ergeben. Das Verhältnis des Mitteleinsatzes für verschiedene Forschungsbereiche kann daher wegen der unterschiedlichen Eigenschaften verschiedener Technologien nicht einfach als unmittelbares Maß für die Priorität genommen werden, die die Bundesregierung einer Energietechnologie beimißt.

Ein besonderes Problem stellt vielfach die Markteinführung dar. Bei „zentralen" Großtechniken genügt es meist, für den Nachweis der Brauchbarkeit der technischen Lösung eine Anlage mit Erfolg zu demonstrieren. Durch den Informationsfluß zwischen Betreibern und Herstellern sind Bau und Betrieb weiterer Anlagen möglich, sofern die Wirtschaftlichkeit gesichert ist. Bei dezentral einzusetzenden Techniken reichen auch mehrere Demonstrationsanlagen oft nicht aus. Das Hineinwachsen einer neuen Technik in die bestehende Infrastruktur muß künftig ebenfalls gefördert werden, da oftmals der eigentliche Reifeprozeß einer Technik erst mit dieser Systemeinführung erfolgen kann. Die Förderung dieses Prozesses ist nicht mehr Bestandteil dieses Forschungsprogramms, gehört jedoch zu einer breiten verstandenen Innovationsförderung im Rahmen allgemeiner energiepolitischer Maßnahmen, beispielsweise durch das 4,35 Mrd. DM- Programm (Übersicht hierzu in Tabelle 2 des Anhangs).

1.4.3 Finanzierung und Durchführung des Programms

Dieses Programm umfaßt die Maßnahmen der Bundesregierung für Forschung und Entwicklung im Energiebereich. Der Bundesminister für Forschung und Technologie ist federführend für das Programm und mit einigen Ausnahmen zuständig für die Förderung. Die Erstinnovation im Steinkohlebergbau sowie der Bau kommerzieller Anlagen zur Kohlevergasung werden vom Bundesminister für Wirtschaft BMWi) gefördert. Der Bundesminister des Innern ist für Strahlenschutzforschung und die unmittelbar für das atomrechtliche Genehmigungsverfahren relevante Reaktorsicherheitsforschung sowie für die Umweltschutzforschung im Rahmen der Umweltschutzgesetzgebung zuständig. Bauspezifische Arbeiten fördert der Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (BMBau). Hinzu kommt die Förderung von Vorhaben zur Energiegewinnung und -einsparung in der Landwirtschaft einschließlich der Nutzung nachwachsender Rohstoffe durch den Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML). Die Entwicklung von Energietechnologien für Entwicklungsländer wird gemeinsam mit dem Bundesminister für wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) durchgeführt.

Die Mittel sind in den Haushalten der jeweiligen Bundesressorts enthalten und in den Tabellen des Anhangs ausgewiesen. Der weitaus größte Teil der Mittel für dieses Programm kommt aus dem Haushalt des Bundesministers für Forschung und Technologie. Die energieforschungsrelevanten Aufwendungen des BML, BMV, BM Bau und des BMZ sind integraler Bestandteil ressortspezifischer Aufwendungen und können daher nicht getrennt ausgewiesen werden. Die Durchführung des Programms erfolgt in Zusammenarbeit zwischen den betroffenen Bundesressorts.

I n vielen Bereichen besteht eine Zusammenarbeit mit Bundesländern. Hervorzuheben ist die Zusammenarbeit mit den „Kohleländern" Nordrhein-Westfalen und Saarland sowie die Zusammenarbeit mit den Sitzländern der Großforschungszentren, zu deren Finanzierung siejeweils10% beitragen.

Das Programm umfaßt neben den geplanten Arbeiten im Rahmen der projektbezogenen Förderung in der Wirtschaft und an wissenschaftlichen Einrich-

tungen nur die energieforschungsbezogenen Arbeiten der institutionell geförderten Großforschungseinrichtungen.

Der Mittelansatz für das Energieforschungsprogramm richtet sich nach dem Bundeshaushalt und der Finanzplanung. Die Mittelansätze stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung der jährlichen Haushalte durch die Parlamente. Änderung im Haushalt bzw. der Finanzplanung ziehen so Änderungen in der Programmfinanzierung nach sich. Den Mitteleinsatz für die Aufgabenbereiche des Programms geben die Tabellen im Anhang wieder.

Der schwerpunktmäßige Förderung von Energietechnologien kann bei einer Reihe von technologischen Entwicklungslinien mit Aussicht auf Erfolg und mit vertretbaren Risiken nur von Großunternehmen mit entsprechenden Möglichkeiten zum Risikoausgleich und ausgebauten FuE-Kapazitäten in Angriff genommen werden kann. Beispiele dafür sind die Kerntechnik sowie Projekte der Kohlevergasung und -Verflüssigung. Damit ist in gewissem Umfang eine ungleiche Verteilung der Mittel auf große und kleinere Unternehmen verbunden. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß insbesondere bei Großprojekten viele Arbeiten als Unteraufträge an kleinere und mittlere Unternehmen weitergegeben werden, wodurch die Ungleichheiten verringert werden. Darüber hinaus ist die Bundesregierung aber auch bemüht, im Rahmen von Energie-FuE-Projekten kleine und mittlere Unternehmen verstärkt zu fördern. Sie strebt hierfür insbesondere eine verbesserte Einbindung kleiner und mittlerer Unternehmen in diejenigen Teilprogramme des BMFT an, die aufgrund ihrer Zielrichtung und der geförderten Technologie für diese Unternehmen besondere Möglichkeiten bieten. Dazu zählen insbesondere die Bereiche: rationelle und sparsame Energieverwendung, Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet alternativer Energietechnologien.

Mittel aus diesem Programm, die zur projektbezogenen Förderung der Energieforschung eingesetzt werden sollen, kann jedes Unternehmen, jede Universität jede sonstige wissenschaftliche bzw. technische Institution beantragen. Auch hierzu soll die Veröffentlichung dieses Energieforschungsprogramms die inhaltlich programmatische Grundlage geben. Die Einzelheiten der Antragstellung, den Ablauf des Verfahrens und die Förderbedingungen beschreibt die „Förderfibel" des BMFT.

Zur Bearbeitung der Anträge, deren Prüfung in technisch-wissenschaftlicher und betriebswirtschaftlicher Sicht, der Einschätzung des Erfolgs, der administrativen Abwicklung eines Projekts sowie dessen projektbegleitender Kontrolle bedient sich die Bundesregierung In vielen Aufgabenbereichen der Unterstützung durch Projektträger. Die Förderentscheidung wird jedoch vom zuständigen Bundesressort gefällt. Eine Liste der Projektträger enthält die Tabelle in Anhang; der größte Projektträger ist die „Projektleitung Energieforschung (PLE)" in der Kernforschungsanlage Jülich, der den gesamten Bereich der nicht-nuklearen Energieforschung betreut.

Über die Projektträger wird enger Kontakt zu den durchführenden Stellen gehalten. Insbesondere bei kleineren und mittleren Unternehmen geben die Projektträger gegebenenfalls auch Hilfestellung bei Formulierung der Anträge und der Definition bzw. Eingrenzung der Forschungsprojekte sowie bei der administrativen Abwicklung.

Soweit erforderlich, benutzen die Bundesregierung und die Projektträger externen Sachverstand bei der Beurteilung von Forschungsvorhaben. Die Beratungsgremien des Bundesministers für Forschung und Technologie werden jährlich in einem Beratungsplan bekannt gemacht.

Um sicherzustellen, daß die öffentlichen Mittel für die FuE-Förderung wirksam eingesetzt werden, wird auf mehreren Ebenen eine Erfolgskontrolle durchgeführt. Auf Projektebene überwacht der jeweilige Projektträger bzw. der speziell eingesetzte Projektleiter den Projektfortschritt. Bei Bedarf werden Präsentationen von Zwischenergebnissen gefordert. In vielen Fällen - besonders bei Projekten, die in internationaler Kooperation durchgeführt werden - finden regelmäßig Beratungen in den Lenkungsausschüssen statt Während dieser Überprüfungen innerhalb der Laufzeit eines Projekts werden erforderlichenfalls auch Entscheidungen über Durchführung und Zielsetzungen getroffen, die bis zur Einstellung eines Projekts gehen können.

Nach Ablauf der Vorhaben werden die Ergebnisse bewertet. Der Mitteleinsatz wird durch Aufstellung eines Verwendungsnachweises kontrolliert.

Durch Veröffentlichungen verschiedener Art wird für die breite Streuung der Forschungsergebnisse gesorgt.

Auf der Programmebene findet die Erfolgskontrolle durch Diskussionen,, regelmäßig veranstalteten Expertentreffen, auf Statusseminaren und in Sachverständigenkreisen statt Auch der laufende internationale Erfahrungsaustausch, der bilateral und in multilateralen Gremien (EG,IEA) stattfindet, trägt zur Erfolgskontrolle bei.

1.5 Forschungseinrichtungen

Ein beträchtlicher Teil der Maßnahmen des Programms wird in Großforschungseinrichtungen durchgeführt, vor allem in den Forschungszentren in Garching (IPP), Geesthacht (GKSS), Jülich (KFA),

Karlsruhe (KfK) und Neuherberg (GSF) (s. Tab. 1, Anhang).

Daneben werden auch die Hochschulen in Fortführung der bisherigen Praxis an diesem Programm beteiligt sein, sei es in Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und der Industrie oder sei es eigenständig. Insbesondere dort, wo Grundlagen erarbeitet werden müssen, bzw. wo es z. B. gilt, die Folgen von Techniken abzuschätzen, können Hochschulen einen originären Beitrag zur Energieforschung leisten. Einige Energieforschungsprojekte werden auch im Rahmen der Sonderforschungsbereiche der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert.

Mit Ausnahme der GSF und des IPP bestehen die oben genannten Zentren inzwischen über 25 Jahre. Sie wurden zu Beginn der Förderung von Kernforschung und Kerntechnik in der Bundesrepublik Deutschland 1956 gegründet, um einen wesentlichen Beitrag zum Aufholen des damaligen technologischen Rückstands zu leisten. Sie hatten dabei klare Vorgaben wie etwa den Bau und Betrieb der ersten deutschen Reaktoren, die Entwicklung des nuklearen Schiffsantriebes oder die Erforschung der Plasmaphysik als Grundlage für den Einsatz der kontrollierten Kernfusion. Daneben wurden jedoch schon frühzeitig auch andere Themen in die Programme aufgenommen, die sowohl aus der Grundlagenforschung wie auch aus verschiedenen Bereichen der angewandten Forschung kamen. Dadurch hat sich der Charakter der Zentren im Laufe der Jahre gewandelt: die KFA Jülich etwa hat heute neben ihren anwendungsbezogenen Energieforschungsvorhaben einen großen Bereich reiner Grundlagenforschung, die vor allem in Zusammenarbeit mit den Hochschulen Nordrhein-Westfalens durchgeführt wird, während das KfK Karlsruhe sich überwiegend mit kerntechnischen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben befaßt mit deutlich geringerem Anteil an Grundlagenforschung.

Die Zentren haben während ihrer Entwicklung über 25 Jahre eine eigenständige Rolle zwischen anwendungsfreier Grundlagenforschung und industrieller Entwicklung bei der Lösung von FuE-Aufgaben im öffentlichen Interesse gefunden.

Heute verfügen GKSS, GSF, IPP, KFA und KfK unter Einschluß der nicht für die Energieforschung relevanten Bereiche insgesamt über 9 500 planmäßige Mitarbeiter und ein Haushaltsvolumen von über 1 Mrd. DM pro Jahr. Die Höhe der hierdurch gebundenen Mittel macht eine regelmäßige Diskussion und Überprüfung der Zentrenprogramme erforderlich. Die mit der wachsenden Nutzung der Kernenergie für die öffentlich geförderte Forschung erhalten gebliebenen, teilweise sogar gewachsenen Aufgaben im Kernbrennstoffkreislauf, in der Reaktorsicherheitsforschung und bei den fortgeschrittenen Reaktorlinien erfordern auch weiterhin den Beitrag der Zentren.

Die Forschungszentren leisten einen Beitrag zur Kontinuität der Weiterentwicklung komplexer Technologien, die in der oft langen Zeit bis zur breiten Nutzung durch die Industrie allein kaum möglich wäre. Darüber hinaus hat sich bewährt, daß gerade bei Technologien, bei denen Fragen des Umweltschutzes, der Sicherheit und des Risikos große Bedeutung haben, die Forschungszentren eng und konstruktiv mit der Industrie Zusammenarbeiten, dabei sich zwar auch an deren kommerziellen Zielen orientieren, aber ihren wissenschaftlichen Aufgaben verpflichtet bleiben. Sie sind deshalb auch ein wichtiger Partner für den Staat bei der Vorbereitung forschungspolitischer Entscheidungen auf der Grundlage einer kritischen und unabhängigen Beobachtung wissenschaftlich-technischer Entwicklungen.

Die Forschungszentren werden deshalb auch in Zukunft wichtige Partner der Forschungspolitik sein. Daher ist es aber auch erforderlich, daß sie sich weiterhin wachsenden Anforderungen und den Veränderungen durch den Fortschritt der Entwicklung anpassen.

Die Arbeiten des IPP in Garching bei München sind vollständig auf die Fusionsforschung ausgerichtet, mit dem besonderen Schwerpunkt Plasmaphysik. Dabei konzentrieren sich die Arbeiten vor allem auf zwei Großgeräte: den Tokamak ASDEX und den Stellarator Wendelstein Vll-A. Es ist geplant, diese Geräte in den nächsten Jahren weiter auszubauen. Daneben sollen in Zukunft eine verstärkte Zuarbeit zum europäischen Großexperiment JET in Culham und vorbereitende Überlegungen für die internationalen Vorhaben NET/INTOR in den Vordergrund treten.

Das GKSS-Forschungszentrum in Geesthacht war ursprünglich nur zur Entwicklung des nuklearen Schiffsantriebs gegründet worden. Dieses Ziel ist mit der Konzeptgenehmigung für ein nuklear angetriebenes Containerschiff mit einer Leistung von 80 000 WPS (NCS 80) und dem erfolgreichen Betrieb der OTTO HAHN zwar technisch erreicht worden, eine industrielle Nutzung dieser Technik ist jedoch vor allem aus wirtschaftlichen Gründen nicht absehbar. Das Zentrum hat sich deshalb in weiten Teilen seiner Arbeiten vollkommen neu orientiert. Neue Schwerpunkte sind jetzt Fragen aus dem Bereich der LWR-Sicherheitsforschung, die Untersuchung komplexer, interdisziplinärer Umweltprobleme aus dem Bereich Meer und Küstengewässer sowie Unterwassertechnik mit der großen Unterwassersimulationsanlage GUSI, die Ende 1982 in Betrieb gehen wird.

Für die Arbeiten der KFA Jülich auf dem Gebiet der Energieforschung war für viele Jahre die Entwicklung des Hochtemperaturreaktors der Schwerpunkt. Hier sind die grundlegenden Forschungsarbeiten zum Reaktor und zum Brennstoffkreislauf jetzt weitgehend abgeschlossen. Deshalb sollen die Arbeiten in den kommenden Jahren umorientiert werden und sich auf die Anwendungsgebiete für Hochtemperaturwärme konzentrieren. Dazu wird sich die KFA mit der Entwicklung von Verfahrenstechniken und Hochtemperatur-Werkstoffen beschäftigen. Möglichkeiten für einen späteren Test dieser Entwicklungen unter realen Bedingungen werden geprüft. Hochtemperatur-Prozeßwärme könnte langfristig nicht nur zur Veredelung der Kohle, sondern auch zur Nutzbarmachung minderwertiger fossiler Brennstoffe eingesetzt werden. Die damit zusammenhängenden technologischen Fragen werden von der KFA in einem Schwerpunkt „Künftige fossile Brennstoffe" bearbeitet Die Aktivitäten zum HTR-Brennstoffkreislauf werden mit den Arbeiten zur JUPITER-Anlage und zur direkten Endlagerung der HTR-Kugeln abgeschlossen werden. Außer mit diesen energietechnologischen Vorhaben wird sich die KFA in Zukunft auch mit Fragen aus dem Bereich Energie und Umwelt befassen. Weitere Schwerpunkte sind das Fusionsprojekt TEXTOR, Stoffeigenschaften und Materialforschung sowie nukleare Grundlagenforschung. Ferner wird die Möglichkeit der Einrichtung einer Spallationsquelle in der KFA Jülich geprüft.

Die Schwerpunkte der KfK Karlsruhe auf dem Energiegebiet werden auch im Programmzeitraum der Brüter, die LWR-Wiederaufarbeitung, die LWR-Sicherheitsforschung, das Trenndüsenverfahren zur Urananreicherung, die Tieflagerung radioaktiver Abfälle und die Fusionsforschung bleiben. Beim Brüter wird sich die Arbeit in den kommenden Jahren auf Fragen der Genehmigungsfähigkeit großer Brutreaktorkerne konzentrieren. Daneben soll die Anpassung der Technologie der Wiederaufarbeitung für Brüterbrennelemente in wachsendem Umfang bearbeitet werden. Die Arbeiten zur LWR-Wiederaufarbeitung werden sich vor allem auf Schlüsselfragen zur Sicherheit großer Wiederaufarbeitungsanlagen ausrichten, im Ganzen aber mehr und mehr auf die Industrie übergehen. Als vorwiegend großtechnologisch orientiertes Zentrum wird KfK längerfristig Aufgaben zur Entwicklung der Fusionsreaktortechnologie aufnehmen. Neben den bisherigen Arbeiten auf dem Energiegebiet sollen auch Themen aus dem Bereich Energie und Umwelt aufgegriffen werden, etwa im Bereich der Klimaforschung. Die übrigen Arbeiten des Zentrums sollen mittelfristig teilweise auf umweltrelevante Fragen umorientiert oder auf neue Probleme der Grundlagenforschung ausgerichtet werden.

Die Arbeiten der GSF im Energiebereich umfassen Umwelt- und Strahlenschutzprobleme im Zusammenhang mit der Erzeugung und Ausbreitung radioaktiver Abfälle. Die Themenstellung erfordert ein hohes Maß an interdisziplinärer Arbeitsweise. Für die Untersuchungen zur Endlagerung radioaktiver Stoffe steht das Salzbergwerg ASSE zur Verfügung. Neben diesen energieorientierten Arbeiten sind weitere Schwerpunkte der GSF die biologisch-medizinische Wirkung von Umweltchemikalien und Strahlung, Verfahren zur Gesundheitsvorsorgung und Stoffbilanzen der Ökosphäre.

Neben den fünf schwerpunktmäßig der Energieforschung zugeordneten Zentren arbeitet auch das Hahn-Meitner-Institut (HMI) bei speziellen Fragen der nuklearen Entsorgung mit Die Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) ist zusätzlich auf einigen Gebieten der nicht-nuklearen Energieforschung, so vor allem das Forschungszentrum Stuttgart in der Sonnenenergieforschung, tätig.

Insgesamt haben die Großforschungseinrichtungen eine Größenordnung erreicht, die ihren Aufgaben angemessen ist. Die Übernahme der neuen Themen ist deshalb in den meisten Fällen mit der Aufgabe bisheriger Aktivitäten verbunden. Dies erfordert ein hohes Maß an Flexibilität für die Mitarbeiter. Die Umstrukturierungen in der Vergangenheit haben aber gezeigt, daß diese Flexibilität vorhanden ist. Dies ist aber nicht zuletzt auch ein Erfolg der Beteiligung der Mitarbeiter an den Entscheidungen, die für die Zukunft des jeweiligen Zentrums von Bedeutung sind. Diese Mitwirkungsstrukturen sollen auch im Programmzeitraum beibehalten werden.

Verstärkte Aufmerksamkeit wird in den nächsten Jahren dem Technologietransfer gewidmet werden. Hierbei soll aber in erster Linie auf denjenigen Gebieten gearbeitet werden, auf denen die Zentren besonders kompetent sind. Erfolgversprechende Ansätze hierzu sind bereits in den letzten Jahren gemacht worden.

1.6 Internationale Zusammenarbeit

Internationale Zusammenarbeit ist im Bereich der Energieforschungs- und Technologiepolitik aus mehreren Gründen von besonderer Bedeutung:

- Ähnliche Probleme in der Energieversorgung fast aller Länder verlangen ähnliche Anstrengungen zu ihrer Lösung. Zusammenarbeit und Arbeitsteilung lassen eine rationellere Nutzung der verfüg baren Kenntnisse, Kapazitäten und finanziellen Mittel zu. Sie erlauben es dem einzelnen Lande sogar, sich aus der aktiven Bearbeitung eines bestimmten Bereichs zurückzuziehen und auf den Informationsfluß über die Beteiligung anderer Länder oder von internationalen Organisationen zu

verlassen, um im Bedarfsfall selbst wieder tätig werden zu können.
- Umwelt- und Sicherheitsprobleme von Energietechniken, insbesondere die Belastung von Atmosphäre und Gewässern sowie die Sicherheit kerntechnischer Anlagen verlangen vor allem in dichtbesiedeltem Mitteleuropa grenzübergreifende Lösungen.
- Frühzeitige Kooperation bei Forschung und Entwicklung ist eine wichtige Voraussetzung für die spätere Offenheit der Märkte und die Entwicklung einheitlicher Normen.
- Entwicklungsländer stehen vor besonders großen Problemen ihrer Energieversorgung wegen ihres wirtschaftlichen Nachholbedarfs bei gleichzeitig stark wachsender Bevölkerung und wegen der für viele von ihnen erdrückenden Ölimportabhängigkeit.

Aus diesen Gründen beteiligt sich die Bundesrepublik Deutschland an vielfältigen Programmen und Vorhaben internationaler Zusammenarbeit in Energieforschung und Energietechnik, sowohl aufgrund bilateraler Vereinbarungen mit anderen Staaten als auch im Rahmen internationaler Organisationen oder multilateraler Abmachungen.

Die einzelnen Maßnahmen internationaler Kooperation sind im Zusammenhang mit den nationalen Aktivitäten im jeweiligen Fachkapitel geschildert. Hier soll nur ein Überblick über das Netzwerk internationaler Vereinbarungen und Programme gegeben werden, an denen die Bundesrepublik Deutschland beteiligt ist.

1.6.1 Europäische Gemeinschaft

Von ihrem Anbeginn hat die Gemeinschaft Forschung und Entwicklung zur friedlichen Kernenergienutzung gefördert. Seit 1974 hat sie diese Aktivitäten schrittweise auf weite Bereiche der nichtnuklearen Energien ausgedehnt.

Hierfür stehen ihr eigene Forschungseinrichtungen mit insgesamt über 2500 Mitarbeitern in den Forschungsanstalten in Ispra (Italien) und Petten (Niederlande), im Europäischen Institut für Transurane in Karlsruhe und im Zentralbüro für Kernmessungen in Geel (Belgien) sowie umfangreiche Mittel für die Vergabe von Forschungsaufträgen zur Verfügung. Insgesamt betragen die Aufwendungen jährlich über eine halbe Milliarde DM; von den darin enthaltenen Zuwendungen für Forschungsverträge fließen rund 30% an deutsche Institute und Unternehmen.

Den höchsten Integrationsgrad hat die EG-Forschungspolitik bei der kontrollierten Kernfusion erreicht, wo EURATOM alle wesentlichen Vorhaben in den Ländern der Gemeinschaft und darüber hinaus in Schweden und der Schweiz koordiniert und wo das Großexperiment JET von allen gemeinsam durchgeführt wird (vgl. Kap. 5). Andere Schwerpunkte betreffen Reaktorsicherheit, Strahlenschutz, Nuklearmaterialsicherung, Plutonium- und Aktinidenforschung, Standardisierung, Sonnenenergie, Geothermie sowie rationelle Energieverwendung und Energiespeicherung.

1.6.2 Internationale Energieagentur (EA) der OECD

Neben ihren Aufgaben zur Sicherstellung der Ölversorgung und in anderen Bereichen der Energiepolitik fördert die lEA auch die Kooperation ihrer Mitgliedsländer in Forschung und Technik. Die einzelnen Vorhaben und

Programme betreffen vor allem nichtnukleare Energien und werden aufgrund von Vereinbarungen interessierter Mitgliedstaaten - meist unter der Federführung einer nationalen Stelle - durchgeführt. Diese Projekte reichen von energiestrategischen Studien bis zu Versuchs- oder Demonstrationsanlagen wie etwa dem Großvergleich zwischen verschiedenen Sonnenkraftwerkskonzepten in Almeria (Spanien) - vgl. Kap. 4.3 Vorteil der Kooperation im Rahmen der IEA, an der sich zahlreiche deutsche Unternehmen und Institute (z. T. federführend) beteiligen, liegen darin begründet, daß jeder Staat seine Beteiligung an einzelnen Vorhaben und deren Umfang im Rahmen der jeweiligen auszuhandelnden Vereinbarungen frei bestimmen und dennoch an wesentlichen Informationen über alle Vorhaben teilhaben kann.

So bietet die IEA-Mitgliedschaft der Bundesrepublik Deutschland auch die Möglichkeit, über die Entwicklung in Bereichen der Energieforschung wie z. B. der Wellen- oder Meerestemperaturgradientenenergie, in denen sie selbst keine nennenswerten Aktivitäten unterhält, auf dem Laufenden zu bleiben.

1.6.3 Kernenergieagentur (NEA) der OECD

Für die Bundesrepublik Deutschland ist die Beteiligung an den Arbeiten der NEA vor allem für die Reaktorsicherheitsforschung und Fragen des Kernbrennstoffkreislaufs wichtig; sie ermöglicht bei verhältnismäßig geringem finanziellem Aufwand den Zugang zu einem breiten internationalen Informations- und Erfahrungsaustausch und zu großen Versuchseinrichtungen wie der früheren Wiederaufarbeitungsanlage Eurochemic, jetzt für praktische Erprobung von Abfallbehandlungsmethoden genutzt, und dem Versuchsreaktor Halden.

1.6.4 Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO)

Wenngleich der Schwerpunkt der IAEO bei der Anwendung von Sicherungsmaßnahmen zur friedlichen Nutzung der Kernenergie und bei der praktischen

Hilfe für Entwicklungsländer liegt, bieten sich auch Möglichkeiten zur Teilhabe am weltweiten Kenntnisaustausch auf vielen für Kernforschung und -technlk wichtigen Gebieten, insbesondere der Reaktorsicherheit, der Fortentwicklung von Techniken der Kernmaterialsicherung und der Nutzung der Kernenergie unter den besonderen Bedingungen von Entwicklungsländern.

1.6.5 Sonstige multilaterale Organisationen

Spezielle Themen, die für Energieforschung und Energietechnik relevant sind, werden - besonders seit der ersten Ölpreiskrise von 1973- in zahlreichen Organisationen (weltweit von VN, UNEP u.a.; regional etwa von der

ECE) mit unterschiedlicher deutscher Beteiligung bearbeitet, wobei der Hauptvorteil in der Verdeutlichung besonderer Probleme und Entwicklungen im Ausland und ihrer möglichen Auswirkungen auf die Bundesrepublik Deutschland sowie in der Erweiterung des Informationsstandes liegt.

1.6.6 Bilaterale Zusammenarbeit

Abgesehen von einem intensiven, vielfach nicht staatlich beeinflußten oder gar organisierten internationalen Austausch von Kenntnissen, Erfahrungen und Meinungen zwischen wissenschaftlichen und industriellen Einrichtungen bieten Energieforschung und energietechnische Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland ein vielfältiges Bild der Arbeitsteilung und Zusammenarbeit mit anderen Staaten bei einzelnen Vorhaben oder auch geschlossenen Programmen.

Von besonderem Wert erweist sich die **Kooperation mit den Industrieländern** Westeuropas und Nordamerikas, weil sie in wesentlichen Teilen dieselben Entwicklungsrichtungen verfolgen wie die Bundesrepublik Deutschland. Damit ist die Chance geboten, die finanziellen und personellen Lasten von Forschung und Entwicklung, besonders bei großen Projekten, auf zwei oder mehr Länder zu verteilen und auch Zugang zu Entwicklungen zu erlangen, die den vergleichbaren deutschen Arbeiten voraus sind. Zugleich erleichtern solche Kooperationsvorhaben eine frühzeitige Anbahnung industrieller Zusammenarbeit und damit die Markteinführung auch deutscher Technologien und Produktion im Partnerland und mit diesem zusammen in dritten Ländern. Hervorragende Beispiele dieser Art finden sich in erster Linie bei der Nukleartechnik, z. B. die breite Zusammenarbeit bei der Brüterentwicklung mit Frankreich, Belgien, den Niederlanden und Italien sowie - in Teilbereichen - auch mit Japan und USA sowie die gemeinsame Entwicklung und Nutzung des Gaszentrifugenverfahrens zur Urananreicherung zusammen mit Großbritannien und den Niederlanden.

Ein Beispiel, wie internationale Zusammenarbeit die Betätigung bei sehr fortschrittlichen, jedoch risikoreichen Entwicklungen durch Teilung der Aufgaben erleichtert, ist das deutsch-belgische Vorhaben zur Untertagevergasung von Kohlevorkommen, an dem neuerdings auch Frankreich Interesse zeigt.

Bei der **Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern** steht das Motiv, diesen von der Ölpreisexplosion besonders betroffenen und im wesentlichen technologiearmen Ländern zu helfen, im Vordergrund. Kooperation in Erforschung und Entwicklung neuer, insbesondere erneuerbarer Energiequellen soll ihnen ermöglichen, sich eigene Urteile über Chancen und Probleme neuer technologischer Lösungen von Anfang an zu bilden, die Technologie zu beherrschen und später auch anwenden und nutzen zu können, ohne dauernd auf ausländische Hilfe angewiesen zu sein. Voraussetzung hierfür ist jedoch ein gewisser Entwicklungsstand der wissenschaftlich- technischen Infrastruktur. Andererseits erlaubt die Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern den daran beteiligten deutschen Instituten und Unternehmen auch, eigene Ideen und Entwicklungen z. B. zur Sonnen- oder Windenergienutzung unter anderen, günstigeren Bedingungen zu testen und zu verbessern und damit die Markteinführung ihrer Technologie für den Export vorzubereiten, manchmal auch die Anwendungsmöglichkeiten in der Bundesrepublik Deutschland selbst zu vergrößern.

Unter den zahlreichen Projekten der Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern unterschiedlichen wissenschaftlich-technologischen Niveaus sind beispielhaft zu erwähnen.

- Vergleichstest mit 120 Warmwasserbereitern verschiedener Bauart in Ägypten
- 100 kW Solarkraftwerk und eine 3000 m3/Tag Entsalzungsanlage in Kuwait
- 20 kW-Windenergieanlagen in Argentinien
- Anlage zur Vergasung von Biomasse (landwirtschaftliche Abfälle) in Indonesien
- integrierte Nutzung regenerativer Energiequellen für die Versorgung ländlicher Gebiete (sog. „Solardörfer”) in der VR China, Griechenland, Mexiko.

Darüber hinaus unterstützt die gezielte Förderung durch den Bundesminister für wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) die Entwicklungsländer in ihren Anstrengungen zur lokalen Produktion und Verbreitung von Energietechnologien. Die Aktivitäten zur Entwicklung und Nutzung erneuerbarer Energiequellen sind in dem „Sonderenergieprogramm” (SEP) des BMZ zusammengefaßt.

2. Forschung und Entwicklung neuer Technologien zur rationellen Nutzung und Bereitstellung von Energie

Angesichts der erheblich gewachsenen Belastung unserer Volkswirtschaft durch Energieimporte ist eine rationellere Verwendung der verfügbaren Energie, vor allem von Öl, in den letzten Jahren immer wichtiger geworden. Das hat seinen deutlichen Niederschlag in den erhöhten Aufwendungen für Forschung und Entwicklung im Bereich rationelle Energieverwendung gefunden. Die erste Enquete-Kommission des Bundestages „Zukünftige Kernenergie-Politik" hat in ihren energiepolitischen Handlungsempfehlungen mit großem Nachdruck auf die Bedeutung der rationellen Energieverwendung hingewiesen und entsprechende Empfehlungen ausgesprochen: Die Empfehlungen im Beschluß des Deutschen Bundestages zum Bericht der ersten Kommission vom Dezember 1981 (Bundestags- Drucksache 9/1147) sind berücksichtigt worden.

Für Aufbereitung und Umwandlung von Primärenergie in eine für den Verbraucher nutzbare Form (Endenergie) muß ein beträchtlicher Teil der eingesetzten Primärenergie aufgewandt werden. Darüber hinaus ist auch die Anwendung der Endenergie in den verschiedenen Verbrauchssektoren mit Verlusten verbunden, die in der Industrie auf etwa 45%, im Bereich Haushalt und Kleinverbrauch auf etwa 55% und im Verkehr auf etwa 80% der eingesetzten Endenergie geschätzt werden, insgesamt können damit heute etwa 2/3 der eingesetzten Primärenergie nicht genutzt werden. Aus technisch-physikalischen Gründen dürfen die Verluste aber nicht mit Einsparpotentialen verwechselt werden.

Die Verminderung der Verluste bei Umwandlung und Anwendung durch neue Techniken ist eine der wichtigsten Aufgaben der Energieforschung. Dabei dürfen aber keineswegs nur die möglichen Einsparungen bei bestimmten Umwandlungs- oder Nutzungstechniken isoliert betrachtet werden, vielmehr muß in jedem Einzelfall die gesamte Umwandlungskette von der Primärenergie bis zum genutzten Anteil der Endenergie gesehen werden. So sind z. B. bei der Stromerzeugung mit Wärmekraftwerken die Verluste mit etwa 60% relativ hoch, bei der Anwendung jedoch hat Strom die niedrigsten Verluste. In Verbindung mit der guten Regelbarkeit kann Strom deshalb in zahlreichen Prozessen zu einem hohen Nutzungsgrad der eingesetzten Primärenergie führen. Ein Beispiel hierfür sind die großen Energieeinsparungen durch die Elektrifizierung der Bundesbahn.

Wegen der mit Energieeinsatz verbundenen Umweltprobleme trägt eine rationellere Energieverwendung meist auch zum Umweltschutz bei. Anderer- seit erfordert eine Reihe von Umweltschutztechniken, wie z. B. die Rauchgasentschwefelung bei Kohlekraftwerken, einen höheren Energieeinsatz. Auch andere Ziele, wie z. B. die Humanisierung des Arbeitslebens (z. B. Schichtarbeit), steht nicht immer mit den Zielen des Energiesparens im

Einklang. Allgemein muß beachtet werden, daß das energiepolitische Ziel des „weg vom Öl" in manchen Fällen den Verzicht auf Technologien zur Folge haben muß, die zwar insgesamt geringere Energieverluste ermöglichen, jedoch einen höheren Ölverbrauch erfordern.

Wegen der Komplexität der Zusammenhänge ist rationellere Nutzung der Energie nicht nur ein technisches Problem und eine Frage der Wirtschaftlichkeit, sondern vielfach auch ein Problem der Information und der sorgfältigen Untersuchung jedes Einzelfalls.

Wegen der in den letzten Jahren gestiegenen Energiepreise ist die Bedeutung von Technologien zur rationelleren Energienutzung einschließlich der Nutzung regenerativer Energiequellen gewachsen. Um dem gerecht zu werden, müssen die verschiedenen Technologien weiter entwickelt werden mit dem Ziel höherer Effizienz, Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit; diese muß mit einer praxisnahen und gezielten Information einhergehen.

Wegen des strukturellen Aspektes der rationellen Energieverwendung kommt auch der Zusammenarbeit der Gebietskörperschaften mit der Versorgungswirtschaft mit der Raum- und Siedlungsplanung große Bedeutung zu.

Bei der Entwicklung technischer Maßnahmen - vor allem für Großverbraucher - empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

- der Nutzenergiebedarf ist so weit wie wirtschaftlich vertretbar herabzusetzen.
- die unvermeidliche Abwärme sollte weitgehend für den internen Bedarf genutzt werden.
- der verbleibende Bedarf muß mit geringstmöglichem Aufwand an Primärenergie, insbesondere an Öl, gedeckt werden.

Selbstverständlich ersetzen diese allgemeinen Regeln nicht eine sorgfältige Abwägung von Kosten und Nutzen. Das gilt insbesondere vor großen Investitionen, wie z. B. beim Aufbau eines Fernwärmenetzes.

Zur Erzeugung von Niedertemperaturwärme (Raumwärme und Prozeßwärme bis zu einer Temperatur von etwa 200° C) werden z. Z. in der Bundesrepublik

etwa 50% der eingesetzten Endenergie benötigt. Besonders wichtig ist es daher, den Energieverbrauch für die Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs zu senken. Trotz Rückgang des Ölverbrauchs in den vergangenen Jahren bestehen gerade in diesem Bereich noch große Einsparmöglichkeiten durch bessere Wärmedämmung, Ausweitung der Abwärmenutzung, verstärkten Einsatz von Wärmepumpen sowie durch verbesserte Anwendung der Meß- und Regeltechnik.

Bei der rationellen Energieverwendung gibt es eine Reihe von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die den Energieeinsatz effizienter machen sollen, z. B. durch besseren Wärmeübergang in Wärmetauschern, verbesserte Wärmeisolierung, Verringerung der Kosten für Transport und Speicherung von Wärme, geeignete Wahl von Kälte- oder Arbeitsmitteln sowie durch Verringerung von Verlusten durch verbesserte Regeltechnik. Häufig sind Langzeiterprobungen erforderlich, weil die Wirtschaftlichkeit stark von der Lebensdauer energiesparender Anlagen abhängt. Ein wichtiger Schwerpunkt in diesem Bereich ist daher die Stoff- und Materialforschung.

Neben diesen übergreifenden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die z. T. noch Grundlagenforschung sind, überwiegen hier anwendungsnahe Projekte, mit denen die in der Praxis auftretenden Probleme gelöst und die Wirtschaftlichkeit oder Wartungsfreundlichkeit energiesparender Anlagen erhöht werden sollen.

Die Verfügbarkeit ausgereifter Einzelkomponenten garantiert noch nicht die Anwendungsreife daraus aufgebauter Systeme zur rationellen Nutzung von Energie. Das Zusammenwirken der Komponenten im Gesamtsystem und die Erprobung dieses Systems in der Anwendung unter den verschiedensten Bedingungen zählt daher zu den wichtigen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben in diesem Bereich.

Zu den Forschungsaufgaben zählen auch übergreifende Untersuchungen im Rahmen regionaler und örtlicher Energieversorgungskonzepte. Solche Konzepte können die Wirksamkeit von Einzelmaßnahmen zur rationellen Bereitstellung und Nutzung von Energie wesentlich verbessern. Hierauf hat die Bundesregierung bereits in der Dritten Fortschreibung ihres Energieprogramms und im 2. Immissionsschutzbericht hingewiesen. Energieversorgungskonzepte tragen dazu bei, das Verhältnis von Fernwärme, insbesondere aus Kraft-Wärme-Kopplung oder industrieller Abwärme, Gas und Strom zu Heizzwecken langfristig sinnvoll zu gestalten und mit den Ausgangsbedingungen der Siedlungsstruktur sowie mit den Zielen der Stadtentwicklung, Stadterneuerung und des Umweltschutzes in Einklang zu bringen. Die Bundesregierung wird auf die breite Durchsetzung von Versorgungskonzepten hinwirken; sie fordert Versorgungsunternehmen und Gemeinden zu entsprechenden Anstrengungen auf. Sie läßt in einem Forschungsprogramm „Örtliche und Regionale Energieversorgungskonzepte", technische Studien sowie Planstudien und Siedlungsstrukturuntersuchungen erarbeiten, die Versorgungsunternehmen, Städten und Gemeinden Hilfen für die Entwicklung solcher Konzepte bieten soll. In einem die Arbeiten begleitenden Koordinierungsausschuß „Örtliche und Regionale Energieversorgungskonzepte" sind Bund, Länder, Versorgungswirtschaft sowie Gemeinden und Gemeindeverbände vertreten.

2.1 Anwendungstechnik beim Endverbraucher

Um aus der Vielfalt der Anwendungstechniken beim Endverbraucher diejenigen zu ermitteln, die die größten Einsparungen erwarten lassen, wurden bereits während des ersten Energieforschungsprogramms systematische Untersuchungen durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen, die - soweit notwendig-fortgeführt werden, ist die Feststellung, mit welchem Aufwand an Sekundärenergie die geforderten Energiedienstleistungen erbracht werden können.

Das größte kurz- und mittelfristig erschließbare Einsparpotential wurde für den Sektor Haushalt und Kleinverbrauch ermittelt, in dem daher die meisten Forschungsvorhaben gefördert werden.

In der Industrie führten schon in der Vergangenheit Rationalisierungsmaßnahmen auch zu einer zunehmenden Reduzierung des spezifischen Energieeinsatzes. Das galt vor allem, wenn der Energieverbrauch einen ins Gewicht fallenden Kostenfaktor bildete. Um diesen Trend zu beschleunigen förderte das BMFT in den vergangenen Jahren entsprechende Entwicklungen in der Industrie vor allem dann, wenn erhebliche Entwicklungsrisiken bestanden. Erfolgversprechende Ansätze konnten in der keramischen, eisenschaffenden und Zementindustrie erzielt werden. Darüber hinaus wurden vor allem Entwicklungen zur betriebsinternen oder auch externen Abwärmenutzung gefördert. Ein großer Teil dieser Projekte ist noch nicht abgeschlossen und wird in den kommenden Jahren weiter gefördert. Während dieses Programms soll geprüft werden, ob sich Technologiebereiche abgrenzen lassen, in denen eine indirekt-spezifische FuE-Förderung aussichtsreich eingesetzt werden kann. Mit Vorrang sollen auf diese Weise kleine und mittlere Unternehmen gefördert werden.

Im Verkehrssektor sind die wesentlichen Einsparmöglichkeiten mit strukturellen Veränderungen verbunden, die von der grundlegenden Weiterentwicklung der Verkehrstechnologie nicht zu trennen und daher Bestandteil der entsprechenden Forschungs-

programme sind. Die Forschungsziele werden daher hier nur nachrichtlich aufgeführt.

2.1.1 Haushalt und Kleinverbrauch

Im Haushalt und Kleinverbrauch wird Energie überwiegend für Gebäudeheizung und Brauchwasserbereitung eingesetzt. Der Anteil von Öl und Gas daran beträgt etwa 70%. Nach vorliegenden Untersuchungsergebnissen läßt sich der dafür benötigte Energiebedarf mit z. T. schon heute wirtschaftlich vertretbaren bau- und anlagentechnischen Maßnahmen deutlich reduzieren.

Energiesparende Gebäudetechniken

Die bisherigen Untersuchungen und Projekte haben folgende Ansätze für weiterführende Forschungsarbeiten ergeben:

- Bei der passiven Nutzung der Sonnenenergie besteht nach wie vor ein Wissensdefizit, insbesondere hinsichtlich der quantitativen Bewertung.
- Bei den Vorhaben zur Verbesserung des Wärmeschutzes sind vor allem die Ursachen der zunehmenden Schäden im Zusammenhang mit verstärkter Dämmung der Außenfläche und Reduzierung der Lüftungsverluste zu untersuchen.
- Für die nachträgliche Verbesserung der Wärmedämmung bestehender Gebäude müssen bauphysikalisch und physiologisch sichere, rationelle und preiswerte Lösungen gefunden werden.
- Für die Bauplaner wird ein allgemein anerkanntes Instrumentarium zur energetischen Bewertung vorhandener Bausubstanz und möglicher Modernisierungsmaßnahmen sowie zur Berechnung des Energiebedarfs von Neubauten benötigt.
- Untersuchungen über den physiologisch notwendigen Lüftungsbedarf und über technische Möglichkeiten zur kontrollierten Lüftung und Wärmerückgewinnung müssen weitergeführt werden.
- Untersuchungen zu speziellen Gebäudearten mit besonders hohem Energiebedarf, insbesondere im öffentlichen Bereich, wie z. B. Krankenhäusern, sind zweckmäßig.

Heizungssysteme

Elektrische Wärmepumpen sind technisch entwickelt. Bis Ende 1980 sind allein in der Bundesrepublik ca. 40.000 Wärmepumpenanlagen in Heizungssystemen installiert worden. Eine weitgehende Markteinführung stößt vor allem wegen der relativ hohen Kosten noch auf Schwierigkeiten, was 1981 zu einem erheblichen Rückgang der Absatzzahlen führte.

Größere mit Gas betriebene Wärmepumpen im Leistungsbereich ab 50 kW werden derzeit ebenfalls bereits angeboten und vornehmlich in größeren Gebäudekomplexen eingesetzt. In der Bundesrepublik sind z. Z. ca. 300 Gas-Wärmepumpen in Betrieb.

Kleinere Gaswärmepumpen für Ein- und Zweifamilienhäuser werden z.Z. entwickelt. Darüber hinaus sind folgende Entwicklungen aussichtsreich:

- Kleine Dieselwärmepumpen,
- Absorptionswärmepumpen und Untersuchungen der entsprechenden Stoffkreislaufeigenschaften,
- Untersuchungen der Wärmeaufnahme aus verschiedenen Wärmequellen,
- Komponentenentwicklung zur Verbesserung der Leistungsziffer,
- Wärmepumpenentwicklung für spezielle Zwecke (Industrie, Fernwärme).

Bei der Entwicklung stationärer Energieerzeugungsanlagen mit Verbrennungsmotoren muß der Verminderung von Emissionen verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Auch bei konventionellen Öl- und Gasheizungssystemen besteht noch ein Entwicklungsbedarf zur Verbesserung des Nutzungsgrades. Die Leistung der Heizungen muß an den geringeren Bedarf energiesparend konzipierter Gebäude angepaßt werden. Aussichtsreich ist die Weiterentwicklung und Erprobung von Brennwertgeräten, mit deren Hilfe auch die in den Rauchgasen enthaltene fühlbare und latente Wärme zurückgewonnen werden kann.

2.1.2 Industrie

Die künftigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Industriebereich werden weiterhin die Ziele verfolgen, den produktbezogenen spezifischen Energieverbrauch zu senken, den Nutzungsgrad der eingesetzten Energie zu erhöhen und die Abwärme zu nutzen. FuE-Schwerpunkte sind:

- Senkung des Energieverbrauchs energieintensiver Anlagen, z. B. von Industrieöfen,
- Entwicklung neuer Produktionsverfahren, z. B. energiesparende. Verformungsverfahren, Weiterentwicklung keramischer Brennverfahren,
- verstärkter Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung,
- Entwicklung von Anlagen zur Stromerzeugung aus Abwärme unter Nutzung niedrig siedender Kohlenwasserstoffe als Arbeitsmedium (Organic Rankine Cycle),
- Entwicklung von Verfahren und Anlagen zur Nutzung industrieller Abwärmequellen,
- Weiterentwicklung von Verfahren zum rationelleren Energieeinsatz bei energieintensiven Prozessen (z.B. Härten, Verdampfen und Trocknen).

Über diese Entwicklung hinaus, die jeweils für eine größere Zahl von Industriebranchen von Interesse sind, können nur begrenzt für möglichst universell

nutzbare Ergebnisse branchenspezifische Lösungsansätze für energiesparende Produktionsmethoden untersucht werden. In diesen Fällen kann schon aus Kosten- und Wettbewerbsgründen ein starkes Eigeninteresse der Industrie unterstellt werden. Die finanzielle Förderung des BMFT wird sich daher weitgehend auf die beispielhafte Erfassung des Energieflusses in Einzelbetrieben beschränken. Eine darüber hinausgehende Förderung vom Demonstrationsprojekten ist nur dann berechtigt, wenn wegen zu großer Risiken die Einführung energiesparender Technologien in den Produktionsprozeß verhindert würde und die von dieser Technologie erzielbare Einsparung von volkswirtschaftlicher Bedeutung ist.

Der kumulierte Energieeinsatz läßt sich bei vielen Produkten durch geschickte Auswahl von Materialien und Herstellungsverfahren sowie durch Ausnutzung von Rezyklierungsmöglichkeiten vermindern. Dazu ist aber die Kenntnis des Energieeinsatzes zur Herstellung der Vorprodukte unerläßlich. Daher sollen entsprechende Analysen gemacht werden.

2.1.3 Neue Technologien zur rationellen Energieverwendung im Verkehr

22,2% der Endenergie und 32,0% des gesamten Mineralöls wurden 1980 in der Bundesrepublik Deutschland im Verkehrssektor verbraucht. Der Kraftfahrzeugverkehr ist dabei heute fast vollständig auf Kraftstoffe aus Erdöl angewiesen, während die spurgebundenen Verkehrsmittel vorwiegend erdölunabhängige elektrische Antriebe nutzen. Wesentliche Energieeinsparungen lassen sich h diesem Bereich mittel- bis langfristig durch Verlagerung von Verkehrsleistungen vom Individualverkehr zum öffentlichen Verkehr erreichen. Darüber hinaus bieten die unterschiedlichen Energienutzungsgrade der einzelnen Verkehrssysteme Ansatzpunkte für technologische Verbesserungen zur Energieeinsparung.

Rationellere Energieverwendung und Diversifizierung auf erdölunabhängige Energieträger sind deshalb wichtige Teilziele der Vorhaben zur Entwicklung neuer Verkehrstechnologien, die von der Bundesregierung in gesonderten Programmen gefördert werden.

Kraftfahrzeuge und Straßenverkehr

Die Nachfrage nach verbrauchsgünstigen Kraftfahrzeugen hat wegen der in den vergangenen Jahren überdurchschnittlich gestiegenen Kraftstoffpreise zugenommen. Der Bau einiger Prototypen hat technische Möglichkeiten hierfür aufgezeigt und weiterführende Aktivitäten der Kraftfahrzeughersteller beschleunigt. Die Förderung von Energiespartechnologien für den Kraftfahrzeugverkehr beschränkt sich daher auf Projekte, bei denen die rationelle Energieverwendung ein Teilaspekt innerhalb der gleichermaßen zu bewertenden Forderungen nach verringerten Abgas- und Lärmemissionen und erhöhter Sicherheit ist. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zielen darauf ab, die motorische Verbrennungsverfahren unter Einsatz elektronischer Steuerungen zu verbessern, den Energiebedarf durch verstärkten Einsatz von Leichtbaumaterialien, weiterentwickelte aerodynamische Formgebung und verringerte Reibungsverluste zu senken. Energieeinsparungen lassen sich auch durch weiterentwickelte Leittechniken zur Verkehrsbeeinflussung erreichen, die zur Verbesserung des Verkehrsflusses beitragen.

Die fast vollständige Abhängigkeit des Individualverkehrs von Erdölprodukten kann durch alternative Kraftstoffe aus heimischen oder zumindest versorgungssicheren Quellen gemildert werden. In einem Schwerpunktprojekt fördert die Bundesregierung daher die Erprobung von Methanol, Wasserstoff und von Elektrofahrzeugen im Straßenverkehr.

Öffentlicher Nahverkehr

Der spezifische Energieverbrauch öffentlicher Nahverkehrsmittel ist wesentlich günstiger als der des individuellen Kraftfahrzeugverkehrs. Die technologische Forschung und Entwicklung bei den schienengebundenen Nahverkehrssystemen konzentriert sich im Hinblick auf Energieeinsparmaßnahmen auf die Entwicklung elektronisch gesteuerter Antriebe mit stufenloser Regelung für einen verlustarmen Fährbetrieb. Bei Bussen liegt der Schwerpunkt in neuen Antriebskonzepten, unter anderem mit Bremsenergierückgewinnung und für die Verwendung erdölunabhängiger Kraftstoffe.

Durch Leichtbauweisen und Verlagerung gewichtsintensiver Komponenten aus den Fahrzeugen in die Strecke und mit neuen Betriebsleit- und Steuerungssystemen für Bus und Bahn werden weitere Ansätze zur Energieeinsparung verfolgt.

Bahnen

Mit der weitgehenden Elektrifizierung des Streckennetzes hat die Bahn eine erdölunabhängige und sichere Energieversorgung geschaffen. Zur Erhöhung der Attraktivität unter der Randbedingung einer rationellen Energieausnutzung zielen die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Gebiet Bahntechnik auf eine verbesserte Aerodynamik der Bahnfahrzeuge, verstärkte Anwendung von Leichtbaukomponenten, die Weiterentwicklung elektrischer Antriebe mit Stromrückspeisung r das Netz und die Verringerung der Verluste bei der Energieübertragung ab.

2.2 Techniken und Verfahren zur Bereitstellung von Sekundärenergie

Im Bereich des Endenergieverbrauchs werden die Primärenergieträger i. a. nicht direkt eingesetzt, sondern in Form der Sekundärenergieträger

- elektrischer Strom
- Gase (Erdgas, Synthesegas, Stadtgas, etc.)
- flüssige Brennstoffe (Heizöl, Benzin, etc.)
- feste Brennstoffe (Koks, Briketts, etc.)
- Fernwärme.

Die Entwicklung verbesserter oder neuer Technologien für Sekundärenergieträger konzentriert sich auf die folgenden Bereiche:

- Abwärmenutzung für die Fernwärmeversorgung.
- Transport von Fernwärme.
- Speichermethoden insbesondere für Gase und Wärmeträger im Versorgungssystem. '
- Produktions-, Transport- und Speichertechnologien für neue Sekundärenergieträger wie Wasserstoff, Methanol und Wasserstoff-Kohlenmonoxid-Gemische, die durch Wasserdampfreformierung des Methans erzeugt werden („Fernenergie").

2.2.1 Abwärmenutzung und Fernwärme

Wegen des großen Anteils der Niedertemperaturwärme am gesamten Energiebedarf, vor allem im Bereich Haushalt und Kleinverbrauch, kommt den Technologien zur rationellen Wärmeversorgung eine besondere Bedeutung zu. In dicht besiedelten Gebieten trägt die Wärmeversorgung der Haushalte über Fernwärmenetze diesem Gedanken Rechnung, wenn für sie Abwärme aus thermischen Kraftwerken und industriellen Produktionsprozessen nutzbar gemacht werden kann.

Bei reiner Stromerzeugung hat das Kühlwasser des Kraftwerks ein so niedriges Temperaturniveau, daß es allenfalls in Sonderfällen (Agrotherm, Fischzucht, Unterglasgartenbaubetriebe) genutzt werden kann. Zur Nutzung der Abwärme für Heizzwecke muß das Kraftwerk so ausgelegt werden, daß die Wärme auf einem Temperaturniveau von mehr als 100° C r ein Fernwärmenetz abgegeben werden kann. Dadurch sinkt zwar der Wirkungsgrad der Stromerzeugung im Kraftwerk, was zum Teil durch zusätzliche Kraftwerkskapazität ausgeglichen werden muß, der Gesamtnutzungsgrad im Kraftwerk eingesetzten Primärenergie wird jedoch erheblich gesteigert.

Die Abwärme aus industriellen Hochtemperaturprozessen wird derzeit nur in wenigen Fällen genutzt Der Eigenbedarf der Industrieunternehmen an Niedertemperaturwärme ist zumindest so gering, daß vor allem für Abwärme aus energieintensiven Prozessen Nutzungsmöglichkeiten nur durch Anschluß an ein ausreichend großes Fernwärmenetz geschaffen werden können.

Bisherige Förderung der Fernwärme und der Abwärmenutzung

In den vergangenen Jahren wurden eine Reihe von Studien, Forschungsarbeiten und Demonstrationsvorhaben im Rahmen des ersten Energieforschungsprogramms gefördert

In der „Gesamtstudie Fernwärme" wurde geprüft, h welchem Maße die Fernwärmeversorgung in der Bundesrepublik Deutschland unter wirtschaftlichen Bedingungen ausgebaut werden kann. Für vier Gebiete (Berlin, Mannheim/Ludwigshafen/Heidelberg, westliches Ruhrgebiet und Köln/Bonn/Koblenz) wurden dabei detaillierte Planstudien erstellt. Das Ergebnis dieses Fernwärme-Studienwerkes war ein Wärmeatlas für die Bundesrepublik Deutschland, in dem die für den Fernwärmeausbau geeigneten Gebieten ausgewiesen werden. Ein Rechenprogramm zur Ermittlung des „fernwärmewürdigen Potentials" unter verschiedenen Rahmenbedingungen steht zur Verfügung. Darüber hinaus enthält die Studie eine Reihe von technischen Empfehlungen.

In der „Gesamtstudie Fernwärme" wurden auch die möglichen Deviseneinsparungen, die erzielbare Reduzierung von Schadstoffemissionen und die Wirkung eines beschleunigten Fernwärmeausbaus auf den Arbeitsmarkt ermittelt.

Die Fernwärmestudie wurde schon bald zu einem Nachlagewerk, das praktisch bei allen Fernwärme-Ausbauprojekten hinzugezogen wurde.

Das Fernwärme-Ausbaupotential hängt sehr empfindlich von den Kosten für Transport und Verteilung von Wärme ab. In einer Programmstudie, die systematisch alle derzeit im In- und Ausland verwendeten Systeme untersucht, wurde daher geprüft, durch welche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten Wirtschaftlichkeit, Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Fernwärmeanlagen erhöht werden kann. Diese Programmstudie war die Grundlage für eine Reihe erfolgreicher Forschungsvorhaben.

Durch Fernwärmeverbundsysteme werden die Voraussetzungen für die Einbeziehung verschiedener, insbesondere auch industrieller Abwärmequellen geschaffen. Dadurch wird die Versorgungssicherheit erhöht. Das BMFT förderte seit 1975 mehrere Demonstrationsprojekte, mit denen nachgewiesen wurde, daß die Probleme industrieller Abwärmenutzung in Verbindung mit Fernwärmeverbundsystemen beherrschbar sind. Diese Demonstrationsvorhaben im Ruhrgebiet und im Saarland liefern wertvolle Erkenntnisse über die Wirtschaftlichkeit derartiger Großprojekte. Bei den Demonstrationsprojekten

wurden die Anlaufverluste z. T. durch die Zuschüsse des BMFT abgedeckt.

Der Ausbau der Fernwärmeversorgung gehört weiterhin zu den wichtigen energiepolitischen Zielen der Bundesregierung. Daher nimmt die Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekten auch im vorliegenden Energieforschungsprogramm einen wichtigen Rang im Wärmebereich ein.

Wärmeerzeugung

Es bestehen sehr unterschiedliche Möglichkeiten der Wärmeauskopplung und Einspeisung in Fernheizungssysteme. Neben dem Einsatz großer Heizkraftwerke müssen auch die wirtschaftlichen Aussichten kleiner standardisierter Kohleheizkraftwerke geprüft werden.

Die Auskopplung der Wärme aus Kernkraftwerken in Fernwärmenetze wurde an mehreren Stellen geprüft. Die Untersuchungsergebnisse sind erfolgversprechend.

Als wichtigste Forschungsaufgäbe auf dem Gebiet der Wärmeerzeugung sind ferner anzusehen:

- Kostenminderung, Automatisierung und Optimierung von Kraftwerksanlagen auf der Basis von Steinkohle
- Möglichkeiten der Wärmeauskopplung aus bestehenden Kraftwerken. Wärmetransport und -Verteilung

Wärmetransport und -verteilung

Für den wirtschaftlichen Wärmetransport über große Entfernungen wurden in der Gesamtstudie Fernwärme Grenzwerte von 20 - 30 km bei großen Wärmeleistungen von 1000 bis 2000 MW ermittelt. Wegen des überproportionalen Preisanstiegs bei Brennstoffen und der inzwischen zu verzeichnenden technologischen Entwicklung kann man davon ausgehen, daß sich der wirtschaftliche Bereich des Wärmetransports auf größere Entfernungen bzw. auch auf kleinere Wärmeleistungen erweitern wird. Damit wird es möglich, bei beschleunigtem Aufbau von Fernwärmenetzen kleinere und mittlere Städte eines Verdichtungsraumes mit in ein regionales Fernwärmeversorgungssystem einzubeziehen.

In den letzten Jahren ist es gelungen, zur Verminderung der Wärmeverteilkosten Systeme der kanalfreien Verlegung zu entwickeln und einzuführen. Insbesondere zur Einbeziehung der Niedrigbebauung in fernwärmegeeignete Gebiete ist dieser Trend mit Nachdruck fortzuführen, wobei Entwicklungen in den skandinavischen Ländern z. T. Anhaltspunkte geben können.

Folgende Forschungsvorhaben, die dazu beitragen können, Transport und Verteilung von Wärme günstiger zu gestalten, seien beispielhaft genannt:

1. Pipelineartige Verlegung von Leitungen
2. Kompensatorlose Verlegung
3. Neue Wärmedämmsysteme
4. Einsatz von chemischen Additiven zur Verminderung der Rohrreibungsverluste
5. Überwachung von großen Wärmetransport-Systemen
6. Untersuchung von Tunnelbauweisen für Teile großer Transportleitungen, zur Lösung der Trassenfindung unter extremen Bedingungen In Ballungsgebieten
7. Schachtlose Verlegung von Verfülleitungen.

Neben der Beheizung verdichteter Gebiete ist die Einbeziehung von Einfamilienhäusern In der Fernwärmeversorgung aufgrund der energiewirtschaftlichen Entwicklung in der Bundesrepublik eine neue Aufgabe der Fernwärmeversorgung. Dazu sind vor allem kostengünstige kleine Hausstationen zu entwickeln.

2.2.2 Energiespeicherung

Die Speicherung thermischer Energie ist ein grundsätzliches Problem der Energietechnik. Von besonderem Interesse ist die Langzeitspeicherung von Niedertemperaturwärme. Auf diese Weise könnte die Abwärme aus Heizkraftwerken oder industriellen Prozessen ganzjährig genutzt werden.

Wärmetransportleitungen könnten mit einem Speicher in Verbrauchsnähe ganzjährig betrieben und damit kleiner und billiger ausgelegt werden. Auch Sonnenenergie könnte im Sommer gespeichert und im Winter genutzt werden.

Diesen Vorteilen steht vor allem die Schwierigkeit gegenüber, Langzeitspeicher zu vertretbaren Kosten zu bauen (Isolationsanforderungen, Sicherheit, verschiedene technische Schwierigkeiten, Platzbedarf in Ballungsräumen).

Als Anwendung kommt hauptsächlich die Speicherung von Niedertemperaturwärme für Heizzwecke in Betracht in folgenden Systemen:

- **Fernwärme:** Deckung der Spitzenlast durch Wärmespeicher, Überbrückung von Schwachlastzeiten der Kraft-Wärmekopplung, Verringerung der Reservekapazitäten und Erhöhung des Wärmeanteils aus der Kraft-Wärmekopplung (Tages-, Wochenendspeicher), Wärmerückgewinnung und Speicherung, Nutzung industrieller Abwärme und der Überschußwärme der KWK des Sommers (saisonale Speicherung)

- **Solarenergie:** Die direkte Nutzung der Solarenergie mit Tagesspeicherung ermöglicht nur eine etwa 10% ige Deckung des Gesamtjahresheizbedarfs eines Hauses. Ein größerer Deckungsanteil kann nur durch Jahresspeicherung erreicht werden. Wegen der großen thermischen Verluste bei kleinen Speichereinheiten kommt für Langzeitspeicherung insbesondere die zentrale Großspeicherung der Wärme in Betracht

Bisherige Förderung der Wärmespeicherung

In umfangreichen Studien wurden technische und wirtschaftliche Realisierungsmöglichkeiten verschiedener Langzeit-Speichersysteme untersucht, insbesondere von Speicherseen und von Aquiferspeichern (Speicherung von Wasser in porösem Material). In Laborversuchen wurde das Langzeitverhalten und andere Eigenschaften von geeignet erscheinenden Isolier- und Dichtungsstoffen getestet Aussichtsreich erscheint auch die latente Speicherung von Wärme, weil dabei geringere Wärmeverluste auf- treten und größere Speicherdichten erreichbar sind. In mehreren Vorhaben wurde geprüft, welche Materialien dafür geeignet sind.

An einem geplanten Großprojekt zur Speicherung von Wärme in einem Speichersee, der in Verbindung mit einem Fernwärmenetz stehen sollte, wollten sich mehrere IEA-Mitgliedsländerfinanziell beteiligen. Wegen großertechnischer Schwierigkeiten, u.a. in Verbindung mit der erforderlichen Grundwasserabsenkung, mußte das Projekt abgebrochen werden. Trotz- dem ist es notwendig, in den kommenden Jahren die Erfahrungen und Erkenntnisse in Pilot- und Demonstrationsprojekten zu erproben.

Forschungsaufgaben

Bisher zeichnen sich vier Lösungsmöglichkeiten für die Langzeitwärmespeicherung ab:

- Behälterspeicher: in der Größe begrenzt, daher wohl zu teuer.
- Speichersee: Untersuchungen über die Realisierbarkeit wurden bereits vorangetrieben.
- Aquiferspeicher: wahrscheinlich ähnlich hohe Kosten wie beim Speichersee, Vorteil: Nutzung der Speicherfläche weniger problematisch. Nachteil: schlechtere Ausnutzung des Speicherraums, vermutlich gewisse betriebliche Nachteile.
- Schalensegmentspeicher: man hofft, durch Metallauskleidung des Speicherbeckens die beim Speichersee auftretenden Probleme (Notwendigkeit der Grundwasserabsenkung beim Bau; Schwierigkeiten bei der Entwicklung langlebiger Isolationsschichten) besser beherrschen zu können. Es ist allerdings fraglich, ob der gleiche Speicherinhalt wie beim Speichersee erreichbar ist.

Daneben sollen Arbeiten auch auf dem Gebiet der Kurzzeit-Wärmespeicherung weitergeführt werden. Neben Latentwärmespeichern sind vor allem thermochemische Speicher von Interesse, die grundsätzliche Vorteile gegenüber Wasserspeichern versprechen: wesentlich höhere Energiedichten und praktisch verlustlose Langzeitspeicherung. Darüber hinaus ergeben sich verschiedene Möglichkeiten der Betriebsweise als (chemische) Wärmepumpe, Wärmetransformator, Nutzungsmöglichkeiten für

Heizung und Kühlung, Nutzung der Niedertemperatur, Solarwärme und Abwärme von Kraftwerken.

In Deutschland wird die thermochemische Speicherung auf der Basis des Zeolith-Wassersystems In einer Prototypanlage untersucht Obwohl die Aussichten für die Wirtschaftlichkeit der saisonalen Speicherung bei den heute untersuchten Zeolith-Wassersystemen sehr gering sind, müssen Arbeiten auf diesem Gebiet weitergeführt werden, da entscheidende Verbesserungen denkbar sind (Substanzen mit höherer Energiedichte, Verbesserung der Betriebsweise).

Speichersysteme für elektrische Energie haben nicht nur zum Ausgleich zwischen Energieangebot und -nachfrage für elektrische Solar- und Windenergie, sondern auch für den elektrischen Antrieb von Straßenfahrzeugen sowie für die Speicherung von kleineren Mengen elektrischer Überschußenergie Bedeutung. Insbesondere Akkumulatoren sind hierfür geeignet. Schwerpunkte der Förderung auf diesem Gebiet werden In den nächsten Jahren Insbesondere sein:

- die Entwicklung der Natrium-Schwefel-Batterie als die Interessanteste mittelfristig anzubietende Lösung für einen Hochenergiespeicher,

- die Bearbeitung verschiedener anderer klassischer oder ebenfalls zukunftsträchtiger Systeme, wie z. B. des Lithium-Schwefel-Systems. Hierzu gehörtauch eine gewisse Grundlagenforschung, um zumindest keine denkbare spätere Option zu versäumen, und um die technischen Entwicklungen wissenschaftlich abzustützen.

Die Natrium-Schwefel-Batterie ist in ein Stadium getreten, in welchem der Schritt von der Laborphase in die Entwicklungsphase gemacht werden muß. Sie läßt eine 2-3fach höhere Energiedichte als der Bleiakkumulator erwarten. Bei diesem System sind noch wesentliche Verbesserungen möglich und evtl. alternative keramische Elektrolyte denkbar.

Dem Natrium-Schwefel-System in den Leistungsdaten am nächsten kommt das Lithium-Schwefel-System. Dieses ist zwar noch nicht so weit entwickelt wie die Natrium-Schwefel-Batterie, hat aber durch

seinen relativ einfachen Aufbau gewisse Vorzüge und ebenfalls Perspektiven für eine technologische Verwirklichung.

2.2.3 Wasserstoff und Fernenergie

Auf dem Gebiet der Wasserstofferzeugung wurden ursprünglich drei Entwicklungslinien verfolgt: die sogenannten thermischen Kreisprozesse, neue Elektrolysetechniken und die Hybridprozesse. Die mittlerweile vorhandenen Ergebnisse haben gezeigt, daß die thermochemischen Kreisprozesse die in sie gesetzten Hoffnungen voraussichtlich nicht erfüllen können. Daher konzentriert sich die Förderung auf die Hochtemperatur-Dampfphase-Elektrolyse. Bei diesem Verfahren wird Wasserdampf in einer Zelle mit einem Feststoffelektrolyten in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, wobei die erforderliche Energie teils thermisch; teils elektrisch zugeführt wird. Damit ergäbe sich ein Gesamtwirkungsgrad über 40 %, während der Wirkungsgrad bei der konventionellen Elektrolyse bei etwa 25 % liegt. Weitere Forschungen für Hybridverfahren, in die elektrische Energie und Wärmeenergie bei hohen Temperaturen eingekoppelt werden, werden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft in einem Sonderforschungsbereich gefördert

Im Rahmen des Projekts „**Nukleare Fernenergie (NFE)”** wird die Entwicklung eines Verfahrens gefördert, bei dem durch Kopplung einer wärmeverbrauchenden und einer wärmeabgebenden chemischen Reaktion Energie über größere Entfernungen in chemisch gebundener Form transportiert werden kann.

Methan wird unter Einkopplung von Prozeßwärme aus Hochtemperaturreaktoren mit Wasserdampf zu einem im wesentlichen aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff bestehenden Gasgemisch umgewandelt („EVA”). Nach Abkühlung auf Umgebungstemperatur kann dieses Gas über größere Entfernungen in wärmeverbrauchende Gebiete geleitet werden. Hier wird es in Methanisierungsanlagen („ADAM”) unter Freisetzung der eingebrachten Prozeßwärme zu Methan rekombiniert. Das Methan wird in einer zweiten Leitung zum Prozeßwärmeerzeuger zurückgeführt, wo es erneut zur Umwandlung eingesetzt wird. Bei diesem geschlossenen System wird die Nutzenergie beim Verbraucher ähnlich wie bei der elektrischen Energie ohne umweltschädigende Einflüsse freigesetzt Gegenüber der Elektrizität liegen die möglichen Vorteile im höheren Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Primär- und Sekundärenergie sowie in der Speicherfähigkeit. Gegenüber der Fernwärme liegt das positive Potential im verlustfreien Transport über größere Entfernungen.

Das Projekt NFE wird gemeinsam von der KFA Jülich GmbH und der Rheinischen Braunkohlewerke AG (RBW) durchgeführt. Nach Vorversuchen mit einer kleinen Anläge ist die Versuchsanlage Adam II Ende 1981 in Betrieb gegangen.

3. Kohle und andere fossile Energieträger

Die weltweiten Vorräte an Kohle übertreffen die aller anderen fossilen Primärenergieträger. Die Bundesrepublik verfügt nur bei Stein- und Braunkohle übergroße Primärenergievorräte. Die Kohlepolitik der Bundesregierung hat zu einer Stabilisierung von Förderung und Absatz deutscher Steinkohle bei rund 90 Mio t (SKE) geführt Forschung und Entwicklung im Bereich der Bergtechnik haben zu der erheblichen Leistungssteigerung im Steinkohlenbergbau beigetragen. Die Arbeitsbedingungen untertage sind verbessert worden.

Die Braunkohle bildet nach wie vor einen wichtigen Pfeiler der deutschen Stromversorgung. Heute werden 55 % des Stroms in der Bundesrepublik aus Stein- und Braunkohle erzeugt. Bis zum Jahr 1995 soll der Einsatz deutscher Steinkohle In Kraftwerken auf 45-50 Mio t/a gesteigert werden. Außerhalb der Stromversorgung soll Kohle in Zukunft verstärkt zur Deckung des industriellen Wärmebedarfs und zur Fernwärmeerzeugung eingesetzt werden, um Heizöl oder Erdgas zu ersetzen.

Ob die Substitution anderer Energieträger durch Kohle tendenziell zu höheren Umweltbelastungen führt, hängt vom Umfang und von der technischen Ausrüstung sowohl der zusätzlichen Kohlekraftwerke als auch derjenigen Kohlekraftwerke, die Altanlagen ersetzen, ab. So kommt beispielsweise der Bericht des Umweltbundesamtes „Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid" von 1980 zu dem Ergebnis, daß die gesamten S02-Emissionen aus Verbrennungsvorgängen zwischen 1977 und 1990 voraussichtlich um fast 20% zurückgehen werden (unter der Voraussetzung zusätzlicher Abgasentschwefelung von Steinkohlekraftwerken). Daneben kann man noch bestehende Minderungstechniken in ihrer Wirksamkeit möglicherweise steigern. Wegen der hohen Kosten für den Einsatz vor allem von Steinkohle muß dabei besonders auf die Wirtschaftlichkeit der Verfahrén geachtet werden.

Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit der Kohlenutzung sind Ziele der neuen Kraftwerks- und Feuerungstechniken. Dabei sind besonders die verschiedenen Varianten der Wirbelschichtfeuerung hervorzuheben, mit denen die Kohle bei relativ geringen Emissionen an Schwefeldioxid und Stickoxiden sowohl für die Prozeßwärmeerzeugung In der Industrie als auch für die öffentliche Strom- und Fernwärmeversorgung genutzt werden kann. Um

auch die Emissionen anderer Schadstoffe zu vermindern, werden entsprechende Entwicklungsarbeiten vor allem Im Hinblick auf den Einsatz von Ballastkohle durchgeführt

In einer breit angelegten Studie werden die Umweltauswirkungen einer verstärkten Kohlenutzung in der Bundesrepublik untersucht

Die Kohle hat ein hohes Veredelungspotential:

Die mögliche Produktpalette reicht von der elektrischen Energie über gasförmige und flüssige Energieträger und Chemierohstoffe bis hin zum metallurgischen Koks. Es wird deshalb allgemein erwartet, daß Kohle in Zukunft weltweit stärker genutzt wird und daß neue Technologien zur Kohlenutzung eine große Bedeutung erhalten. Das Kohleveredelungsprogramm soll nicht zuletzt der deutschen Industrie auf diesem Sektor ihre internationale Spitzenposition erhalten und über den Technologieexport auch Zugang zu kostengünstigen ausländischen Lagerstätten ermöglichen.

In ähnlicher Weise sollen Forschung und Entwicklung zur verbesserten Erdölförderung („tertiäre Förderung"), insbesondere der Aufbau eines Schweröl-zentrums die technische Leistungsfähigkeit deutscher Unternehmen verbessern und sie zu kompetenten und gesuchten Partnern bei der Erschließung schwierig auszubeutender Lagerstätten machen.

3.1 Neue Kraftwerks- und Feuerungstechniken

Die Kraftwerkstechnik in der Bundesrepublik hat einen hohen Stand. Im Laufe der vergangenen 30 Jahre vollzog sich bei den Anlagen zur Elektrizitätserzeugung eine rasche technische Entwicklung, deren Hauptmerkmal der Übergang zu größeren Leistungseinheiten war.

Die Förderung neuer Technologien für Kohlekraftwerke und Großfeuerungen hat vor allem das Ziel, die seit Anfang der 70er Jahre ständig verschärften Anforderungen des Umweltschutzes mit den Forderungen nach einem wirtschaftlichen und energiesparenden Betrieb zu vereinbaren. Dafür werden u. a. Technologien für kleine umweltfreundliche Heizkraftwerke entwickelt, die In Verbrauchernähe mit hohem Wirkungsgrad Strom und Fernwärme liefern können.

3.1.1 Komponenten für den Umweltschutz

Mit Mitteln des Programms Zukunftsinvestitionen wurde 1977 eine große Zahl von Vorhaben zur Entwicklung von Komponenten und Anlagenteilen zur Verminderung der Emissionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden sowie damit verwandter Probleme aufgegriffen mit dem Ziel, diese Technologien nach relativ kurzer Entwlcklungs- und Erprobungszelt In neuen Kraftwerken einsetzen zu können. Diese Komponentenentwicklung verlief durchweg erfolgreich. Einige Entwicklungen werden bereits kommerziell genutzt und im Genehmigungsverfahren gefordert.

Bei der Rauchgasentschwefelung wurden Lösungen mit verwertbaren Endprodukten gesucht, die möglichst abwasserfrei arbeiten, denn die Verbesserung der Luftqualität sollte nicht mit Abwasser- und Deponieproblemen erkauft werden. Eines der vom BMFT geförderten Entschwefelungsverfahren, das abwasserfrei arbeitet und dessen Endprodukt (Ammonsulfat) als Kunstdünger genutzt werden kann, wird in einem neuen 475 MW- Heizkraftwerk in Mannheim eingesetzt Die Anlage ist zur Zeit im Bau.

Ein gutes Beispiel für eine praktikable Umwelttechnologie sind die schon erfolgreich getesteten Stufenbrenner bei Kohlenstaubfeuerungen, mit denen ohne zusätzlichen Energieaufwand und ohne wesentliche Mehrkosten die Bildung von Stickoxiden um mehr als die Hälfte verringert werden kann. Sowohl für Trockenfeuerungen als auch für Schmelzfeuerungen wurden Prototypen erprobt. Betreiber wie Kessel- und Brennerhersteller berücksichtigen diese Entwicklung bei allen derzeit geplanten und - soweit noch möglich - bei im Bau befindlichen Anlagen. Aufgrund der Ergebnisse dieser Entwicklungen sind erstmals auch Emissionsstandards für Stickoxide in Vorbereitung.

Im Modellkraftwerk Völklingen werden mehrere dieser neuen Technologien zur Verminderung der Umweltbelastungen aus Kohlekraftwerken ein- gesetzt. Da die Entschwefelungsanlage, die die Rauchgase vollständig erfaßt, im Kühlturm untergebracht ist, kann auf den Schornstein verzichtet werden. Im Kraftwerk ist eine Staubfeuerung mit einer atmosphärischen Wirbelschichtfeuerung kombiniert. Damit kann auch minderwertige Kohle verwendet werden. Über die Wirbelschichtfeuerung wird eine Heißluftturbine betrieben, die 35 MWe der Gesamtleistung von 230 MWe erbringt. Der Wirkungsgrad des Modellkraftwerks liegt über dem konventioneller Kraftwerke. Das Kraftwerk wird in Wärme-Kraft-Kopplung betrieben. Über einen Wirbelschichtwärmetauscher wird auch die fühlbare Wärme des Rauchgases für die Fernwärmeversorgung genutzt Das Heizkraftwerk ist an die Fernwärmeschiene Saar angeschlossen. Die Wiederaufheizung der Rauchgase entfällt, da sie im Auftrieb des Kühlturms mitgenommen werden.

Langfristig wird die Entwicklung neuer Verfahren zur Wärme- und Stromerzeugung aus Kohle angestrebt bei denen der Gehalt an Schwefel- und Stickoxiden in den Rauchgasen schon durch die Prozeßführung vermindert wird.

Weitere Ziele sind die Reduzierung der Baumaße, um eine Senkung der Investitionskosten zu erreichen, sowie die Erhöhung des Wirkungs- und Nutzungsgrades. Schließlich sollen auch kleinere Ausführungen der neuen Systeme in der Nähe von Siedlungszentren ersetzbar sein, wobei sie sowohl zur Wärmeerzeugung allein oder in Kraft-Wärme-Kopplung verwendet werden können.

3.1.2 Wirbelschichtfeuerung

Die Wirbelschichtfeuerung eignet sich für die Wärme- und Stromerzeugung in der Nähe von Wohngebieten oder in Industrieanlagen. Sie kann Anlagen ersetzen, die im allgemeinen mit Mineralöl oder Erdgas betrieben werden.

Der Vorteil der Wirbelschicht besteht in der relativ einfachen und kostengünstigen Entschwefelung auch bei kleinen Einheiten durch die Zugabe von Kalkstaub. Außerdem kann minderwertige Kohle eingesetzt werden.

Durch die relativ niedrigen Verbrennungstemperaturen ergeben sich auch relativ geringe Stickoxidemissionen. Allerdings ist bei der Wirbelschichtfeuerung-insbesondere beim Einsatz von Ballastkohle-im Gegensatz zu konventionellen Großfeuerungen Schadstoffen wie Halogenwasserstoffen und organischen Verbindungen erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen. Der tendenziell höhere Staubauswurf und ein höherer Anteil von Schwermetallen und Kohlenstoff im Staub erfordern darüber hinaus einen erhöhten Aufwand für die Entstaubung.

Die drucklos betriebene Wirbelschichtfeuerung steht kurz vor ihrer Markteinführung. Zwei Demonstrationsanlagen wurden erprobt, zwei weitere sind in Planung bzw. im Bau. Eine dieser Anlagen wird eine zirkulierende Wirbelschicht haben, von der weitere Vorteile wie besserer Ausbrand und noch geringere Stickoxidbildung erwartet werden. Die größte der Anlagen hat eine Leistung von 230 t Frischdampf pro Stunde.

Zu untersuchen ist noch, bis zu welchen Leistungsgrößen Wirbelschichtfeuerungen genutzt werden können. Die Leistungsfähigkeit und die Umweltfreundlichkeit der Wirbelschichttechnik soll durch die Entwicklung neuer Komponenten und Betriebsweisen weiter verbessert werden.

3.1.3 Fortgeschrittene Systeme

Die fortgeschrittenen Systeme zur Steinkohleverstromung zeichnen sich vor allem durch die Möglichkeit aus, den Schwefel schon im Kraftwerksprozeß zu entfernen und damit auf die aufwendige Rauchgasentschwefelung verzichten zu können. Zusätzlich wird der Kohle die Gasturbine erschlossen, so daß über den kombinierten Gas-/Dampfturbinenprozeß Wirkungsgrade von mehr als 40% erzielt werden können.

Die in der Bundesrepublik verfolgten Entwicklungslinien sind Kraftwerke mit

- druckbetriebener Wirbelschichtfeuerung,
- teilweiser oder vollständiger Druckvergasung der Kohle.

Seit einigen Jahren wird an einem Projekt zur druckbetriebenen Wirbelschicht gearbeitet Ihre Entwicklung liegt gegenüber der drucklosen Variante noch um einige Jahre zurück.

Die nationalen Arbeiten zur druckbetriebenen Wirbelschichtfeuerung werden ergänzt durch ein Projekt im Rahmen der lnternationalen Energieagentur. Die Partner bei Bau und Betrieb der Anlage mit 80 MWth in Grimethorpe/ England sind die USA, Großbritannien und die Bundesrepublik. Diese Pilotanlage wurde 1980 in Betrieb genommen. Sowohl beim Bau als auch beim Betrieb der Anlage sind deutsche Unternehmen vertreten.

Für die Kombination der Wirbelschichtfeuerung mit einer Gasturbine sind Drücke von etwa 10 bar erforderlich. Einen Zwischenschritt mit geringeren Anforderungen an die Technik stellen Wirbelschichtfeuerungen mit einem, Druck von einigen bar dar. Bei diesem Druck kann gerade die Arbeit zur Aufrechterhaltung der Wirbelschicht zurückgewonnen werden. Im Heizkraftwerk der TH Aachen wird ein Prototyp dieser Technik neben Kesseln mit Rostfeuerung verwirklicht, so daß die Leistungsfähigkeit der neuen Technik mit der der konventionellen optimal verglichen werden kann.

In einer ersten Studie wird ein 250 MWe-Kraftwerk mit Gasturbine und druckbetriebener Wirbelschichtfeuerung untersucht Diese ingenieurmäßigen Untersuchungen sollen auch für andere kommerzielle Kraftwerke mit druckbetriebener Wirbelschicht oder mit Kohledruckvergasung fortgeführt werden, um die Konzepte und die technischen Anforderungen in den Griff zu bekommen. Einige der bisher entwickelten Kohlevergasungsverfahren sind für die Kombination mit einem Kraftwerk gut geeignet Bei erfolgreicher Komponentenentwicklung wird der Bau von Prototypkraftwerken mit diesen Techniken angestrebt

Beim Kohleumwandlungsverfahren wird die Kohle nur teilweise vergast Gas- und Restkoks werden getrennt im Kraftwerk eingesetzt Ein kombinierter Gas/Dampfprozeß ist vorgesehen. Durch die Verwendung des Restkokses kann der Kohlenstoff besser ausgenutzt werden als wenn die Kohle vollständig vergast würde. Für diesen speziell auf die

Erfordernisse der Kraftwerkstechnik zugeschnittenen Kohleumwandlungsprozeß wird eine Pilotanlage mit einem Durchsatz von 10 t Kohle pro Stunde gebaut

Einsatz und Erfolg dieser fortgeschrittenen Kraftwerkskonzepte werden entscheidend von Fortschritten bei der Gasreinigung und der Gasturbinenentwicklung abhängen. Man braucht dazu Verfahren, mit denen bei hohen Temperaturen und hohen Drücken Rauchgase oder Brenngase gereinigt werden können. Zur Entstaubung werden geeignete elektrostatische oder mechanische Filter entwickelt Die Entfernung von Schwefel und anderen Schadstoffen bei hohem Druck und hoher Temperatur bereitet noch Schwierigkeiten. Die Arbeiten an diesen Schlüsseltechnologien werden vorrangig gefördert

Wirkungsgradverluste und Schwachstellen in der Gasreinigung lassen sich gegebenenfalls durch entsprechende Gasturbinen-Entwicklungen auffangen. Für die Wirbelschichtfeuerung braucht man eine Gasturbine, die hohe Staubbelastungen vertragen kann.

Auf die Kombination eines Kraftwerks mit der Technik der Kohledruckvergasung zielt die Entwicklung von Gasturbinen hoher Leistung für Temperaturen von 1 300° C und mehr. Dabei wird durch die Erprobung geeigneter Brenner und Betriebsweisen dafür gesorgt, daß die Stickoxidbildung möglichst gering bleibt.

Eine reibungslose technische Entwicklung vorausgesetzt, könnten Kraftwerke mit druckbetriebener Wirbelschichtfeuerung oder mit Kohledruckvergasung etwa ab 1990 kommerzielle Bedeutung gewinnen.

3.1.4 Kokserzeugung

Etwa 40% der Steinkohlenproduktion werden heute in der Bundesrepublik Deutschland zur Herstellung von Koks für metallurgische Zwecke eingesetzt. Der Hochofenkoks wird sich durch andere Reduktionsmittel auch langfristig kaum gleichwertig ersetzen lassen, da er sich durch gute Stückigkeit sowie durch Druck- und Abriebfestigkeit bei hohen Temperaturen auszeichnet. Die Entwicklungstätigkeit insbesondere im Bereich der Bergbauforschung GmbH richtet sich deshalb zunächst auf die Verbesserung des konventionellen Horizontalkammerverfahrens, die von der Bundesregierung und von der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl (EGKS) gefördert wird.

Bei den Saarbergwerken wird die Stampftechnik zur Verkokung von Kohle weiterentwickelt. Besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die Trockenkühlung von Koks, wobei die Rückgewinnung der zur Verkokung eingesetzten Energie bei gleichzeitiger Reduzierung der Umweltbelastung angestrebt wird. Für ein integriertes Hüttenwerk wird in einer Pilotanlage die Kopplung von Kokstrockenkühlung und Kokskohlenvorerhitzung mit Gichtgas als Wärmeträger untersucht.

3.1.5 Direktverbrennung und Müllverwertung

Zur Wärmeversorgung von Haushalten und Kleinverbrauchern wird Kohle nur noch in geringem Umfang eingesetzt. Die Versorgung von Wohnbezirken mit Fernwärme aus Kohleheizkraftwerken wird den Komfortansprüchen der Verbraucher gerecht und verbessert gleichzeitig die Immissionssituation im Versorgungsgebiet durch den Wegfall von Einzelfeuerungen. Um die Kohle dafür wirtschaftlich konkurrenzfähig zu machen, müssen vollautomatisch arbeitende Kesselanlagen entwickelt werden. Dadurch läßt sich der bei kohlegefeuerten Anlagen beträchtliche Lohnkostenanteil erheblich vermindern. Mit einer besonderen Entwicklung zur Verbrennung eines Gemischs von Anthrazit mit Braunkohle in Zentralheizungen soll ein

Komfort erreicht werden, der dem ölgefeuerter Anlagen entspricht. Hierbei wird Emissions-und Immissionsproblemen große Aufmerksamkeit gewidmet.

Um den Energiegehalt minderwertiger Abfallstoffe zu nutzen, werden Verfahren zur umweltfreundlichen und wirtschaftlichen Müllverbrennung, -Vergasung oder -pyrolyse entwickelt. Die Nutzung erfolgt dabei direkt über die erzeugte Wärme oder indirekt durch die im Prozeß entstehenden Werkstoffe, z. B. gereinigte Gase.

In einem weiteren Vorhaben wird in einem kleineren Pilotmaßstab minderwertige Kohle unter Beimischung von Müll zu Brenngas umgewandelt. Dieses Verfahren kann dort Bedeutung erlangen, wo Abfallkohle und Müll ausreichend zur Verfügung stehen und das Produktgas auf dem Wärmemarkt Verwendung findet. Bei allen vorgenannten Verfahren erfordert das Problem der Schadstoffemission in Luft und Abwasser besondere Bedeutung.

3.2 Kohleveredelung

Die seit 1974 bei modernen Verfahren zur Kohleveredelung erzielten Erfolge und die drastisch gestiegenen Mineralölpreise führten Anfang 1980 zu dem Entschluß der Bundesregierung, die aussichtsreichsten Verfahren im Rahmen eines Kohleveredelungsprogramms zu demonstrieren. Die großtechnische Umwandlung von Kohle erfordert noch erhebliche Anstrengungen in Forschung und Entwicklung, um die Wirtschaftlichkeit zu erreichen und die Umweltprobleme beherrschbar zu machen. Die relativ hohen

Investitionen sind energie- und industriepolitisch gerechtfertigt

Energiepolitisch soll die Kohleveredelung eine Verminderung der Importabhängigkeit einleiten. Allerdings wird sie erst längerfristig - auch durch Anlagen auf kostengünstigen Kohlelagerstätten des Auslandes - eine mengenmäßig größere Bedeutung erlangen.

Industriepolitisch muß die Bundesrepublik Deutschland darauf hinwirken, daß die internationale Leistungsfähigkeit der deutschen Hersteller in diesem technologischen Zukunftssektor erhalten und verstärkt wird.

Bau und Betrieb von Kohleveredelungsanlagen können zugleich die Basis für zusätzliches industrielles Wachstum und für zusätzliche Beschäftigung schaffen, weil die Zahl der Kohleveredelungsanlagen in den nächsten Jahrzehnten voraussichtlich zunehmen wird. Das wird auch technologische Ausstrahlungen in vor- und nachgelagerte Bereiche haben.

Wegen der von ihnen ausgehenden Umweltbelastungen sind Kohleveredelungsanlagen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz genehmigungspflichtig. Darüber hinaus sind die Abwassereinleitungen nach dem Wasserhaushaltsgesetz erlaubnispflichtig. Die Anlagen zur Beseitigung von Abfällen bedürfen einer Genehmigung nach dem Abfallbeseitigungsgesetz (Planfeststellung). Für eine Kohlevergasungsanlage wurde bereits eine Genehmigung nach dem Bundesemissionsschutzgesetz erteilt. Auch bei den übrigen Kohleveredelungsanlagen gehen die Unternehmen davon aus, alle Umweltanforderungen-wenn auch mit erheblichem Investitions- aufwand erfüllen zu können. Besondere Aufmerksamkeit wird die Forschungs- und Entwicklungspolitik künftig solchen Bereichen widmen, die durch bestehende Standards noch nicht vollständig abgedeckt sind.

Die Unternehmen haben im Rahmen des Kohleveredelungsprogramms für sieben Kohlevergasungsvorhaben Planungsstudien zu Technik, Wirtschaftlichkeit, Standort und Umwelt vorgelegt. Wie diese Planungsstudien zeigen, ergeben sich aus den Kohlevergasungsvorhaben auf Basis deutscher oder importierter Steinkohle so hohe wirtschaftliche Risiken, daß mit einer Realisierung dieser Anlagen ohne staatliche Hilfen nicht oder erst in ferner Zukunft zu rechnen ist. Die Bundesregierung hat daher folgende Hilfen beschlossen: Investitionskostenzuschuß bis zu 40% (in begründeten Ausnahmefällen bis zu 50%); beim Einsatz deutscher Steinkohle Preisausgleich zu Drittlandskohle von maximal 60 DM/t SKE für fünf Jahre. In einem Antragsverfahren sollen die energie- und industriepolitisch aussichtsreichsten Vorhaben für die Förderung ausgewählt werden. Im Haushalt des Bundesministers für Wirtschaft für 1982 und in der mittelfristigen Finanzplanung bis 1985 hierfür sind insgesamt Mrd DM vorgesehen. Die Bergbauländer sind grundsätzlich zu einer Beteiligung an der Kohlehilfe bereit.

Die Industrie hat drei Großprojekte zur Hydrierung von Steinkohle und eines zur Braunkohlenhydrierung vorgeschlagen. Für die Großanlagen zur Steinkohlehydrierung wurden umfangreiche Planungsstudien ausgearbeitet. Aufgrund des hohen Flächenbedarfs kommt bei uns nur eine begrenzte Zahl von Standorten in Betracht.

Grundlage der Kohleverflüssigung ist der weiterentwickelte IG-Farben- Prozeß zur Direkthydrierung, mit dem auch heute noch nicht nutzbare Schweröle und Raffinerierückstände verarbeitet werden können.

Die Verflüssigung von Steinkohle ist-selbst bei Einsatz von Importkohle- noch nicht wirtschaftlich. Die Erzeugung eines Liters Benzin aus deutscher Kohle würde auf heutiger Preisbasis etwa doppelt soviel kosten wie Erdölbenzin, so daß solche Anlagen in erheblichem Umfang subventioniert werden müssen.

Die Bundesregierung wird voraussichtlich im zweiten Halbjahr 1982 nach Auswertung der Planungsstudien über weitere Hilfen für großtechnische Kohleverflüssigungsanlagen entscheiden. Für den Betrieb solcher Anlagen wird die Gewährung einer Hydrierpräferenz geprüft. Zur Verminderung der technischen Risiken der Großanlagen wird ein Entwicklungsprogramm zur Erprobung besonders kritischer Komponenten durchgeführt.

3.2.1 Kohlevergasung

Voraussetzung für den Erfolg der Demonstrationsanlagen, für die von der Industrie im Rahmen des Kohleveredelungsprogramms detaillierte Durchführbarkeitsstudien erstellt wurden, sind die Entwicklung entsprechender Anlagenkomponenten und der Weiterbetrieb der Pilotanlagen. Für diese den Bau der Prototypanlagen begleitenden Arbeiten sind in den kommenden Jahren noch erhebliche Förderzuschüsse erforderlich.

Mit Förderung durch die Bundesregierung werden in der Bundesrepublik z. Z. fünf Pilotanlagen zur Kohlevergasung bzw. zur Methanisierung von Kohlegas betrieben:

Betreiber	Technologie	Standort
RAG/Ruhrchemie	KSV-Verfahren (Texaco)	Oberhausen
Ruhrgas/RAG/ Steag	Lurgi „Ruhr 100"	Dorsten
Saarbergwerke/ Dr. C. Otto	Saarberg-Otto-Vergaser	Völklingen
Rheinbraun	Hochtemperatur-Winkler	Frechen
Thyssengas	SNG-Herstellung nach dem Comflux-Verfahren	Oberhausen

Die ersten drei Pilotanlagen sind für den Einsatz von Steinkohle ausgelegt, das Projekt der Rheinbraun für Braunkohle. Das Produkt ist jeweils Synthesegas, d. h. ein Gemisch aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff. Mit dem Verfahren von Thyssengas wird im Pilotmaßstab die Herstellung von Methan als Erdgasersatz (SNG) aus Synthesegas erprobt.

Darüber hinaus wird mit der Kohlevergasung im Eisenbadreaktor ein hüttenspezifisches Kohlevergasungsverfahren gefördert. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß mit dem Produktgas ohne aufwendige Nachbehandlung Mineralöl und Erdgas in der Eisenhüttenindustrie direkt substituiert werden können.

Neben den konventionellen Kohlevergasungsverfahren werden zwei Verfahren zur Kombination der Kohlevergasung mit einem Hochtemperaturkernreaktor (HTR) gefördert. Ein Anteil von 30 bis 40% der Kohle, der bei den konventionellen Verfahren als Umwandlungsenergie verbrannt wird, könnte mit dieser Kopplung durch Kernenergie ersetzt werden. Versuchsanlagen hierzu, in denen allerdings die Prozeßwärme nicht nuklear erzeugt wird, sind bei Rheinbraun und Bergbauforschung in Betrieb. Diese Technologie ist noch mit einem hohen Entwicklungsrisiko behaftet. Es wird nichtvor dem Jahre 2000 mit dem Betrieb einer großtechnischen Anlage gerechnet. Das Verfahren der Rheinbraun zur hydrierenden Kohlevergasung kann auch ohne HTR zur Herstellung von Erdgasersatz eingesetzt werden. Eine Pilotanlage mit einem Durchsatz von 251/h Roh-B raunkohle geht Mitte 1982 in den Versuchsbetrieb.

Die Bundesregierung beabsichtigt, auch in Zukunft die Entwicklung neuer und weiter verbesserter Kohlevergasungstechnologien zu unterstützen. Neben den von der Bundesregierung geförderten Pilotanlagen wurden in der Bundesrepublik eine Anlage ohne öffentliche Förderung und eine weitere mit Förderung durch das Land Nordrhein-Westfalen gebaut.

3.2.2 Kohleverflüssigung

Eines der Ziele des Kohleveredelungsprogramms der Bundesregierung ist die rechtzeitige Bereitstellung und wirtschaftliche Einführung der Kohleverflüssigungstechnologie unter industrie- und energieversorgungspolitischen Aspekten. Dabei spielen folgende Parameter eine Rolle, die von der Bundesregierung nicht oder kaum zu beeinflussen, sind:

- Rentabilität des Verfahrens (gemessen an der Entwicklung von Öl- und Kohlepreisen).
- Entwicklungen konkurrierender Technologien im In- und besonders im Ausland (Kohleveredelung in USA und Japan, Schweröl in Venezuela, Ölschiefer und -sande in Australien, USA, Brasilien, Kanada und China).

Die FuE-Arbeiten zur Kohleverflüssigung sollen die Voraussetzungen für eine Bauentscheidung für industrielle Großanlagen schaffen.

Die Kohleverflüssigung liegt in ihrer technischen Entwicklung noch hinter der Kohlevergasung zurück. Zur Zeit werden drei Laboranlagen zur Steinkohlehydrierung (Saarberg, RAG, VEBA) und eine zur Braunkohlehydrierung (Rheinbraun) betrieben.

Zwei Pilotanlagen sind in Betrieb. Eine kleinere mit einem Durchsatz von 6tKohle/Tag betreiben die Saarbergwerke, eine größere Anlage mit einem Durchsatz von 200 t/Tag RAG und VEBA.

Wegen der Höhe der notwendigen Investitionen für Kohleverflüssigungsanlagen ist ein schrittweises Vorgehen vorgesehen. Daher sollen zunächst folgende technologische Vorentwicklungen bis zum Bau großtechnischer Anlagen gefördert werden:

- Ein etwa vierjähriges FuE- und Test-Programm für kritische Anlagenkomponenten: Reaktorgefäße, Heißgasbehandlung, Vakuumrückstandsvergasung, Feststofftransportpumpen, Ventile und Armaturen.
- Nach positivem Kabinettbeschluß über großtechnische Kohleverflüssigungsanlagen ab 1982 Beginn der technischen Planung und danach bei positivem Bauentscheid ab etwa 1984 der Detailkonstruktion.
- Parallel zu den Ingenieurarbeiten werden Standortplanungs- und-feststellungsverfahren durchgeführt
- Im Zusammenhang damit stehen begleitende und gegenüber dem gegenwärtigen Stand erheblich zu verstärkende FuE-Anstrengungen zur Analyse und Bewältigung der Umweltbelastung durch die geplanten Anlagen.

Neben den auf den Bau von Großanlagen gerichteten Arbeiten werden neue Entwicklungslinien, z. B. die Umwandlung von Methanol in Benzin oder die Hochdruckhydrierung aufgegriffen und gefördert.

3.3 Lagerstättenerkundung, Bergtechnik, Aufbereitung

Die von der Bundesregierung geförderten Innovationsvorhaben im Steinkohlebergbau sollen den Einsatz moderner Techniken in den Bergbaubetrieben beschleunigen. Erste Versuche zur besseren Ausbeutung deutscher Kohlelagerstätten führten zu positiven Ergebnissen.

Die Steinkohlenflöze des Ruhrgebietes setzen sich nach Norden bis unter die Nordsee zu immer größeren Tiefen (Teufe) fort. Dementsprechend muß auch der Abbau zu immer größeren Teufen Vordringen. Durch den damit zunehmenden Gebirgsdruck und durch die zunehmende Temperatur werden die mit dem Untertagebau verbundenen Probleme immer größer. Daher müssen fortwährend die eingeführten Technologien verbessert und neue entwickelt werden.

Im Hinblick auf den hohen Gebirgsdruck, die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Kohleabbaus in großen Teufen wurde ein neues Ausbausystem eingesetzt, die NÖT-Bauweise (Neue österreichische Tunnelbauweise). Schon heute zeichnet sich ab, daß hier eine Möglichkeit gefunden wurde, auch in größeren Streckenquerschnitten und Störungszonen mit Ankern und Spritzbeton alle Gebirgsbewegungen kontrolliert zum Stillstand zu bringen.

Die Entwicklung eines neuartigen Gewinnungsverfahrens mittels Hochdruckwasserstrahl (HDW) konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Die ersten Untertage-Versuche brachten sehr gute Ergebnisse.

3.3.1 Erkundung von Kohlelagerstätten

Um die Frage nach der langfristigen Verfügbarkeit der heimischen Steinkohle beantworten zu können, bedarf es einer systematischen Erfassung der Reserven[7]). Dazu müssen lagerstättenkundliche Parameter wie Mächtigkeit, Teufe und Kohlequalität, Nebengestein und Tektonik ermittelt werden. Eine Auswertung dieses Datenmaterials kann zudem Erkenntnisse vermitteln, ob die Entwicklung neuer Gewinnungstechniken notwendig erscheint

Bei der Lagerstättenerkundung im Vorfeld des Abbaus stehen die Methoden der Vorfelderkundung im Vordergrund. Flözwellenseismik, Impuls-Radar und Horizontalbohrverfahren sind Beispiele für solche Technologien.

3.3.2 Bergtechnik

Der deutsche Steinkohlebergbau hat- nicht zuletzt aufgrund der FuE-Förderung durch die Bundesregierung - in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht. International ist die deutsche Bergbautechnik sehr gefragt. In Zukunft soll sich die FuE-Förderung deshalb auf spezielle Probleme konzentrieren. Dabei geht es vor allem um solche Technologien, die auch Kohlevorkommen unter schwierigen geologischen Bedingungen abzubauen erlauben.

Trotz dieser Erfolge besteht im Bergbau noch ein erheblicher Bedarf an neuen Techniken, die die Arbeitsbedingungen untertage humaner und sicherer machen. Dazu tragen auch spezielle Vorhaben des Programms „Humanisierung des Arbeitslebens" bei.

Ein großer Teil der Gesamtvorräte ist in stark geneigt und steil einfallenden Kohlenflözen enthalten, die z. Z. nahezu vollständig als unbauwürdig aufgegeben werden, weil es keine geeignete Technik für ihre wirtschaftliche Gewinnung gibt. Erforderlich ist daher die Entwicklung neuer, z. B; ausbauloser Verfahren oder die Anpassung bewährter Strebsysteme und Betriebsmittel der flachen Lagerung. Parallel dazu müssen auch die Vortriebssysteme zum schnellen und wirtschaftlichen Aufschluß neuer Lagerstättenteile an die Bedingungen der steilen Lagerung angepaßt werden.

Die heute beim Abbau eines Kohleflözes stehenbleibenden Restflächen machen bis ca. 50% der Flözfläche aus. Dementsprechend gering ist die Ausnutzung der bauwürdigen Flöze. Deshalb sollen spezielle Abbausysteme für Rest- und Randlagerstätten entwickelt werden.

Für geringmächtige Flöze, die auch einen großen Anteil an den Gesamtvorräten haben, sollen Abbautechniken mit Automatisierung und hoher Betriebssicherheit der gesamten Ausrüstung entwickelt werden.

Während die Maschinen zum Auffahren von Strecken ständig weiterentwickelt wurden, wird auch heute noch die erforderliche Ausbauarbeit fast ausschließlich von Hand ausgeführt. Durch eine Abstimmung der notwendigen Arbeitsvorgänge aufeinander kann der Ausnutzungsgrad der Vortriebsmaschinen erhöht werden. Die Entwicklungsarbeiten helfen neue Lagerstättenteile in Zukunft schneller und kostengünstiger zu erschließen.

Die großen Teufen, in denen zukünftig Kohle abgebaut werden soll, fordern die Entwicklung neuer Methoden zur Beherrschung des Gebirgsdruckes. Dazu gehören Untersuchungen über neue Ausbautechniken wie die Entwicklung neuer Anker und den Einsatz von Stahlfaserspritzbeton. Parallel dazu müssen

neue Werk- und Baustoffe gefunden werden, die den hohen Anforderungen gerecht werden, die Gebirgsdruck und Klima in großen Teufen (bis 1 600 m) stellen.

Da die Grubenbaue unter Tage immer größer werden, müssen auch universelle Transportfördermittel entwickelt werden.

Auch bergbautaugliche Datenerfassungs-, -übertragungs- und -Verarbeitungssysteme werden benötigt.

3.3.3 Kohleaufbereitung

Die modernen kostengünstigen Fördermethoden führen zu abnehmender Qualität der Rohförderkohle, z. B. zu steigendem Wasser-, Schwefel- und Bergegehalt, höheren Anteilen an Fein- und Feinstkorn sowie zur Förderung von Kohle mit höherem Verwachsungsgrad von Kohle, Bergen und Schwefel. Das erfordert angepaßte und neue Aufbereitungsverfahren, um marktgängige Produkte zu erzeugen bzw. diese den Qualitätsansprüchen des Marktes anzupassen.

Mit steigendem Einsatz der schneidenden Gewinnung im Bergbau nimmt der feinkörnige Anteil an der Rohförderkohle zu. Dieser Anteil wurde bisher durch Flotation sortiert. Künftig soll die Feinstkohle direkt aus der Rohförderkohle abgetrennt werden.

3.4 Untertagevergasung

Ein beträchtlicher Teil der unter heutigen Gesichtspunkten nicht abbauwürdigen Steinkohle könnte durch Entwicklung neuer Gewinnungstechniken abbauwürdig werden. Hierfür sind chemische Zerkleinerung, Verflüssigung und Vergasung unter Tage denkbar. Von diesen Verfahren bietet die Untertagevergasung am ehesten die Möglichkeit einer Realisierung.

In dem 1979 begonnenen belgisch-deutschen Feldversuch in Thulin (Belgien) soll die technische Machbarkeit der Untertagevergasung geprüft werden. Begleitende Untersuchungen und Laborversuche werden fortgesetzt, um die Eignung von Verfahrensvarianten zu erproben und die Ergebnisse des Feldversuches auf andere Lagerstättenbedingungen übertragen zu können.

3.5 Neue Verfahren zur Gewinnung, Aufbereitung und Speicherung von

Flüssigen Kohlenwasserstoffen und Erdgas

Angesichts der Knappheit von Erdöl und Erdgas ist die bessere Ausnutzung der Lagerstätten durch neue Gewinnungsverfahren sowie die Nutzung unkonventioneller Energieträger (Schweröle, Teersande und Ölschiefer) durch FuE-Anstrengungen von großem Interesse. Allgemein sind bei der Ausbeutung der Lagerstätten Belastungen für Landschaft, Natur und Wasserhaushalt unvermeidlich, die bei einer Inangriffnahme derartiger Vorhaben gegenüber dem energiepolitischen Versorgungsbeitrag abzuwägen sind. Bei entsprechenden FuE-Vorhaben muß eine Minimierung derartiger Auswirkungen angestrebt werden.

3.5.1 Neue Verfahren zur Gewinnung und Aufbereitung von Schwerölen, Teersanden und Ölschiefer

Ein beachtliches, bisher weitgehend ungenutztes Energiepotential stellt der Kohlenwasserstoffinhalt der Ölschiefer- und Schweröllagerstätten sowie der Teersande dar.

Wegen der Bedeutung dieser Energiereserven wurde mit dem Aufbau eines Zentrums zur Gewinnung und Aufarbeitung von Schweröl und Bitumen bei der VEBA-ÖI AG in Gelsenkirchen begonnen. Erfahrungen auf dem Gebiet der Exploration und Produktion von Schwerölen liegen in der Bundesrepublik Deutschland bisher noch nicht in ausreichendem Maße vor. Umfangreicher sind die Kenntnisse dagegen auf dem verwandten Gebiet der Aufarbeitung schwerer Rückstände aus der Mineralölverarbeitung.

Ziel der geplanten FuE-Vorhaben ist es, nach Sammlung und Auswertung vorhandener Daten und Informationen systematische Arbeiten auf den Sektoren Exploration, Produktion und Aufarbeitung an konkreten Projekten, z. B. auf Lagerstätten in den Schweröllländern Kanada, USA und Venezuela, durchzuführen. Für die Nutzung von Ölschiefer wird ein neues Verfahren vor allem unter Exportgesichtspunkten entwickelt.

Die Erschließung und die Gewinnung von Erdöl und Erdgas aus Vorkommen unter dem Meeresboden bedarf, vor allem im tieferen Wasser und unter extremen Umweltbedingungen, noch intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Durch Förderungsmaßnahmen soll erreicht werden, daß die deutsche meerestechnische Industrie auch im Interesse der deutschen Energieversorgung marktgerechte Geräte, Anlagen, Komponenten und Software-Systeme entwickeln und herstellen kann. Schließlich sollen die Kenntnisse über potentielle Offshore-Reserven an Kohlenwasserstoffen durch die Förderung von Prospektions- und Explorationsarbeiten deutscher Institutionen sowie durch die Fortentwicklung der dazu benötigten Verfahren ausgebaut werden. Die zur Erreichung dieser Ziele benötigten Maßnahmen werden im „4. Gesamtprogramm Meeresforschung und Meerestechnik in der Bundesrepublik Deutschland" enthalten sein.

3.5.2 Neue Prospektions- und Explorationsmethoden

Mit den Methoden der angewandten Geophysik kann man Strukturbilder des Untergrundes bis in Tiefen von 6 bis 8 km erhalten. Bel der Suche nach Kohlenwasserstofflagerstätten in Gebieten mit komplizierten tektonischen Verhältnissen versagen jedoch die herkömmlichen Verfahren der Prospektion und Exploration. Die Neu- und Weiterentwicklung seismischer Methoden ist daher ein wichtiges Ziel der Förderungsmaßnahmen. Darüber hinaus können andere geophysikalische Methoden, wie Magnetotellu- ri.k, Geoelektrik oder in-sItu-Bohrlochmessungen zusammenwirkend die Aussagensicherheit über die Beschaffenheit des Untergrundes entscheidend verbessern. Auch geochemische Methoden und die Isotopentechnik können die Erfolgschancen für die Exploration auf Kohlenwasserstoffe erhöhen.

Zur Weiterentwicklung der Prospektionsmethoden werden Arbeiten in folgenden Bereichen gefördert

- direkte Erkennung von Kohlenwasserstoffen und Erkundung der Lithologie mit seismischen Verfahren,
- systematische Einbeziehung und Weiterentwicklung von EDV-gestützten Methoden zur Erkennung und Interpretation geologischer Strukturen,
- Feldverfahren und Weiterentwicklung von Techniken und Interpretationsverfahren anderer geophysikalischer Methoden,
- geochemische und geomikrobiologische Methoden zur Prospektion und Klassifizierung von Schwer- und Erdölen,
- neue Tiefbortechniken.

3.5.3 Verbesserte Erdöl- und Erdgasförderung

Der Entölungsgrad einer Lagerstätte hängt entscheidend vom Mobilitätsverhältnis der Lagerstättengesteine sowie von der Grenzflächenspannung ab, die an der Phasengrenze herrscht.

FuE-Vorhaben dienen der Entwicklung geeigneter chemischer Flutzusätze zur Erniedrigung der Grenzflächenspannung Wasser/Öl und zur Viskositätserhöhung des Flutwassers. Die Reduzierung der Ölviskosität durch Fluten mit Kohlendioxid kann in Lagerstätten mit hohen Temperatur und Salzgehalten zu einer beträchtlichen Restölmobilisierung führen. Geringpermeable tiefe Gaslagerstätten können durch Erzeugung von Rissen im Gestein („Frac-Behandlung") durchlässig gemacht werden.

3.5.4 Speicherung von Erdöl und Erdgas im Untergrund

Zur Sicherung der Energieversorgung in Krisenzeiten wurden in der Bundesrepublik Deutschland in der Vergangenheit erhebliche Speicherkapazitäten für Erdöl und Erdgas geschaffen. Zum Ausgleich zwischen Lieferung und Verbrauch wurden insbesondere für Erdgas eine Vielzahl von Pufferspeichern angelegt (Porenspeicher in Aquiferen und alten Gaslagerstätten sowie Nutzung von Kavernen in Salzstöcken Norddeutschlands).

Die Erstellung und das Betreiben eines unterirdischen Speichers erfordern die Erkundung der geologischen Gegebenheiten, eine sorgfältige gebirgs- mechanische Berechnung des zu erstellenden Hohlraumes und die fortlaufende Überwachung seiner Form (Kubatur).

Das gebirgsmechanische Verhalten von Salzgestein bedingt besondere Betriebsweisen, um eine möglichst langfristige Nutzbarkeit der Kaverne zu erreichen.

4. Erneuerbare Energiequellen

Zu den erneuerbaren Energiequellen zählt man die Strahlungsenergie der Sonne sowie die Umgebungswärme, Laufwasserenergie, Energie aus Biomasse, Windenergie, Wellenenergie und Meereswärme, die letzten Endes alle ihre Energie aus der Sonnenstrahlung erhalten. Auch die Erdwärme (Geothermie) und die Gezeitenenergie werden zu den erneuerbaren Energiequellen gerechnet. Die sprunghafte Erhöhung der Energiepreise seit 1973/74 rückte auch diese Energiequellen stärker ins Blickfeld, weil sie bei weiterem Ansteigen der Energiepreise einen entsprechend wachsenden Beitrag zur Energieversorgung leisten können.

Mit der bisherigen Förderung der Energieforschung wurde das gesamte Spektrum der erneuerbaren Energiequellen untersucht und die Entwicklung von Techniken zu ihrer Nutzung auf breiter Basis aufgenommen. Das hat dazu geführt, daß ihre Beiträge zur Energieversorgung heute zuverlässiger eingeschätzt werden können als zu Beginn der Forschungsarbeiten.

Die erneuerbaren Energiequellen haben naturgegeben eine geringe Energiedichte. Das bedeutet, daß die Energie auf entsprechend große Rächen mit großem technischem Aufwand gesammelt werden muß, um sie nutzen zu können. Diese Energiequellen eignen sich deshalb in erster Linie für die dezentrale Versorgung bei kleinen Leistungen und weniger für Ballungsgebiete mit hoher Energienachfrage.

hängt z. B. die Intensität der Sonneneinstrahlung von Tages- und Jahreszeit ab). Für ihre Nutzung sind deshalb Energiespeicher wichtig. Hier gibt es noch viele technische und wirtschaftliche Probleme, besonders bei der Langzeitspeicherung.

Wenn Angebot und Bedarf zeitgleich liegen oder nur einfache Zwischenspeicher benötigt werden, wie z. B. bei Freibadbeheizung im Sommer, Trocknung landwirtschaftlicher Produkte, Heizen mit Windenergie in Windstärken Gebieten, können regenerative Energien besonders guteingesetzt werden.

Durch geeignete architektonische Gestaltung und moderne Bauausführung (Wärmedämmung) von Gebäuden kann der Energiebedarf deutlich gesenkt werden. In diesem Zusammenhang kann die passive Sonnenenergienutzung - auch unter den klimatischen Bedingungen in der Bundesrepublik Deutschland-von allen Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen den größten Beitrag zur Energieversorgung von Häusern liefern. Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen sollte daher in praktisch allen Fällen mit Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs einhergehen, um die Kosten zu minimieren. Unter den aktiven Systemen ist besonders die Wärmepumpe wichtig, mit der Umgebungswärme für Gebäudeheizung genutzt werden kann.

Großanlagen zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen, wie z.B. solarthermische Kraftwerke, solare Versorgungseinheiten mit hoher zeitlicher Verfügbarkeit oder Anlagen zur Alkoholproduktion aus Holz bieten erst auf längere Sicht wirtschaftliche Aussichten.

Verfahren für die Nutzung der Sonnenenergie zur direkten Erzeugung von Wasserstoff oder elektrischer Energie über photobiologische, photochemische oder photoelektrochemische Konversionsvorgänge sind noch im Stadium der Grundlagenforschung. Inwieweit hierdurch interessante Beiträge zur Energiebereitstellung zu erwarten sind, kann heute noch nicht beurteilt werden.

Die Nutzung von Meereswärme sowie von Wellen- und Gezeitenenergie kann aufgrund der geographischen und klimatischen Bedingungen keinen Beitrag zur Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland leisten. Auch weltweit ist das nutzbare Potential klein.

Parallel zu den Technologieentwicklungen werden auch Untersuchungen über eine mögliche Umweltbeeinflussung durchgeführt Die auch vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) angesprochenen Probleme bei der Biomassenutzung, z. B, bei der Anlage sog. Energieplantagen, verlangen hier besondere Aufmerksamkeit.

4.1 Systeme und Konzepte

Die schwankende Verfügbarkeit einzelner erneuerbarer Energiequellen (z. B. Sonne, Wind) und die Einsatzmöglichkeiten zur dezentralen Energieversorgung in abgelegenen, dünnbesiedelten Regionen legen es nahe, die gegenseitigen Ergänzungsmöglichkeiten sowohl auf der Versorger- als auch auf der Verbraucherseite unter Einschluß aller örtlich verfügbaren Energiequellen zu untersuchen. Solche integrierten Energieversorgungssysteme tragen möglicherweise dazu bei, durch Kombination verschiedener Anlagen das örtlich vorhandene Energiepotential insbesondere in ländlichen Regionen wirtschaftlich auszunutzen. Dabei sollen auch technische Komplexität, Zuverlässigkeit und Übertragbarkeit der entsprechenden technologische Lösungswege festgestellt und experimentell erprobt werden.

In den Ländern mit überwiegend dezentraler Energieverbrauchsstruktur, und günstigen klimatischen und agrarwirtschaftlichen Voraussetzungen können die erneuerbaren Energiequellen langfristig zu einem wichtigen Bestandteil der Energieversorgung werden. Daher gehört die Entwicklung von Technologien und Energieversorgungskonzepten, die an den Bedarf

solcher Länder angepaßt sind, auch zu den Entwicklungszielen dieses Programms.

Die Übertragung der in Deutschland gewonnenen Erfahrungen und darüber hinaus die Erarbeitung spezieller Lösungen auf dem Energiesektor setzt bereits im Stadium von Forschung und Entwicklung eine enge Zusammenarbeit mit den betreffenden Ländern voraus. Daher wurden im Rahmen bilateraler Abkommen überwissenschaftlich-technologische Zusammenarbeit z. B. mit Mexiko, Ägypten, Indonesien und China eine Reihe von Vorhaben begonnen, in denen zukünftige Energieversorgungskonzepte für ländliche Räume aufgegriffen wurden. Im Vordergrund des Interesses stehen vorwiegend Solar-, Wind- und Biokonversionsanlagen zur Warmwasserbereitung, passiven Nutzung der Sonnenenergie in Gebäuden, Heizung und Kühlung, Wasseraufbereitung für Trinkzwecke und Bewässerung, Prozeßwärmeerzeugung für Lebensmittelkühlung, Trocknung landwirtschaftlicher Produkte sowie zur Stromerzeugung.

4.2 Wärme aus Sonnenenergie

Im ersten Energieforschungsprogramm wurden praktisch alle Techniken entwickelt, mit denen Sonnenenergie in Wärme auf unterschiedlichem Temperaturniveau umgewandelt werden kann.

Im Niedertemperaturbereich haben die Basisentwicklungen einen zwar technisch, aber nicht wirtschaftlich befriedigenden Stand erreicht. Daher soll weiter an der Entwicklung preiswerter Systeme gearbeitet werden. Darüber hinaus sind auch weitere Anstrengungen im mittleren (300° C) und höheren (900° C) Temperaturbereich notwendig.

Die bedeutenden Möglichkeiten zur Energieeinsparung mit Hilfe passiver Elemente sind insbesondere im sog. „Energieexperimentierhaus Aachen" im Zusammenhang mit dem Einsatz von aktiven Systemen zur Sonnenenergienutzung aufgezeigt worden.

Seit 1978 erhielten die Aktivitäten im Forschungs- und Entwicklungsbereich eine wesentliche Unterstützung durch die Maßnahmen, die vom Bund teilweise in Kooperation mit den Bundesländern im Rahmen des Energiesparprogramms und des Zukunftsinvestitionsprogramms finanziert werden. Dabei werden u. a. rd. 100 Solar- bzw. Wärmepumpenanlagen auch mit großflächigen Wärmetauschern in bundeseigene Gebäude eingebaut In einem Begleitprogramm soll die Mehrzahl dieser Anlagen meßtechnisch erfaßt und das Langzeitverhalten festgestellt werden.

Brauchwassererwärmung

Die Entwicklung von Komponenten und die Untersuchung von Solaranlagensystemen wurde in den letzten Jahren intensiv durch staatliche Maßnahmen unterstützt mit dem Ergebnis, daß heute Verfahren zur solaren Wassererwärmung auf dem Markt angeboten werden, deren Einsatz auch in Mitteleuropa aussichtsreich ist, z. B. auch für öffentliche und private Freibäder.

Für Forschungszwecke wurde in der Bundesrepublik ein großes öffentliches Freibad mit einer kombinierten Flachkollektoren-Wärmepumpenheizung ausgerüstet. Mit 1 500 qm gehört dieses Testfeld nach wie vor zu den derzeit größten Flachkollektoranlagen der Bundesrepublik. Sie ist seit nunmehr ca. 6 Jahren in Betrieb.,

In diesem .Förderbereich werden in Zukunft nur noch Projekte weitergeführt, die statistische Daten über das Langzeitverhalten von Solaranlagen sammeln.

Gebäudeheizung

Aktive Systeme zur Gebäudeheizung mit Kollektoren und Wärmespeicher konnten sich bisher wegen mangelnder Wirtschaftlichkeit am Markt nicht durchsetzen. Trotzdem konnten mit den bisher installierten Anlagen umfangreiche Erfahrungen gesammelt werden, die für die weitere Forschung und Entwicklung von Bedeutung sind.

Obwohl auf dem Gebiet der Langzeitspeicher wenig Hoffnung auf schnelle Erfolge besteht, ist es dennoch notwendig, die Speicherforschung fortzusetzen, da diese Komponente über Erfolg oder Mißerfolg der aktiven solaren Raumheizungsanlagen wesentlich mitentscheidet.

Auch Wärmepumpenanlagen mit Flächenwärmetauschern haben bisher keinen breiten Markt gefunden. Der Vorteil von großflächig ausgebildeten Wärmetauschern besteht darin, daß über sie - von extremen Witterungsbedingungen abgesehen-Umgebungswärme zum Zeitpunkt des Bedarfs weitgehend unabhängig von der direkten Sonneneinstrahlung entnommen werden kann.

Schwerpunkte für die weitere Entwicklung aktiver solarer Heizungssysteme sind

- hocheffiziente und kostengünstige Kollektoren
- neue Speichertechniken
- Prüf- und Testmethoden zu Sicherheit, Zuverlässigkeit und Alterungsverhalten
- Simulation, Steuer- und Regelstrategie
- Erhöhung der Zuverlässigkeit im Langzeitbetrieb.

Im Gegensatz hierzu erfolgt bei der **passiven Nutzung** der Sonnenenergie zur Raumheizung die Sammlung, Speicherung und Verteilung von Wärme durch die baulichen Komponenten sowie durch die architektonische Gestaltung des Gebäudes.

Derzeit liegen über das Leistungsvermögen der verschiedenen Konzepte zur passiven Nutzung der Sonnenenergie unter mitteleuropäischen Klimabedingungen nur vereinzelt Erfahrungen vor. In einzelnen Veröffentlichungen werden theoretisch Potentiale ermittelt, nach denen zwischen 20 und 60 % des Heizenergiebedarfs eingespart werden kann. Eine Erfassung und Auswertung der Ergebnisse auf diesem Gebiet könnte wichtige Hinweise für die zukünftige Entwicklung ergeben. Insbesondere könnte dabei die Breitenwirkung der im Rahmen des laufenden Programms initiierten Demonstrationsprojekte abgeschätzt werden.

Quantitativen Einfluß auf die passive Nutzung der Sonnenenergie haben:

- Gebäudehülle mit Geometrie, Ausrichtung, Material, Wärmedämmung und Verteilung der transparenten und nichttransparenten Flächen
- Gebäudeinneres mit Gliederung, Aufteilung nach Temperaturzonen
- Solarabsorberflächen
- Teile des Baukörpers als Speicher
- Wärmetransportsystem
- Regelungs- und Meßtechnik mit ihren zulässigen Klimatoleranzen sowie die Wärmerückgewinnung, Zwangslüftung und die internen Wärmequellen.

Der Einfluß der Gebäudegeometrie und -ausrichtung, der Wärmedämmung wie auch des Verhältnisses zwischen transparenten und nichttransparenten Außenwandflächen sowie des temporären Wärmeschutzes wird in mehreren laufenden Projekten un-

tersucht. Diese lassen hohe Einsparpotentiale an Raumwärmebedarf erwarten.

Die in anderen Klimazonen und Ländern mit passiven Systemen gewonnenen Erfahrungen zeigen, daß Wärmespeicherung und Kontrolle der Wärmeflüsse kritische Faktoren sind, die in heutigen Gebäudekonzepten nicht selten zu Überhitzungserscheinungen im Sommer führen. Aus diesem Grund sollen insbesondere auch Projekte gefördert werden, in denen aktive und passive Komponenten in einem integrierten Konzept eingesetzt werden.

Dabei sollten solche Projekte gefördert werden', bei denen eine enge Zusammenarbeit und gemeinsame Planung seitens des Bauherrn (-trägers), Architekten, beratenden Ingenieurs und Bauphysikers von der ersten Vorplanungsstufe vorhanden ist, weil nur unter diesen Umständen volle Ausschöpfung der Energieeinsparpotentiale zu erwarten ist.

Verstärkte theoretische, aber vor allem praktische Entwicklungsarbeit ist in Zukunft zu leisten auf dem Gebiet der

- variablen Gebäudehülle, die eine Reaktion auf das Klima zuläßt (Abschattung gegenüber Überhitzung, Lichtsteuerung zur besseren Energienutzung und mit dem gleichen Bauteil temporäre Wärmedämmung)
- Altbaufassadenverbesserung durch Ergänzung mit Passivsystemen (Trombewand, Thermosyphon-, Luftkollektor, Wintergarten bei Balkonen etc.),
- Möglichkeiten zur Energieeinsparung durch Pufferwirkung und Wohnqualitätsverbesserung durch Wohngewächshäuser (Wintergarten)
- Optimierung der Speicherwirkung von Gebäudewänden und zusätzlichen Speichern bis hin zu Latentspeichern bei Raumtemperatur
- Hybridpassivsysteme und ihren zusätzlichen Energiebedarf für den Wärmetransport
- besonderen Bau- und Speichertechniken für energieintensive Gebäude (z. B. Gewächshäuser).

Vor allem aber muß den Architekten, Bauingenieuren und Klimatechnikern sinnvolles Handwerkszeug zur Optimierung, des Heizenergiebedarfs von Gebäuden mit Simulationsprogrammen für die Passivsysteme an die Hand gegeben werden. Die Optimierung dieser Programme für deutsche Verhältnisse steht noch aus.

Prozeßwärme

Mit Solartechnik lassen sich prinzipiell hohe Temperaturen von mehreren tausend Grad Celsius erzeugen. In der Bundesrepublik Deutschland kommt jedoch wegen der klimatischen Bedingungen nur der Bereich bis etwa 200° C in Betracht

Im Hinblick auf das Anwendungspotential In sonnenreichen Ländern, auch innerhalb der Europäischen Gemeinschaft kann solar erzeugte Prozeßwärme Bedeutung erlangen für

- Aufbereitung und Entsalzung von Brack- und Meerwasser,
- Koch-, Verdampfungs- und Trocknungsprozesse,
- Kühllagerung von Lebensmitteln,
- Gebäudeklimatisierung.

Für Temperaturen über 200° C sind konzentrierende Kollektorsysteme erforderlich. Sie müssen automatisch dem Sonnenstand folgen und die Sonnenstrahlen konzentrieren, etwa in der Spitze eines Turms (Solar-Turm- Prinzip) oder in einem Strahlungsempfänger unmittelbar vor den einzelnen Spiegeln (Solar-Farm-Prinzip). Dort wird die Strahlungsenergie an einen Wärmeträger (Wasserdampf, Luft, Thermoöl, Natrium) abgegeben. Für Wärme mit einem Temperaturniveau zwischen 200° C und 800° C gibt es in vielen Bereichen der Verfahrenstechnik bis hin zur Stromerzeugung Anwendungsmöglichkeiten.

Erste Gesamtanlagen für praktische systemtechnische Untersuchungen wurden geplant und befinden sich in der Realisierungsphase.

Diese Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind insbesondere gekennr zeichnet durch die Entwicklung solarspezifischer Einzelkomponenten, z. B. Nachführeinrichtungen, Geometrie der Strahlungsempfänger, Spiegel und Spiegelstruktur sowie durch die Bearbeitung der systemtechnischen Zusammenhänge einschließlich Speicherung und unterschiedlicher Betriebsweisen.

4.3 Strom aus Sonnenenergie

Sonnenenergie kann entweder über thermische Prozesse oder direkt über Fotozellen In Elektrizität umgewandelt werden. Im Bereich kleiner Leistung sind heute nicht zuletzt aufgrund der bisher abgeschlossenen Projekte photovoltaische Energieversorgungsanlagen wegen Ihres relativ einfachen, modularen Aufbaus und Ihres geringeren Wartungsbedarfs kostengünstiger und anwendungsfreundlicher als solarthermische Anlagen.

Eine wirtschaftliche Versorgung mit elektrischem Strom aus Fotozellen Ist für spezielle Anwendungen auch In Mitteleuropa schon heute möglich, sofern kleine Leistungen In entlegenen Gebieten benötigt werden. Dieser Markt kann sich durch die erwarteten sinkenden Anlagenkosten erheblich erweitern.

Ein wirtschaftlicher Betrieb solarthermischer Kraftwerke ist in der Bundesrepublik Deutschland wegen der bestehenden Klimabedingungen nach heutigen Kostenschätzungen nicht erreichbar. Die For-

schungs- und Entwicklungsarbeiten zielen daher hauptsächlich auf Anlagen, die in Gebieten mit starker direkter Sonneneinstrahlung zur Energieversorgung (Strom und Prozeßwärme) eingesetzt werden können.

Der wirtschaftliche Einsatz von Sonnenkraftwerken hängt von vielen Faktoren ab: von der technischen Verfügbarkeit dem realisierbaren Gesamtwirkungsgrad, Lebensdauer der Anlagenkomponenten, von den Investitions- und Betriebskosten, von der Betriebsart, vom Verbrauchsprofil, den zukünftigen Ölpreisen vor Ort und der Devisensituation des jeweiligen Landes. Experimentell bestätigte Erkenntnisse über die technische Verfügbarkeit und die realisierbaren Wirkungsgrade von Sonnenkraftwerken sind noch unzureichend.

Solarthermische Umwandlung

Solarthermische Kraftanlagen zur Stromerzeugung werden von der Bundesrepublik Deutschland ausschließlich in Zusammenarbeit mit anderen Staaten oder internationalen Organisationen (EG, OECD/IEA) erforscht und entwickelt

Eine Reihe von Anlagen im Bereich von 10 kW bis 1 MW elektrischer Leistung wurden errichtet. Dabei kamen unterschiedliche Kollektorsysteme für verschiedene Temperaturbereiche, Wärmeträgermedien und thermodynamische Kreisläufe sowie die entsprechenden Wärmekraftmaschinen zum Einsatz.

Schwerpunkte bilden hierbei die Projekte EURELIOS auf Sizilien und SSPS 0 (Small Solar Power Systems) in Almeria/Spanien. EURELIOS ist eine Sonnenturm-Anlage (1 MWe), die in Kooperation mit Frankreich, Italien und der EG-Kommission errichtet wurde und betrieben wird. Bei SSPS handelt es sich um zwei Projekte, die im Rahmen in der Internationalen Energieagentur (IEA) durchgeführt werden: eine 500 kWe Sonnenturm-Anlage und ein 500 kWe Sonnenfarm-Kraftwerk.

Ziel der langfristig angelegten Versuchsprogramme ist es, die verschiedenen Konzepte für Sonnenkraftwerke mit ihren unterschiedlichen Schlüsselkomponenten und thermischen Kreislauf-Konzepten zu entwerfen, zu entwickeln und zu testen, aber auch realistische betriebswirtschaftliche Beurteilungskriterien für die Abschätzung des künftigen Einsatzpotentials zu ermitteln. Dabei wird auch untersucht, wie Wirtschaftlichkeit und Effizienz durch Kombination von solarthermischer Stromerzeugung mit abgestufter Abwärmenutzung oder durch Übergang zu höheren Leistungsbereichen (10 - 20 MW), höheren Temperaturen und anderen Wärmeträgermedien gesteigert werden kann (Technologieprogramm zum gasgekühlten Solarturmkraftwerk GAST: 800° C, Wärmeträgermedium Luft).

Photovoltaische Umwandlung

Die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrischen Strom mit Photozellen braucht keine mechanisch bewegten Komponenten. Die Zuverlässigkeit und Lebensdauer eines solchen Systems hängt von den Eigenschaften des verwendeten Halbleiters und seinem Schutz gegen Umwelteinflüsse ab.

Kristalline Silizium-Solarzellen haben sich in der Raumfahrt mehr als ein Jahrzehnt bewährt und ihre hohe Zuverlässigkeit im Betrieb erwiesen. Durch die Förderung des BMFT konnten die Herstellungskosten für Solarzellengeneratoren zwischen 1978 und 1981 von 100,- bis 120,- DM pro Watt Peakleistung auf 20,- bis 30,-DM reduziert werden. Sie haben zu diesen Preisen in speziellen Fällen erdgebundener Energieerzeugungsanlagen wirtschaftlichen Einsatz gefunden.

Entscheidende Voraussetzung für eine breitere terrestrische Anwendung ist jedoch eine weitere Reduktion der Herstellungskosten nicht nur der Solarzellengeneratoren sondern aller Komponenten des photovoltaischen Gesamtsystems. Zwar lassen die Ergebnisse der bisherigen Entwicklungsanstrengungen erwarten, daß die Herstellungskosten der Solarzellengeneratoren in den nächsten Jahren noch wesentlich gesenkt werden können, doch weisen die weiteren Systemkomponenten wie z. B. Gleich- und Wechselstromwandler, Batterien zum Lastausgleich und Regeleinrichtungen ein weit geringeres Kostenreduktionspotential auf. Diese Komponentenwerden in zunehmendem Maße bestimmend die Gesamtsystemkosten beeinflussen und einen begrenzenden Faktor für den wirtschaftlichen Einsatz von Anlagen insbesondere kleinere und mittlerer Leistung darstellen. Der Entwicklung modularer Komponenten und Systeme, die ein breites Spektrum potentieller Einsatzbereiche ohne Anpassungsentwicklung abzudecken erlauben, wird deshalb in Zukunft neben der weiteren Entwicklung der Solarzellentechnologie große Bedeutung zukommen.

Die Ergebnisse bisher durchgeführter Projekte lassen erwarten, daß die industrielle Produktion von Photozellen aus mono- bzw. polykristallinem Silizium bereits während der Laufzeit dieses Programms in nennenswertem Umfang einsetzen kann. Dazu ist jedoch noch erheblicher Entwicklungsaufwand für die Herstellung von mono- und polykristallinem Silizium und der industriellen Versuchsfertigung von Solargeneratoren aus polykristallinen Siliziumzellen nötig.

Die wichtigsten Entwicklungsziele sind dabei

- Kostensenkungen bei der Herstellung von polykristallinem Silizium und neuartige Herstellungsverfahren für monokristallines Silizium bei gleich-

zeitiger Erhaltung bzw. Erhöhung des Wirkungsgrades daraus gefertigter Solarzellen,
- kostengünstige Produktionsverfahren für Solarzellen mit hoher Reproduzierbarkeit,
- zuverlässige Kapselung von Generatormodulen zum Schutz gegen Umwelteinflüsse.

Darüber hinaus werden Entwicklungen zur technischen und wirtschaftlichen Optimierung photovoltaischer Energieerzeugungssysteme fortgeführt. Hierbei stehen Entwicklungen verlustarmer Energieaufbereitungsmodule, geeigneter elektrischer Energiespeicher sowie angepaßter Verbrauchereinrichtungen im Vordergrund des Interesses.

Die Bundesrepublik Deutschland führt im Rahmen von bilateralen Abkommen mit Ländern der Dritten Welt Feldversuche mit photovoltaischen Anlagen durch. Für den Betrieb von Pumpen, von Wasseraufbereitungsanlagen und zur Stromversorgung von Kommunikationseinrichtungen sowie für andere Anwendungen mit geringem Stromverbrauch in abgelegenen Gebieten wurden bereits zahlreiche Anlagen in Betrieb genommen, bzw. befinden sich in Vorbereitung. Es wird angestrebt, diese Felderprobungsvorhaben fortzuführen und auszuweiten, um Kenntnisse über die vielseitigen

Anforderungen an solche Anlagen zu erhalten und die Auslegungskriterien für photovoltaische Stromerzeugungsanlagen ständig zu verbessern.

Geringer Bedarf an teuren Rohmaterialien einerseits und weniger energieintensive Verfahrenstechnologien andererseits bieten wichtige Ansätze für eine einfache und kostengünstige Herstellung von **Dünnschicht-Solarzellen** in der Zukunft. Allerdings müssen noch umfangreiche Grundlagenarbeiten zum Verständnis der Arbeitsweise dieser Zellen und zur Entwicklung industrieller Herstellverfahren durchgeführt werden.

Einen wesentlichen Schwerpunkt der Förderung wird die grundlagen- und verfahrensorientierte Forschung an neuen Materialien für Dünnschicht-Solarzellen, insbesondere von amorphem Silizium, bilden. Ein wesentliches Ziel ist dabei die Erhöhung des Umwandlungswirkungsgrades auch für großflächige Zellen.

4.4 Energie aus Biomasse und Abfällen

Neben den traditionellen Nutzungsformen für land- und forstwirtschaftliche Produkte bestehen grundsätzlich auch Möglichkeiten für ihre Nutzung zur Energieerzeugung. Diese Möglichkeiten müssen allerdings den Erfordernissen des Landschafts- und des Umweltschutzes sowie dem im allgemeinen geltenden Vorrang der Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für Ernährungszwecke Rechnung tragen.

Der Einsatz von Biomasse als Energieträger bietet gegenüber den meisten anderen erneuerbaren Energiequellen den Vorteil, daß entweder die biologische Ausgangssubstanz selbst oder das erzeugte Endprodukt speicherbar ist, so daß auf der Basis dieser Energiequelle eine weitgehend verbrauchsorientierte Energieversorgung in den meisten Fällen ohne Reservesysteme oder aufwendige Großspeicher aufgebaut werden kann. Außerdem sind nur in geringem Umfang gänzlich neue Technologieansätze erforderlich: für Abfallverbrennung, Alkoholfermentation, Biogaserzeugung, Holzkohleherstellung sowie Holzvergasung und -Verzuckerung sind Verfahren bekannt, die aber in vielen Fällen den heutigen technischen, ökonomischen und umweltpolitischen Erfordernissen angepaßt werden müssen.

Neben dem Aufbau neuer dezentraler Energieversorgungsanlagen können in der Regel auch bestehende technische Aggregate bei Verwendung von Energieträgern, gewonnen aus Biomasse, weiterhin genutzt werden, wie z. B. Dieselmotoren bei Einsatz von Holzgasgeneratoren oder bei Pflanzenölverwendung wie auch Ottomotoren mit geringfügigen Veränderungen bei Einsatz von Äthanol oder Methanol.

Ein Vorteil der Biomassenutzung liegt darin, daß die Herstellung von Anlagen zur Verbrennung bzw. Vergasung oder Pyrolyse meist auch in Entwicklungs- oder Schwellenländern eher möglich ist als die Herstellung

größerer Windturbinen, Solarzellen oder thermischer Solarkraftwerke. Damit können die Devisenschwierigkeiten der Länder gemildert werden.

Grundsätzlich sind zwei Arten bei der energetischen Nutzung von Biomasse zu unterscheiden:

- die Erschließung und Nutzung bisher nicht genutzter Biomassepotentiale, insbesondere von Neben- und Abfallprodukten der Land- und Forstwirtschaft, des Ernährungsgewerbes, der Industrie und privater Haushalte;
- die gezielte Produktion und Aufbereitung nachwachsender Rohstoffe (land- und forstwirtschaftliche Hauptprodukte) für industriell-gewerbliche Zwecke (Alkohole, Gase, Stärke, pflanzliche Öle und Fette).

Aus Gründen der rationellen Rohstoffnutzung kommt der Verwertung von kommunalen, industriellen, land- und forstwirtschaftlichen Abfallstoffen ein besonderes Gewicht zu.

Im Gegensatz zu den Neben- und Abfallprodukten werden die land- und forstwirtschaftlichen Haupt-

produkte aufgrund der schnell wachsenden Erdbevölkerung künftig nur in den Ländern in nennenswertem Umfang zur Verfügung stehen, die im Verhältnis zu der zu versorgenden Bevölkerung über reichliche agrarische Produktionsreserven verfügen. In der Bundesrepublik Deutschland und den meisten EG-Ländern kommt ein gezielter Anbau von Energiepflanzen dann In Betracht, wenn dies aus gesamtwirtschaftlicher Sicht sinnvoll Ist, die Erfordernisse der eigenen Nahrungsmittelversorgung sowie des Umwelt- und Landschaftsschutzes dem nicht entgegenstehenden und bestehende und künftige Verpflichtungen hinsichtlich des Nahrungsmittelexports und der Nahrungsmittelhilfe dadurch nicht beeinträchtigt werden.

Der derzeitige Stand der Technik stellt sich wie folgt dar:

Anlagen zur Verbrennung von stückigem Holz können heute für übliche Leistungsklassen als aus gereift angesehen werden. Die Nutzung von energiereichen Abfallstoffen (landwirtschaftlichen, industriellen, z. B. aus der Lebensmittelindustrie) ist technisch nur In Sonderfällen gelöst wie z. B. bei der Strohverbrennung in mittelgroßen, automatisch beschickten Anlagen. Kleinanlagen, die aus wirtschaftlichen Gründen auf eine aufwendige Abgasreinigung verzichten müssen, erfüllen In der Regel die deutschen Emissionsvorschriften noch nicht.

Durch die Weiterentwicklung der Müllsortiertechnik wird neben den bisherigen Müllverbrennungsverfahren die Möglichkeit brennbare Fraktionen abzutrennen und zu einem lager- und transportfähigen Brennstoff aufzuarbeiten, zunehmend interessant. Der Heizwert dieses Brennstoffsubstituts (BRAM) liegt in der gleichen Größenordnung wie der von Holz. Der Vorteil gegenüber der unmittelbaren Verbrennung besteht in der Möglichkeit eines flexibleren Einsatzes.

Der Beitrag der Abfallwirtschaft zur Entlastung der Energieversorgung ist schon heute in der Bundesrepublik Deutschland nennenswert. Im Jahre 1980 wurden in 42 Müllverbrennungsanlagen knapp30% des anfallenden Mülls mit einem Heizwert von zusammen 1,8 Mio t SKE zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt

Die **Biogastechnik** ist eine relativ junge Anlagentechnik und hat sich in Indien und China schnell verbreitet Die Tatsache, daß die energetische Nutzung einer darauf folgenden Verwertung (z. B. als Düngemittel) nicht entgegensteht, macht dieses Verfahren besonders attraktiv. Biogasanlagen sind bisher im wesentlichen nur für Fäkalien entwickelt worden, obwohl auch andere Ausgangsstoffe mit hohem Feuchtigkeitsanteil geeignet sind. In der Bundesrepublik ist die Biogastechnik im größeren Umfang bisher lediglich zur Stabilisierung von Klärschlamm kommunaler Klärwerke eingesetzt worden. Neuerdings wird auch die Nutzung von Deponiegas wirtschaftlich interessant wobei allerdings die Energieausbeute sehr gering und nur von lokaler Bedeutung ist

Die **thermochemische Gaserzeugung** (Vergasung, Pyrolyse) hat in der Bundesrepublik während der 30er und 40er Jahre eine breite Anwendung sowohl für stationäre Anlagen als auch als Fahrzeugantrieb gefunden. Die damals entwickelten einfachen Holzgasfestbettgeneratoren sind auch heute wieder Vorbild bei der Weiterentwicklung dieser Anlagen.

Bei der Gaserzeugung aus Müll haben sich insbesondere Verfahren der Niedertemperaturpyrolyse mit Drehtrommel soweit bewährt, daß ihre weitere technische Entwicklung sinnvoll erscheint

Da sich diese Gase (Biogas wie auch Holzgas) recht gut in Verbrennungsmotoren einsetzen lassen, haben sie für die Elektrizitätsversorgung und für stationäre Antriebe in abgelegenen Gebieten ein gewisses Potential.

Im Gegensatz zur Gaserzeugung in kleinen Leistungseinheiten liegt bei der **Verflüssigung von Biomasse** derzeit der Entwicklungsschwerpunkt bei großtechnischen Anlagen. Infolge des großen Flächenbedarfs für die Produktion der Biomasse wird hierdurch ein erheblicher Aufwand für Anbau, Ernte, Transport und Entsorgung der Abfälle notwendig.

Wegen des Forschungsdefizits in diesen Problembereichen sind derzeit Versuchs- und Demonstrationsanlagen in unterschiedlicher Größe zur Äthanolproduktion aus zucker- und stärkehaltigen Pflanzen in der Planung und in Bau bzw. bereits in der Erprobung.

Über die Herstellung von Methanol aus Holz, Stroh und sonstigen Rohstoffen in Großanlagen gibt es in der Bundesrepublik Deutschland noch keine Erfahrungswerte. Dennoch dürfte diese Produktionsrichtung insofern zukunftsträchtig sein, als große Mengen zellulosehaltiger Stoffe (vor allem Stroh, Rest- und Abfallholz) verfügbar sind und keine unmittelbare Nutzungskonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion gegeben ist.

Im abgelaufenen Energieforschungsprogramm sind hauptsächlich Anlagen zur Verbrennung und Gaserzeugung aus Biomasse gefördert worden, um die Verfahrenstechnik zu verbessern und vor allem noch energiesparender, wirtschaftlicher und umweltfreundlicher zu gestalten. Darüber hinaus wurde auch die Demonstration solcher Anlagen gefördert um Ihre Einführung in die Praxis zu erleichtern.

Künftige Forschungsschwerpunkte

- Vor diesem Hintergrund haben neue Projekte schwerpunktmäßig zum Ziel:
- Verminderung der Umweltprobleme aus der Biomasse- und Abfallnutzung und optimale Rohstoffverwertung,
- Weiterentwicklung von Feuerungs-,Vergasungs- und Pyrolyseanlagen für die verschiedenen kommunalen, industriellen und agrarischen Abfallprodukte,
- Erprobung und Anpassung von Biogasanlagen für verschiedene Abfallstoffe und Anlagengrößen, Erzeugung flüssiger Brennstoffe,
- Optimierung von Rohstoffgewinnung, Sammlung und Transport und Lagerung sowie Entwicklung geeigneter Aufbereitungsverfahren,
- Erprobung weitgehend energieautarker Systeme in der Landwirtschaft,
- Untersuchungen zur kombinierten Nahrungs- und Energiepflanzennutzung.

Parallel zu den Arbeiten zur energetischen Abfallnutzung müssen Untersuchungen zur Vermarktung von Müllfraktionen durchgeführt und Techniken der Abfallvermeidung entwickelt werden.

4.5 Windenergie

Wind ist nicht wie Sonnenenergie unmittelbar an die Tages- und Jahreszeit und an den Breitengrad gebunden. Er kann zudem mit hohem Wirkungsgrad in mechanische oder elektrische Energie umgewandelt werden.

Der derzeitige technische Entwicklungsstand von Windkonvertern ist gekennzeichnet durch den Versuch, von den traditionellen vielblättrigen Pumpenrädern zu hoch-effizienten Windturbinen - ähnlich der Entwicklung von der Wasserräder- zur Wasserturbinentechnik - zu gelangen.

Wegen der besonderen Probleme gegenüber dem Stand der Technik im Turbinen- und Ventilatorenbau (lange Rotorblätter, Instationäre Anströmungsverhältnisse) Ist die technische Beherrschung der auftretenden Belastungen selbst bei kleinen Anlagen schwieriger als ursprünglich angenommen wurde.

Die bisherigen Projekterfahrungen bestätigen, daß die technischen Probleme mit der Anlagengröße zunehmen. Es ist daher zu erwarten, daß sich zunächst **kleine Anlagen** (bis 50 kW) durchsetzen. Ein wirtschaftlicher Einsatz (z. B. zur Wärmeversorgung eines Kleinverbrauchers) ist In der Bundesrepublik Deutschland derzeit allerdings nur in windgünstigen Gebieten (Küstennähe) denkbar. In Entwicklungsländern können dagegen heute schon WEA selbst der oberen Preisklasse häufig dann wirtschaftlich eingesetzt werden, wenn eine konventionelle Energieversorgung aus logistischen Gründen schwierig und damit teuer ist.

Im Rahmen bisheriger Vorhaben wird die Anpassung kleiner Windenergieanlagen an spezielle Verbraucher (Elektrizität, Heizen, Pumpen) sowie das Betriebsverhalten untersucht. Die bisherigen Tests haben gezeigt, daß nur wenige Typen von Windenergieanlagen den Anforderungen gewachsen sind. lm Vordergrund steht daher die Weiterentwicklung bestehender Anlagen bis zur technischen akzeptablen Funktionstüchtigkeit.

Die Probleme, die mit den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten (Heizen, Stromversorgung, Wärmepumpenantrieb u. a.) und den sicherheitstechnischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Fragestellungen von WEA Zusammenhängen, müssen künftig an günstigen Standorten in Zusammenarbeit mit den Gemeinden anhand von Demonstrationsanlagen untersucht werden.

Eine Bestandsaufnahme und eine meßtechnische Begleitung einer größeren Anzahl bestehender bzw. neu zu errichtender Anlagen auch in bilateralen Kooperationsprojekten zur Sammlung von Betriebserfahrung unter verschiedenartigen Bedingungen wird als Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Durchbruch dieser Anlagen notwendig sein.

Wegen der Sicherheitsaspekte und der Einpassung in das Landschaftsbild sind bisher nur wenige Baugenehmigungen erteilt worden. Solange es für wichtige Komponenten der Windenergieanlagen noch keine anerkannten Regeln der Technik (DIN-Normen, VDI-Vorschriften, Unfallverhütungsvorschriften u. a) gibt, bleibt die genehmigungsrechtliche Situation, die ohnehin durch ästhetische Gründe belastet ist, problematisch.

Bei **mittleren und großen Anlagen** sind in den vergangenen Jahren erhebliche Fortschritte erzielt worden. Da diese mit relativ hohem technischen Risiko behafteten Anlagen auch in anderen Ländern (USA, Schweden, Dänemark) entwickelt werden, findet im Rahmen eines Abkommens mit der lnternationalen Energieagentur (IEA) ein ständiger Erfahrungsaustausch statt.

Die Einsatzmöglichkeiten größerer WEA wurden bisher hauptsächlich im Bereich der öffentlichen Stromversorgung gesehen. Wegen der schwankenden Verfügbarkeit der Anlagen könnten sie aber andere Stromerzeugungsanlagen nicht ersetzen, sie könnten vielmehr nur als „Brennstoffsparer" während der Zeiten arbeiten, in denen genügend Wind weht. Für die Bundesrepublik Deutschland wird daher der Stromerzeugung aus Wind kein sehr hoher Stellenwert beigemessen, da zum Zeitpunkt einer möglichen breiten Markteinführung knappe Energieträger

(Erdgas, Erdöl) nur noch in geringem Umfang zur Stromerzeugung genutzt werden dürften und daher kein nennenswertes Substitutionspotential vorhanden sein durfte.

In Ländern jedoch, in denen heute und in Zukunft zur Elektrizitätsversorgung weiterhin Öl und Gas eingesetzt werden müssen, können Windenergieanlagen als Brennstoffsparer im Netzparallelbetrieb einen sinnvollen Einsatz finden.

In der Bundesrepublik Deutschland liegt ein attraktiver Einsatzbereich für größere Windenergieanlagen vor allen Dingen in der Wärmeversorgung oder einer kombinierten Wärme- und Elektrizitätsversorgung. Dies trifft im wesentlichen f ü r die Versorg ung kleinerer Gemeinden oder Siedlungen zu, wobei die Windenergieanlage im nicht bebauten Außenbereich windgünstig aufgestellt werden kann.

Die bisherigen Entwicklungen (GROWIAN (3 MW), MBB-Einflügler (300 KW), Voith-Anlage (200 KW) sind weitgehend unabhängig vom Einsatzkonzept. Sie müssen in der kommenden Erprobungsphase zunächst ihre technische Funktionstüchtigkeit nachweisen.

Die Arbeiten konzentrieren sich auf die folgenden Punkte:

- Fertigstellung und Erprobung der im Rahmen des ersten Energieforschungsprogramms entwickelten Anlagen (einschließlich des Aufwindkraftwerks bei Manzanares/Spanien),
- Entwicklung, Konstruktion und Test von Komponenten und Anlagen,
- Probleme der Speicherung bzw. Einspeisung ins Netz,
- Erfassung von Umwelteinflüssen.

4.6 Geothermische Energie

Die Nutzungsmöglichkeiten der geothermischen Energie werden durch Wirtschaftlichkeit und Umweltprobleme begrenzt. Ausreichende Temperaturniveaus (ca. 200° C) liegen in der Regel erst in sehr großen Tiefen (6000 m) vor. Ihre Erschließung ist wegen der hohen Bohrkosten derzeit noch unwirtschaftlich. Eine Ausnahme bilden sogenannte geothermische Anomalien, bei denen schon in geringer Tiefe relativ hohe Temperaturen angetroffen werden. Außerdem ist die Entnahme geothermischer Energie nur möglich, wenn heißes Wasser oder Wasserdampf als Speicher- und Transportmedium vorhanden sind und der Untergrund genügend durchlässig Ist. Solche günstigen geologischen Verhältnisse sind lokal begrenzt und nur vereinzelt anzutreffen.

Zur Zeit wird geothermische Energie insbesondere In Island, Italien, Japan, El Salvador, USA/Kalifornien, Neuseeland, Mexico und auf den Philippinen zur Elektrizitäts- und Wärmeversorgung genutzt.

In der Bundesrepublik Deutschland sind in wirtschaftlich erreichbaren Tiefen die Temperaturen nicht hoch genug um Elektrizität zu erzeugen. Die Erdwärme wird daher bei uns voraussichtlich nur für Heizzwecke eingesetzt werden können.

Entsprechende Demonstrationsprojekte werden in Bremgarten bei Freiburg/Br. und Saulgau durchgeführt. Weitere Projekte mit andersartigen, geologisch bedingten Problemen sind geplant.

Eine weitere Möglichkeit, die Erdwärme zu nutzen, bietet sich mit dem sogenannten „hot-dry-rock-Verfahren" an. Hierbei wird das heiße Gestein im Untergrund durch Sprengungen oder Einpressen von Wasser künstlich gebrochen. In die so entstandenen Spaltflächen wird Wasser eingeleitet, dort aufgeheizt und über eine zweite Bohrung entnommen.

Zur Entwicklung dieser Technologie beteiligt sich die Bundesrepublik Deutschland an einem „hot-dry-rock-Projekt" in den USA.

Der Forschung und Entwicklung der geothermischen Energie dient auch ein Tellprogramm des Energieforschungs- und Demonstrationsprogramms der Europäischen Gemeinschaft.

Um die Kenntnisse der geothermischen Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland zu vertiefen und weitere Möglichkeiten der Erdwärmenutzung zu erschließen, Ist die

- Sammlung geothermischer Daten
- geothermische Prospektion und Exploration
- Erprobung neuer Prospektionsverfahren

erforderlich.

5. Kernbrennstoffkreislauf und Reaktorsicherheitsforschung für Leichtwasserreaktoren

Im Rahmen der Atomprogramme wurden vielfältige verschiedene Konzepte für Kernreaktoren untersucht und die jeweilige Entwicklung unterschiedlich weit entwickelt. Als technisch zuverlässig und vor allem wirtschaftlich konkurrenzfähig stellten sich die Leichtwasser- und (unter bestimmten Bedingungen) auch die Schwerwasserreaktoren heraus. Weltweit werden überwiegend Leichtwasserreaktoren (als

Siede- und Druckwasserreaktoren) eingesetzt, wobei die Zahl der Durckwasserreaktoren überwiegt.

Die Förderung der heute kommerziell genutzten Leichtwasserreaktortechnikerreichte mit dem Betrieb der Demonstrationskraftwerke Gundremmingen (250 MWe, 1966), Lingen (252 MWe, 1968) und Obrigheim (345 MWe, 1968) ihre abschließende Phase. Das technisch-wirtschaftliche Risiko dieser Anlagen wurde durch Risikobeteiligungsverträge für die Betriebsphase zu einem Teil durch den Staat abgedeckt. Die Investitionen wurden nicht mit FuE-Mitteln gefördert. Der im ganzen erfolgreiche Betrieb dieser Anlagen - Obrigheim ist heute noch in Betrieb - war die Voraussetzung für den weiteren Ausbau der kommerziellen Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland.

Auch die Entwicklung des Schwerwasserreaktors war technisch erfolgreich. Seit 1965 ist bei Karlsruhe der MZFR mit 60 MWe in Betrieb. Die Verfügbarkeit dieses Reaktors ist international beispielgebend. Die Exporterfolge für dieses System beruhen vor allem auf der technischen Zuverlässigkeit. Trotz gewisser wirtschaftlicher Nachteile können sie vor allem für Länder interessant sein, die zwar über ein Uranvorkommen, nicht aber über die schwierige Technik der Urananreicherung verfügen.

Die staatliche Förderung der weiteren Entwicklungsarbeiten konzentriert sich auf Techniken, die der sicheren Nutzung von Leichtwasserreaktoren dienen. Dies betrifft vor allem Techniken zur Schließung des Brennstoffkreislaufs und die Steigerung der Sicherheit nuklearer Anlagen sowie besondere Aspekte der Versorgung.

Im Bereich der Entsorgung hat der Staat gemäß Atomgesetz für die sichere Endlagerung der radioaktiven Abfälle unmittelbar die Verantwortung übernommen. Die hierfür zur technischen Reife entwickelten Verfahren bedürfen teilweise noch der großtechnischen Demonstration und der begleitenden, optimierenden Entwicklung während des Übergangs in die Anwendung. Auch für den Bereich der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen, für die die Wirtschaft verantwortlich ist ¡st allerdings noch eine begleitende FuE-Förderung erforderlich. Gleichzeitig veranlaßt die Bundesregierung Untersuchungen über die Realisierbarkeit und sicherheitsmäßige Bewertung der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente.

Zur Sicherung der Kernbrennstofferzeugung wird die Entwicklung der Urananreicherung nach den Gaszentrifugenverfahren aufgrund des 1970 geschlossenen Vertrages fortgesetzt.

Insgesamt kommt es beim Brennstoffkreislauf neben der Sicherheit der jeweiligen Anlagen auch darauf an, die Nutzung der Kernenergie von Dienstleistungslieferungen aus anderen Ländern weitgehend unabhängig zu machen. Hinzu kommt der Aspekt, daß die Verfügbarkeit von Brennstoffdienstleistungen im eigenen Lande die Exportbemühungen für Kernkraftwerke unterstützt ohne zugleich in Ländern mit kleinem Kernenergieprogramm den Wunsch nach einem eigenen Kernbrennstoff kreis lauf wachzurufen. Von besonderer Bedeutung für die Urananreicherung und Wiederaufarbeitung werden Konzepte und Techniken zur Spaltstoffflußkontrolle sein.

Auch bei dem bereits erreichten hohen Standard von Reaktorsicherheit und Strahlenschutz soll die staatliche Förderung fortgesetzt werden, um den Schutz der Bevölkerung sowie des Betriebs- und Wartungspersonals von kerntechnischen Anlagen auch bei zunehmender Kernenergienutzung weiter zu verbessern und das verbleibende Risiko im Vergleich zu anderen zivilisatorischen und naturbedingten Risiken klein zu halten. Der Mittelbedarf für die staatliche Förderung der Reaktorsicherheitsforschung wird in den 80er Jahren allerdings sinken. Das wird zum Teil durch die Erfolge der bisherigen Förderung ermöglicht. Darüber hinaus müssen aber auch bei zunehmender kommerzieller Nutzung von Leichtwasserreaktoren Hersteller und Betreiber In noch stärkerem Maße eigene Anstrengungen zur sicherheitstechnischen Weiterentwicklung und zur Steigerung der betrieblichen Zuverlässigkeit unternehmen.

Die bisherigen Arbeiten zur Reaktorsicherheit von Leichtwasserreaktorsystemen bestätigen, daß die eingebauten Sicherheitsreserven in der Regel mehr als reichlich bemessen werden. Obwohl die Arbeiten zur noch genaueren Auslotung der Sicherheit von Kernkraftwerken, z. B. durch noch detailliertere Analysen komplexer Störfallabläufe unter weitgehender Quantifizierung von Risiken zur Identifizierung eventuell verbliebener relativer Schwachstellen weitergehen müssen, dürfte sich der Bedarf für staatliche Förderung der Reaktorsicherheitsforschung für Leichtwasserreaktorsysteme auf mittlere Sicht verkleinern.

5.1 Uranversorgung und Konversion

Beim Brennstoffkreislauf gehören zur Seite der Versorgung die Uranversorgung und die Verfahrensschritte Konversion, Urananreicherung und Brennelementefertigung. Das Schwergewicht der Förderung liegt bei der Uranversorgung und Urananreicherung. 19.80 belief sich der Bedarf an Natururan auf ca. 1 500 t.

Uranversorgung

Die Bundesrepublik Deutschland ist bei der Versorgung mit Kernbrennstoffen auf Lieferungen aus dem Ausland angewiesen. Die seit 1956 vom BMFT zur Sicherung einer stetigen und zuverlässigen Versorgung deutscher Kernreaktoren mit Kernbrennstoffen geförderten Maßnahmen zielen auf die Diversifikation der Bezugsquellen, auf die Anlegung von Sicherheitsbeständen, die Erschließung neuer Versorgungsquellen und die Entwicklung neuer Technologien bei der Urangewinnung.

Ende der 60er Jahre haben deutsche Firmen mit Unterstützung des Bundes begonnen, sich an der Exploration ausländischer Uranlagerstätten zu beteiligen und Beteiligungen an Lagerstätten und Bergwerken zu erwerben (seit 1980 werden solche Maßnahmen nur noch vom BMWI zu den gleichen Bedingungen wie kommerzielle Explorationsvorhaben für andere Rohstoffe gefördert). Durch die Beteiligung an Lagerstätten und durch den Abschluß langfristiger Lieferverträge ist die Uranversorgung der deutschen Kernkraftwerke bis zum Jahre 1990 zu etwa 80% gesichert. Allerdings sinkt ab 1990 der Anteil der Uranlieferungen, der schon jetzt durch Lagerstättenbeteiligungen gesichert ist, stark ab.

Von 1956 bis 1980 wurden zur Förderung von Vorhaben zur Uransuche und -gewinnung Bundesmittel in Höhe von über 338 Mio. DM zur Verfügung gestellt (BMFT und ab 1978 auch BMWi).

In den 70er Jahren wurde im Rahmen des Devisenausgleichsabkommens mit den USA aus Offset-Mittel eine Bundesuranreserve von rd. 438 t angereicherten Urans angelegt, was ungefähr 46 Mio t SKE entspricht Sie würde ausreichen, den Nachladebedarf der heutigen Kernkraftwerke für mindestens 1 ½ Jahre zu decken.

In Lagerstätten der Bundesrepublik Deutschland kann heute mit gesicherten Uranvorräten von mindestens 5 000 t und zusätzlich geschätzten Vorräten von 8 500 t U gerechnet werden, die ebenfalls unter dem Aspekt der Versorgungssicherheit zu sehen sind.

Zur Erschließung neuer Versorgungsquellen werden seit 1974 grundlegende FuE-Arbeiten zur Urangewinnung mit Hilfe der bakteriellen Laugung und der In-situ-Laugung sowie aus Meerwasser (praktisch unerschöpfliche Vorräte von 4,3 Mrd. t) gefördert. Im Versuchsmaßstab konnte ein wirksames Verfahren zur bakteriellen Laugung entwickelt werden. Ergebnisse der ln-sltu-Laugung wurden bereits auf In- und ausländischen Lagerstätten übertragen. Der Schutz der Bergleute gegen Radongas konnte ausgebaut und das Anlegen von Halden umweltfreundlicher gemacht werden. Bel der Urangewinnung aus dem Meerwasser sind Erkenntnisse insbesondere hinsichtlich geeigneter Adsorber und der einzusetzenden meerestechnischen Konzepte gewonnen worden, die eine mittelfristige Realisierung des Projektes möglich erscheinen lassen. Dabei wird das Konzept von schwimmenden Anlagen zum Einsatz in der offenen See zugrunde gelegt.

Wenngleich gegenwärtig Uran ausreichend vorhanden ist und zu günstigen Preisen auf dem Weltmarkt angeboten wird, kann sich nach Untersuchungen der OECD/NEA und der IAEO zwischen 1990 und 2000 eine Situation einstellen, bei der der Bedarf auch durch die Produktion von Uran aus Lagerstätten mit höheren Gewinnungskosten gedeckt werden muß.

Aufgrund von Erhebungen im Jahre 1981 beziffert die OECD die gesicherten Uranvorräte der westlichen Welt auf 2ß Mio. t. Die zusätzlich als vorhanden angenommenen Uranvorräte werden auf 2,7 Mio. t geschätzt. Im Jahre 1980 wurden nahezu 44 0001 Uran produziert. Um die Jahrhundertwende wird mit einem jährlichen Bedarf von ca. 100 000t gerechnet. Diese Zahlen verdeutlichen, daß die heute bekannten Uranvorräte, verglichen mit anderen Primärenergieträgern, in verhältnismäßig kurzen Zeiträumen erschöpft sein würden. Zur langfristigen Sicherung der Uran-Versorgung sind weiterhin FuE-Maßnahmen notwendig. Sie müssen insbesondere die Verbesserung der Suchmethoden nach Uranvorräten, die kostengünstige Produktion von Natururan und die Erschließung neuer Versorgungsquellen zum Ziel haben.

Die vom BMFT geförderten FuE-Arbeiten werden sich zukünftig insbesondere auf Probleme der Lagerstättenkunde, auf die Verbesserung der bergmännischen Aufsuchungs-, Gewinnungs- und Aufbereitungsmethoden, auf die Verhütung von Umweltbelastungen und auf neue Gewinnungsverfahren, wie die Urangewinnung aus Meerwasser, Phosphorsäure und uranhaltigen Armerzen konzentrieren. Die Arbeiten werden in Zusammenarbeit von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Geologischen Landesämtern, Großforschungseinrichtungen und Industrie durchgeführt.

Die nationalen FuE-Arbeiten werden durch ein FuE-Programm der Europäischen Gemeinschaft (EG) auf dem Gebiet der Uranschürfung und Gewinnung ergänzt.

Die EG hat seit 1976 außerdem Fördermittel für Schürfungsvorhaben in den Gemeinschaftsländern nach Artikel 70 des Euratom-Vertrages bereitgestellt. Diese Arbeiten haben die Kenntnisse über deren Uranpotentiale beträchtlich erweitert.

Daneben befassen sich Gremien der OECD/NEA und der IAEO weltweit mit Fragen der Uranreserven und Uranversorgung. Sie fördern die Verbesserung der

Methoden der Prospektion und Gewinnung insbesondere durch Informationsaustausch. Ein von der NEA/IAEO zur Ermittlung des weltweiten Uranpotentials durchgeführtes Vorhaben, das unter der Bezeichnung International Uranium Resources Evaluation Project (IUREP) läuft, wird vom BMFT finanziell mitunterstützt.

Konversion

Die Konversion des von Uran Produzenten gelieferten Natururans (U308) zu Uranhexafluorid (UF6) als Eingangsmaterial der Anreicherungsanlagen ist für den deutschen Bedarf bisher im Ausland durchgeführt worden. Um auch für diesen Teil des Brennstoffkreislaufes eine gewisse Unabhängigkeit vom Ausland zu erreichen, muß untersucht werden, ob und unter welchen Ausgangsbedingungen eine solche Konversionsanlage in der Bundesrepublik Deutschland genehmigungsfähig ist. Hierbei fällt besonders stark ins Gewicht, daß die derzeit im Betrieb befindlichen ausländischen Anlagen eine beträchtliche Menge an radioaktiven nitrat- und fluorhaltigen Abfällen produzieren. Daher werden seit 1980 bei der Industrie Entwicklungsarbeiten für ein abfallarmes Konversionsverfahren unter Beibehaltung der im Ausland bewährten Basistechnologie gefördert.

5.2 Urananreicherung

Die Bundesregierung fördert Maßnahmen auf dem Gebiet der Urananreicherung, um die Versorgung der deutschen Kernreaktoren mit angereichertem Uran sicherzustellen. Im Vordergrund steht das Gaszentrifugenverfahren. Außerdem werden das Trenndüsenverfahren und neue Anreicherungsverfahren gefördert Der Bedarf an Urantrennarbeit belief sich 1980 auf ca. 1100 t UTA.

Gaszentrifugenverfahren

Die Entwicklung und Nutzung des Gaszentrifugenverfahrens erfolgt seit 1970 gemeinsam mit Großbritannien und den Niederlanden im Rahmen des Übereinkommens von Almelo vom 4. März 1970. Die Regierungen der drei Länderhaben sich in diesem Übereinkommen verpflichtet die Einrichtung gemeinsamer Industrieunternehmen, den Bau und Betrieb von Anreicherungsanlagen und ein integriertes FuE-Programm zu fördern. Ziel der Förderung ist, die Industrieunternehmen auf kommerzieller Grundlage gegenüber anderen Erzeugern von angereichertem Uran konkurrenzfähig zu machen.

Die hierzu gebildete Anreicherungsorganisation umfaßt die URENCO Ltd in Marlow (Großbritannien) als zentrale Marketingstelle, die CENTEC GmbH in Bensberg (Bundesrepublik Deutschland) als zentrale Stelle für die Koordination der FuE-Programme, Verwaltung der Schutzrechte und des technischen Wissens sowie die drei gemeinsamen Industrieunternehmen: URENCO UK in Capenhurst, URENCO Nederland in Almelo und URENCO Deutschland in Gronau.

Zunächst wurden in Capenhurst und Almelo Pilotanlagen mit Insgesamt 60 t UTA/a (Tonnen Urantrennarbeit pro Jahr) errichtet, die In den Jahren 1973 bis 1975 den Betrieb aufgenommen haben. In der Durchführung befindet sich das sogenannte 2000 jato-Programm der URENCO (jato entspricht t UTA/a), das aufgrund der Mitte der siebziger Jahre abgeschlossenen Lieferverträge bis 1982 geplant war. Wegen des hinter der Planung zurückgebliebenen Bedarfs Ist der Ausbau bis in die zweite Hälfte der achtziger Jahre gestreckt worden.

Wenn auch das weitere Ausbauprogramm der URENCO wesentlich durch die Entwicklung der Kernenergie In Großbritannien und der Bundesrepublik Deutschland bestimmt sein wird, so ist URENCO doch Inzwischen ein Partner geworden, der zunehmend Einfluß auf den weltweiten Anreicherungsmarkt nimmt. Dabei gewinnen der technologische Vorteil des bedarfsorientierten Zubaus und der geringen Energiekosten des Gaszentrifugenverfahrens zunehmend an Bedeutung.

Im Rahmen des 2000 jato-Programms wurden 1977 an den Standorten Almelo und Capenhurst Demonstrationsanlagen in Betrieb genommen, die 1980 ihre vorgesehene Kapazität von je 200 jato erreichten.

In Almelo und In Capenhurst wurde 1979 mit dem Bau weiterer Kapazitäten von 400 jato bzw. 230 jato begonnen.

Als Standort für die Urananrelcherungsanlage der URENCO Deutschland oHG wurde nach eingehender Untersuchung die Stadt Gronau Im Westmünsterland in Nordrhein-Westfalen ausgewählt. Die erste Teilgenehmigung (TG) fürden ersten Bauabschnitt von 400 jato einer 1 000 jato-Anlage ist Ende 1981 erteilt worden.

Obwohl bei der Entwicklung der Zentrifugen die technischen Ziele voll entwickelt werden konnten und die Nutzung des Gaszentrifugenverfahrens bisher sehr erfolgreich verlief, konnte die zum Ziel gesetzte kommerzielle Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weltmarkt aufgrund einer geänderten Marktsituation noch nicht voll erreicht werden.

Die weiteren FuE-Arbelten konzentrieren sich auf eine fortschrittliche Zentrifugenlinie mit einem anderen Rotorwerkstoff, der eine erhebliche Steigerung der Trennleistung der Einzelzentrifuge zuläßt und dadurch eine entsprechende Reduzierung der Investitionskosten verspricht. Die Entwicklung dieser Zentrifugenlinie verlief bisher so erfolgreich,

daß voraussichtlich bereits 1986 Anlagen damit ausgerüstet werden können.

Der deutsche Partner In der trilateralen industriellen Zusammenarbeit ist die URANIT, die auch deutscher Gesellschafter in der URENCO-Anreicherungsorganisation ist.

Trenndüsenverfahren

Die Grundlagen des Trenndüsenverfahrens wurden von der KfK erarbeitet. Eine erste technische Anwendung erfolgt auf der Basis des deutsch-brasilianischen Zusammenarbeitsabkommens. An der Zusammenarbeit sind die brasilianische Gesellschaft NUCLEBRAS, die deutschen Firmen STEAG und INTERATOM und die KfK beteiligt. Im Aufbau befindet sich eine Vorlauf-Kaskade in Brasilien. Geplant ist die Erweiterung zu einer Demonstrationsanlage in zwei Stufen (auf 100 bzw. 300 jato). Daneben wird im Rahmen eines Technologieprogramms der Bau einer kommerziellen Anlage vorbereitet. Die Weiterentwicklung des Verfahrens wird im Rahmen eines zwischen den Beteiligten abgestimmten FuE-Programms von der K1K und der NUCLEBRAS durchgeführt.

Neue Anreicherungsverfahren

Von den derzeit bekannten neuen Verfahren zur Urananreicherung ist das Laserverfahren das aussichtsreichste. Die der Vororientierung dienenden Untersuchungen haben zu einem an konkreten Zielen ausgerichteten FuE- Programm geführt. In dem 1980 begonnenen vierjährigen Programm soll das Konzept einer Laboranlage zur Durchführung von Trennversuchen erarbeitet werden. An der Durchführung sind neben der URANIT die Max- Planck-Gesellschaft, das Battelle-Institut und die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen beteiligt.

Die Untersuchungen zur Plasmenzentrifuge wurden Mitte 1979 eingestellt, nachdem die erzielten Ergebnisse negativ beurteilt worden waren.

5.3 Brennelementfertigung

Die Fertigung von Uranoxid-Brennelementen heutiger Bauart für LWR ist inzwischen technisch ausgereift. Um den Kernbrennstoff besser ausnutzen zu können, ist eine Verbesserung von Zuverlässigkeit und Sicherheitsverhalten der Hüllrohre erforderlich. Dazu ist eine weitere staatliche Förderung der betreffenden Projekte nötig.

Die Entwicklung der Brennelement-Technik für Brutreaktoren ist Teil des Gesamtkonzepts zur Förderung dieses fortgeschrittenen Reaktorsystems.

Dasselbe gilt im Prinzip für die Entwicklung der Brennelement-Technik für den Hochtemperatur-Reaktor. Hierbei stehen Entwicklungsarbeiten zur Herstellung von Brennelementen mit niedrig angereichertem Uran sowie zur Erhöhung ihrer Betriebstemperatur und Abbrandrate im Vordergrund.

Um die Gefahr der Verbreitung von Kernwaffen zu vermindern, wurde bei der internationalen Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs (INFCE) empfohlen, die Verwendung von hochangereichertem Uran bei Forschungs- und Materialtestreaktoren auf ein Mindestmaß zu beschränken. Wie in anderen Ländern sind auch von deutscher Seite FuE-Arbeiten in Angriff genommen worden. So werden neue Brennelemente entwickelt, die auch bei niedrigen Anreicherungsgraden die Experimentiereigenschaften von Forschungs- und Materialtestreaktoren nicht oder möglichst wenig negativ beeinflussen. Die Arbeiten sind in einem Fünfjahres-Programm niedergelegt, das 1980 begonnen worden ist und in Zusammenarbeit mit dem amerikanischen Argonne National Laboratory (ANL) durchgeführt wird. Auf deutscher Seite sind Großforschungszentren und Industriefirmen daran beteiligt. Angestrebt sind Anreicherungen unter 20%.

5.4 Entsorgung mit Wiederaufarbeitung

Vorbemerkung

Das Entsorgungskonzept der Bundesregierung hat sich im Verlauf des ersten Energieforschungsprogramms geändert. Seit 1974 wurde das **integrierte Entsorgungszentrum** verfolgt Seine Realisierung war seit 1977 in Gorleben geplant Zwischenzeitlich hat sich die Niedersächsische Landesregierung durch ihre Erklärung vom 16. Mai 1979 zu dem Nuklearen Entsorgungszentrum in Gorleben geäußert. Sie hat bestätigt, daß ein Nukleares Entsorgungszentrum sicherheitstechnisch grundsätzlich realisierbar ist, aber der Bundesregierung empfohlen, das Projekt Wiederaufarbeitung in Gorleben nicht weiter zu verfolgen; die politischen Voraussetzungen dafür wären nicht gegeben. Mit ihrem Beschluß zur Entsorgung der Kernkraftwerke vom 28. September 1979 haben die Regierungschefs von Bund und Länder die Konsequenzen aus der Entscheidung der Niedersächsischen Landesregierung gezogen, das **integrierte Entsorgungskonzept** der Bundesregierung bestätigt und weitere Schritte zu seiner Verwirklichung niedergelegt. Im Rahmen dieses Konzepts ist es möglich, einzelne Entsorgungsanlagen wie z. B. Zwischenlagerung, Wiederaufarbeitung, Refabrikaton und Abfallbehandlung sowie Endlagerung auch räumlich getrennt zu verwirklichen. Die Regierungschefs kamen auch überein, daß eine Wiederaufarbeitungsanlage so zügig errichtet werden soll, wie dies unter Beachtung aller in Betracht zu ziehenden Gesichtspunkte möglich ist. Weiterhin wurde festgelegt,

auch andere Entsorgungstechniken, wie z. B. die direkte Endlagerung von abgebrannten Brennelementen ohne Wiederaufarbeitung, auf ihre Realisierbarkeit und sicherheitstechnische Bewertung zu untersuchen, damit ein abschließendes Urteil darüber, ob sich hieraus entscheidende sicherheitsmäßige Vorteile ergeben können, in der Mitte der 80er Jahre möglich wird.

Die Empfehlungen der Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergiepolitik" des 8. Deutschen Bundestages bestätigen in den Grundlinien den Beschluß der Regierungschefs. Die Entscheidung über den einzuschlagenden Entsorgungsweg wird in diesen Empfehlungen allerdings erst für 1990 vorgeschlagen. Ferne r wird vorgeschlagen, die Machbarkeit von notwendigen Entsorgungsschritten in beiden Entsorgungswegen durch Demonstrationsanlagen zu zeigen, soweit dies aus technischen Gründen erforderlich ist

Entsprechend der Aufgabenverteilung zwischen Staat und Industrie werden Bau und Betrieb von Entsorgungsanlagen einschließlich der Behandlung radioaktiver Abfälle und Rückführung der wiederverwendbaren Kernbrennstoffe Uran und Plutonium Aufgabe der Industrie sein.

Der Bund hat seit 1976 die im Atomgesetz verankerte Aufgabe, Anlagen für die Sicherstellung und Endlagerung der radioaktiven Abfälle einzurichten. Dafür ist die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) zuständig. Die Kosten, die mit der Errichtung und dem Betrieb des Endlagers verbunden sind, sind in voller Höhe von den Verursachern der Abfallstoffe zu tragen. Die PTB wird bei der Durchführung ihrer Aufgaben von der Deutschen Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern (DBE) und der Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe (BGR) unterstützt.

Entsprechend ihren gesetzlichen Pflichten und ihrer Interessenlage wird sich die Bundesregierung bei der Weiterentwicklung der Technologie im Bereich der Entsorgung beteiligen durch

- Weiterentwicklung, Prüfung und Realisierung einer sicheren Technik für die Sicherstellung und Endlagerung von radioaktiven Abfällen,
- sicherheitstechnische Weiterentwicklung der Entsorgung (Basis: Forschungs- und Entwicklungskatalog der Reaktorsicherheits- und der Strahlenschutzkommission und seine Fortschreibungen), insbesondere auch Weiterentwicklung von Komponenten und Verfahren mit hohem Sicherheitspotential,
- Untersuchungen zum Risikobeitrag der Entsorgungsanlagen im Brennstoffkreislauf,
- Untersuchungen zur Vorbereitung des Urteils, ob sich aus der Endlagerung von abgebrannten Brennelementen ohne Wiederaufarbeitung entscheidende sicherheitsmäßige Vorteile ergeben können.

Für die Bearbeitung dieser Aufgaben stellt die Bundesregierung auch das Potential der Kernforschungszentren bereit Neben sicherheitstechnischen Fragestellungen geht es dabei um die Entwicklung von neuartigen oder erst langfristig realisierbaren technologischen Teilschritten. Die Bundesregierung fördert ebenso eigene Entwicklungsarbeiten der Industrie in den genannten Aufgabenbereichen. Bedeutung kommt ferner der wissenschaftlichen Beschäftigung mit den chemischen, verfahrenstechnischen und technologischen Grundlagen des Entsorgungsbereichs an den Hochschulen zu. Durch die Förderung einer intensiven internationalen Zusammenarbeit im Rahmen der Europäischen Gemeinschaft, der internationalen Organisationen NEA und IAEO sowie bilateral mit verschiedenen Ländern ist es möglich, Fehlentwicklungen zu vermeiden, bei bestimmten Untersuchungen Kosten einzusparen sowie durch den Erfahrungsaustausch eigene Ergebnisse und Erkenntnisse abzusichern und so die technologische Position der Bundesrepublik Deutschland in diesem speziellen Technologiebereich zu festigen.

Transport und Zwischenlagerung

Nach dem Beschluß der Regierungschefs vom 28. September 1979 sind die abgebrannten Brennelemente bis zur Inbetriebnahme einer Wiederaufarbeitungsanlage oder einer Anlage zur Konditionierung für die Endlagerung ohne Wiederaufarbeitung zwischenzulagern. Hierbei kann die Zwischenlagerung sowohl in den Kernkraftwerken als auch in externen Zwischenlagern vorgenommen werden.

Genehmigungsverfahren für Kompaktlager in Kernkraftwerken und für externe Zwischenlager in Ahaus und Gorleben mit Kapazitäten von je 1 500 t laufen. Bei letzteren plant die Industrie, spezielle Transportbehälter zu verwenden. Mit den Bauarbeiten für das Zwischenlager in Gorleben ist Anfang 1982 begonnen worden. Die Beteiligung der Bundesregierung an Forschungsvorhaben zur Zwischenlagerung erfolgt lediglich bei Untersuchungen, die sicherheitstechnische Fragestellungen des Strahlen- und Umweltschutzes beinhalten.

Wiederaufarbeitung

Die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente hat eine Schlüsselstellung für eine intensive und fortschrittliche Kernenergienutzung: unverbrauchte (Uran) und erbrütete (Plutonium) Kernbrennstoffe werden für die weitere Nutzung in neuen Brennelementen zurückgewonnen, die radioaktiven Spaltprodukte werden abgetrennt und können zu sicher lagerfähigem Abfall weiterverarbeitet werden.

Die mit Bundesmitteln errichtete und betriebene Wiederaufarbeitungsanlage in Karlsruhe (WAK) und die mit deutscher Beteiligung betriebene internationale Eurochemic Anlage in Mol haben in den letzten Jahren wichtige Betriebserfahrungen bei der Wiederaufarbeitung der Brennelemente aus heutigen LWR-Kernkraftwerken geliefert Dabei wurden auch die in USA, Frankreich und Großbritannien vorliegenden Erfahrungen bestätigt.

Weitere FuE-Arbeiten zielen auf die:

- Weiterentwicklung und Optimierung von Komponenten und Verfahrensschritten,
- Verbesserung von in-line-lnstrumentierung und Analytik,
- Verminderung von Abfallmengen (z. B. durch elektrolytische Verfahrensschritte),
- Weiterentwicklung und Prototyp-Erprobung von Einrichtungen zur Rückhaltung oder Abtrennung radioaktiver Isotope (vor allem Jod, Krypton und Tritium),
- Untersuchung von Störfallabläufen und Störfallwirkungen (z. B. Brand, Kritikalität, Leckagen, Filterdurchbruch),
- Anpassung des PUREX-Prozesses für die Wiederaufarbeitung hochabgebrannter Brennstoffe und Brennelemente des Schnellen Brüters,
- fernbediente Reparatur- und Wartungstechnik,
- Meßgeräte für Spaltstoffflußkontrolle.

Die Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (DWK) hatimFebruär1980 einen Antrag auf die Errichtung einer Anlage zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen beim Hessischen Minister für Wirtschaft und Technik gestellt. Im Februar1982 ist in Bayern ein Raumordnungsverfahren für eine Wiederaufarbeitungsanlage angelaufen. Parallel dazu werden in Rheinland-Pfalz und weiteren Bundesländern Überlegungen zur Errichtung einer Wiederaufarbeitungsanlage angestellt.

Bei zügiger Durchführung des Genehmigungsverfahrens ist die Inbetriebnahme einer Anlage in der ersten Hälfte der 90er Jahre zu erwarten.

Zur Bewältigung der hier entsprechend der Arbeitsteilung mit der Industrie auf den Staat zukommenden Aufgaben wurde im Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) 1974 das „Projekt Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung (PWA)" gegründet. Dieses wird in enger Zusammenarbeit mit der Industrie Forschungs- und Entwicklungsaufgaben behandeln, deren Ergebnisse in den Bau und Betrieb der Großanlagen mit einfließen werden. Im Jahre 1979 wurde hierzu ein Zusammenarbeitsvertrag zwischen der DWK und der KfK geschlossen, der auch die finanzielle Seite der Nutzung der KIK-Kenntnisse regelt

Auf dem Gebiet der Wiederaufarbeitung besteht eine enge europäische Zusammenarbeit über die United Reprocessors GmbH (URG), an der das französische CEA, die britische BNFL und die deutsche DWK beteiligt sind. Die URG, die 1971 als Reaktion auf die damals erwarteten Überkapazitäten auf dem Gebiet der Wiederaufarbeitung in Europa gegründet worden war, sieht heute eine ihrer wesentlichen Aufgaben darin, den Erfahrungsaustausch zwischen den drei Partnern zu fördern und insbesondere auch Aushilfe bei Kapazitätsengpässen in einem Partnerland zu leisten. Als erste große Anlage steht die französische Wiederaufarbeitungsanlage in Cap de La Hague zur Verfügung. Die umgebaute englische Anlage in Windscale wurde nach einem Störfall im Herbst 1973 für die Wiederaufarbeitung von LWR-Brennstoffen wieder Instandgesetzt Da die Wiederaufarbeitung von Magnox-Brennelementen aus Korrosionsgründen vordringlich Ist, erfolgte dort bisher jedoch keine weitere Wiederaufarbeitung von LWR-Brennstoff. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur HTR-Wiederaufarbeitung konzentrieren sich zur Zeit auf Untersuchungen zur Eingangsstufe einer Versuchs-Wiederaufarbeitungsanlage in der KFA (JUPITER). Es ist eine Verstärkung der Arbeiten zur Wiederaufarbeitung von SBR-Brennelementen beabsichtigt, die auf den bisher gewonnenen Erfahrungen der LWR- Wiederaufarbeitung aufbauen können.

Abfallbehandlung

Die Behandlung der radioaktiven Abfälle vor Ihrer Endlagerung erstreckt sich auf radioaktive Abfälle aller Art Ziel dieser Behandlung ist es, die radioaktiven Abfälle in verfestigte Produkte umzuwandeln, die die notwendige chemische und physikalische Stabilität über sehr lange Zeiträume unter den Bedingungen der Endlagerung behalten.

Bel der Wiederaufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe fallen auch flüssige Abfälle an. Für die schwach- und mittelaktiven Anteile dieses Abfalls existieren bereits seit langem erprobte und bewährte Konzepte zur Verfestigung, z. B. Verfestigung mit Beton oder Bitumen. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf diesem Gebiet haben als wesentliches Ziel, das Aufkommen der Abfallprodukte zu verringern und die chemisch-physikalische Stabilität der Endlagerprodukte zu verbessern. Weiterhin werden auch Verfahren zur Aufarbeitung von Abfallgemischen, insbesondere bei mittelaktivem Abfall, untersucht Wesentliche Anstrengungen werden auch bei der Charakterisierung von Abfallprodukten, insbesondere unter Störfallbedingungen, und der Qualitätssicherung bei der Herstellung endlagerfähiger Produkte unternommen.

Für die festen Abfälle der Wiederaufarbeitungsanlage, so z. B. für die Brennstabhülsen, sind die Verfahren zur Dekontamination und Kompaktierung In-

zwischen weitgehend ausgereift Für gasförmige Abfälle sind geeignete Methoden zu r Fixierung, die über einen langen Zeitraum stabil bleiben muß, in der Erprobung. Bei den hochaktiven Abfällen wird primär das Konzept der Einbettung In glasartig^ Substanzen verfolgt. In Frankreich wird dieses Verfahren seit 1978 im heißen Betrieb Im industriellen Maßstab demonstriert Bei uns müssen in den nächsten Jahren die Labor-und Technikumsergebnisse auf Demonstrationsanlagen übertragen werden. Der Bau einer Verglasungsanlage mit deutscher Technologie wurde bei der Eurochemic in Mol begonnen. Diese Anlage soll 1984/85 in Betrieb gehen. Als Endprodukte wird diese Verglasungsanlage, die mit einem keramischen Schmelzofen ausgerüstet ist, Borsilikat-Glasblöcke und in Metall eingebettete Borsilikatglaskugeln (VITROMET) liefern.

Brennstoffrückführung

Abgebrannte Brennelemente aus Leichtwasser-Reaktoren enthalten noch ca. 0,8% unverbrauchten Brennstoff Uran 235 und ca. 0,9% erbrütetes Plutonium, wovon wiederum ca. 70% spaltbar sind.

Diese Brennstoffe stehen nach der Wiederaufarbeitung der Brennelemente für einen erneuten Einsatz In Kernkraftwerken, d. h. entweder In Brütern oder In Leichtwasserreaktoren, zur Verfügung und bilden ein erhebliches Potential zur Einsparung von Natururan.

Der effektivste Einsatz des Plutoniums geschieht sicherlich In Brütern. Langfristig kann auf diesem Wege weitgehende Unabhängigkeit von Natururan erreicht werden. Aber auch die Rückführung der Wiederaufarbeitungsprodukte Uran und Plutonium In thermischen Kernkraftwerken verbessert die Brennstoffökonomie. So beträgt die Natururaneinsparung für das thermische .Rezyklieren von Plutonium bei heutiger Leichtwasser- Reaktor-Strategie ca. 20 %. Führt man auch das unverbrauchte spaltbare Uran in Leichtwasser-Reaktoren zurück, so ergibt sich hierfür nach heutiger Strategie eine zusätzliche Natururaneinsparung von15-20 %. Die volle thermische Schließung des Brennstoff-Krelslaufs für Plutonium ist damit möglich. Somit kann erreicht werden, daß nur geringe Mengen Plutonium Ins Endlager gelangen, was unter ökologischen Gesichtspunkten erhebliche Vorteile bringt.

Die Technologie zur Herstellung von Plutonium-Brennstoff für thermische Reaktoren und Brutreaktoren (Mischoxid-Technologie) Ist In der Bundesrepublik Deutschland weit fortgeschritten. Bei der Brennstoffherstellung und Rezyklierung In Leichtwasser-Reaktoren kann die Bundesrepublik Deutschland als weltweit führend angesehen werden. Besonders wichtige Erfolge der Forschung und Entwicklung aus der Vergangenheit sind die Herstellung eines in Salpetersäure voll löslichen Mischoxid-Brennstoffs durch die Firma Alkern und die Lösung wichtiger Auslegungsfragen für Mischoxid-Brennelemente in Leichtwasser-Reaktoren bis zur Größenklasse von 300 MWe. Bis Mitte der 80 er Jahre sind diese Technologien so fortzuführen, daß ein Einsatz in Standardkraftwerken der 1 300 MWe- Klasse möglich wird, um das bei der Wiederaufarbeitung anfallende Plutonium zweckmäßig einsetzen zu können.

Um das zu erreichen ist es erforderlich, das FuE-Programm zur Plutoniumrückführung in thermischen Reaktoren fortzuführen. Die wichtigsten Entwicklungsziele sind:

- Fortentwicklung und Qualifikation des leicht löslichen Mischoxid- Brennstoffs
- Optimierung der Plutoniumverwendung im Leichtwasser-Reaktor
- Realisierung der mehrfachen Rückführung von Uran und Plutonium
- Durchführung des Plutoniumeinsatzes in Leichtwasser-Reaktoren bis zur 1 300 MWe-Klasse.

Vordringliches Ziel bei diesen Entwicklungsarbeiten ist es, die mit der Rückführung zusammenhängenden Fragen zu beantworten, d. h. im wesentlichen, die radiologischen Belastungen von Mensch und Umwelt im Brennstoffkreislauf auch bei Plutoniumrückführung gering zu halten und den Plutoniumgehalt in den Fertigungsabfällen weiter zu reduzieren.

Die Durchführung dieser Arbeiten ist in technischer und finanzieller Hinsicht eine gemeinsame Aufgabe der EVU, Reaktor- und Brennelementhersteller. Der BMFT unterstützt die notwendigen Arbeiten mit dem Ziel, die. selbständige Fortführung durch die Wirtschaft nach 1985 zu erreichen.

Endlagerung

Die Endlagerung der radioaktiven Abfälle muß so vorgenommen werden, daß eine Gefährdung der Biosphäre über einen ausreichenden Zeitraum hinweg ausgeschlossen ist. In der Bundesrepublik Deutschland wird grundsätzlich die Verbringung der Abfälle in tiefe, geologische Formationen, die keine Verbindung zur Biosphäre haben und auch zukünftig erwarten lassen, als die beste Lösung angesehen.

In der internationalen Fachwelt gelten Salzformationen aufgrund ihrer geologischen und physikalischen Eigenschaften als besonders geeignet für die Endlagerung von radioaktiven Abfällen. Hierzu liegen im norddeutschen Raum günstige geologische Verhältnisse vor.

Im Rahmen des Salzkonzeptes werden zur Zeit Forschungsarbeiten an den Projekten Asse und Gorle-

ben durchgeführt Im ehemaligen Salzbergwerk ASSE II wird seit 1967 durch die GSF ein umfangreiches Forschungs- und Versuchsprogramm zur Endlagerung durchgeführt. Hierbei gilt es in den nächsten Jahren, die Technologie der Endlagerung in Salz weiterzuentwickeln, insbesondere eine Demonstration der Einlagerung hochaktiver sowie mittelradioaktiver Abfälle in Bohrloch- und Absenktechnik vorzunehmen. Weiterhin werden spezielle geologische und gebirgsmechanische Fragen hinsichtlich der Stabilität eines Endlagerbergwerks sowie Temperatureffekte bei der Einbringung wärmeerzeugender Abfälle untersucht Eignungsuntersuchungen des Salzstocks bei Gorleben, in den vier Tiefbohrungen niedergebracht worden sind und dessen Umgebung mit mehr als dreihundert hydrogeologischen Erkundungsbohrungen untersucht wurde, werden fortgeführt Bisher liegen keine Ergebnisse vor, die gegen eine Eignung des Salzstocks für die Endlagerung radioaktiver Abfälle sprechen. Endgültige Ergebnisse werden in den kommenden Jahren mit Hilfe von Schachtvorbohrungen und der bergmännischen Erschließung des Salzstockes erreicht werden.

Neben Salzformationen werden auch andere geologische Formationen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle untersucht So wird z. B. das ehemalige Eisenerzbergwerk Konrad bei Salzgitter auf seine Eignung hin überprüft, dort schwachradioaktive Abfälle sowie Abfälle aus der Stillegung kerntechnischer Anlagen endzulagern. Das Untersuchungsprogramm, das im Jahre1976 begonnen wurde, erstreckt sich auf standortbezogene und geowissenschaftliche, bergtechnische sowie kerntechnische Untersuchungen. Die z. Z. vorliegenden Ergebnisse sind positiv, ein atomrechtliches Genehmigungsverfahren wird vorbereitet und soll Mitte 1982 eingeleitet werden.

Neben der Schachtanlage Konrad werden auch andere Festgesteine, die als Endlagermedien grundsätzlich in Frage kommen, auf ihre Eignung hin untersucht Bei den vorgegebenen Verhältnissen der Bundesrepublik Deutschland gelten hier Granitgesteine am aussichtsreichsten.

Weiterhin werden im Hinblick auf eine sichere Entsorgung Forschungsarbeiten zur Beseitigung anfallender Iritiumabwässer durchgeführt Die Verpressung von Tritiumabwässern in eine geeignete geologische. Formation wird hierfür vorrangig verfolgt.

Alle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Endlagerung finden in enger internationaler Abstimmung und Zusammenarbeit statt, z. B. im Rahmen der Europäischen Gemeinschaft, OECD/NEA, IAEO oder aufgrund bilateraler Verträge mit anderen Ländern (z. B. USA). Durch die enge internationale Zusammenarbeit wird sichergestellt daß die Endlagerkonzepte in den verschiedenen Ländern gleichartigen Sicherheitsanforderungen genügen. Darüber hinaus werden die Kenntnisse zur Endlagerung radioaktiver Abfälle arbeitsteilig in verschiedenen Endlagermedien erarbeitet werden. Auf das Programm der EG zum Bereich Abfallbehandlung und Endlagerung ist in diesem Zusammenhang besonders hinzuweisen.

Zur sicherheitsmäßigen Beurteilung des integrierten Entsorgungskonzepts soll das Projekt „Sicherheitsstudien Entsorgung (PSE)" einen Beitrag leisten. Ziel ist es, Aussagen zum Risikobeitrag von Entsorgungsanlagen zu erarbeiten. Das Projekt gliedert sich in zwei Teilprojekte, nämlich

- Sicherheitsanalyse der oberirdischen Einrichtungen der Entsorgung (z. B. Wiederaufarbeitungsanlage)
- Sicherheitsanalyse des geologischen Endlagers für radioaktive Abfälle (Langzeitsicherheit, Migration von Radionukliden).

Die Anforderungen des Bundes für anlagenbezogene Forschung und Entwicklung zur Endlagerung werden an die Erzeuger von radioaktiven Abfällen weitergegeben. Die Vorausleistungsverordnung gemäß § 21 b AtG ermöglichtes, die Abfallproduzenten schon jetzt zur Finanzierung dieser Aufwendungen heranzuziehen.

5.5 Andere Entsorgungstechniken

Die Untersuchungen zur Entsorgung ohne Wiederaufarbeitung, d. h. zur direkten Endlagerung von abgebrannten Brennelementen, gehen auf den Beschluß der Regierungschefs von Bund und Ländern vom 28. 09.1979 zurück, sie werden im Rahmen des F+E-Schwerpunkts „Andere Entsorgungstechniken" ausgeführt. Das Ziel ist dabei eine sicherheitsmäßige Abwägung und Beurteilung der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente im Vergleich zu ihrer Behandlung mit Wiederaufarbeitung sowie eine sicherheitstechnische Bewertung. Zunächst werden schwerpunktmäßig die Themenkreise „Konditionierung und Verpackung" sowie „Endlagerung" bearbeitet. Bis Mitte 1982 ist eine Konzeptauswahl z. B. zwischen dem Verpacken des gesamten Brennelements, dem Verpacken einzelner Brennstäbe, dem Verpacken nach Zerschneiden der Brennstäbe und dem Verpacken nach Ausgasung der Brennstäbe zu treffen. Daran soll sich eine Detailbearbeitung von einem oder mehreren Konzepten anschließen.

Bei der Bearbeitung des Themenkreises „Endlagerung" können Überlegungen zur Behandlung von konditioniertem hoch radioaktivem Abfall z. T. übernommen werden. Dies gilt sowohl für die Endlagerung in Bohrlöchern innerhalb eines Bergwerks als der vermutlich günstigsten Lösung als auch für die radiologische und chemische Wechselwirkung

zwischen Endlagergebinde und dem umgebenden geologischen Medium. Daneben sind aber auch Sonderfragen zu untersuchen, die u. U. wegen der großen Gewichte und Abmessungen des Endlagergebindes eine wesentlich andere Gestaltung des Endlagerbergwerks zur Folge haben können.

Diese Arbeiten werden durch verschiedene experimentelle Einzeluntersuchungen ergänzt. Schließlich sind auf der Basis der gewonnenen Einzelergebnisse System- und Vergleichsuntersuchungen vorzunehmen. Die Untersuchungen sollen so zügig durchgeführt werden, daß ein abschließendes Urteil, ob sich aus anderen Entsorgungstechniken entscheidende sicherheitsmäßige Vorteile ergeben können, in der Mitte der 80er Jahre möglich wird.

5.6 Beseitigung kerntechnischer Anlagen

In den nächsten Jahren sind hier im wesentlichen Techniken für die Beseitigung kerntechnischer Anlagen zu entwickeln und deren Einsatz bei der Beseitigung des Kernkraftwerks Niederaichbach zu demonstrieren. Diese Entwicklungsaufgaben werden teilweise im Rahmen eines Programms der Europäischen Gemeinschaft durchgeführt. Wesentliche Erkenntnisse für die Beseitigung kerntechnischer Anlagen werden auch weiterhin in dem umfangreichen von Deutschland mitfinanzierten Programm der Eurochemic erzielt werden. Hierbei wird die Wiederaufarbeitungsanlage der Eurochemic voll dekontaminiert und in Teilbereichen abgerissen. Die Reinigung der Anlage ist bereits so weit fortgeschritten, daß inzwischen alle Zellen wieder begangen werden können. Hier wird in internationaler Zusammenarbeit der Nachweis der sicheren Beseitigung einer Wiederaufarbeitungsanlage erbracht.

5.7 Spaltstofflußkontrolle und Spaltstoffschutz

Im Bereich der friedlichen Nutzung der Kernenergie und Nichtverbreitung von Kernwaffen ist die Bundesrepublik Deutschland in ein Netzwerk völkerrechtlicher Abkommen wie z. B. dem Vertrag zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM-Vertrag), dem Statut der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) und dem Vertrag über die Nichtverbreitung von Kernwaffen (NV-Vertrag) eingebunden.

Zweck dieser Verträge und darauf aufbauender Kontrollen ist es, eine Abzweigung oder mißbräuchliche Verwendung von Spaltmaterial für nichtfriedliche Zwecke zu verhindern. In der Bundesrepublik Deutschland werden diese Kontrollen von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften vorgenommen und von der IAEO verifiziert.

Ein wesentliches auch von der Bundesregierung mitgetragenes Ergebnis der 1980 zu Ende gegangenen internationalen Bewertung des nuklearen Brennstoffkreislaufs (INFCE) war, daß die Verbreitung von Kernwaffen vor allem ein politisches Problem ist und mit technischen Maßnahmen allein nicht gelöst werden kann, daß aber zusammen mit internationalen Kontrollen und institutionellen Maßnahmen das Proliferationsrisiko minimiert werden kann.

In Wahrnehmung ihrer internationalen Verpflichtung und zur konstruktiven Unterstützung der Arbeit der IAEO und von EURATOM hat die Bundesregierung bereits in der Vergangenheit aktiv zur Entwicklung von Überwachungskonzepten und Kontrolltechniken für die Spaltstoffflußkontrolle beigetragen. Diese Kontrollen müssen wirksam und zuverlässig sein, sollen jedoch im internationalen Vergleich keine Wettbewerbsnachteileverursachen. Um das allgemeine Vertrauen zu erhalten und um die internationale Akzeptanz der friedlichen Kernenergienutzung zu verbessern muß die Wirksamkeit der Sicherungsmaßnahmen sorgfältig abgewogen werden gegen die grundsätzliche Forderung, den Betrieb von Kernenergieanlagen nicht unangemessen zu beeinträchtigen.

Neben der Weiterentwicklung und Verbesserung bereits genutzter Methoden müssen im Programmzeitraum neue Überwachungskonzepte und Techniken entwickelt werden, wobei Anlagen des Brennstoffkreislaufs, wie Anreicherung und Wiederaufarbeitung, besondere Anwendungsschwerpunkte sein werden.

Beispiele hierfür sind:

- Verbesserung in Materialbilanzierungstechniken
- Entwicklung und Erprobung von Einschließungs- und Überwachungsmaßnahmen
- stärkere Berücksichtigung der Kontrollnotwendigkeiten bereits bei Anlagenauslegung
- Weiterentwicklung der Überwachungstechniken, um i. a. durch instrumentelle Maßnahmen die vorhandenen Mittel optimal auszunutzen (zuverlässige, wartungsarme Siegel, Kameras etc.)
- Verbesserung der Datenverarbeitungs- und Bewertungskapazität der Überwachungs-Organisationen.

Hinzu kommen grundsätzliche Arbeiten zur Weiterentwicklung der technisch-wissenschaftlichen Grundlagen für die internationale Kernmaterialüberwachung unter besonderer Berücksichtigung politischer und wirtschaftlicher Randbedingungen.

Zum Arbeitsprogramm gehören

- die Entwicklung und Bewertung von Überwachungs- bzw. Sicherungssystemen,
- die Analyse von Abzweigpfaden, Schwachstellen und der Anlagenauslegung,

– Entwicklung von Auswerte- und Bewertungsverfahren.

Diese Arbeiten sind auch wissenschaftlich-technische Basis für die Entscheidungsfindung und Bewertung von internationalen Sicherungsmaßnahmen. Sie werden im Kernforschungszentrum Karlsruhe, der Kernforschungsanlage Jülich und der Industrie durchgeführt. Ein großer Teil dieser Arbeiten ist auch Bestandteil des lAEO-Unterstützungsprogramms und in das FuE-Programm der ESARDA (European Safeguards Research and Development Association) integriert. Außerdem wird mit der Gemeinsamen Forschungsstelle (GFS), Ispra und dem Department of Energie (DOE) in den USA zusammengearbeitet.

Neben der Kontrolle des spaltbaren Materials auf seinem Weg durch die kerntechnischen Anlagen, die vor allem zu einer frühzeitigen Entdeckung einer Abzweigung führen soll, ist in den letzten Jahren wegen der Gefahr des Übergreifens der weltweit zunehmenden Terror- und Sabotageakte ein ergänzender Schutz des spaltbaren Materials vor solchen Anschlägen getreten. Es ist eine vordringliche Aufgabe, hierfür moderne, sinnvoll den ganzen Brennstoffkreislauf umfassende Schutzsysteme fortzuentwickeln, die bautechnische, elektronische und organisatorische Maßnahmen verbinden. Diese Bemühungen werden grundsätzlich durch die räumliche Integration von kerntechnischen Anlagen, z. B. für den Brennstoffkreislauf, erleichtert.

5.8 Nukleare Sicherheits- und Strahlenschutzforschung

Das Atomgesetz verpflichtet die Antragsteller dafür zu sorgen, daß bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie die erforderliche Vorsorge gegen Schäden getroffen wird. Sie haben darüber hinaus darauf hinzuwirken, daß die Strahlenbelastung des Personals und der Bevölkerung in der Umgebung, unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalls, auch unterhalb zulässiger Grenzen so gering wie möglich gehalten wird.

5.8.1 Übergeordnete Ziele

Staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung zur nuklearen Sicherheit hat in der Vergangenheit maßgeblich dazu beigetragen, die mit der Kernenergienutzung verbundenen Risiken besser zu verstehen, relative Schwachpunkte in den Anlagen zu erkennen und davon ausgehend die Sicherheitstechnik zielstrebig weiterzuentwickeln.

Die Schadensvorsorgegebietetes, bei Kernkraftwerken auch Maßnahmen für extrem unwahrscheinliche Störfälle vorzusehen. Eine laufende Überprüfung der Wirksamkeit dieser Maßnahme muß, da kaum auf Erfahrungen aus Schadensfällen zurückgegriffen werden kann, Aufgabe der Sicherheitsforschung sein. Die Vertiefung des Kenntnisstandes über den Ablauf von Störfällen und Unfällen sowie über die Wirkung von Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen erfordern nach wie vor beträchtlichen Aufwand in der Sicherheitsforschung.

Auch in anderen westlichen Industriestaaten, insbesondere USA, Japan und Frankreich, werden im Rahmen umfassender staatlich geförderter Reaktorsicherheitsforschungsprogramme weiterhin große Anstrengungen zur Weiterentwicklung der Sicherheit kerntechnischer Anlagen unternommen.

Trotz des bisher erreichten-und auch international anerkannten-hohen Sicherheitsstandes kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland darf es auch hier keinen Stillstand in der Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik geben, damit auch bei steigender Nutzung der Kernenergie das Risiko auf dem heutigen niedrigen Niveau gehalten werden kann.

In der Anfangsphase der Kernenergieentwicklung in der Bundesrepublik wurden diese sicherheitstechnischen Untersuchungen insbesondere im Rahmen der Entwicklung von Prototypanlagen durchgeführt. Mit dem Übergang von Prototypen zu kommerziellen Anlagen Ende der sechziger Jahre wurde im Bereich der Leichtwasserreaktoren folgerichtig die Förderung der Sicherheit als eigenständige, prototypunabhängige Aufgabe definiert.

Dagegen müssen die Untersuchungen zur Sicherheit von fortgeschrittenen Reaktorsystemen, wie z. B. Schneller Natriumgekühlter Brüter und Hochtemperaturreaktor, noch weiterhin hauptsächlich im Rahmen der noch nicht abgeschlossenen Prototypentwicklungen durchgeführt werden. Die Bearbeitung von sicherheitstechnischen Aufgabenstellungen bei den Anlagen des Brennstoffkreislaufs sowie im Zusammenhang mit der Stillegung und Beseitigung kerntechnischer Anlagen bleibt ebenfalls vorerst noch überwiegend Teil der jeweiligen Entwicklungsvorhaben.

Aufgabe der Strahlenschutzforschung ist es, die Kenntnisse über das Verhalten von Radionukliden in Umwelt und Organismen sowie über Nachweisbarkeit und Wirkung insbesondere kleiner Strahlendosen zu erweitern. Diese Arbeiten sind nicht nur für die Fortentwicklung von Strahlenschutzmaßnahmen und des Strahlenschutzrechtes wesentlich, sondern auch für die Präzisierung von Risikoaussagen, die im Zentrum der öffentlichen Diskussion um die friedliche Nutzung der Kernenergie stehen.

Die Vorhaben der nuklearen Sicherheit- und Strahlenschutzforschung werden in den Großforschungs-

zentren KFK, KFA, GSF, GKSS, HMI, GFS (Ispra), der GRS, der BAM, den Hochschulen und Industrieunternehmen durchgeführt.

5.8.2 Wichtige Ergebnisse der Sicherheitsforschung

Im Rahmen des bisherigen Teilprogramms „Forschung zur Sicherheit von Leichtwasserreaktoren" konnte bereits eine große Anzahl von Arbeiten zu wichtigen Fragestellungen der Sicherheit abgeschlossen oder weitgehend beendet werden. So können die Untersuchungen zu Kühlmittelverluststörfällen, die durch große Rohrbrüche verursacht werden, auslaufen. Ferner sollen in diesem Zusammenhang auch die experimentellen Untersuchungen im Heißdampf-Reaktor (HDR), die im Rahmen des Projekts „Containment bei Kühlmittelverlust" zur Absicherung der Aussagekraft von umfangreichen Modellversuchen zur Containmentbelastung nach Kühlmittelverluststörfällen initiiert wurden, abgeschlossen werden.

In den Projekten „Komponentensicherheit", „Qualitätssicherung" und „Behälterversagen" ist es durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die zum Teil gemeinsam mit der Industrie gefördert wurden, gelungen, die Zuverlässigkeit und Bruchsicherheit von druckbeaufschlagten Komponenten der Kühlmittelkreisläufe wesentlich zu verbessern. Die hier erzielten Ergebnisse bilden die Grundlage für ein neues von der Reaktorsicherheitskommission akzeptiertes Sicherheitskonzept - „Basissicherheit" -, aufgrund dessen die bisher für die sicherheitstechnische Auslegung von Leichtwasserreaktoren bestimmenden großen Rohrleitungsbrüche weitgehend ausgeschlossen werden können. Die Untersuchungen zum Leistungspotential und zur Ertüchtigung der bisher eingesetzten zerstörungsfreien Werkstoffprüfverfahren, die zur Beurteilung der Sicherheit von Bauteilen herangezogen werden, konnten für ein weites Spektrum der Detektion von Rissen ebenfalls zu einem Abschluß gebracht werden.

Im Projekt „Kernschmelzen" konnten die Arbeiten zum Verständnis von maßgeblichen Phänomenen und Zeitverläufen der Vorgänge in Form von Grenzfalluntersuchungen (Zusammenschmelzen eines völlig ungekühlten Kerns) beendet werden. Im Projekt „Äußere Einwirkungen" konnten die experimentellen Untersuchungen, die zu einer weiteren Klärung der Belastungsvorgänge von Reaktorgebäuden durch Flugzeugabsturz und Gaswolkenexplosion geführt haben, weitgehend abgeschlossen werden.

Im Projekt „Risiko- und Zuverlässigkeit" wurde die Risikostudie, Phase A, abgeschlossen. Sie hat neue Maßstäbe für die Risikoanalyse einer komplizierten Großanlage gesetzt und erstmalig eine Gesamtschau des in deutschen Kernkraftwerken erreichten Sicherheitsstandes und der verbleibenden Risiken vermittelt. Die Ergebnisse stellen heute eine wichtige Basis sowohl für die weitere Ausgestaltung der sicherheitstechnischen Anforderungen im Genehmigungsverfahren als auch für die weitere Schwerpunktsetzung dar.

5.8.3 Schwerpunkte der Sicherheitsforschung

Neben den Ergebnissen der deutschen Risikostudie zeigen auch weltweite Betriebserfahrungen und Analysen von Störfällen, insbesondere die Analyse des Störfalls Three Miles Island (TMI), Fragestellungen auf, die vertiefter, durch Forschung fundierter Antworten bedürfen, um weitere Verbesserungen in den Anlagen zu ermöglichen.

In dem bisherigen Programm standen die Untersuchungen großer Kühlmittelverluststörfälle im Vordergrund. Aufgrund der konsequenten Optimierung der Sicherheitseinrichtungen für diesen extremen Belastungsfall hat sich nunmehr die Situation ergeben, daß weniger spektakulär beginnende Störungen wie kleine Kühlmittelleckagen und Transienten in Kombination mit dem Versagen weiterer Systeme und Fehlern des Bedienungspersonals risikodominant sind. Eine weitere Risikominderung setzt deshalb voraus, daß beginnende Störungen möglichst früh und zuverlässig entdeckt, die Ursache und der wahrscheinliche Verlauf erkannt und die tatsächlich ablaufenden Vorgänge genau verstanden werden. Nur so können in jedem Fall die wirksamsten Gegenmaßnahmen zur Vermeidung einer Ausweitung der Störung und zur Begrenzung der Störfallfolgen getroffen werden. Die Notwendigkeit dieser Arbeiten wird auch deutlich, wenn man an die Aufwendungen zur Störfallfolgenbeseitigung denkt. So werden derzeit die Kosten für die Dekontamination und Abfallbeseitigung des TMI auf etwa 2 Mrd. DM geschätzt.

Die deutsche Risikostudie hat gezeigt, daß bei nahezu zwei Dritteln aller Schadensabläufe, die zu einer Kernschmelze führen können, menschliches Fehlverhalten eine maßgebliche Rolle spielt. Folglich liegt ein Schlüssel zur weiteren Risikominderung in der Reduktion der Fehlermöglichkeiten durch Eingriffe und Handlungen des Bedienungspersonals. In diesem Zusammenhang sind Fragen der Ausbildung des Personals, der Betriebsorganisation und der Ausgestaltung der Schaltwarte und der Bedienungsanweisungen von ausschlaggebender Bedeutung. Die Forschung kann einen wichtigen Beitrag dazu leisten, die Kommunikationssysteme des Mensch-Maschine-Zusammenspiels zu optimieren. Es gilt, das Optimum zu finden zwischen einer weitgehenden Automatisierung von Schutzsystemen zur Verhinderung und Begrenzung von Störungen und der Erhaltung von Handlungsmöglichkeiten für den Operateur, um bei unvorhergesehenen Störfallvarianten Unzulänglichkeiten in der Steuerung der Schutzsysteme erkennen

und selbst wirkungsvolle Gegenmaßnahmen einleiten zu können.

Die theoretischen und experimentellen Forschungsarbeiten zum Ablauf von Störfällen müssen verstärkt auf Systemstörung durch Leckagen und Versagen vom Komponenten sowie Teilsystemen in den Kühlkreisläufen ausgerichtet werden, die durch ungünstige Verkettung von Ereignissen zu einer unzureichenden Kernkühlung führen können.

Nachdem das Konzept „Basissicherheit" vorliegt, stehen nunmehr weiter- absichernde Untersuchungen zum Langzeitverhalten der Bauteile, insbesondere der bereits im Betrieb befindlichen Kernkraftwerke, im Vordergrund. Hierzu ist es notwendig, die auch bei einer durch Langzeitbetrieb verminderten Werkstoffzähigkeit und bei ungünstigsten Lastfällen, z. B. durch Thermoschocks, noch vorhanden sind.

In diesem Zusammenhang gilt es, auch die fernbediente zerstörungsfreie Werkstoffprüfung weiterzuentwickeln. Trotz der aufgrund bisheriger Fördermaßnahmen erzielten Fortschritte zur Detektion ist eine weitere Steigerung der Zuverlässigkeit bei der Bestimmung von Lage und Größe auch kleiner Risse eine vorrangige Aufgabe, wobei insbesondere die Entwicklung geeigneter Meßmethoden vorangetrieben werden soll.

Für eine richtige Bewertung der jenseits der Auslegungsstörfälle verbleibenden hypothetischen Störfälle muß man vor allem den realistischen Ablauf eines möglichen Kernschmelzens bereits vor dem Eintreten des völligen Zusammenschmelzens möglichst genau verstehen. Denn wie aus der Analyse des TMI-Störfalls abgeleitet wird, ist davon auszugehen, daß zunächst partielle und zeitlich begrenzte Kernschmelzprozesse eine Rolle spielen. Daraus folgt, daß bei zukünftigen Forschungsarbeiten der realistische Ablauf typischer Kernschmelzunfälle im Vordergrund stehen muß. Ein besseres Detailverständnis dieser Phänomene, insbesondere der verbleibenden Zeit bis zur Containmentschädigung, ist auch von großer Bedeutung für die Notfallplanung und für eventuelle weitere Maßnahmen zur Reduktion der Folgen derartiger Störfälle.

Im gleichen Zusammenhang kommt auch einer genaueren Kenntnis der Freisetzungsmechanismen von Spaltprodukten deren Transport und Ablagerung im Sicherheitsbehälter sowie ihrer meteorologischen Ausbreitung und Ablagerung in der Umgebung große Bedeutung zu.

Hier bedarf es, wie einige Erkenntnisse aus dem TMI-Störfall gezeigt haben, zusätzlicher experimenteller und theoretischer Untersuchungen.

Im Hinblick auf die Auswirkungen eines Störfalls mit erheblichem Kernschaden und bezüglich der Methoden zur Dekontamination einer derartig beschädigten Anlage können aus den Arbeiten am TMI-Reaktor wichtige Erfahrungen gewonnen werden. Es ist deshalb vorgesehen, durch aktive Mitarbeit an den Dekontaminationsmaßnahmen beim TMI ein Höchstmaß an Erfahrungen und praktischem Nutzen für die Bundesrepublik zu gewinnen.

5.8.4 Wichtige Forschungsaufgaben

Störung der Kernkühlung

Die Untersuchungen der lokalen Kühlbedingungen beim Kernfluten nach großen Rohrbrüchen unter Berücksichtigung der dreidimensionalen thermohydraulischen Vorgänge in realer Geometrie (2D/3D-Notkühlprojekt) sollen im Großversuchsstand zum Abschluß gebracht werden. Die Untersuchungen zum Systemverhalten und zur Kernkühlung bei kleineren Lecks in den Versuchsständen „Loop of Blowdown Investigation (LOBI)" in Ispra und im Versuchsstand „Primärkreisläufe (PKL)" und bei LOFT (Loss- of fluid Test) werden weitergeführt.

Containment

Hier werden abschließende experimentelle Arbeiten im HDR zur Absicherung der Aussagekraft umfangreicher Modellversuche zur Containmentbelastung nach Kühlmittelverluststörfällen durchgeführt. Im Rahmen der Ausweitung der Forschungsarbeit werden theoretische und - falls erforderlich - auch experimentelle Untersuchungen zu Möglichkeiten der Begrenzung der Druckbelastung des Containments nach hypothetischen Störfällen gefördert. Die theoretischen und experimentellen Arbeiten zu Belastung und Folgeschäden durch Brände im Containment und die Entwicklung von Methoden zur Wasserstoffreduktion im Containment nach schweren Unfällen sind wichtige Forschungsaufgaben zur Eingrenzung der Lastfälle bei hypothetischen Unfällen.

Kernschmelzen

Die Untersuchungen zum realistischen Ablauf beginnender Kernschmelzvorgänge bei unzulänglicher Kernkühlung und zum realistischen Ablauf der Containmentzerstörung durch schmelzende Kernmassen bilden wichtige Grundlagen zur Auslotung des risikomindernden Potentials. Im Experiment BETA zur Wechselwirkung zwischen Metallschmelzen und Beton wird die Überprüfung der Modellansätze zur Beschreibung der Einwirkung der Kernschmelze auf den Reaktorbeton und darüber hinaus die Auswirkung auf das Containment untersucht.

Komponentensicherheit

Die Absicherung moderner Bruchsicherheitsstrategien und Quantifizierung der Sicherheitsreserven von Reaktorkomponenten nach Langzeitbetrieb (Komponentensicherheitsprogramm, HDR. Thermoschockversuche) und die Entwicklung und Erprobung neuer Systeme zur zuverlässigen Bestimmung auch kleinster Fehler in Behältern und Bohrleitungen nach Langzeitbetrieb, sowie die Entwicklung von Systemen zur Früherkennung von Fehlern und Störungen sind wichtige Grundlagen zur Erhöhung der Betriebssicherheit von Kernkraftwerken.

Äußere Einwirkungen

Die experimentellen Untersuchungen zu Belastungsvorgängen von Reaktorgebäuden durch Flugzeugabsturz und Gaswolkenexplosion sowie die Auswertung der Ergebnisse zur Verbesserung verfügbarer Rechenmodelle werden zum Abschluß gebracht und die theoretischen und experimentellen Arbeiten zur Belastung sicherheitstechnisch bedeutsamer Bauteile bei extrem starken Erdbeben fortgeführt.

Mensch-Maschine-Zusammenspiel

Zur Optimierung des Kommunikationssystems im Mensch-Maschine-Zusammenspiel werden computergestützte Diagnosehilfen für Operateure zur schnelleren Erfassung von Art, Ursache und wahrscheinlichem Verlauf von Störungen entwickelt und Untersuchungen der Schnittstellen des Zusammenspiels Mensch/Maschine bei Normalbetrieb und Störfall durchgeführt. Ausbildung und Weiterbildung der Operateure werden auf der Grundlage von Tätigkeitsanalysen und Anforderungsprofilen laufend den Erfordernissen angepaßt.

Spaltprodukttransport und Strahlenbelastung

Die Verbesserung der Möglichkeiten zur Verminderung der Strahlenbelastung des Personals bei Wartung und Reparatur bleibt weiterhin ein Forschungsschwerpunkt Die Freisetzung, der Transport und die meteorologische Ausbreitung und Ablagerung risikodominanter Spaltprodukte bei hypothetischen Störfällen bedarf der weiteren Absicherung. Die Untersuchungen zur Funktionstüchtigkeit von Rückhaltesystemen, die der Reduktion der Spaltproduktfreisetzung nach Störfällen dienen, werden fortgeführt. Eine Mitarbeit bei den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur TMI-Dekontaminatiori und Auswertung der praktischen Dekontaminationserfahrungen ist auch weiterhin vorgesehen.

Risiko und Zuverlässigkeit

Die Weiterentwicklung der Methoden, physikalischen Modelle und Datenbasen für Risiko- und Zuverlässigkeitsanalysen und die Verbesserung der Ergebnisse und Minderung der Fehlerbandbreite der Deutschen Risikostudie im Rahmen einer Phase B unter Berücksichtigung erkannter Schwachstellen und neuer Forschungsergebnisse sind wichtige Schwerpunkte.

Planung und Durchführung aller Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erfolgen in enger internationaler Zusammenarbeit. Neben einem engen multilateralen Informations- und Erfahrungsaustausch z. B. im Rahmen der OECD, IAEO, EURATOM, ist insbesondere die bilaterale Zusammenarbeit mit den USA, Japan und Frankreich von großer Bedeutung. Es ist gelungen, durch Arbeitsteilung, Konzentration von Ressourcen in gemeinsamen Projekten und freizügigen Austausch von Ergebnissen den Effekt der im nationalen Rahmen durchgeführten Fördermaßnahmen wesentlich zu steigern.

5.9 Strahlenschutzforschung

Aufgabe der Strahlenschutzforschung ist es, die Strahlenexposition des Menschen durch die verschiedenen natürlichen und zivilisatorischen Strahlenquellen zu erfassen, das damit verknüpfte Gefährdungsrisiko abzuschätzen und die notwendigen technischen Verfahren zur Reduktion der Strahlenexposition zu entwickeln und zu verbessern.

Der Strahlenschutz für die Beschäftigten in kerntechnischen Anlagen soll durch administrative Maßnahmen zur Erhöhung der Reparatur- und Wartungsfreundlichkeit kerntechnischer Anlagen verbessert werden. Für die Analyse der Strahlenexposition in speziellen Bergwerken (insbesondere Urangruben) müssen die Meßtechniken weiterentwickelt werden. Außerdem sollen die Messung und die Erfassung der Strahlenexposition durch Weiterentwicklung der Dosimetrie ionisierender Strahlen (Orts- und Personendosimetrie) und der Inkorporationsüberwachung verbessert werden. Dazu ist auch die Errichtung eines zentralen Personendosisregisters erforderlich. Weiter sollen die Verfahren zur Rückhaltung und Emissionsüberwachung radioaktiver Stoffe entwickelt bzw. verbessert werden. Dies soll durch Untersuchungen zur Rückhaltewirkung von Jodfiltern, durch Ertüchtigung von Filtersystemen für Störfallbedingungen, durch Entwicklung von Verfahren zur Rückhaltung von ^{3}H (Tritium), $1^{4}C$ und ^{85}Kr bei Wiederaufarbeitungsanlagen und durch Verbesserung der meßtechnischen Verfahren zur Emissionsüberwachung, insbesondere von ^{14}C und Aktiniden geschehen.

Die Untersuchungen über das ökologische Verhalten freigesetzter radioaktiver Stoffe sollen fortgesetzt werden, so die Ermittlung von Ausbreitungs- und Ablagerungsparametern in der Atmosphäre, die Wanderung von Radionukliden im Boden und im Grundwasser, die Durchmischung radioaktiver Abwässer in Oberflächen- und Meerwasser, die Über-

führung radioaktiver Stoffe in Lebensmittel und Trinkwasser sowie die Analyse der lokalen, regionalen und globalen Verteilung spezieller langlebiger Radionuklide (^{3}H, ^{14}C, ^{85}Kr, ^{129}J, Aktiniden). Darüber hinaus werden weitere Untersuchungen über die Pfade durchgeführt, auf denen radioaktive Stoffe in den Körper gelangen.

Die Analyse der Strahlenexposition der Bevölkerung durch kerntechnische Anlagen wird weitergeführt Dies soll durch Verbesserung der meßtechnischen Verfahren zur Umgebungsüberwachung, durch Erarbeitung verbesserter Modelle für die relevanten Expositionswege zum Menschen sowie durch Analyse der Individual- und Kollektivdosen im Normalbetrieb und bei Störfällen erfolgen. Dazu sind Untersuchungen zur Notfallschutzplanung und Prognosen der zukünftigen Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Kerntechnik erforderlich.

Aufgenommen in das Programm der Strahlenschutzforschung ist auch die Bearbeitung der speziellen Probleme der Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle.

Zusätzlich sollen Arbeiten über die biologisch-medizinischen Grundlagen des Strahlenschutzes durchgeführt werden, so Untersuchungen der physikalischen und biochemischen Primärprozesse der Strahlenwirkung in Abhängigkeit von der Strahlenqualität, Untersuchungen über die Verteilung radioaktiver Stoffe im Organismus, tierexperimentelle Untersuchungen über das Risiko somatischer Strahlenschäden im Bereich kleiner Strahlendosen, Arbeiten zur Analyse des genetischen Strahlenrisikos, Untersuchungen der synergistischen Effekte durch das gleichzeitige Einwirken von Strahlung und chemischen Schadstoffen, Durchführung epidemiologischer Erhebungen bei Personengruppen mit erhöhter Strahlenexposition sowie die Erarbeitung von Konzepten für die Festlegung von Grenzwerten der Strahlenexposition und der Zufuhr radioaktiver Stoffe zum Menschen.

Diese Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden durchgeführt, um bei der vorgesehenen Ausweitung der Kernenergienutzung den erreichten hohen Strahlenschutzstandard zu erhalten. Das Programm trägt der Tatsache Rechnung, daß Bevölkerungsschutz und Strahlenschutz der Beschäftigten von gleicher Wichtigkeit sind.

Die Vorhaben des Strahlenschutzforschungsprogramms werden in den Kernforschungszentren KfK, KFA, GSF, GKSS und HMI, in Bundesämtern und Bundesanstalten (u. a. Bundesgesundheitsamt, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bundesforschungsanstalt für Fischerei) sowie an Landesanstalten, Hochschulinstituten und der GRS durchgeführt.

6. Fortgeschrittene Reaktoren

Mit dem ersten Energieforschungsprogramm konzentrierte sich die staatliche Förderung auf zwei fortgeschrittene Reaktorlinien: den Schnellen Natriumgekühlten Brutreaktor (SBR bzw. SNR)[8]) und den heliumgekühlten Hochtemperaturreaktor (HTR). Der Brutreaktor wird gefördert, weil mit ihm das auf lange Sicht knappe Natururan etwa 60fach besser ausgenutzt werden kann als mit dem Leichtwasserreaktor, in dessen technisch beherrschten Brennstoffkreislauf er sich einfügen läßt Der Brutreaktor bietet damit die Möglichkeit, die Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland importunabhängig zu machen. Der HTR wird hauptsächlich wegen der nuklearen Hochtemperatur-Prozeßwärme gefördert.

Im Interesse einer möglichst bedarfsgerechten Entwicklung neuer Technologien versucht die Bundesregierung grundsätzlich, eine möglichst frühzeitige und intensive Beteiligung der Wirtschaft zu erreichen. Das erfordert auch eine dem Stand der Entwicklung entsprechende Beteiligung an den Kosten. Daher wird seit Anfang 1981 mit der Energiewirtschaft über eine Erhöhung ihres Anteils an der Finanzierung der Prototypanlagen THTR300 und SNR 300 der fortgeschrittenen Reaktorlinie verhandelt (bisher 1,7% beim THTR 300 und 7,8% beim SNR 300). In Verhandlungen mit den Elektrizitätsversorgungsunternehmen hat die Bundesregierung mit Unterstützung durch die betroffenen Landesregierungen für die Finanzierung des SNR 300 eine grundsätzliche Übereinkunft erzielt

6.1 Hochtemperaturreaktoren (HTR)

In der Bundesrepublik Deutschland wurde die HTR-Entwicklung von Anfang an von der öffentlichen Hand intensiv gefördert. Diese Förderung schloß die Entwicklung und Untersuchung einer Vielzahl verschiedener HTR-Konzepte und -Varianten ein. Dabei stand lange die Stromerzeugung im Vordergrund. Die Entwicklungen wurden im wesentlichen von der Herstellerindustrie und den von Projekt zu Projekt wechselnden Energieversorgungsunternehmen bestimmt Das Ergebnis dieser HTR-Entwicklung ist, daß im Leistungsbereich von 15 MWe bis 1 350 MWe stromerzeugende HTR von der Wirtschaft als baubar und genehmigungsfähig bezeichnet werden. Mit diesem Erfolg der technischen Entwicklung ist die Markteinführung dieser Kraftwerkstechnologie im wesentlichen Sache der Energiewirtschaft geworden.

Seit Mitte der 70er Jahre verlagerte sich das Interesse mehr und mehr vom stromerzeugenden HTR auf die Möglichkeit seiner Nutzung als Quelle nuklearer Prozeßwärme. Als Ergebnis der bisherigen Entwicklung zeigte sich, daß dafür noch die erforderlichen

Materialien, Wärmeauskopplungssysteme und geeignete Verfahrenstechniken (z. B. zur Kohlevergasung bis 950° C) entwickelt bzw. verbessert werden müssen. Auf diesem Wege sind inzwischen Fortschritte erzielt worden.

Ein internationaler Überblick zeigt, daß es seit Ende der 70er Jahre außerhalb der Bundesrepublik kein vergleichbares HTR-Programm mehr gibt. Die USA führen nach dem 1975 gescheiterten Versuch einer Kommerzialisierung des HTR nur noch ein kleines, staatlich gestütztes Programm ohne konkrete Projektvorhaben durch. In Frankreich und Großbritannien wurden trotz der Erfahrungen mit kommerziellen gasgekühlten Reaktoren die Entwicklung von HTR-orientierten Reaktoren eingestellt. In Japan und der UdSSR werden in kleinerem Umfang Forschungsarbeiten mit dem Ziel der Nutzung nuklearer Hochtemperaturprozeßwärme durchgeführt. Das Interesse der schweizer Partner am deutschen HTR-Programm gilt speziellen HTR-Komponenten.

Eine Bestandsaufnahme der bisherigen Hochtemperaturreaktorenentwicklung führte zu dem Schluß, daß eine Neuorientierung der deutschen HTR-Entwicklung erforderlich ist.

Der Bundesminister für Forschung und Technologie und der Minister für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen haben verabredet, gemeinsam ein Konzept für die zukünftige Förderung der HTR-Entwicklung zu finden. Hierzu dienten die Informationstagung „Hochtemperaturreaktor" am 12.01.1981 und das HTR-Statusseminar am 21.09. 1981 in Jülich sowie das Symposium über die Einsatzmöglichkeiten kleinerer Hochtemperaturreaktoren am 13.11.1981 in Düsseldorf.

6.1.1 HTR zur Stromerzeugung

Aufgrund der guten technischen Ergebnisse, die mit dem 15 MWe-Hochtemperaturreaktor (AVR) in Jülich erzielt wurden, wurde1970 die Hochtemperatur-Kernkraftwerk GmbH (HKG) gegründet.[9])

Aufgabe der HKG ist Planung, Finanzierung, Bau und Betrieb eines 300 MWe-Thorium-Hochtemperaturreaktors (THTR-300) als Gemeinschaftskraftwerk. Ziel ist es, die technische und wirtschaftliche Eignung dieser Reaktorlinie für die öffentliche Stromerzeugung zu erproben.

Der THTR-300 ist ein heliumgekühlter Kugelhaufenreaktor mit 750 MW thermischer Coreleistung und 300 MW elektrischer Nettoleistung. Die Brennelemente enthalten hochangereichertes (93%) Uran.

Der THTR-300 wird vom Konsortium THTR[10]) errichtet. Am 29. 0ktober 1971 wurde der Liefervertrag unterzeichnet.

Ursprünglich sollte die Bauzeit für den THTR-300 61 Monate (Kraftwerksübergabe 01.03.1977) betragen, die Kosten wurden bei Baubeschluß auf 673 Mio. DM geschätzt.

Inzwischen ist die Fertigstellung des Primärteils nahezu abgeschlossen, die zugehörige Montage zu etwa 90% durchgeführt.

Im wesentlichen bedingt durch Genehmigungsverfahren und eine Verlängerung der Bauzeit von ursprünglich 61 auf z. Z. 151 Monate (d. h., Kraftwerksübergabe 01. 09.1984) haben sich die Errichtungskosten des THTR-300 auf 3 Mrd. DM erhöht.

Die Finanzierung der gestiegenen Gesamtkosten ist wie folgt vorgesehen:

	Mio. DM	
BMFT	1 694	(57%)
NRW	299	(10%)
Invest. Zulage	274	(9%)
Hersteller	133	(4%)
Betreiber	90	(3%)
Darlehn, bundes- und landesverbürgt		
	3 000	(100%)

Dieses Modell setzt voraus, daß

- der Betreiber sein Stammkapital von bisher 5 0 auf 90MioD M auf stockt,
- die Aufstockung der Bürgschaften von bisher 90 Mio DM auf 510 Mio DM erfolgt,
- die Verhandlungen über eine Aufstockung des Risikobeteiligungsvertrages zwischen Bund und Land NRW einerseits und Betreiber andererseits zu einem befriedigenden Abschluß kommen.

Bei dem vorgesehenen Finanzierungskonzept muß die öffentliche Hand beim heutigen Stand noch Verpflichtungen von rund 500 Mio. DM für die Errichtung eingehen und rund 1 Mrd. DM für Bürgschaften und Betriebsrisiken bereitstellen. Die Bundesregierung strebt an, das Projekt THTR-300 in Schmehausen zum Erfolg zu führen. Der Reaktor soll zügig fertiggestellt und in Betrieb genommen werden.

Das BMFT versucht seit 1980 zusammen mit den Herstellern die Anwendung der vom Staat geförderten HTR-Technologie zu klären. 1980 wurde die Arbeitsgemeinschaft HTR-Projektstudie gegründet (Arge HTR)*). Das BMFT förderte mit rd. 8 Mio. DM den Auftrag der Arge HTR an BBC/KWU, einen großen HTR (900 MWe), zugleich repräsentativ für den Leistungsbereich 600-1 350 MWe, für die kombinierte Erzeugung von Strom und Prozeßdampf zu

entwerfen. Dieser Reaktor sollte weitgehend auf dem THTR-300 auf bauen. Termingerecht legten BBC/KWU zum 31.03.1981 den HTR-900-Entwurf vor. Das Ergebnis der Projektstudie ist, daß Hersteller und Betreiber den HTR-900 für technisch machbar und grundsätzlich genehmigungsfähig halten. Darüber hinaus hat die Herstellergruppe BBC/ HRB im März 1981 bestätigt, daß sie Hochtemperaturreaktoren für alle möglichen Anwendungen und für alle erforderlichen Leistungsbereiche anbieten kann, und zwar bis 100 MWe nach dem AVR-Prinzip 100 bis 450 MWe nach dem THTR-300 Prinzip 450 bis 1 350 MWe nach dem HTR-900-Prinzip.

Auch die KWU-Gruppe hat bei der Durchführung staatlich geförderter FuE- Arbeiten das für den Bau von Kugelhaufenreaktoren nötige technische Wissen erworben. Im Unterschied zu BBV/HRB hat Sich die KWU-Gruppe von Anfang an auf die Anwendung des HTR zur Prozeßwärmeerzeugung konzentriert. Die KWU-Gruppe bereitet sich darauf vor, daß eine Modifizierung des AVR-Prinzips 200 MWth-Module anzubieten, die auch zu größeren Reaktorleistungen zusammengesetzt werden können. [12]

Diese positiven Aussagen gelten für Hochtemperaturreaktoren zur reinen Stromerzeugung oder zur Koppelproduktion von Strom und Prozeßdampf, auf die auch der größte Teil der bisherigen staatlichen Förderung in Höhe von 3 000 Mio. DM entfällt.

Hochtemperaturreaktoren bis 100 MWe, also mit kleiner Blockleistung, zeichnen sich durch reduzierte Leistungsdichte und passive Sicherheitseinrichtung aus und lassen dadurch besonders günstige Sicherheitseigenschaften erwarten. Diese Reaktoren kämen bei kombinierter Erzeugung von Strom und Prozeßdampf (bis 500° C) insbesondere für Anwendungen in kommunalen Energieversorgungsunternehmen (Fernwärme), in der Chemie und bei der Kohleveredelung in Frage. Bisher zeichnete sich in diesen Anwendungsbereichen insbesondere wegen der noch fehlenden Wirtschaftlichkeit kein Einsatz ab.

Hochtemperaturreaktoren im mittleren Leistungsbereich bis 450 MWe verfügen nicht über die günstigeren Sicherheitseigenschaften der kleinen Leistungsklasse und sind entweder bereits zu groß für die oben genannten Anwendungsbereiche oder aber unwirtschaftlich im Vergleich zu größeren Kraftwerken.

Hochtemperaturreaktoren in der Leistungsklasse 450 bis 1 350 MWe müßten zukünftig mit standardisierten LWR der 1 350 MWe-Klasse in der reinen Stromerzeugung konkurrieren.

Angesichts der technischen Reife der HTR-Kraftwerkstechnologie besteht auch nach Ansicht der Hersteller kaum noch Bedarf für eine weitere Förderung von Forschung und Entwicklung. Daher ist jetzt die Energiewirtschaft aufgerufen, über die Anwendung dieser verfügbaren Technologie zu entscheiden. Nachfolgeprojekte zum ANR oder zum THTR 300 müssen von der Wirtschaft getragen werden.

6.1.2 HTR für nukleare Prozeßwärme

Der Einsatz des HTR zur Erzeugung von nuklearer Prozeßwärme (950° C) für die Kohlevergasung könnte es gestatten, im Vergleich zu konventionellen autothermen Kohlevergasungsverfahren aus der gleichen Menge Koh- leetwadie eineinhalbfache Menge an Produktgas zu erzeugen. Bei nuklearer Vergasung würde außerdem die Umweltbelastung erheblich reduziert gegenüber der Belastung bei konventionellen Vergasungsverfahren. Bei steigenden Rohenergiepreisen könnte daraus langfristig ein Kostenvorteil zugunsten der Vergasung von Steinkohle mit nuklearer Prozeßwärme entstehen.

Das Projekt Nukleare Prozeßwärme (PNP)[13]) besteht seit 1975. Das Projekt wird vom Bundesminister für Forschung und Technologie und vom Land Nordrhein-Westfalen gemeinsam finanziell gefördert. Das ursprüngliche Projektziel war die baldige Errichtung und Betrieb einer Prototypanlage für die nukleare Kohlevergasung.

Nach fünfjähriger Projektarbeit steht jetzt fest, daß die Realisierung einer solchen Anlage, deren Kosten 1981 auf etwa 3 Mrd. DM geschätzt wurden, schwierige und risikoreiche FuE-Arbeiten auf den Gebieten Material, Komponenten und Vergasungsverfahren im Umfang von etwa 1 Mrd. DM voraussetzt. Deshalb wird das Material- und Komponenten-Entwicklungsprogramm eine Verstärkung und Konzentration, erfahren. In der KFA Jülich werden die Entwicklungsarbeiten zum nuklearen Wärmeerzeugungssystem des HTR zum Abschluß gebracht und Entwicklungen zur Anwendung der Prozeßwärme verstärkt.

Obwohl die nukleare Prozeßwärme für die Energiewirtschaft nur. eine langfristige technologische Möglichkeit ist, deren kommerzielle Realisierung erst im nächsten Jahrhundert zu erwarten ist, wird auch hier ein frühzeitiges und rechtzeitiges Engagement der Wirtschaft erwartet.

6.2 Brutreaktoren (SBR)

In der Bundesrepublik Deutschland stellt die Entwicklung von Brutreaktoren seit langem das größte Projekt der Energieforschung dar. Ähnliches gilt auch für die Energieforschungsprogramme aller großen Industrieländer (vgl. Tab. 3, 4 und 5, Anhang).

Der Schwerpunkt der deutschen SBR-Entwicklung liegt auch während der Laufzeit dieses Programms neben dem Betrieb der Versuchsanlage KNK-II auf der Errichtung des Prototyp-Schnellbrüterkraftwerks SNR-300. Darüber hinaus werden vorbereitende Arbeiten für große Schnellbrüterkraftwerke gefördert. Die mit der Zusammenarbeit mit Belgien und den Niederlanden beim Bau des SNR-300 begonnene internationale Kooperation soll fortgesetzt werden. Eine besonders enge Kooperation ist mit Frankreich auf Regierungs- und Herstellerseite eingeleitet worden. Elektrizitätsversorgungsunternehmen aus der Bundesrepublik (RWE), Frankreich (EdF) und Italien (ENEL) sind durch Vertrag ein erhebliches Engagement für den Bau von Demonstrationsanlagen großer Leistung eingegangen. Dadurch ist eine Nutzung der Erfahrungen aus dem Betrieb des seit 1974 laufenden 250-MWe-SBR-Kraftwerks „Phénix" und des 1976 begonnenen 1 200-MWe-Kraftwerks „Super-Phénix" möglich. Der Baubeschluß für ein in der Bundesrepublik Deutschland zu errichtendes Demonstrationskraftwerk SNR 2 könnte aus technischer Sicht in der 2. Hälfte der 80er Jahre getroffen werden.

Der Deutsche Bundestag hat sich Vorbehalten, vor der Inbetriebnahme des SNR-300 aufgrund einer Empfehlung der Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergiepolitik" eine Entscheidung zu treffen. Hierzu erwartet der Deutsche Bundestag eine Empfehlung der Kommission noch vor der Sommerpause 1982 des Deutschen Bundestages. In einem Schlußbericht bis zum 31.07.1983 wird die Enquete-Kommission ferner eine Empfehlung generell zur Nutzung fortgeschrittener Reaktorlinien und entsprechenden Technologien des Brennstoffkreislaufs erarbeiten.

6.2.1 Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage II (KNKII)

Entwicklung, Bau und Inbetriebnahme der Versuchsanlage KNK im Kernforschungszentrum Karlsruhe dienten zunächst überwiegend dem Studium der Natriumtechnologie. Die KNK erreichte 1973 erstmals volle Leistung und wurde etwa ein Jahr mit einem thermischen Oxidcore erfolgreich betrieben. In der Version KNK II wurde die Anlage mit einem schnellen UO_2/ PuO_2-Core ausgerüstet, um vermehrte Kenntnisse der Plutonium-Technologie zu erwerben. Durch den Betrieb von KNK II werden seit 1977 zusätzliche Erfahrungen für das Projekt SNR-300 gewonnen. Im Programmzeitraum werden nur die Betriebs- und Versuchskosten anfallen, die im Haushalt der KfK veranschlagt sind.

6.2.2 SNR-300

1972 haben die Bundesrepublik Deutschland, Belgien und die Niederlande die gemeinsame Förderung eines 280-MWe-Prototyp-Kraftwerks mit einem natriumgekühlten Schnellbrutreaktor (SNR-300) beschlossen. Auftraggeber ist die Schnell-Brüter-Kernkraftwerksgesellschaft mbH (SBK)[14]). Auftragnehmer ist die Internationale Natrium-Brutreaktor-Baugesellschaft mbH (INB)[15]). Auftraggeber und Auftragnehmer werden unterstützt von Forschungszentren in den drei Ländern: Kernforschungszentren Karlsruhe (KfK); Centre d'Etudes Nucleaires '(CEN), Mol; Nijverheid-organisatie TNO, ECN Petten.

Der Bau des SNR-300 stützt sich auf dje FuE-Arbeiten in den beteiligten Ländern sowie auf die Erfahrungen mit dem 20-MWe-Versuchskraftwerk KNK II der KfK.

Die Kosten des SNR 300 sind im Jahre 1972 (bei Übergabe an den Betreiber im Jahr 1979) auf 1,535 Mrd. DM geschätzt worden; die heutige Kalkulation geht (bei Übergabe an den Betreiber Ende 1986) von 5 Mrd. DM aus. Hierin sind die schlüsselfertige Errichtung der Anlage und die erste Brennstoffausstattung einschließlich Preissteigerungen bis zur Übergabe enthalten. Die bauzugehörige Forschung und Entwicklung und Plutoniumerst -ausstattung, die in den drei beteiligten Ländern jeweils national finanziert werden, sind in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt (dt. Anteil 365 und 42 Mio. DM).

Das derzeitige Finanzierungskonzept sieht folgende Beteiligung vor:

	Mio. DM	%
BMFT	2 215,0[1]	44,3
Invest.-Zulage	440,0	8,8
Belgien	470,2[2]	9,4
Niederlande	470,2[2]	9,4
Kraftwerk Union	20,0	0,4
Betreiber:		
– SBK[3]	265,5[2]	5,3
– direkte Beiträge weiterer Unternehmen der Elektrizitätswirtschaft	932,1[4]	18,7
– direkte Beiträge weiterer Unternehmen der Elektrizitätswirtschaft	187,0[5]	3,7
	3 000	100,0

Mit der im Herbst 1981 erteilten Teilerrichtungsgenehmigung wurden wesentliche nukleare Komponenten genehmigt. Mitte 1982 wird die letzte Teilerrichtungsgenehmigung erwartet. Danach werden zusätzliche Genehmigungsauflagen für die Errichtung und damit verbundene Terminplanverschiebungen nicht mehr zu erwarten sein.

6.2.3 Weiterführende Brüterentwicklung

Um die Erfahrungsbasis zu verbreitern, schlossen schon im Jahre 1972 drei europäische EVU, nämlich EdF (Frankreich), ENEL (Italien) und RWE (Bundesrepublik Deutschland) eine Konvention, h der vereinbart wurde, je einen Schnellen Brüter von 1 000 MWe oder mehr in Frankreich (Super-Phénix) und h Deutschland (SNR 2) zu errichten. Die internationale Basis der Konvention wurde auf Belgien und die Niederlande erweitert, als das RWE seine Verpflichtungen auf die SBK übertrug.

Dementsprechend wurde für den Super-Phénix die Betreibergesellschaft NERSA[6]) gegründet. Ihr entspricht auf deutscher Seite für Bau und Betrieb des SNR 2 die Gründung der ESK[7]) die Gesellschafter von NERSA und ESK regeln die Finanzierung der beiden Projekte entsprechend ihrer Kapitalbeteiligung. Die Zulieferfirmen werden im Verhältnis der Beteiligung ihrer Mutterländer an den Projekten bei der Vergabe von Aufträgen berücksichtigt. Die Studien zum SNR 2 werden von SBK/ESK finanziert Die weiterführenden Arbeiten konzentrieren sich vor allem auf die Weiterentwicklung des Brennstoffkreislaufs, auf Sicherheits- und Zuverlässigkeit der Anlagen. Hierbei spielen Entwicklung und Langzeiterprobung von Komponenten und Materialien eine besondere Rolle. Daran arbeiten Hersteller und Forschungseinrichtungen mit den entsprechenden Einrichtungen in Frankreich, Belgien und den Niederlanden zusammen.

Die Regierungen Frankreichs und der Bundesrepublik haben im Mai 1976 die Grundlage für eine intensivere Zusammenarbeit auch der Forschungszentren und der herstellenden Industrie geschaffen, die durch ein Vertragswerk der Beteiligten detailliert festgelegt ist. Die auf diese Weise vereinbarte breite europäische Zusammenarbeit wird noch durch vielfältige internationale vertragliche Kontakte erweitert, z. B. mit USA, Japan, Großbritannien.

6.2.4 Brüterbrennstoffkreislauf

Systemnotwendig für den Brüter ist der geschlossene Brennstoffkreislauf, ohne den die besonders gute Uranausnutzung nicht erzielt werden kann. Im Programmzeitraum wird deshalb auch an der Anpassung und Weiterentwicklung der Technologie des LWR-Brennstoffzyklus für die speziellen Erfordernisse der Brutreaktoren gearbeitet. Dabei bietet sich insbesondere die Vertiefung der1976 vereinbarten Zusammenarbeit mit Frankreich an. Diese Arbeiten werden im Kernforschungszentrum Karlsruhe durchgeführt.

6.3 Forschungsreaktoren

Forschungsreaktoren können Tür ein breites Spektrum naturwissenschaftlich-technischer Untersuchungen eingesetzt werden. Forschungsreaktoren werden daher in aller Welt sowohl in Industrie- als auch Entwicklungsländern betrieben, hierunter in vielen Ländern, in denen eine kommerzielle Nutzung der Nukleartechnik zur Energieerzeugung noch nicht in Sicht ist. Viele dieser Reaktorsysteme werden mit hochangereichertem Uran (93% 235U) betrieben. Im Rahmen der internationalen Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs (INFCE) wurde mit breitem Konsens die Schlußfolgerung gezogen, daß zur Verminderung von Proliferationsrisiken der Betrieb von Forschungsreaktoren mit hochangereichertem Brennstoff nach Möglichkeit vermieden werden soll. Abschätzungen zeigen, daß viele Forschungsaufgaben auch gelöst werden können, wenn die Anreiche-

1 Ansatz im Haushalt 1982 bei Kap. 3005, Titel 89211
2 Anteil nach dem ursprünglichen Finanzierungsschlüssel an 3,4 Mrd. DM Gesamtkosten, davon bewilligt jeweils 333 Mio. DM.
3 Schnell-Brüter-Kraftwerksgesellschaft
4 Davon ist über knapp 183 Mio. DM im Jahre 1982 noch abschließend zu verhandeln.
5 Diese indirekten Beiträge entstehen durch Verrechnung von EVU-Beiträgen zu anderen Projekten der Energieforschung.
6 Centrale Nucleaire Euroeene Rapide S.A. Beteiligungen: EdF 51%, SBK 16%, ENEL 33%
7 Europäische Schnellbrüter-Kraftwerksgesellschaft mbH Beteiligungen: SBK 51%, EdF 16%, ENEL 33%

rung des Brennstoffs in Forschungsreaktoren nur ca. 20% beträgt. Die Verwirklichung derartiger Systeme setzt jedoch die Entwicklung neuartiger Brennstoffe und Brennelementfertigungstechniken sowie auch geänderte Reaktorsysteme voraus. Noch während INFCE wurde von der Bundesregierung ein entsprechendes Brennstoffentwicklungsprogramm begonnen.

Diese Brennstoff- und Brennelemententwicklung muß durch die Entwicklung und Demonstration eines entsprechenden Reaktorsystems ergänzt werden. In der Bundesrepublik Deutschland gibt es eine Reihe von Forschungsreaktoren, die durch Nachrüstung in ihrer Leistungsfähigkeit und ihrem Sicherheitsstandard verbessert worden sind. Eine derartige Nachrüstung ist z.Z. für den Forschungsreaktor BER 2 in Berlin vorgesehen. Diese Systeme werden auch weiterhin mit hochangereichertem Brennstoff gefahren werden müssen, weil eine Umrüstung auf diesen neuartigen Brennstoff zu hohe Kosten mit sich bringen würde. Andererseits ist in der Bundesrepublik Deutschland bis auf weiteres der Bau eines neuen Forschungsreaktors nicht geplant. So gab das Interesse Indonesiens an einem derartigen System eine gute Chance, diese Technik zu demonstrieren. Es ist vorgesehen, zusammen mit Indonesien einen derartigen neuen Forschungsreaktor zu errichten, wobei die Entwicklung dieses neuen Forschungsreaktortyps in gewissem Umfang durch FuE-Mittel unterstützt wird.

Eine völlig neue Technik zur Ermöglichung ähnlicher Experimente wie an Forschungsreaktoren eröffnen Hochleistungsprotonenbeschleuniger zur Erzeugung hoher Neutronenflüsse (Spallationsquellen). Die Möglichkeit der Errichtung einer solchen Spallationsquelle in der KFA Jülich wird geprüft.

7. Kontrollierte Kernfusion

Die kontrollierte Kernfusion soll die Energie aus der nuklearen Verschmelzung schwerer Wasserstoffkerne zu Helium nutzen. Um diesen Prozeß in Gang zu setzen und zu unterhalten, müssen genügend dichte Plasmen bei extrem hohen Temperaturen (über 100 Millionen Grad) für einen ausreichend langen Zeitraum erzeugt werden. Ausgangsstoffe für diesen Prozeß sind Deuterium (aus Wasser) und Tritium, das über Neutronenreaktionen aus Lithium gewonnen werden muß. Deuterium und Lithium sind auf der Erde reichlich vorhanden, so daß mit der Kernfusion eine neue Energiequelle erschlossen werden könnte, die ähnlich großes Potential hat wie der Brüter. Im Gegensatz zu diesem Reaktor ist aber bei der Fusion die Realisierbarkeit dieses Potentials noch nicht nachgewiesen. Das liegt vor allem an den enormen Schwierigkeiten, die sowohl beim Verständnis der Physik heißer Plasmen wie auch bei der Entwicklung der Technologie zur Beherrschung solcher Medien bestehen. Obwohl auf diesem Gebiet nunmehr seit etwa 25 Jahren weltweit mit großem Aufwand geforscht wird, und obwohl in den letzten Jahren in der Physik sehr große Fortschritte gemacht worden sind, wird mit einem ersten Demonstrationsreaktor-wenn es wirklich gelingt, ihn zu bauen - frühestens gegen Ende des Jahrhunderts gerechnet. Eine kommerzielle Nutzung der Fusionsenergie ist dementsprechend erst deutlich nach dem Jahr 2000 zu erwarten.

Ein Fusionsreaktor wird, nach allem was heute bekannt ist, ebenso Sicherheits- und Umweltfragen aufwerfen wie die heutigen Spaltungsreaktoren oder andere Anlagen zur Energieerzeugung. Sie sind allerdings anderer, zum Teil neuartiger Natur: beispielsweise wird zwar das radioaktive Inventar eines Fusionsreaktors geringer sein als das eines Leichtwasserreaktors oder eines Brüters, dafür werden aber große Mengen des radioaktiven Tritiums umgesetzt, oder es müssen große Teile radioaktiven Strukturmaterials in kürzeren Abständen ausgebaut und sicher gelagertwerden.Esist wichtig, daß die jötzt schon im Anfangsstadium erkennbaren Sicherheits- und Umweltprobleme bei der Fusion möglichst frühzeitig im Rahmen der Forschungsprogramme bearbeitet werden, da ihre Lösung teilweise längere Zeit beanspruchen wird.

Eine Verschmelzung der Wasserstoffkerne und damit die gewünschte Energiegewinnung tritt nur dann ein, wenn die Plasmen bei entsprechenden Temperaturen und mit genügender Dichte für hinreichend lange Zeit zusammengehalten werden. Sind diese Bedingungen erfüllt (sog. Lawson- Kriterium), unterhält sich der Fusionsprozeß durch die freigesetzte Energie selbst: das Plasma hat dann „gezündet". Dieses Ziel wird auf zwei grundsätzlich verschiedenen Wegen angestrebt: der Trägheitsfusion und der Fusion mit magnetischem Einschluß. Die überwiegenden Anstrengungen zur Fusion richten sich weltweit, und besonders in Europa, auf den magnetischen Einschluß. Hierzu gibt es mehrere Konzepte, wovon der Tokamak dasjenige ist, das bisher am intensivsten untersucht worden ist. Daneben sind vor allem die Spiegelmaschine, der „reversed pinch" und der Stellarator zu nennen. Die Bundesrepublik Deutschland hat auf dem Gebiet des Tokamaks weltweit anerkannte Erfolge erzielt und ist bei den Stellaratoren international führend.

In der Vergangenheit hat sich die Fusionsforschung hauptsächlich auf die Untersuchung der schwierigen und komplexen plasmaphysikalischen Probleme konzentriert mit dem Ziel, die Gesetzmäßigkeiten zu erkennen, die zur Zündung des Plasmas unter kontrollierten Bedingungen führen. Dieses Ziel ist noch nicht erreicht und erfordert weitere, zum Teil größere Experimente. Neben den physikalischen Un-

tersuchungen ist es jetzt aber erforderlich, sich auch wesentlich intensiver als bisher mit den technologischen Problemen zu beschäftigen, die mit der Fusion verbunden sind. Hierzu gehören etwa Materialfragen, Tritiumhandhabung oder Supraleitungstechnik. Beide Bereiche-Plasmaphysik und Technologie-müssen Zusammenwirken, um das Ziel eines Fusionsreaktors erreichen zu können.

Da die Aufwendungen hierfür trotz der noch großen Anwendungsferne sehr hoch sind und die Möglichkeiten einzelner europäischer Staaten überschreiten, wird in Europa ein gemeinsames Fusionsforschungsprogramm im Rahmen von Euratom durchgeführt. Dem Forschungsprogramm haben sich Schweden und die Schweiz angeschlossen.

Das europäische Forschungsprogramm wurde im Sommer 1981 neu strukturiert und von einer Kommission unabhängiger Experten aus Europa begutachtet. Danach wird es sich in den Jahren 1982 bis 1986 auf die Weiterentwicklung des Tokamak konzentrieren und als Alternativen den Stellarator und das reversed-pinch-Konzept untersuchen; daneben sind kleinere Arbeiten zur Trägheitsfusion vorgesehen. Langfristiges Ziel des Programms ist - frühestens gegen Ende des Jahrhunderts - der Bau eines Fusions-Demonstrationsreaktors (DEMO), der aber nicht notwendigerweise ein Tokamak sein muß. Der Weg dorthin soll von dem jetzt in Culham (Großbritannien) im Bau befindlichen Tokamak-Großexperiment JET (Joint European Torus) über nur noch ein weiteres Großexperiment, dem Next European Torus (NET), führen. Mit den Planungen für NET soll schon bald begonnen werden. Mit einem Baubeginn ist aber nicht vor 1990 zu rechnen, da noch wesentliche Ergebnisse der mit JET durchzuführenden Experimente in das Konzept für NET einfließen müssen.

Die Planung von NET dient auch als Ansatzpunkt für die Definition eines umfassenden und kohärenten Fusions-Technologie-Programms, das im Wesentlichen folgende Schwerpunkte enthalten wird: Supraleitungstechnik, Tritiumhandhabung, Fernbedingung, Brutmanteltechnologie und Materialentwicklung sowie Umwelt- und Sicherheitsfragen.

Durch die Entwicklungsschritte JET-NET-DEMO können nicht alle Probleme bearbeitet werden, die sowohl im Bereich der reinen Plasmaphysik wie auch bei der Technologieentwicklung noch gelöst werden müssen. Dazu sind ergänzende, größere Experimente in den Mitgliedstaaten erforderlich.

In der Bundesrepublik Deutschland sind vor allem

- das Tokamak-Experiment ASDEX des IPP, mit dem insbesondere Plasmaaufheizmethoden, Reinhaltung des Plasmas durch Divertoren und Brennstoffnachfüllung untersucht werden. Es ist geplant, dieses Experiment auszubauen („ASDEX-upgrade"), so daß in der zweiten Hälfte der achtziger Jahre die Plasmareinhaltung und die unterschiedlichen Zonen des Plasmas in dem erforderlichen Maßstab untersucht werden können.
- Das Tokamak-Experiment TEXTOR der KFA, das vor allem wichtige Fragen der Plasma-Wand-Wechselwirkung klären soll. Zum Ausbau dieses Instruments ist die Verstärkung der Heizleistung in den nächsten Jahren vorgesehen.
- der Teststand TOSKA des KfK, in dem im Zusammenhang mit der Entwicklung der Supraleitungstechnik große, von KfK entwickelte supraleitende Magnetspulen getestet werden.
- das Stellarator-Experiment Wendelstein VII-A des IPP, das der Entwicklung einer zum Tokamak alternativen Linie dient. Es ist vorgesehen bis Mitte der achtziger Jahre dieses Experiment zum Wendelstein VII- AS auszubauen. Die Anlage wird dann einen vergrößerten Plasmadurchmesser haben und in modularer Weise aufgebaut sein.

Der zunehmenden Bedeutung der Technologie-Entwicklung soll dadurch Rechnung getragen werden, daß vor allem das Kernforschungszentrum Karlsruhe verstärkt technologische Problemstellungen aufgreift bis hin zum Bau entsprechender großer Experimentiereinrichtungen. Hierzu wird in gewissem Umfang auch eine frühzeitige Beteiligung der Industrie auf diesem Gebiet angestrebt.

Neben IPP, KFA und KfK werden auch noch kleinere Aktivitäten zur Kernfusion in der GSI und im HMI durchgeführt.

Außerdem bearbeiten einige Hochschulen plasmaphysikalische Grundlagenprobleme im Zusammenhang mit den Programmen der Zentren. Die DFG hat ein Schwerpunktprogramm „Fusionsorientierte Plasmaphysik" eingerichtet.

Im internationalen Rahmen soll die bestehende Zusammenarbeit mit EURATOM fortgeführt werden. Daneben bestehen mehrere Kooperationen über EURATOM im Rahmen der IEA und der IAEO.

Anhang

Tab. 1: Gesamtaufwendungen für Energieforschung und -entwiCklung im Rahmen des Energieforschungsprogramms (Grundlage: Bundeshaushalt 1982 und zugehöriger Finanzplan)

	1981	1982	1983	1984	1985
2.1.1 Haushalt und Kleinverbrauch	25	13	17	20	23
2.1.2 Industrie	33	41	43	47	55
2.1.3 Verkehr					
2.1.3 - Übergreifende Systemuntersuchungen, Energieversorgungskonzepte	2	10	11	11	16
2.1.3 - Anlagentechnik	5	8	11	13	17
2.1 Anwendungstechnik beim Endverbraucher	65	72	82	91	111
2.2.1 Abwärmenutzung und Fernwärme	49	44	48	54	68
2.2.2 Energiespeicher	16	16	16	16	16
2.2.3 Wasserstoff und Fernenergie	25	24	32	33	33
2.2 Techniken und Verfahren zur Bereitstellung von Sekundärenergie	90	84	96	103	117
2. Neue Technologien zur rationellen Nutzung und Bereitstellung von Energie	155	156	178	194	228
3.1 Neue Kraftwerks- und Feuerungstechnik	68	93	125	152	173
3.2.1 Kohlevergasung	125	166	300	456	672
3.2.2 Kohleverflüssigung	71	123	138	148	163
3.2 Kohleveredelung	196	289	438	604	835
3.3 Lagerstättenerkundung, Bergtechnik, Aufbereitung	139	95	99	105	109
3.4 Untertagevergasung	3	9	7	7	4
3.5 Neue Verfahren zur Gewinnung, Aufbereitung und Speicherung von flüssigen Kohlenwasserstoffen und Erdgas	46	102	108	98	100
3. Kohle und andere fossile Energieträger	452	588	777	966	1221
4.1 Systeme und Konzepte	31	27	28	28	28
4.2 Wärme aus Sonne	23	17	17	19	19
4.3 Strom aus Sonnenenergie	25	58	59	60	61
4.4 Energie aus B iomasse und Abfällen	9	13	14	15	15
4.5 Windenergie	48	29	29	29	29
4.6 Geothermische Energie	12	13	13	13	14
4. Neue Energiequellen	148	157	162	164	166

	1981	1982	1983	1984	1985
5.1 Natururanversorgung und Konversion	7	11	12	12	12
5.2 Urananreicherung	107	121	127	134	132
5.3 Brennelementfertigung	8	10	16	17	18
5.4 Entsorgung mit Wiederaufarbeitung					
5.5 Andere Entsorgungstechniken	283	313	264	267	270
5.6 Beseitigung kerntechnischer Anlagen					
5.7 Spaltstoffflußkontrolle	10	11	12	15	18
5.8 Nukleare Sicherheitsforschung	230	257	266	263	244
5.9 Strahlenschutzforschung	30	32	34	34	34
5. Kernbrennstoffkreislauf und Reaktor-Sicherheitsforschung	657	755	731	742	728
5.1 - HTR 300	118	143	157	150	165
5.1 - HTR-Weiterentwicklung	143	155	126	86	61
6.1 Hochtemperaturreaktoren	261	298	283	236	226
6.1 - SNR 300 233 230 245 299 362					
6.1 - Weiterführende Brüterentwicklung	142	149	151	162	220
6.2 Brutreaktoren	375	379	396	461	582
6.3 Forschungsreaktoren	18	24	14	10	
6. Fortgeschrittene Reaktoren	654	701	693	707	808
7. Kontrollierte Kernfusion	99	100	112	120	128
Programm (Gesamt)	**2183**	**2457**	**2653**	**2893**	**3279**
Darin sind enthalten:					
- institutionelle Förderung (energieforschungsrelevante Aufwendungen der zu 90% vom Bund und zu 10% von den jeweiligen Sitzländern geförderten Forschungszentren)	679	704	659	653	638
- BMI (Strahlenschutzforschung + Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen)	22	56	59	59	59
- BMWi	97	107	217	367	567

Tab. 2: Übersicht über die Entwicklung der Aufwendungen im Sektor Energie (in Mio. DM)

	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
I. nukleare Energieforschung	789	831	924	1079	1004	952	1012	1094	1199
II. nichtnukleare Energieforschung	10	18	110	222	233	267	476	584	614
lll. Fusionsforschung	57	64	76	80	85	71	75	95	94
Zwischensumme FuE	856	913	1110	1381	1322	1290	1563	1773	1907
IV. Kohlehilfen 1)	1240	1693	1965	2088	2707	3571	5273	6875	6303
V. 4,35-Mrd-DMEnergiesparprogramm 2)	-	-	-	-	-	11	414	392	518
VI. Zuschüsse für Fernwärme (ZIP)	-	-	-	-	24	57	78	182	162
VII. Sonstige Hilfen l)	-	-	-	6	9	143	105	112	162

1) umfaßt Verstromungsbeihilfen, Kokskohlenbeihilfe, Sozi,alhilfen für Bergarbeiter, Stillegungshilfen.

2) die Zahlen beinhalten nur die vom Bund und den Ländern je zur Hälfte getragenen direkten Zuschüsse. Die ebenfalls möglichen erhöhten Abschreibungen nach § 82 a EStDV können nur geschätzt werden (1982 vermutlich 200 Mio DM).

3) Markteinführungshilfen (BMWi), Aufklärung und Beratung (BMWi), Einzelmaßnahmen des BML, Zulagen nach § 4 a lnvest.-Zulagengesetz.

Umrechnungsfaktoren für verschiedene Energieeinheiten

	J (= Ws)	KWH	TWa	k cal	t SKE	t Erdöl	bbl (US)	BTU	m^3 NG	mio cbft NG	t Natururan ***)
1 J (= Ws) =	1	$278 * 10^{-9}$	$31,7 * 10^{-21}$	$239 * 10^{-6}$	$34,1 * 10^{-12}$	$23,7 * 10^{-12}$	$173 * 10^{-12}$	$948 * 10^{-6}$	$31 * 10^{-9}$	$1,1 * 10^{-12}$	$1,89 * 10^{-15}$
1 KWh =	3,6 * 106	1	$114 * 10^{-15}$	860	$123 * 10^{-6}$	$85,3 * 10^{-6}$	$624 * 10^{-6}$	$3,41 * 10^{3}$	$112 * 10^{-3}$	$3,94 * 10^{-6}$	$6,83 * 10^{-9}$
1 TWa =	$31,5 * 10^{18}$	$8,76 * 10^{12}$	1	$7,53 * 10^{15}$	$1,08 * 10^{9}$	$747 * 10^{6}$	$5,47 * 10^{9}$	$29,9 * 10^{15}$	$978 * 10^{9}$	$34,6 * 10^{6}$	$60,0 * 10^{-3}$
1 k cal =	$4,19 * 10^{3}$	$1,16 * 10^{-3}$	$133 * 10^{-18}$	1	$143 * 10^{-9}$	$99,2 * 10^{-9}$	$726 * 10^{-9}$	3,97	130* 10′®	$4,59 * 10^{-9}$	$7,94 * 10^{-12}$
1 t SKE =	$29,3 * 10^{9}$	$8,14 * 10^{3}$	$929 * 10^{-12}$	$7 * 10^{6}$	1	$694 * 10^{-3}$	5,08	$27,8 * 10^{6}$	909	$32,1 * 10^{-3}$	$55,6 * 10^{-6}$
1 t Erdöl =	$42,2 * 10^{9}$	$11,7 * 10^{3}$	$1,34 * 10^{-9}$	$10,1 * 10^{6}$	1,44	1	7,31	$40 * 10^{6}$	$1,31 * 10^{-3}$	$46,2 * 10^{-3}$	$80,1 * 10^{-6}$
1 bbl (US) = *)	$5,77 * 10^{9}$	$1,6 * 10^{3}$	$183 * 10^{-12}$	$1,38 * 10^{6}$	$197 * 10^{-3}$	0,137	1	$5,47 * 10^{6}$	179	$6,32 * 10^{-3}$	$10,9 * 10^{-6}$
1 BTU = **)	$1,05 * 10^{3}$	$293 * 10^{-6}$	$33,4 * 10^{-18}$	$252 * 10^{-3}$	$36 * 10^{-9}$	$25 * 10^{-9}$	$183 * 10^{-9}$	1	$32,7 * 10^{-6}$	$1,16 * 10^{-9}$	$2,00 * 10^{-12}$
1 m^3 NG =	$32,2 * 10^{24}$	$8,95 * 10^{18}$	$1,02 * 10^{6}$	$7,7 * 10^{21}$	$1,1 * 10^{15}$	$764 * 10^{12}$	$5,59 * 10^{15}$	$30,6 * 10^{21}$	1	$35,3 * 10^{12}$	$61,3 * 10^{9}$
1 mio cbft NG =	$913 * 10^{9}$	$254 * 10^{3}$	$28,9 * 10^{-9}$	$218 * 10^{6}$	31,1	21,6	158	$865 * 10^{6}$	$28,3 * 10^{3}$	1	$1,73 * 10^{-3}$
1 t Natururan = ***)	$528 * 10^{12}$	$146 * 10^{6}$	$16,7 * 10^{-6}$	$126 * 10^{9}$	$18,0 * 10^{3}$	$12,5 * 10^{3}$	$91,4 * 10^{3}$	$500 * 10^{9}$	$16,3 * 10^{6}$	578	1

*) 1 mio bbl/d ≈ 50 Mio t Erdöl/a R≈ 2 Quad/a

**) British Thermal Unit

1 therm = 10^5 BTU

1 Quad = 10^{15} BTU

1 Q = 10^{18} BTU

(= 1 Quint)

***) ohne Wiederaufarbeitung; bei U- und Pu-Rezyklierung: 23.400 t SKE; bei Nutzung im Brutreaktor /LWR-Zyklus: 1,7 Mio t SKE.

Spezif. Brennstoffverbrauch in off. Wärmekraftwerken 1980: 0,328 t SKE/MWhe

1 m^3 Holz es 0,22 t Erdöl.

Ein 1300-MWe-KKW erzeugt bei 7000 h/a ca. 9 Twe

(das entspricht dem Einsatz von ca. 3 Mio. t Steinkohle)

10^3 : Kilo

10^6 : Mega

10^9 : Giga

10^{12} : Tera

10^{15} : Peta

10^{18} : Exa

3. Energieforschungsprogramm

Vorwort

Das erste und zweite Programm Energieforschung und Energietechnologien haben den Zeitraum von 1977 bis 1988 umfaßt. Sie brachten ein breites Spektrum wichtiger wissenschaftlicher und technischer Ergebnisse und führten zu einer Vielzahl neuer Techniken sowohl zur Energiebereitstellung als auch zur Energienutzung. Berücksichtigt man zusätzlich noch die Erfahrungen, die aufgrund der intensiven internationalen Kooperationen etwa im Rahmen der Europäischen Gemeinschaften oder der Internationalen Energieagentur der OECD gesammelt wurden, so kann man feststellen, daß heute eine breite Basis an Wissen besteht, auf der das hier vorgelegte dritte Programm Energieforschung und Energietechnologien aufbauen kann. Man weiß jetzt, 15 Jahre nach der ersten großen Energiekrise, wesentlich besser, wo langfristig die für unser Land realistischen Optionen für neue und erneuerbare Energiequellen liegen oder welches die Schlüsselprobleme bei der rationellen und sparsamen Verwendung von Energie sind. Auch die Beiträge, die Kohle- und Kernenergie leisten können, sind deutlicher überschaubar geworden als damals. Allerdings haben sich, z.B. was den Aufbau der Kapazitäten an Kernkraftwerken angeht, die Dinge anders entwickelt, als ursprünglich angenommen worden war. Dies vor allem deshalb, weil sich der tatsächliche Energiebedarf als deutlich geringer herausgestellt hat, als 1973/74 erwartet wurde, und nicht zuletzt auch, weil größere Teile der Öffentlichkeit der Kernenergie nach wie vor kritisch gegenüberstehen. Aber auch der Einsatz von Kohle stößt auf deutliche Grenzen, und zwar nicht allein aus wirtschaftlichen Gründen, sondern in zunehmenden Maßen wegen der damit verbundenen Belastung der Erdatmosphäre mit Schadgasen, vor allem Kohlendioxid, die eine Bedrohung für das Klima unserer Erde darstellen.

Die Lösung dieser Probleme stellt die Energiesysteme vor eine neue, ungeheure Herausforderung. Ihre Weiterentwicklung ist zur Existenzfrage mit globaler Dimension geworden. Dies alles ist verwoben mit einer immer verletzlicheren Welt und komplexen, stark vernetzten Zusammenhängen, die zum Teil in das Leben des Einzelnen hinein reichen und Lösungsansätze damit oft schwer durchschaubar machen. Deshalb werden die Diskussionen um diese fundamentalen Fragen auch mit soviel Engagement und teilweise sehr hohen Emotionen ausgetragen. Sie fuhren im Ergebnis manchmal dazu, daß suggeriert wird, man könnte die vor uns liegenden Probleme nicht lösen. Dies ist sicher nicht richtig. Wer mit Besonnenheit die Dinge ansieht, wird entdecken, daß es eine Vielzahl von Techniken gibt, die uns hier weiterbringen, und daß mittel- bis langfristig auch genügend Energieressourcen vorhanden sind, um mit den Problemen, allen voran dem Klimaproblem, im Prinzip fertig werden zu können. Allerdings kann die Zeit nicht mehr lange mit Grundsatzdiskussionen zugebracht werden. Wir müssen vielmehr jetzt rasch damit beginnen, den weiteren Anstieg von CO_2 zu drosseln und zugleich die Grundlagen für die Energiesysteme der Zukunft zu legen.

Dabei muß jedoch mit Realismus vorgegangen werden. Wir dürfen nicht auf Utopien setzen. Dies bedeutet aus meiner Sicht, daß wir keine der Möglichkeiten, die wir haben, um CO_2 zu vermeiden oder zu vermindern, aus ideologischen Gründen außer Acht lassen dürfen. Das gilt vor allem für Energie-Einsparung, das gilt aber auch für Kohle und Öl, sowie für die erneuerbaren Energien und die Kernenergie. Wir benötigen sie alle, um den Energiebedarf einer wachsenden Menschheit sicherstellen zu können, ohne dabei unvertretbare Umweltbelastungen oder irreversible Änderungen unseres Klimas durch den Treibhauseffekt hervorzurufen.

Es ist davon auszugehen, daß der Einsatz der verschiedenen Energiequellen in den Regionen der Welt, unterschiedlich sein wird. So werden die weniger entwickelten Länder wahrscheinlich auch in Zukunft ihren Energiebedarf vorwiegend mit fossilen Energien decken. Umso wichtiger ist es dann, daß die Industriestaaten und andere Länder mit großen CO_2-Emissionen verstärkt Techniken verwenden, die besonders wenig oder gar kein CO_2 emittieren. Denn eine Strategie, die von vornherein die Entstehung klimagefährdender Schadgase vermeidet, ist immer besser als eine, die versucht, bereits eingetretene Schäden abzufangen oder zu vermindern.

Auf Forschung und Entwicklung kommen in dieser Hinsicht besondere Aufgaben zu. Umwelt-, Klima- und Sicherheitsprobleme stehen dabei oben an. Beiträge zu ihrer Lösung zu erarbeiten, damit auch angesichts der neuen Herausforderungen die Sicherheit unserer Energieversorgung weiterhin gewährleistet werden kann, ist deshalb das Hauptanliegen dieses Programms. Es unterstützt damit ebenfalls die energiepolitischen und die energiebezogenen umweltpolitischen Maßnahmen der Bundesregierung.

Dr. Heinz Riesenhuber

Bundesminister für Forschung und Technologie

1. Zusammenfassung

1.1 Zielsetzung des Programms

Die zuverlässige und gesicherte Versorgung mit Energie auf einem insgesamt günstigen Preisniveau hat seit Mitte der 70er Jahre einen besonderen Stellenwert im Denken von Politik, Öffentlichkeit und

Wirtschaft bekommen. Anlaß dafür waren die beiden Ölpreiskrisen und die Sorge um längerfristig weltweit knapper werdende Energieressourcen. Die Bundesrepublik Deutschland als ein Land mit hoher Energieimportabhängigkeit hat hierauf entsprechend reagiert und seither u.a. auch ihre Forschungs- und Entwicklungsprogramme mit dem Ziel angelegt, wesentliche Beiträge zur Erhöhung der Versorgungssicherheit zu leisten Wie in Abschnitt 3 ausführlich dargelegt, waren die Programme sehr erfolgreich und haben unser Land international zu einem viel umworbenen Partner gemacht.

Die Entwicklungen der 80er Jahre lassen heute die Abhängigkeits- und die Ressourcenfrage kurz- und mittelfristig zwar weniger kritisch erscheinen, dafür ist aber inzwischen ein weiteres Problem hinzugekommen, das im Hinblick auf die Sicherstellung der Energieversorgung langfristig noch gravierender sein könnte: Mit der Nutzung fossiler Energien wie Kohle, Erdöl und Erdgas sind Auswirkungen verbunden, die erhebliche Bedrohungen für unsere Umwelt und das Weltklima zur Folge haben. Stichworte sind z.B. der saure Regen und der Treibhauseffekt. Weiterhin sind neue Sicherheits- und in größerem Umfang auch Akzeptanzfragen bei der Nutzung der Kernenergie aufgetreten. Beide Energiearten sind damit mittel- bis langfristig in ihren Nutzungsmöglichkeiten stark eingeschränkt. Da fossile Energiequellen und Kernenergie derzeit aber mehr als 95% unserer Primärenergieversorgung ausmachen, ist damit längerfristig die Sicherung unserer gesamten Energieversorgung gefährdet, falls für die anstehenden Probleme nicht in absehbarer Zeit annehmbare Lösungen erarbeitet werden.

Hierzu durch Forschung und Entwicklung beizutragen, ist das Hauptanliegen des Programms. Es verfolgt dazu eine Strategie mit einem doppelten, sich ergänzenden Ansatz: Es sollen wissenschaftliche Grundlagen, Systemzusammenhänge und neue Techniken erarbeitet werden, damit

a) Primär- und Sekundärenergien auch weiterhin in ausreichendem Maß genutzt werden können unter Berücksichtigung der Anforderungen, die eine zunehmend verletzlichere Umwelt an uns stellt; und damit

b) dafür Sorge getragen werden kann, daß in Zukunft

- so wenig Energie wie möglich verbraucht und dabei
- erheblich geringere Mengen an Treibhausgasen emittiert werden als bisher, ohne dabei für. unser Energiesystem die Flexibilität zu verlieren, die nötig ist, um bisher noch unbekannten Herausforderungen der Zukunft begegnen zu können.

Beide Ansätze enthalten jeweils zwei Komponenten, aus denen sich für das Programm vier Zielsetzungen ergeben:

- Weiterentwicklung der heute vorhandenen Energien, so daß sie als Zukunftoptionen auch langfristig zur Verfügung stehen können.
- Erschließung neuer, CO_2-freier Energiequellen mit langfristig großem Potential. Dies sind nach heutiger Kenntnis die erneuerbaren Energien, Brutreaktoren und die kontrollierte Kernfusion.
- Bereitstellung von neuen- bzw. weiterentwickelten Techniken zur effizienten Energieumwandlung und rationellen Energieverwendung.
- Ausarbeitung von Strategien, um den Ausstoß an klimarelevanten Schadgasen durch unser Energiesystem auf Dauer erheblich zu reduzieren.

Diese vier Zielsetzungen werden durch eine fünfte ergänzt, die aus den Anforderungen resultiert, die die Entwicklungen der Länder der Dritten Welt an uns stellen, nämlich

- dazu beizutragen, daß die Energieversorgung einer wachsenden Menschheit sicher- gestellt werden kann, ohne unvertretbare Umweltschäden oder irreversible Änderungen unseres Klimas hervorzurufen.

Die so angelegte Forschungs- und Technologiepolitik soll sowohl die Energie- als auch die energiebezogene Umweltpolitik der Bundesregierung unterstüzten und ergänzen. Entsprechend dieser Funktion sind die Gewichtungen, die in diesem Programm verschiedenen Techniken gegeben werden, ebenfalls als komplementär und unterstützend anzusehen. D. h. z. B. daß dort, wo derzeit aufgrund früherer Programme genügend Techniken für den unmittelbaren Einsatz bereitstehen, die Förderung und damit das Gewicht zurückgenommen werden konnten (z.B. bei einem Teil der rationellen Energieverwendung oder bei der Nutzung der Kernenergie mit Leichtwasserreaktoren); daß aber dort, wo Langfristperspektiven für neue Optionen bestehen (z.B. bei den erneuerbaren Energien und der Fusionsenergie) deutliche programmatische Schwerpunkte gesetzt werden.

1.2 Programmschwerpunkte

1.2.1 Erneuerbare Energiequellen

In der Bundesrepublik Deutschland haben erneuerbare Energiequellen derzeit einen Anteil von knapp 3% an der Primärenergieversorgung. Den überwiegenden Teil davon stellt die konventionelle Wasserkraftnutzung, deren Potential damit zu mehr als 75 % ausgeschöpft ist. Der Rest besteht großenteils aus der Nutzung von Energie, die bei der Müllverbrennung entsteht. Die übrigen erneuerbaren Energiequellen, wie z.B. die Nutzung der Sonnen- und Wind-

energie zur Stromerzeugung, spielen derzeit praktisch noch keine Rolle. Die Gründe hierfür hegen vor allem in der noch mangelnden Wirtschaftlichkeit. Die Probleme bestehen in den niedrigen Leistungs- und Energiedichten sowie in der Regel in der zeitlich schwankenden Verfügbarkeit. Hieraus ergibt sich ein vergleichsweise hoher Flächen- und Materialbedarf sowie die Notwendigkeit, erneuerbare Energien entweder im Verbund mit anderen Systemen zu nutzen oder Speichereinrichtungen vorzusehen. Dies alles ist mit hohen Investitionskosten pro kW installierter Leistung verbunden.

Eine genauere Betrachtung zeigt, daß es für die Marktchancen der erneuerbaren Energiequellen Unterschiede gibt. Während die Bilanz z.B. für die Stromerzeugung mittels Photovoltaik oder Windrotoren z. Zt. noch wenig positiv ist, aber für die Zukunft größere Anwendungschancen gesehen werden, sieht die Bilanz bei der Bereitstellung von Niedertemperaturwärme, z.B. über passive Solarnutzung, schon heute wesentlich günstiger aus. Der Beitrag erneuerbarer Energien wird hier derzeit schon z.B. durch Doppel- und Isolierverglasung auf etwa 15% des jährlichen Wärmebedarfs aller Gebäude in unserem Land geschätzt. Die Tendenz (Stichworte: Solararchitektur, Wärmepumpen, Schwimmbadheizungen etc.) ist eindeutig steigend.

Die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung für die zukünftige Nutzung der erneuerbaren Energiequellen waren bisher beträchtlich. Seit 1974 wurden in der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen der Energieforschungsprogramme etwa 2 Mrd. DM bereitgestellt. Unser Land gehört damit hinsichtlich der Höhe der Forschungsmittel international zu den führenden Nationen und hat in Europa eine deutliche Spitzenstellung. Mit 18% des gesamten öffentlichen Forschungs- und Entwicklungsbudgets für Energieforschung geben wir anteilsmäßig weit mehr für erneuerbare Energiequellen aus als alle anderen großen Industrienationen. Dies wird auch in Zukunft so bleiben, mit sogar noch wachsender Tendenz, um auch weiterhin ausreichende Mittel zur Verfügung stellen zu können, damit alle erfolgsversprechende Forschungsprojekte adäquat gefördert werden können.

Die Konzeption für die weitere Förderung von Forschung und Entwicklung zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen verfolgt vor allem drei Ansätze:

a) Die Erschließung von Potentialen zur weiteren Kostensenkung bisher entwickelter Techniken, um eine beschleunigte Markteinführung zu erleichtern:
   - z.B. durch große Demonstrationsvorhaben (wie z.B. das 100 MW-Windprogramm) oder
   - durch Übertragung von Ergebnissen anderer Forschungs- und Entwicklungsprogramme (z.B. Biomasse).

b) Die Förderung grundsätzlich neuer Ansätze wie
   - die Dünnschichttechnik oder neue Materialien für die Photovoltaik, oder
   - z.B. die Anwendung neuer Fertigungstechniken für Windkraftwerke, um die mit heutiger Technik begrenzten Möglichkeiten zu erweitern.

c) Die langfristige Entwicklung
   - weiterer Energiequellen wie Geothermie und Teilbereiche der Biomasse,
   - neuer Versorgungssysteme wie Wasserstoff als Sekundärenergieträger in Verbindung mit Solarenergie,

um das Potential der erneuerbaren Energiequellen - auch in Verbindung mit neuen Versorgungssystemen - in voller Breite zu erschließen.

Dies bedeutet z. B. für das Photovoltaikprogramm die Verfolgung folgender fünf Ziele:

- Reduzierung der Produktionskosten photovoltaischer Zellen,
- Erhöhung ihres Wirkungsgrades,
- Intensivierung der Grundlagenforschung, insbesondere bei der photovoltaischen Dünnschichttechnik,
- Verbesserung der photovoltaischen System- und Anwendungstechnik,
- Erprobung photovoltaischer Energieversorgung in Demonstrationsanlagen.

Die solarthermische Stromerzeugung wird vor allem im Hinblick auf ihre Nutzung in Ländern der Dritten Welt weitergeführt. Dabei erfolgt eine Konzentration der Förderung auf Solarfarm-, Paraboloid- und Solarturmkraftwerke.

Ziel des Windenergieprogramms ist es, durch größere Demonstrationsprojekte und Weiterentwicklung von Schlüsselkomponenten die Kosten für Strom aus Windkraftanlagen so zu senken, daß diese erneuerbare Energiequelle Ende des nächsten Jahrzehnts volle Wettbewerbsfähigkeit erreicht. Wesentlich hierfür ist es, daß dann Anlagen unterschiedlicher Leistungsgröße zur Verfügung stehen, die nicht nur einzeln sondern auch im Verbund so betrieben werden können, wie es für eine gesicherte Elektrizitätsversorgung gefordert werden muß.

Entsprechend den großen Möglichkeiten, die in Systemen aus Sonnenenergie und Wasserstoff für die Zukunft liegen könnten, hat die Bundesregierung 1987 einen Sachverständigenkreis um Empfehlungen zur Forschungs- und Förderstrategie zum Thema solarer Wasserstoff gebeten. Unter Berücksichtigung dieser Empfehlungen sind für das Wasserstoff-

Forschungsprogramm folgende sechs Schwerpunkte vorgesehen:

- Verbesserung elektrolytischer Verfahren zur Wasserstofferzeugung,
- photoelektrochemische Wasserstofferzeugung,
- photobiologische Wasserstofferzeugung,
- Brennstoffzellen zur Nutzung von Wasserstoff,
- Untersuchungen zur energetischen Anwendung von Wasserstoff,
- Durchführung übergreifender Systemprojekte.

1.2.2 Rationelle Energieverwendung

Die breit angesetzten Forschungsprogramme früherer Jahre haben inzwischen zu einer Vielzahl von Techniken zur rationellen Umwandlung und Nutzung von Energie geführt, die jetzt für die Anwendung bereitstehen. Um dabei die gewünschten Fortschritte zu erzielen, ist im politischen Bereich nicht in erster Linie die Forschungs- sondern sind andere Politikfelder gefordert. Die weitere Förderung von Forschung und Entwicklung kann sich deshalb auf mittel- bis langfristige Aufgaben konzentrieren, und zwar - ähnlich wie bei den erneuerbaren Energiequellen - auf die

a) weitere Erschließung kostensenkender Energieeinsparpotentiale durch Weiterentwicklung von Schlüssel- und Querschnittstechniken, um die Markteindringung neuer Techniken zu erleichtern;
b) Mitwirkung bei der Umsetzung besonders aussichtsreicher Forschungs- und Entwicklungsergebnisse z.B. im Bereich der kommunalen Energieversorgung durch Aufbau spezieller Beratungs- und Informationssysteme, d.h. fachlich gezielte, flächenhafte Verbreitung von Informationen über jetzt schon vorhandene technische Möglichkeiten;
c) Lösung von Anwendungsproblemen neuer, aus der Grundlagenforschung in anderen Gebieten hervorgehender Techniken und Möglichkeiten.

Die Förderung aufgrund dieser Konzeption setzt besonders dort an, wo Marktanreize und -Strukturen zur selbständigen Lösung von Innovationsproblemen nicht ausreichen, obwohl jenseits hoher Erfolgsrisiken bedeutsame Anwendungspotentiale zu erwarten sind.

Generelles Ziel dieses Programmteils ist es, anhand konkreter Fallbeispiele

a) die Wahlmöglichkeiten und Anpassungsfähigkeiten des Endverbrauchers von Energie, ob als privater, gewerblicher oder kommunaler Investor, zu erhöhen;
b) den Nachweis der grundsätzlich technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit neuer, effizienter Möglichkeiten durch geeignete Referenzanlagen und -verfahren zu führen;
c) die Anpassung von Standards und Normen an die durch Forschung und Entwicklung aufgezeigten Verbesserungsmöglichkeiten zu erreichen.

Mit einem nahezu konstanten Anteil von ca. 45% am gesamten Endenergieverbrauch stellt der Sektor **Haushalt und Kleinverbrauch** noch vor Industrie und Verkehrswesen nach wie vor den größten Verbrauchsposten in der Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland dar. Energieeinsparung und Solaranwendung in diesem Bereich sind daher auch weiterhin ein wichtiger Aspekt dieses Teilprogramms, das sich auf sechs Schwerpunkte konzentriert:

- Entwicklung der transparenten Wärmedämmung bis zur kommerziellen Reife in einem umfassenden Ansatz, der sowohl Grundlagenarbeiten wie angewandte Forschung aus unmittelbarer Praxis umfaßt.
- Passive Nutzung von Sonnenenergie: Dokumentation und Verbreitung des bisher erarbeiteten Wissens zur raschen Umsetzung in die Praxis, Weiterentwicklung von Schlüsselkomponenten.
- Kontrollierte Lüftung im Wohnungsbau: Wärmerückgewinnungstechniken mit neuen Materialien, Luftheizung mit Warmluftkollektoren, Luft-Wärmepumpen.
- Verbesserung herkömmlicher Heizungssysteme.
- Aktive Nutzung von Solarenergie.
- Aufbau von Informationssystemen vor allem für Kommunen und Versorgungsunternehmen über die Ergebnisse der bisherigen Forschung, einschl. der vielen Informationen, die zusätzlich über die Internationale Energieagentur verfügbar sind.

Auf dem Gebiet der **rationellen Energieverwendung in der Industrie** sind inzwischen viele offene Fragen durch Forschung und Entwicklung erfolgreich beantwortet worden, ohne damit feststellen zu wollen, daß alle Probleme gelöst sind. Die staatlichen Programme haben aber eine so breite Basis gelegt, daß Vieles in industrieller Eigenverantwortung weiter verfolgt werden kann. Es bleiben aber einige ausgewählte Schlüssel- und Querschnittsprobleme, die wegen ihrer allgemeinen Bedeutung weiter gefördert werden.

Ein besonders hohes Potential für rationelle Energieverwendung bietet die Nutzung von Abwärme in **Fernwärmenetzen**. Hier sind in der Vergangenheit bereits erhebliche Erfolge erzielt worden, so daß sich die weitere Förderung auch hier wieder auf Schlüsselprobleme beschränken kann.

Im Verkehrssektor sollen bei den Kraftfahrzeugen und im Straßenverkehr folgende Ziele verfolgt werden:

- Reduzierung des Energieeinsatzes,
- Entwicklung neuer Kraftstoffe zur Substitution von Mineralölprodukten (Wasserstoff, Methanol, Ethanol oder nachwachsende Pflanzenöle),
- Verbesserung des Verkehrsablaufs durch die Optimierung des Gesamtsystems „Fahrzeug-Fahrer-Verkehrsinfrastruktur".

Die Förderung von Techniken für die öffentlichen Nah- und Fernverkehrssysteme haben das Ziel, den Anteil der öffentlichen Personenverkehre am Gesamtverkehr durch Steigerung der Attraktivität zu erhöhen und so zu einem niedrigeren Gesamtenergieverbrauch im Verkehr beizutragen.

1.2.3 Nutzungssysteme für südliche Klimabedingungen

Die meisten Entwicklungsländer liegen im Sonnengürtel der Erde. Strom aus Wasserkraft sowie die Nutzung von Brennholz stellen vielfach wichtige Energieträger dieser Länder dar. Mechanische Antriebe und Generatoren auf Dieselbasis haben in den Jahren billigen Öls zwar einen immer größeren Anteil an der Energieversorgung erreicht, leiden heute jedoch an Problemen hoher Ölkosten, ungesicherter Verfügbarkeit aufgrund von Transport- und Devisenproblemen sowie an fehlender Wartung und Reparatur.

Allein das hohe Bevölkerungswachstum in der Dritten Welt führt zu einem rasch steigenden Primärenergieverbrauch dieser Länder. Industrialisierung und Verbesserung der Lebenssituation beschleunigen diesen Anstieg. Dies führt zu einer zunehmenden Ausschöpfung der klassischen Energieträger Wasserkraft und Brennholz und zugleich zu wachsenden ökologischen Problemen, insbesondere zu Bodenerosion und Entwaldung weiter Landstriche.

Ein progressiv steigender Einsatz fossiler Energieträger kann außerdem durch die verstärkte Emission von Treibhausgasen weltweit zu einer Verstärkung der Klimaprobleme führen.

Die Energieversorgung in der Dritten Welt steht zunehmend auch vor logistischen Problemen. Der Leistungsbedarf insbesondere der Dörfer in ländlichen Regionen ist so gering und die Verbrauchseinheiten liegen häufig soweit auseinander, daß die Netzanbindung spezifisch sehr hohe Kosten aufweist. Hinzu tritt eine mangelhafte Verkehrsinfrastruktur, die Transport und Verteilung von Öl und Kohle verteuern und einschränken.

In dieser Situation wird der Einsatz erneuerbarer Energien besonders attraktiv. Sichtworte für die Solarenergie sind hierfür z. B.

- Photovoltaische und solarthermische Trinkwasserpumpen,
- Telekommunikation,
- Photovoltaische Kleinsysteme zur dezentralen dörflichen Energieversorgung,
- Meer- und Brackwasserentsalzung,
- Solarthermische Trockner und Kocher sowie Kühlanlagen,
- Solarthermische industrielle Prozeßwärmegewinnung,
- Integrierte ländliche Versorgungsysteme.

Auch der Einsatz von kleinen Windkraftanlagen für die Stromversorgung von Inselsystemen ist von großem Interesse. Wichtig sind dazu Qualifikationstests für Kleinanlagen und Wind-Diesel-Systeme.

Aufgrund der gesammelten Erfahrungen soll die Zusammenarbeit bei Forschung und Entwicklung zunehmend konzentriert werden auf die bisher erfolgreichsten Kooperationen in wenigen Ländern Asiens und Lateinamerikas sowie auch weltweite Tests neuer Techniken und neuer Systeme unter verschiedenen Klimabedingungen. Diese Vorhaben sollen den in der Bundesrepublik Deutschland erreichten technischen Stand demonstrieren, wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien dokumentieren und Verbreitungshemmnisse in den Partnerländern vermindern.

1.2.4 Kernenergie

Forschung und Entwicklung zur friedlichen Nutzung der Kernenergie ist der älteste Teil des Energieforschungsprogramms. Die sehr erfolgreichen Arbeiten haben mit dazu beigetragen, daß die Kernenergie heute mit ca. 40% neben der Kohle zur wichtigsten Quelle für die öffentliche Stromversorgung geworden ist. Inzwischen hat die Wirtschaft die Verantwortung für die Weiterentwicklung dieser Technik weitgehend selbst übernommen, so daß die finanzielle Förderung der Kernenergie aus öffentlichen Mitteln kontinuierlich abgebaut werden konnte.

Die rückläufige Tendenz, die von 1982 bis 1989 zu einer Rücknahme der Fördermittel auf 40%, bei der reinen Projektförderung sogar auf ca. 30% der früheren Beträge geführt hat, wird sich so nicht fortsetzen lassen. Der Grund hierfür liegt darin, daß die Weiterentwicklung der Kerntechnik - ein natürlicher Vorgang, der sich jetzt nach der langen staatlichen Förderung weitgehend in industrieller Eigenverantwortung vollziehen muß - wegen ihrer Komplexität auch in Zukunft des mitgestaltenden Engagements des Staates durch eigene Forschungsanstrengungen bedarf. Nicht zuletzt der Reaktorunfall in Tschernobyl hat gezeigt, daß besonders die Sicherheit dieser Technik - ob Brütersystem oder thermische Reaktoren - ein Aspekt größter Priorität ist, bei dem der Staat ein hohes Maß an eigener Kompetenz aufwei-

sen muß, wenn er die zukünftigen industriellen Entwicklungen auf ihre Verantwortbarkeit hin beurteilen will. Dies ist auch zunehmend von internationaler Bedeutung: Unsere neuen Abkommen mit der UdSSR und anderen osteuropäischen Staaten haben die Möglichkeit eröffnet, unsere Erkenntnisse und Entwicklungen aus dem Bereich der Sicherheit von Nuklearanlagen auch nach dort hin zu übertragen und so die bereits mit unseren westlichen Nachbarn bestehenden Kooperationen bei der nuklearen Sicherheitsforschung um eine gesamteuropäische Perspektive zu erweitern, mit dem Ziel einer Strategie höchstmöglicher europäischer Sicherheit in der Kerntechnik.

Die inzwischen eingeleiteten Entwicklungen hin zu einem gemeinsamen europäischen Markt haben dazu geführt, daß sich auch im Bereich der übrigen Kerntechnik die Europäisierung fortsetzt: Beim Bau von Reaktoren zeigt sich das sowohl bei der inzwischen erfolgten Ausweitung der westeuropäischen Brüterkooperation auf Großbritannien als auch bei der Zusammenarbeit zwischen der deutschen und der französischen Industrie zur Weiterentwicklung und zum Bau von Leichtwasserreaktoren. Beim LWR-Kernbrennstoffkreislauf ist europäische Kooperation im Bereich der Uran-Anreicherung schon seit langer Zeit üblich. Sie wurde im Sommer 1989 auch auf die Schließung des Brennstoffkreislaufs ausgedehnt: Die deutsche Wirtschaft wird die Nutzung der Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich und Großbritannien ausweiten und als Konsequenz daraus die Pläne für die Errichtung einer eigenen Anlage nicht weiterverfolgen. Es besteht jedoch Konsens zwischen den drei beteiligten Regierungen, daß die Endlagerung radioaktiver Abfälle in nationaler Verantwortung liegt und dementsprechend eigene Anlagen errichtet werden müssen.

Die dafür im Rahmen des Programms vorgesehenen Forschungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfalle gelten weltweit als führend und am weitesten fortgeschritten. Sie entsprechen der konsequenten Realisierung der Forderung, daß solche Abfälle mit sehr hoher Sicherheit von der Biosphäre getrennt bleiben, bis durch den radioaktiven Zerfall die natürlich vorkommenden Aktivitätskonzentrationen wieder erreicht werden.

Mit der Reduzierung der Förderung der Kerntechnik ist auch ein Abbau der entsprechenden Forschungskapazitäten in den Kernforschungszentren verbunden gewesen. Das hat zu einer weitgehenden thematischen Neuorientierung vor allem der beiden großen Zentren in Jülich und Karlsruhe geführt.

Schwerpunkte für die weitere Förderung von Forschung und Entwicklung der Kernenergie sind:

- Reaktorsicherheitsforschung als Vorsorgemaßnahme zur Gewährleistung einer höchstmöglichen Sicherheit.
- Strahlenschutz (in der Zuständigkeit des BMU) zum Schutz der Bevölkerung vor den schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlungen.
- Internationale Sicherungsmaßnahmen für Kernmaterial, um mögliche mißbräuchliche Abzweigungen von spaltbaren Materialien zu verhindern.
- Beseitigung von kerntechnischen Anlagen.
- Begleitende, vorwiegend sicherheitsbezogene Arbeiten für Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs.
- Entsorgung.
- Fortgeschrittene Reaktorsysteme:
  - begleitende sicherheitsbezogene Arbeiten für den SNR300 und den zukünftigen europäischen Brutreaktor;
  - Hochtemperaturreaktoren;
  - begleitende Sicherheitsforschung für neue Reaktorkonzepte.

1.2.5 Fusionsenergie

Ein gemeinsames europäisches Vorgehen war bei der Fusionsforschung bereits von Beginn an im Rahmen von EURATOM gegeben. Hier hat sich inzwischen die internationale Dimension sogar noch wesentlich erweitert. Mit dem sog. ITER-Projekt ist es erstmals gelungen, alle großen Fusionsprogramme der Welt zu einem gemeinsamen Vorhaben zusammenzuschließen. Die Weiterführung des deutschen Fusionsprogramms ist drauf ausgerichtet, die Realisierung dieses Vorhabens oder - falls sich die weltweite Zusammenarbeit längerfristig nicht als tragfähig erweisen sollte - des äquivalenten europäischen NET-Projekts zu unterstützen. Dabei wird auch das weitere Ziel verfolgt, ITER oder NET in internationaler Kooperation in der Bundesrepublik Deutschland zu verwirklichen.

Die Basis für das deutsche Programm wird durch die umfassenden Arbeiten gelegt, die im Max-Plank-Institut für Plasmaphysik in Garching und in den beiden Großforschungseinrichtungen in Karlsruhe und Jülich durchgeführt werden. Sie haben weltweit hohe Anerkennung gefunden und in den letzten Jahren zu mehreren wichtigen wissenschaftlichen Entdeckungen und technischen Entwicklungen geführt, die der Fusionsforschung insgesamt bedeutende Impulse gegeben haben (siehe3.5). Wichtige Voraussetzungen hierfür waren neben der hohen Qualifikation des Personals auch umfangreiche Investitionen in große Experimente und neue Versuchsanlagen.

1.2.6 Fossile Energieträger

Fossile Energieträger werden auch in Zukunft den dominierenden Anteil an der Energieversorgung sowohl der Bundesrepublik Deutschland als auch weltweit stellen. Angesichts dieser Bedeutung sind For-

schung und Entwicklung seit Beginn des Programms mit erheblichen Mitteln gefördert worden. Dies hat zu beachtlichen Erfolgen auf verschiedenen Gebieten geführt: Deutsche Kohletechnik wird heute international als Spitzentechnik angesehen; neue Bergbautechniken haben durch erhebliche Steigerung der Schichtleistungen die Förderkosten für Steinkohle im Vergleich zu 1980 fast konstant gehalten, trotz allgemeiner Kostensteigerungen und der schwierigen Geologie im deutschen Steinkohlebergbau. Auch die Kohleverflüssigung und die Technik zur Gaserzeugung aus Kohle konnten soweit entwickelt werden, daß sie heute für den großtechnischen Einsatz zur Verfügung stehen. Leider ist die Umsetzung in die wirtschaftliche Anwendung unter Verwendung deutscher Steinkohle wegen der gegenwärtigen Bedingungen der Energiemärkte für die Zukunft nicht absehbar. Aufgrund dieser Situation kommt es vor allem bei der Kohleverflüssigung darauf an, ein Abreißen der Entwicklung zu vermeiden, da diese Technik längerfristig - auch im Hinblick auf die Energiesysteme der Länder der Dritten Welt in Verbindung mit preiswerter Kohle auf dem Weltmarkt - ein großes Potential besitzt.

Nach den massiven Förderungen der Vergangenheit, die auf eine rasche Umsetzung und die Bereitstellung eines breiten Spektrums an Techniken zielten, konnte die finanzielle Ausstattung dieses Programmteils inzwischen erheblich zurückgenommen werden. Damit einher ging eine Konzentration auf die Bearbeitung derjenigen Probleme, die langfristig für Forschung und Entwicklung noch bestehenbleiben. Entsprechend den Zielsetzungen des Programms Hegen sie in erster Linie bei der Verringerung der Umweltbelastungen und hier vor allem des Ausstoßes von Schadgasen, die mit der Verbrennung der fossilen Energieträger verbunden sind.

Hauptaufgabe des Programmschwerpunkts fossile Energien ist deshalb die Entwicklung umweltschonender Techniken vorwiegend im Kraftwerksbereich und sonstigen Anlagen zur Verbrennung fossiler Energieträger. Sie sollen so angelegt werden, daß die Anforderungen des Klima- und Umweltschutzes mit wirtschaftlichen Erfordernissen in Einklang gebracht werden können, um so ihr Eindringen in den Markt zu erleichtern und damit den breiten Einsatz neuer Techniken in diesem Bereich zu beschleunigen. Langfristiges Ziel ist dabei nicht sekundäre und nachgeschaltete Techniken zur Beseitigung vorhandener Umweltbelastungen, sondern Spitzentechniken, die den Anforderungen des Klima- und Umweltschutzes schon bei der Konzeption von Anlagen gerecht werden; also Vermeidung statt Beseitigung von Belastungen.

Neben dem zentralen Problem der Umweltbelastungen stellen sich auch für die Zukunft weiterhin Aufgaben aus dem Bereich der Ressourcenbereitstellung fossiler Energieträger. Sie Hegen bei der Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung heimischer Kohle, sowie in der Untersuchung neuer unkonventioneller Gewinnungsmethoden für Kohle, Erdöl und Erdgas.

1.2.7 Klimabeeinflussung durch Energiesysteme

Wissenschaftler, vor allem aus der Bundesrepublik Deutschland, haben seit vielen Jahren auf die Gefahren hingewiesen, die von dem Ausstoß energiebedingter Gase wie CO_2 oder CH_4 wegen des damit verbundenen Treibhauseffektes auf das Weltklima ausgehen können.

Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ hat hierzu eine umfassende Bestandsaufnahme gemacht und das derzeitige Wissen über die Klimaproblematik in einem eindrucksvollen Zwischenbericht zusammengefaßt. Sie hat damit Weltweit Pionierarbeit geleistet und die Basis geschaffen, auf der jetzt weiter aufgebaut werden kann. Die Kommission empfiehlt, die Abgabe von klimarelevanten Gasen an die Atmosphäre - vor allem CO_2 - in den nächsten Jahren weltweit erheblich zu senken. Die Zeiträume dafür sind so, daß für eine verantwortungsbewußte Vorsorgepolitik zügiges Handeln erforderlich ist. Das Problem wird noch dadurch verschärft, daß es sich nicht um eine Aufgabe handelt, die von einer oder mehreren Nationen allein bewältigt werden kann, sondern daß ein weltweit abgestimmtes Vorgehen nötig ist. Hierbei sind jedoch aller Voraussicht nach weder die Interessenlagen der Länder kongruent, noch sind die möglichen Gegenmaßnahmen im nötigen Umfang für alle in gleicher Weise annehmbar oder realisierbar. Angesichts der Größe des Problems kann nicht abgewartet werden, bis weltweite Einigungsprozesse in Gang gekommen sind. Vielmehr muß eine so bedeutende Industrienation wie die Bundesrepublik Deutschland hier beispielhaft vorangehen, ohne dabei jedoch die internationalen Aspekte aus dem Auge zu verlieren.

Die Aufgaben, die sich stellen, kann man derzeit wie folgt kennzeichnen:

a) Festlegung von Mengen und Zeitplänen, nach denen der Ausstoß von CO_2 in der Bundesrepublik Deutschland reduziert werden muß.
b) Erarbeitung einer einheitlichen Datenbasis und einer einheitlichen Bewertung der Potentiale aller uns heute dafür zur Verfügung stehenden technischen Optionen.
c) Erarbeitung von CO_2-Reduktionsstrategien, die die unter a) genannten Vorgaben erfüllen können. Wegen der Bedeutung dieser Aufgabe und wegen der daraus resultierenden möglichen Konsequenzen für alle Bürger unseres Landes, müssen die Ergebnisse der Arbeiten transparent und nach-

vollziehbar sein, damit sie in politisches Handeln umgesetzt werden können.

Neben der Erarbeitung von CO_2-Reduktionsstrategien sollen im Rahmen des Programms auch alle Techniken untersucht werden, die die Erzeugung von CO_2 vermindern oder ganz vermeiden und die die Möglichkeiten bieten können, CO_2 zu beseitigen.

1.3 Internationale Aspekte

Energiefragen haben in vielen Fällen auch eine internationale Dimension. Dies gilt ebenso für Forschung und Entwicklung. Die Gründe dafür liegen nahe:

- Gerade in einem Bereich, wo es um Fortschritte geht und um kreatives Erarbeiten von Neuem, ist eine Befruchtung und Anregung über die Grenzen hinweg stets vorteilhaft.
- Durch Gemeinschaftsprojekte und Programme können die Lasten großer Forschungsvorhaben auf mehrere Länder verteilt werden.
- Kooperation bereits in der Forschungsphase erleichtert die spätere Marktdurchdringung in verschiedenen Ländern auf breiterer Basis.

Durch internationale Zusammenarbeit, d. h. durch Informationsaustausch, Arbeitsteilung in einzelnen Forschungsprojekten und auch im Austausch von Stellungnahmen und Bewertungen zu einzelnen Techniken wird eine rationellere Nutzung der verfügbaren Kenntnisse, Kapazitäten und finanziellen Mitteln ermöglicht.

Die mit der Energieerzeugung und Energienutzung einhergehenden grenzüberschreitenden Auswirkungen auf die Umwelt erfordern besonders im dichtbesiedelten Mitteleuropa, und zwar sowohl nach Westen wie nach Osten, eine enge Kooperation zur Überwachung der Immissionen und zur Durchführung von kurz- und langfristigen Maßnahmen zur Verhinderung und Minderung von Schäden. In diesem Zusammenhang trägt die internationale Zusammenarbeit bei der Energieforschung auch zu möglichst einheitlichen Meßverfahren und Standards bei.

Nach Gesichtspunkten der Zweckmäßigkeit, aber auch aufgrund historischer Entwicklungen hat sich die internationale Zusammenarbeit auf verschiedenen Ebenen etabliert.

Alle Ebenen haben ihren Sinn, sowohl die bilaterale, bei der zwei Länder Forschung- und Entwicklungsprojekte gemeinsam vorantreiben, als auch die multilaterale, bei der mehrere Länder direkt kooperieren. Außerdem gibt es die Zusammenarbeit mit internationalen Einrichtungen. Von besonderer Bedeutung ist die Kooperation im Rahmen der Europäischen Gemeinschaften. Sie hat im Laufe der Jahre die Programme der Mitgliedstaaten in vielen Bereichen aufeinander zugeführt.

Die Europäisierung von größeren Forschungsprogrammen in Westeuropa ist besonders deutlich bei der gemeinsamen Entwicklung der Kernfusion und der Weiterentwicklung des Brutreaktors zu beobachten. Auch die EURER A-Initiative führt zu zahlreichen, sehr effizienten europäischen Synergien.

Eine große Rolle für Energieforschung und -entwicklung spielt die 1974 gegründete Internationale Energieagentur in Paris. Durch ihre Tätigkeit konnte eine sehr effektive Abstimmung der Energieforschungsprogramme faßt aller westlicher Industrienationen erreicht werden. Speziell für die Kernenergie haben auch die Internationale Atomenergieorganisation in Wien und die Internationale Kernenergieagentur der OECD in Paris wichtige Funktionen.

Die politischen Entwicklungen in der UdSSR und in Osteuropa haben inzwischen auch für die Energieforschung neue Perspektiven eröffnet. Dies gilt vor allem für die DDR, deren Energiesysteme weit hinter den heutigen technischen Möglichkeiten zurückliegen. Besonders interessante Ansatzpunkte für Kooperationen bestehen hier z. B. bei Umwelt- und Sicherheitsfragen; aber auch Effizienzsteigerungen und rationelle Energieverwendung sind von großem Interesse. Eine besondere Herausforderung bedeutet die Sicherheit von Nuklearanlagen. Dieses Thema hat eine Dimension, die weit über die DDR hinausgeht und langfristig alle Staaten Europas betrifft (siehe Abschnitt 22.). Es stellt eine wichtige Komponente des hier vorliegenden Programms dar.

Auf die große Bedeutung, die mittel- und langfristig der Energieversorgung der Länder der Dritten Welt zukommt, wurde mehrfach hingewiesen. Sie hat für das Programm besonderes Gewicht.

1.4 Durchführung des Programms

Zur Durchführung des Programms steht das gesamte Instrumentarium der Forschungsforderung zur Verfügung. Der größte Teil der Arbeiten erfolgt in der Wirtschaft, aber auch Hochschulen, Großforschungseinrichtungen und andere wissenschaftliche Institutionen sind beteiligt. In Ergänzung zur rein inländischen Forschung und Entwicklung gibt es zahlreiche internationale Kooperationsprojekte, und zwar sowohl im Bereich multilateraler Institutionen wie auch bilateral mit fast allen führenden Industrienationen und einigen ausgewählten Entwicklungsländern. Starke Bezüge bestehen zu den Programmen der Europäischen Gemeinschaften.

2. Begründung und künftige Ziele der staatlichen Energieforschung

Die Versorgung mit Energie hat in den 70er Jahren zu einem neuen Stellenwert im Denken von Politik, Öffentlichkeit und Wirtschaft geführt. Die Ölpreiskrisen haben das Bewußtsein dafür geschärft, daß Energie prinzipiell erschöpflich und unsere Gesellschaft aufgrund hoher Importabhängigkeiten verletzlich ist. Diese Situation hat sich auch durch die teilweise dramatischen Preisrückgänge beim Energieangebot seit 1986 im Grunde nicht wirklich geändert: Obwohl derzeit festgestellt werden kann, daß die Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland ausreichend gesichert ist und ein insgesamt günstiges Energiepreisniveau besteht, kann nicht ausgeschlossen werden, daß mittelfristig Energie wieder erheblich teurer und die Sicherheit unserer Energieversorgung erneut politisch gefährdet werden kann.

Inzwischen ist ein weiteres Problem hinzugekommen, das die Sicherheit unserer Energieversorgung ebenfalls beeinträchtigen könnte: Mit der gegenwärtigen Art der Energieerzeugung und Energienutzung sind nämlich Auswirkungen verbunden, die erhebliche Bedrohungen für unsere Umwelt und das Weltklima nach sich ziehen. Stichworte sind z.B. der saure Regen und in letzter Zeit verstärkt und mit ständig steigender Bedeutung das sogenannte Treibhausproblem, mit ausgelöst durch zunehmende Emissionen von CO_2, Methan und anderen Schadgasen.

Außerdem sind in immer größerem Umfang Sicherheitsfragen zu beantworten, soweit diese auftreten, damit der Einsatz vorhandener, aber auch der von neuen Energietechniken verantwortbar und für die Bevölkerung akzeptierbar bleibt bzw. wird. Die Stichworte Three Miles Island und Tschernobyl stehen hier als Beispiele für die nach wie vor sehr kontrovers diskutierte Kernenergie. Aber andere Energiesysteme sind ebenfalls nicht frei von Sicherheitsbedenken, Umweltproblemen und Akzeptanzfragen.

Um diesen neuen Herausforderungen zu begegnen, verfolgt das Programm eine Strategie mit einem **doppelten, sich ergänzenden Ansatz:** Es sollen wissenschaftliche Grundlagen, Systemzusammenhänge und neue Techniken erarbeitet werden, damit

1. Primär- und Sekundärenergien auch weiterhin in ausreichendem Maß genutzt werden können unter Berücksichtigung der Anforderungen, die eine zunehmend verletzlichere Umwelt an uns stellt, und damit
2. dafür Sorge getragen werden kann, daß in Zukunft
   - so wenig Energie wie möglich verbraucht und dabei
   - erheblich geringere Mengen an klimarelevanten Schadgasen emittiert werden als bisher,

   ohne dabei für unser Energiesystem die Flexibilität zu verlieren, die nötig ist, um bisher noch im bekannten Herausforderungen der Zukunft begegnen zu können.

Beide Ansätze enthalten jeweils **zwei Komponenten**: Mit dem **ersten** sollen die vorhandenen Energiequellen weiterentwickelt und neue zusätzliche Energiequellen erschlossen werden. Mit dem **zweiten** Ansatz soll zum einen die Entwicklung von Techniken und Systemen zur sparsamen und rationellen Verwendung von Energien vorangebracht werden; und zum anderen sollen Konzepte erarbeitet werden, mit denen die Emissionen der Klima-Schadgase auf Dauer erheblich reduziert werden können.

Aufgrund dieser Strategie ergeben sich die ersten **vier** der nachfolgend beschriebenen **Ziele** des Programms. Sie werden ergänzt um ein **fünftes Ziel**, das aus den Anforderungen resultiert, die die Entwicklungen der Länder der Dritten Welt an uns stellen.

Die so angelegte Forschungs- und Technologiepolitik soll sowohl die Energie- als auch die energiebezogene Umweltpolitik der Bundesregierung unterstützen und ergänzen. Entsprechend dieser Funktion sind die Gewichtungen, die in diesem Programm. verschiedenen Techniken gegeben werden, ebenfalls als komplementär und unterstützend anzusehen. D. h. z. B. daß dort, wo derzeit aufgrund früherer Programme genügend Techniken für den unmittelbaren Einsatz bereitstehen, die Förderung und damit das finanzielle Gewicht zurückgenommen werden konnte (z. B. bei einem Teil der rationellen Energieverwendung oder bei der Nutzung der Kernenergie mit Leichtwasserreaktoren); daß aber dort, wo Langfristperspektiven für neue Optionen bestehen (z.B. bei den erneuerbaren Energien) deutliche programmatische Schwerpunkte gesetzt werden.

Entsprechend der vorher skizzierten Strategie ist es das **Erste Ziel des Programms:** die heute vorhandenen Energiequellen so weiter zu entwickeln, daß Umwelt- und Sicherheitsfragen keine Hinderungsgründe für ihre langfristige Nutzung sind; d.h. sie sollen als Zukunftsoptionen voll zur Verfügung stehen und so eingesetzt werden können, wie es dem Meinungsbildungsprozeß in einer freiheitlichen Demokratie entspricht. Als Stichworte für den Bedarf an Forschung und Entwicklung seien hierfür genannt; Verbesserung der Wirkungsgrade bei der Nutzung fossiler Energien (z.B. Kohlekraft- werk-2000), neue Techniken zur Kohlegewinnung, Kohleveredelung; nukleare Sicherheitsforschung, Safeguards und Strahlenschutz, Entsorgung der Leichtwasserreak-

toren, Weiterentwicklung thermischer Reaktoren; Techniken zur Reduktion, Vermeidung (z. B. neue Sekundärenergieträger wie Wasserstoff) und evtl. Beseitigung klimarelevanter Schadgase.

Neben den Klima- und Umweltproblemen, die wahrscheinlich wohl weiter die beherrschenden Themen

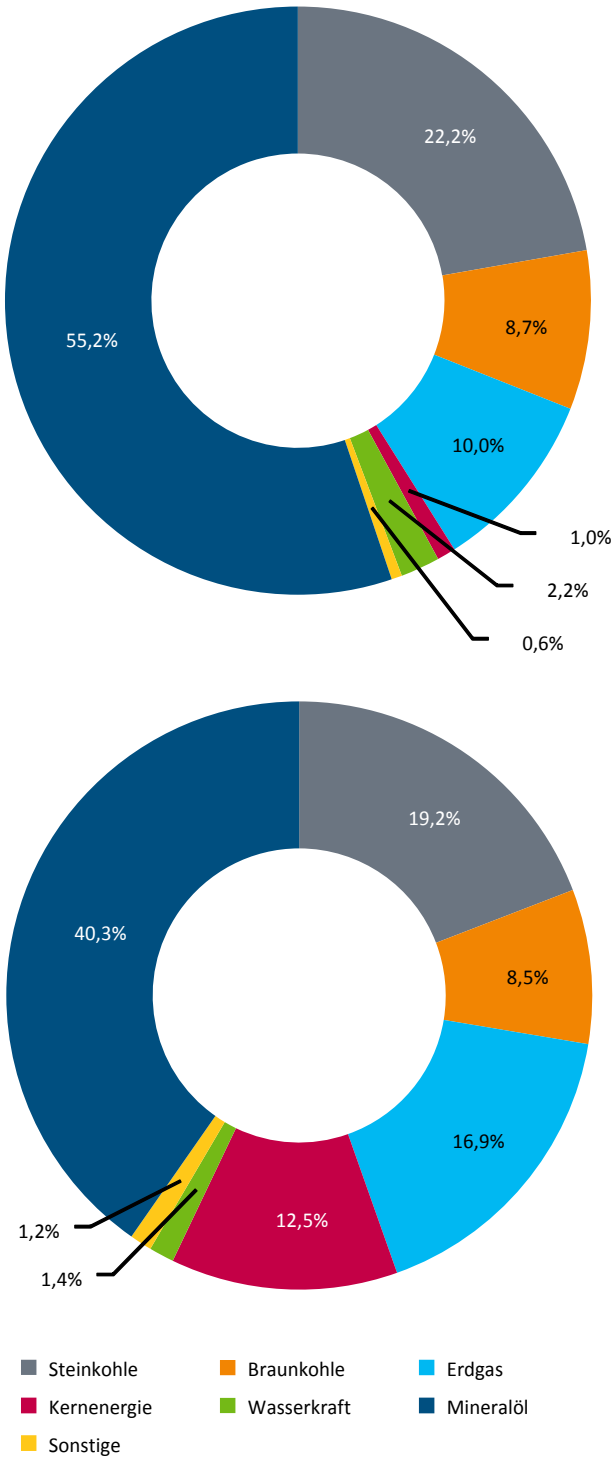


Abb. 1: Primärenergieversorgung Bundesrepublik Deutschland

der 90iger Jahre und damit von erheblichem Einfluß auf die Sicherheit der Energieversorgung sein werden, bleibt eine wichtige Aufgabe der Politik, zu starke Abhängigkeiten unserer Energieversorgung zu vermeiden. Hierzu tragen eine breite Streuung der Energieträger und der Energiequellen bei.

Daraus ergibt sich als **Zweites Ziel des Programms**: durch Forschung und Entwicklung dazu beizutragen, daß zukünftigen Generationen neben den jetzt schon bestehenden Energiequellen neue, umweltverträgliche und CO_2-freie Ressourcen mit langfristig großem Potential zur Verfügung stehen, so daß sie erweiterte Wahlmöglichkeiten für eine Diversifizierung ihrer Energieversorgung haben.

Dafür gibt es nach heutigem Wissensstand drei Optionen: erneuerbare Energiequellen, Brütersysteme und die kontrollierte Kernfusion.

a) Erneuerbare Energiequellen

Aufbauend auf den Erfahrungen, die in den letzten 15 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland und in den übrigen Industrienationen der westlichen Welt gesammelt wurden, sollen Forschung und Entwicklung so vorangetrieben werden, daß die für unser Land besonders aussichtsreichen Optionen so bald wie möglich für einen breiten Einsatz zur Verfügung stehen. Hierzu gehören vor allem Photovoltaik, Windenergie, Biomasse und Erdwärme, die die heute schon verwendeten Energiequellen wie Wasserkraft, Müllverbrennung oder passive Solarnutzung zu einer verbreiterten Palette erneuerbarer Energien ergänzen können. Obwohl im Bereich Sonnenenergie und Windkraft ein zunehmendes, erhebliches Engagement der deutschen Wirtschaft zu verzeichnen ist, bleibt staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung weiterhin notwendig. Sie dient zum einen zielgerichteter Grundlagenforschung und zum anderen dem Anliegen, daß die Forschung auch wirklich in der Breite ansetzt, wie es für diese jungen Techniken noch notwendig ist. Dafür werden im Rahmen dieses Programms auch weiterhin ausreichende Mittel zur Verfügung gestellt, damit erfolgversprechende Forschungsprojekte adäquat gefördert werden können.

b) Brutreaktorsysteme

Ähnlich wie die erneuerbaren Energiequellen bieten auch Brutreaktoren ein Potential praktisch unerschöpflicher Energie, das zudem noch von klimatischen oder geographischen Besonderheiten unabhängig ist: Mit der Brutreaktortechnik kann ein Energiepotential erschlossen werden, das um ein Vielfaches größer ist als das aller fossilen Energiequellen zusammengenommen. Wegen der großen energiepolitischen Bedeutung, die Brütersysteme deshalb in der Zukunft erlangen können, haben sich

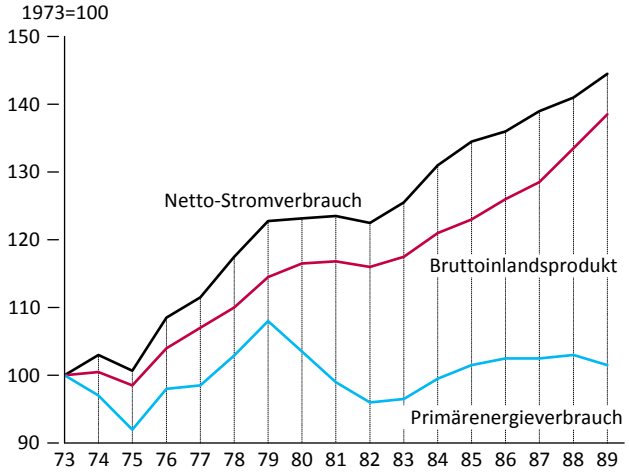


Abb. 2: Bruttoinlandsprodukt, Primärenergieverbrauch und Netto-Stromverbrauch (Index 1973 = 100)

Industrie und Forschungseinrichtungen sowie in verschiedenen Gruppierungen auch Elektrizitätsversorgungsuntemehmen in Westeuropa zusammengeschlossen, um diese Technik einschließlich der Schließung des zugehörigen Brennstoffkreislaufs gemeinsam weiter zu entwickeln. Ziel ist es, einen Sicherheitsstandard zu entwickeln, der von allen teilnehmenden Staaten akzeptiert werden kann. Wegen dieser westeuropäischen arbeitsteiligen Kooperation kann die nationale staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung im Vergleich zu den früheren Ansätzen erheblich zurückgenommen werden und sich auf begleitende FuE-Arbeiten mit den Schwerpunkten Sicherheit und Zuverlässigkeit - auch für Anlagen des zugehörigen Brennstoffkreislaufs - beschränken.

c) Kontrollierte Kernfusion

Die kontrollierte Kernfusion hat ein Potential, das vom Umfang her den beiden vorher erwähnten Energiequellen gleichkommt. Der Entwicklungsstand liegt jedoch im Vergleich dazu noch weit zurück. Dies hat physikalische Gründe: im Vergleich zur Kenntnis physikalischer Gesetzmäßigkeiten, wie sie für die Nutzung regenerativer Energiequellen oder der Kernspaltungsenergie benötigt wird, gehört die Theorie der Plasmen zu den kompliziertesten Gebieten, die es in der Physik gibt. Obwohl in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte und unerwartete, bedeutende Erkenntnisse in der Forschung erzielt wurden, bleibt der Zeitpunkt für einen realen Einsatz dieser Energiequelle für die Energieversorgung weiter offen. Trotz dieser Unsicherheit soll die Entwicklung wegen des großen Potentials dieser Energiequelle weiterverfolgt werden; dies aber nicht national isoliert, sondern weiterhin als Teil des umfassenden europäischen Fusionsprogramms, das im Rahmen von EURATOM koordiniert, gesteuert und zu einem großen Teil mitfinanziert wird. Die Erforschung der kontrollierten Kernfusionen bleibt damit Bestandteil der Politik staatlicher Langzeitprogramme und Daseinsvorsorge.

Die zurückliegende Entwicklung in allen Industrienationen hat gezeigt, daß es unumgänglich ist, Energie wesentlich effizienter umzuwandeln und rationeller zu nutzen als es heute noch geschieht. Dies dient nicht nur der Steigerung der Versorgungssicherheit, sondern trägt auch erheblich zur Ressourcen- und Umweltschonung bei.

Es ist deshalb **Drittes Ziel des Programms:** durch Forschung und Entwicklung dazu beizutragen, daß in der Bundesrepublik Deutschland die Entwicklung zu einem möglichst effizienten und auch auf unvorhergesehene Ereignisse flexibel reagierendes Energieversorgungs- und Nutzungssystem weiter vorangetrieben werden kann.

Hier sind zwar schon erhebliche Erfolge erzielt worden (s. Kapitel 3), aber die Möglichkeiten sind bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Um weiter zu kommen, müssen u.a. neue Techniken, die aufgrund der breiten Forschungsansätze der letzten Jahre entwickelt worden sind, verstärkt zur Anwendung gebracht werden. Die Verantwortung dafür liegt zwar jetzt vorrangig bei den Nutzem und Umwandlem von Energie und anderen Feldern der Politik. Die staatliche Forschungsforderung muß jedoch dadurch flankierend und unterstützend wirken, daß sie

- **erstens** die Weiterentwicklung von Schlüssel- und Querschnittstechniken mit dem Ziel unterstützt, durch Kostensenkungen das Eindringen der neuen Techniken in den Markt zu beschleunigen. Beispiele hierfür sind Superisolationen, Absorptionswärmepumpen oder transparente Wärmedämmungen.

- **zweitens** die fachlich gezielte, flächenhafte Verbreitung von Informationen über die bisher entwickelten Techniken vorantreibt. Dabei sollen auch die zahlreichen Kenntnisse mit einbezogen werden, die aufgrund internationaler Kooperationen z. B. im Rahmen der Europäischen Gemeinschaften oder der Internationalen Energieagentur bei der OECD aus den Programmen anderer Länder zugänglich sind.
  Als wichtige **dritte** Aufgabe bleibt die mittel- bis langfristige technische Weiterentwicklung dieses Gebietes bestehen. Hierbei kann jedoch aufgrund des-inzwischen geschaffenen hohen Entwicklungsstandes eine Konzentration vorgenommen werden, und zwar auf

- die Lösung von Anwendungsproblemen für neue, zum Teil aus der Grundlagenforschung in anderen Gebieten hervorgegangenen Techniken und Möglichkeiten, wie z.B. Supraleitung, Hochtemperatur-

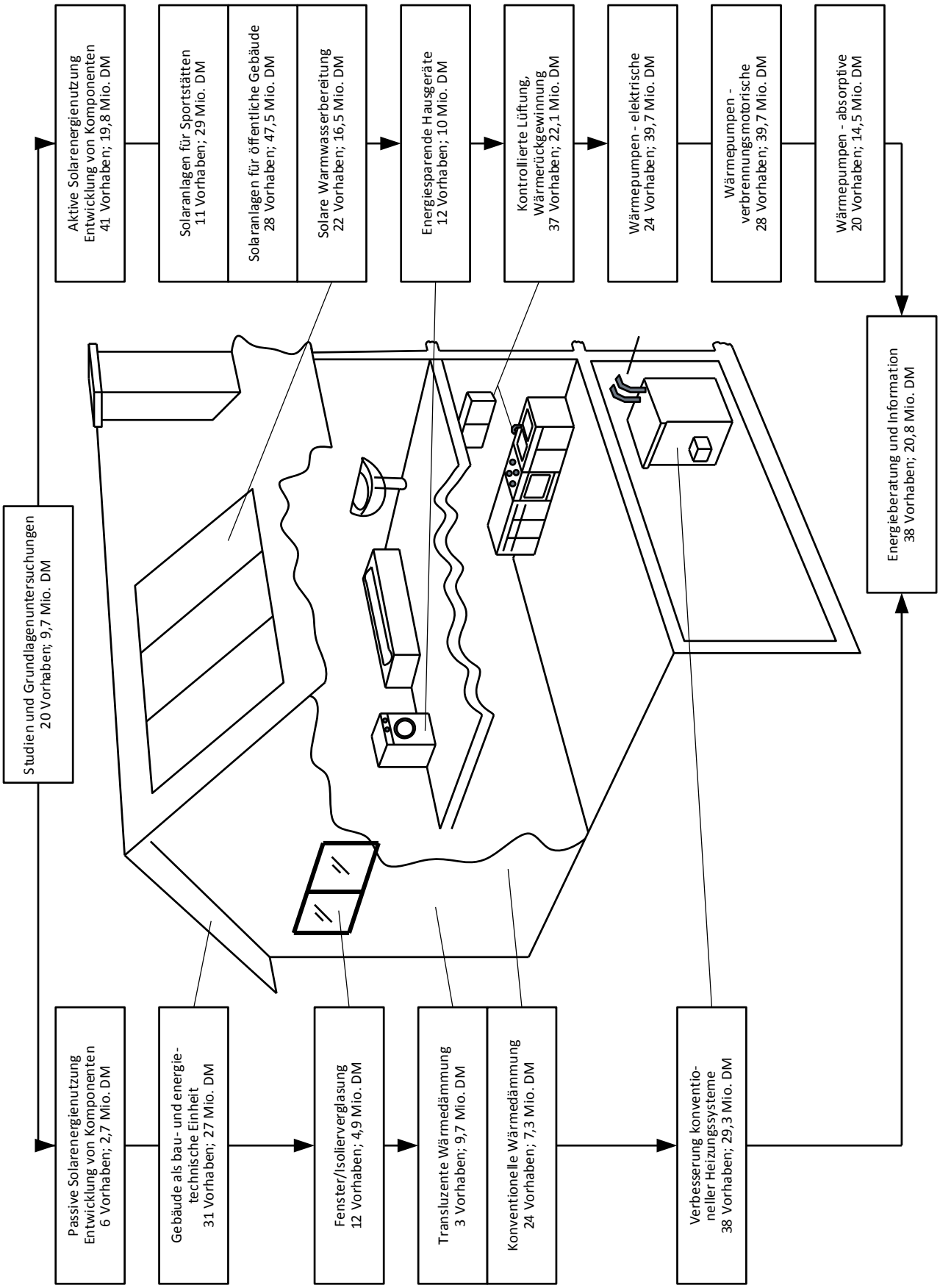

Studien und Grundlagenuntersuchungen
20 Vorhaben; 9,7 Mio. DM
Aktive Solarenergienutzung
Entwicklung von Komponenten
41 Vorhaben; 19,8 Mio. DM
Solaranlagen für Sportstätten
11 Vorhaben; 29 Mio. DM
Solaranlagen für öffentliche Gebäude
28 Vorhaben; 47,5 Mio. DM
Solare Warmwasserbereitung
22 Vorhaben; 16,5 Mio. DM
Energiesparende Hausgeräte
12 Vorhaben; 10 Mio. DM
Kontrollierte Lüftung,
Wärmerückgewinnung
37 Vorhaben; 22,1 Mio. DM
Wärmepumpen - elektrische
24 Vorhaben; 39,7 Mio. DM
Wärmepumpen -
verbrennungsmotorische
28 Vorhaben; 39,7 Mio. DM
Wärmepumpen - absorptive
20 Vorhaben; 14,5 Mio. DM
Energieberatung und Information
38 Vorhaben; 20,8 Mio. DM
Passive Solarenergienutzung
Entwicklung von Komponenten
6 Vorhaben; 2,7 Mio. DM
Gebäude als bau- und energie-
technische Einheit
31 Vorhaben; 27 Mio. DM
Fenster/Isolierverglasung
12 Vorhaben; 4,9 Mio. DM
Transluzente Wärmedämmung
3 Vorhaben; 9,7 Mio. DM
Konventionelle Wärmedämmung
24 Vorhaben; 7,3 Mio. DM
Verbesserung konventio-
neller Heizungssysteme
38 Vorhaben; 29,3 Mio. DM

Abb. 3

keramik, Mikroelektronik oder Speichertechniken unterschiedlicher Art mit neuen Materialien. Nachdem durch umfangreiche staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung für rationelle Energieverwendung ein breiter Innovationsschub ausgelöst worden ist, kann der Staat sich auf diesem Gebiet nunmehr grundsätzlich auf subsidiäre Förderung beschränken. D.h., er fördert gute Ideen und Ansätze vor allem dann, wenn Risiken und Finanzierungslasten zu groß sind, als daß sie in industrieller Alleinverantwortung erforscht und erprobt werden könnten.

Innerhalb der Wissenschaft besteht heute Konsens darüber, daß die zunehmenden Emissionen treibhausrelevanter Gase eine Bedrohung für das globale Klima darstellen. Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ erarbeitet hierzu eine umfassende Bestandsaufsnahme und hat bereits einen eindrucksvollen Zwischenbericht vorgelegt. Sie hat damit weltweit Pionierarbeit geleistet. Die Kommission empfiehlt in Übereinstimmung mit mehreren internationalen Konferenzen, die Abgabe von Treibhausgasen - vor allem CO_2 - in den nächsten Jahren erheblich zu senken.

Da die Energieerzeugung einen wesentlichen Anteil dieser Gase verursacht, ist es das **Vierte Ziel des Programms:** umfangreiche, alternative Strategien zu erarbeiten, um den Ausstoß energiebedingter klimarelevanter Schadgase durch unser Energiegesamtsystem erheblich zu reduzieren bzw. langfristig soweit zu senken, daß keine Klimagefahrdung mehr von ihnen ausgehen kann.

Ansatzpunkte und Basis dafür können vor allem die Aussagen und Arbeitsergebnisse der Enquête-Kommission liefern Angesichts der Dimension des Problems können solche Studien nicht auf die Bundesrepublik Deutschland allein beschränkt bleiben, sondern müssen weltweit angegangen werden Da jedoch nicht beliebig Zeit zur Verfügung steht, kann nicht abgewartet werden, bis ein solches globales Vorgehen realisiert wird. Vielmehr sind schon jetzt Initiativen zu ergreifen, damit zumindestens die großen Energieverbraucher wie die Industrieländer, aber auch Staaten wie die UdSSR energisch vorangehen und alle technisch-wirtschaftlichen sowie politisch realistischen Wege ausloten, um so schnell wie möglich ihren Beitrag zur Lösung des Klimaproblems zu leisten. Das inzwischen angesammelte Wissen gibt hierfür erstmals eine Basis ab, wie sie in früheren Jahren nicht bestanden hat.

Betrachtet man die Energiesituation nach heutigem Kenntnisstand nicht allein aus nationaler Perspektive, sondern weltweit, so wird deutlich, daß eines der drängendsten Probleme, das vor uns hegt, die Energieversorgung der Länder der Dritten Welt sein wird. Es könnte das dominierende Thema der Energiepolitik für den Übergang ins nächste Jahrtausend werden. Während fast alle großen Industrienationen schon seit längerer Zeit kaum noch ein Wachstum beim Primärenergiebedarf zeigen und teilweise sogar Stagnation aufweisen, sieht das bei den Entwicklungsländern anders aus. Ihr ständig wachsender Bedarf an Primärenergie hat seine Ursache sowohl in den stetig ansteigenden Bevölkerungszahlen als auch in einer - zum großen Teil immer noch sehr bescheidenen - Hebung des Lebensstandards. Nach realistischer Einschätzung wird der überwiegende Anteil dieses und des bereits bestehenden Bedarfs kurz und mittelfristig durch fossile Energieträger gedeckt werden, selbst wenn man unterstellt, daß es auch in diesen Ländern zu einer umfassenderen rationelleren Nutzung von Energie kommt als bisher. Der dadurch hervorgerufene, weiter steigende Ausstoß von CO_2 und anderen Schadgasen wird das Klimaproblem erheblich verschärfen. Wenn dem begegnet werden soll, müssen - zusätzlich zu einem überproportionalem Abbau des, CO_2-Ausstoßes der Industrieländer - mit aller Kraft die Techniken weiterentwickelt werden, die helfen, ein weiteres Ansteigen von CO_2 durch Energieerzeugung und Energienutzung in den Entwicklungsländern zu vermeiden. Den dafür nötigen breiten Ansatz an Forschung und Entwicklung können nur die Industrieländer erbringen, denen damit über ihre eigenen unmittelbaren Bedürfnisse hinaus eine besondere Verantwortung zukommt.

Deshalb soll schließlich als **Fünftes Ziel des Programms:** ein wesentlicher Beitrag dazu geleistet werden, die Energieprobleme der Länder der Dritten Welt zu lösen, damit die Energieversorgung einer wachsenden Menschheit sichergestellt werden kann, ohne unvertretbare Umweltschäden oder irreversible Änderungen unseres Klimas durch den Treibhauseffekt hervorzurufen.

3. Bilanz der bisherigen Energieforschung

Rückblick auf die bisherigen Programme, Zielsetzungen

Die Antwort von Forschung und Entwicklung auf die Herausforderung der ersten Ölkrise 1973 bestand in konsequenten, breit angelegten Programmen zur Entwicklung neuer Energiequellen sowie Energieumwandlungs- und - Nutzungssysteme vor allem die Kernenergie als die seinerzeit am schnellsten realisierbar erscheinende Alternative zum Öl, aber auch neue Techniken zur Kohlenutzung und der Einstieg in die erneuerbaren Energiequellen winden gefördert Es wurde also in erster Linie eine Energieangebotsstrategie gewählt, da diese am geeignetsten

schien, um das Ziel „weg vom Öl“ so schnell wie möglich zu erreichen Die Bundesrepublik Deutschland stand damit nicht allein; auch die übrigen Länder der damals gegründeten Internationalen Energieagentur (IEA) bei der OECD in Paris folgten diesem Weg. Im Vordergrund der dafür aufgelegten Programme, nämlich des vierten Atomprogramms und des Rahmenprogramms Energieforschung, stand deshalb der Nachweis der technischen Machbarkeit neuer Energiequellen und neuer Energiesysteme.

Die mit der Durchführung dieser Programme einhergehenden Diskussionen zeigten sehr bald die große Bedeutung, die außerdem einer Steigerung der effizienten Umwandlung und Nutzung von Energie zukommt: **Erst die Kombination von diversifizierter, gesicherter Versorgung mit effizienter Umwandlung und Nutzung von Energie stellt den Ansatz dar, der für eine umfassende, langfristig angelegte Energiestrategie notwendig ist.** Das erste Programm Energieforschung und Energietechnologien trug dem 1977 Rechnung, indem es der Fortführung der Angebotsstrategie einen umfassenden, systematischen Ansatz für Forschung und Entwicklung von Techniken zur Energieeinsparung und zur rationellen Energieverwendung zur Seite stellte. Auch hier stand vor allem die technische Machbarkeit im Vordergrund. Aber mit fortschreitender Entwicklung und auch mit dem Anwachsen der Kontroverse um die Kernenergie kamen Anfang der 80er Jahre zunehmend ökonomische Fragen (was zu einem Ausscheiden einer Reihe von Techniken aus der Förderung führte) und Fragen nach der Akzeptanz neuer Energietechniken (was zu einer besonderen Anziehungskraft und damit bevorzugten Förderung anderer Techniken führte) in die Diskussion Letztere war und ist eng mit Sicherheits- und Umweltaspekten verknüpft Das zweite Programm Energieforschung und Energietechnologien nahm deshalb 1981 Umweltaspekte als weitere Schwerpunktthemen hinzu, wenn auch noch nicht mit der Konsequenz, wie sie sich aus heutiger Sicht als notwendig darstellt.

Staatliche Energieforschung ist zielgerichtete Forschung in zweierlei Hinsicht Sie unterstützt die Energiepolitik und sie eröffnet Handlungsspielräume für die Gestaltung zukünftiger Energiesysteme. Für die Energiepolitik waren es bisher vor allem drei Bereiche, die für die Forschung von Bedeutung waren: 1.) Diversifizierung der Energieversorgung, 2.) rationelle Energieverwendung und 3.) Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Energiesysteme Hinsichtlich der Gestaltungsmöglichkeiten bestand die Aufgabe vor allem 4.) in der Entwicklung langfristig neuer Energiequellen und neuer Energieversorgungssysteme.

Als weiterer Aspekt für die Forschungspolitik kam 5.) die Forderung nach Verstärkung des Engagements der Wirtschaft an den Aufwendungen für Forschung und Entwicklung durch höhere Eigenbeteiligungen bei den Projekten hinzu.

Zieht man heute Bilanz, um darauf aufbauend den weiteren Forschungsbedarf zu identifizieren (Abschnitt 4), so ergibt sich folgendes Bild.

3.1 Diversifizierung der Energieversorgung

Wie die Abb. 1 zeigt, ist es seit 1973/74 gelungen, die Basis für die Versorgung mit Primärenergie zu verbreitern und damit zu einer verbesserten Diversifizierung zu kommen. Unter dem Gesichtspunkt von Forschung und Entwicklung war hierfür vor allem die Nutzung der Kernenergie mit Leichtwasserreaktoren (LWR) von Bedeutung. Sie deckt heute etwa 12% des Primärenergiebedarfs und gut 40% der öffentlichen Stromversorgung. Die Kernenergie ist damit zu einer etablierten Energiequelle in unserem Land geworden. Forschung und Entwicklung haben dazu in vielfacher Weise beigetragen:

- Die Reaktorsicherheitsforschung erweiterte technisch-wissenschaftliche Grundlagen zur realistischen Beurteilung und Bewertung der Sicherheit kerntechnischer Anlagen und gab wichtige Anstöße zur Verbesserung und Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik. Im Rahmen der Reaktorsicherheitsforschung wurde das Wissen über mögliche Ursachen und Abläufe von Störfällen stetig erweitert und wurden Maßnahmen zu ihrer Beherrschung erarbeitet. Es wurden Sicherheitsreserven der Anlagen ausgelotet und quantifiziert sowie Werkzeuge zur realistischen Simulation und Bewertung von Störfällen weiterentwickelt
- Risikoanalysen, wie z. B. die Deutsche Risikostudie Phase B, ermöglichten die Bewertung der Ausgewogenheit von Sicherheitskonzepten sowie die Identifikation relativer Schwachstellen und trugen dazu bei, daß diese durch sicherheitstechnische Verbesserungen bereits zum Teil beseitigt werden konnten. Ein weiteres wesentliches Ergebnis der Risikostudie Phase B ist, die Bedeutung von anlageninternen Notfallschutzmaßnahmen für die Verhinderung von Kernschmelzunfällen und für die Begrenzung der Unfallfolgen auf gezeigt und analysiert zu haben.
- Die Entwicklung zur Fertigung und Nutzung von Mischoxid-Brennelementen konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Damit ist die Rückführung von Plutonium in Leichtwasserreaktoren in großtechnischer Praxis nachgewiesen. Die Weiterführung der Technik ist auf die Industrie übergegangen.
- Die Entwicklung eines Verfahrens zur Verglasung hochradioaktiver Abfälle wurde mit dem Betrieb der Pamela-Anlage in Mol zur großtechnischen Reife gebracht und damit ein wichtiger Schritt auf dem Weg einer sicheren Entsorgung erfolgreich

demonstriert. Auch diese Technik konnte zur Fortführung an die Wirtschaft übertragen werden.
- Auf dem Gebiet der nuklearen Entsorgung
  - erwies sich die Lagerung von Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeerzeugung im Fels und aller Arten von Abfällen in Salz als sicherheitstechnisch grundsätzlich durchführbar,
  - konnte die Entwicklung der Technik zur Realisierung von Endlagern im Fels abgeschlossen und zur Einrichtung von Endlagern in Salz planmäßig weitergeführt werden,
  - wurde das Verfahren der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente als sicherheitsmäßig im Prinzip machbar festgestellt und die Entwicklung zur Anwendungsreife wie vorgesehen fortgesetzt Auch hier konnte inzwischen die Verantwortung für die weitere Entwicklung weitgehend auf die Industrie verlagert werden.

Neben der Entwicklung der Kernenergie ging es auch darum, die Nutzungsmöglichkeiten der fossilen Energiequellen zu verbessern. Weitere Forschungsansätze zielten deshalb auf die Modernisierung der konventionellen und die Entwicklung neuer, unkonventioneller (z.B. Untertagevergasung) Bergbautechniken sowie auf die Lösung wichtiger Probleme bei der weiteren Nutzung von Erdöl und Erdgas. Als Ergebnis läßt sich feststellen, daß die deutsche Bergbautechnik heute international als Spitzentechnik angesehen wird. Besonders die großen maschinentechnischen Entwicklungen konnten weitgehend abgeschlossen werden. Desgleichen war es möglich, das große deutschbelgische Projekt zur Untertagevergasung tiefliegender Steinkohle wissenschaftlich erfolgreich zu beenden.

Bei der Erschließung unkonventioneller Erdöl- und Erdgaslagerstätten konnten mit Erfolg eine Reihe interessanter Entwicklungen durchgeführt werden. Sie beschäftigten sich z. B. mit seismischen Verfahren, chemischem Fluten, Geochemie und theoretischen Modellen für Beckenstudien zur Auffindung von Lagerstätten.

3.2 Rationelle Energieverwendung

Unser Land war im Bereich des rationellen Umgangs mit Energie sehr erfolgreich. Es ist seit 1973 gelungen, trotz eines Anstiegs des Bruttosozialprodukts um mehr als 30% den Primärenergieverbrauch - im Mittel - nur noch gering wachsen zu lassen (Abb. 2). D. h. das Wachstum von Bruttosozialprodukt und Primärenergieverbrauch konnten weitgehend entkoppelt werden, wobei der Haupteffekt nach der zweite Ölpreiskrise eingesetzt hat. Dies ist ein Ergebnis, das so nicht erwartet worden ist Hierzu dürften die technologiepolitischen Maßnahmen der vorhergehenden Programme einen nachhaltigen Beitrag geleistet und das Aufbruchklima der 70er Jahre gestärkt haben, rasch zu Energieeinsparerfolgen zu kommen. Auch das Ziel, den technisch-wirtschaftlichen Spielraum für eigenverantwortliche Anpassungsreaktionen von Wirtschaft und privaten Verbrauchern an steigende Energiepreise zu erhöhen, also zur Flexibilität unseres Energieversorgungs- und Nutzungssystems beizutragen, ist durch die eingeleiteten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten effizient unterstützt worden.

Im Zusammenwirken mit der gesamten Energiepolitik der Bundesregierung konnten Forschung und Entwicklung z. B. auf folgenden Gebieten erfolgreiche Beiträge liefern:

- Ausbau der Fernwärme und Kraftwärmekopplung: Hier sind mit durchschnittlich 3 % pro Jahr erhebliche Steigerungen der Anschlußwerte über die letzten 10 Jahre zu verzeichnen. Das Versorgungsnetz in unserem Land umfaßt inzwischen rd. 9000 km. 144 Heizkraftwerke und 386 Heizwerke versorgen bundesweit 2 Mio. Haushalte, andere Kleinabnehmer und Industriebetriebe. 90% der Fernwärme wird von den Stromerzeugern über Kraftwärmekopplung erzeugt Der Anschluß der Fernwärme betrug 1988 bereits 34,8 GW. Damit konnten etwa 2,3 Milliarden Liter Heizöl eingespart werden.
- Reduktion des spezifischen Treibstoffverbrauchs im Verkehr um fast 1/4 von 1978 bis 1988.
- Reduktion des spezifischen Heizungsverbrauchs von über 40 auf ca. 22 Liter Heizöl pro m2 Wohnfläche und Jahr durch die Entwicklung von
  - fortgeschrittenen Isolierverglasungen,
  - verbesserten Wärmedämmungen,
  - neuen Heizungssystemen wie z. B. Wärmepumpen und Brennwertgeräte,
  - kontrollierten Lüftungssystemen,
  - und vielen anderen Techniken für rationelle Energieverwendung bei der Gebäudenutzung.
- Ein Überblick über diese Fördermaßnahmen gibt Abb. 3.
- Entwicklung einer Vielzahl von verschiedenen Techniken zur rationellen Energieverwendung bei Industrieprozessen.
- Stromeinsparung bei Hausgeräten, wie z.B. Reduzierungen von 55% gegenüber 1970 bei Waschmaschinen und Gefrierschränken, 40% bei Kühlschränken oder 35% bei Geschirrspülgeräten.
- Studien zur Untersuchung von Hemmnisfaktoren für die breite Markteinführung rationeller Energietechniken und Energieeinsparmaßnahmen.

Insgesamt wurden seit 1974 für staatliche Forschung und Entwicklung auf dem Gesamtgebiet der rationellen Energieverwendung etwa 700 Vorhaben mit einem Volumen von rd. 900 Mio. DM gefördert.

Im gleichen Zeitraum wurden von den übrigen Ländern der IEA fast 13 Milliarden DM zusätzlich für Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet aus-

Abb. 4

Forschungsfelder des Bundes im Bereich Erneuerbare Energiequellen

Ausgaben 1974 - 1988 und Soll 1989 und 1990 (alle Angaben in Mio. DM)

Aktivität (neue Bezeichnung)	Gesamtsumme 1974 - 1989	davon 1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	Soll 1989	Soll 1990
1. BMFT davon:	2294,8	11,8	46,1	43,2	49,2	77,0	159,4	168,7	191,1	246,5	199,0	188,6	173,0	157,5	170,2	178,7	242,8	265,3
1.1 Photovoltaik	567,0		0,4	1,4	4,2	7,5	11,3	12,0	12,3	65,7	54,0	59,1	53,3	57,8	60,1	70,9	97,0	95,0
1.2 Windenergie	252,0		0,1	0,2	4,1	9,3	17,8	32,4	42,2	31,0	16,0	8,9	10,2	12,1	17,8	16,0	34,0	27,0
1.3 Technologien für Entwicklungsländer	551,4		0,6	3,4	6,2	7,9	66,1	51,4	58,5	61,7	58,4	52,9	43,8	31,4	31,3	35,8	42,0	35,0
1.4 Übrige Aktivitäten zu erneuerbaren Energien	173,3	2,8	13,9	3,5	5,6	14,8	12,7	18,9	18,5	22,4	14,0	14,9	13,3	2,8	4,9	3,3	12,1	15,0
1.5 Solartechnologien für Niedertemperaturwärme	238,5	0,1	11,4	16,3	11,7	17,1	22,4	25,7	29,8	25,4	18,2	15,0	-8,9	9,5	11,4	12,6	11,0	16,0
1.6 Energiespeicher	130,7	1,5	6,2	6,1	5,9	5,8	8,5	7,2	3,6	11,1	13,5	8,5	13,9	12,6	13,8	5,5	7,0	10,0
1.7 Wasserstoff	113,3	3,3	6,8	5,6	5,5	5,5	6,9	5,1	6,1	4,8	4,7	8,2	6,1	5,4	8,3	10,0	21,0	18,0
1.8 Großforschungseinrichtungen	268,7	4,2	6,7	6,8	6,0	9,1	13,8	15,9	20,1	24,4	20,3	21,3	23,5	25,8	22,5	24,5	23,8	29,3
1.9 Biologische Energiegewinnung, -speicherung und -nutzung						bis incl. 1989 geführt			in anderen Programmen									20,0
2. BMWi	7,3				3,3	4,0												
3. BML	56,7							2,9	2,5	6,4	6,9	10,4	9,2	4,0	4,4	5,0	5,8	6,7
4. BMZ	148,8		0,5	0,9	1,9	2,0	2,0	2,0	5,1	11,6	11,8	17,3	24,7	9,0	6,4	15,0	6,4	37,9
Gesamtsummen	2507,6	11,8	46,6	44,1	54,4	83,0	161,4	173,6	198,7	264,5	217,7	216,3	206,9	170,5	181,0	198,7	255,0	319,0

gegeben. Berücksichtigt man, daß uns dieses Wissen ebenfalls zu einem erheblichen Teil aufgrund zahlreicher Kooperationsverträge zur Verfügung steht, dann kann festgestellt werden, daß eine breite Basis vorhanden ist, auf der vor allem die Anwender jetzt weiter aufbauen können. Für die Foischungspöiitik bedeutet dies zugleich die Möglichkeit, sich in Zukunft, nur noch auf wenige Gebiete zu konzentrieren, für heute weiterhin staatlicher Forschungsbedarf besteht (Abschnitt 4).

3.3 Minderung der Umweltbelastungen

Wie im vorhergehenden Kapitel skizziert, ist der Umweltgesichtspunkt zu Anfang der 80er Jahre erst relativ spät als eigene, gleichrangige Zielsetzung explizit in die Energieforschung aufgenommen worden. Er war jedoch davor schon - genau wie die rationelle Energieverwendung-bereits als sog. Querschnittsthema teilweise implizit als eigener Aspekt mit in den Projekten enthalten. Bei der Kerntechnik ist dies evident; aber auch bei der Senkung des Kraftstoffverbrauchs im Verkehr war er ein wesentliches Motiv.

Für Forschung und Entwicklung von besonderer Bedeutung ist die Minderung der Umweltbelastung durch die Nutzung fossiler Energieträger. Hauptzielrichtung war dabei die Verbesserung der Feuerungstechniken, und zwar sowohl in Kraftwerken als auch bei Gebäudeheizungen. Stichworte sind: Senkung des Ausstoßes von Schadgasen (SO_2, NO_x, CO_2) und Erhöhung der Wirkungsgrade. Erfolgreiche Beiträge waren:

- Entwicklung der Wirbelschicht-Verbrennung, insbesondere der zirkulierenden Verfahren Diese Technik ist inzwischen bei einer Vielzahl von Heizkraftwerken eingesetzt worden und mindert den Ausstoß von SO_2 und NO_x in erheblichem Maß.
- Entwicklung stickoxid-armer Brenner für Kohlekraftwerke zur Reduzierung von Stickoxiden im Brennraum.
- Erhöhung des Wirkungsgrades durch Hybrid-Kühltürme, entwickelt im Modellkraftwerk Völklingen.
- Entwicklung von Schlüsselkomponenten für Gas- und Dampfkraftwerke (GuD), ebenfalls zur Erhöhung des Wirkungsgrades bis zu 51%.
- Entwicklung neuer Feuerungstechniken für die Hausheizung.
- Der Minderung von Umweltbelastungen dienen auch
- die Verbesserung der Aufbereitung von Flotationsschlämmen,
- die Beiträge zur vollständigen Mechanisierung des untertägigen Bergbaus und
- die bergmechanischen Untersuchungen zur Verminderung von Bergschäden.

Besondere Schwerpunkte bei der Entwicklung neuer Kohletechniken waren auch die Kohleverflüssigung und -Vergasung. Bei den Verfahren zur Verflüssigung ist die Hydrierungsanlage in Bottrop technisch erfolgreich gelaufen Leider ist ein wirtschaftlicher Ein-

satz unter den gegenwärtigen und absehbaren Bedingungen der Energiemärkte unter Verwendung deutscher Steinkohle nicht möglich. Die Anlage ist aber erfolgreich umgebaut worden und dient heute zur umweltentlastenden Aufarbeitung von Altölen, Restölen und Lackrückständen - einem gravierenden Problem im Bereich der Umwelttechniken. Darüber hinaus besteht für die entwickelte Hydriertechnik das Potential, langfristig zur Beseitigung von Kunststoffabfallen eingesetzt zu werden.

Auch die Verfahren zur Kohlevergasung konnten unter Nutzung heimischer Kohle nicht zu einem wirtschaftlichen Einsatz geführt werden. Die dabei entwickelten Techniken werden aber bei Kohlevergasungsanlagen in anderen Ländern mit großem Erfolg eingesetzt. In unserem Land soll die Technik längerfristig in Kombination mit der GuD-Technik zur weiteren Steigerung des Wirkungsgrades von Kraftwerken um 10-15% Verwendung finden.

Als neue, große Herausforderung ist in letzter Zeit das Klimaproblem auch für die Energieforschung zu einem zentralen Thema geworden. Um dem in besonderer Weise gerecht zu werden, sollen die Klimabeeinflussungen durch Energiesysteme erstmals als eigenständige Aufgabe im Rahmen dieses Programms untersucht werden. Dabei ist das Hauptziel die Erarbeitung zusammenhängender Strategien, die Wege aufzeigen, wie man die Energiesysteme national und international auslegen sollte, um eine Beeinträchtigung des Klimas zu vermeiden; oder falls eine Beeinträchtigung bereits eingetreten ist, wie man weitere Schäden verhindern kann. Die Bundesrepublik Deutschland hat auf diesem Gebiet mit der Arbeit der Enquete-Kommission Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre des Deutschen Bundestages weltweit Pionierarbeit geleistet. Auf dem von dieser Kommission erarbeiteten Wissensstand kann und soll aufgebaut werden. Dabei wird wegen der Schwierigkeit und Komplexität der Probleme nicht erwartet, daß eine national oder international von allen akzeptierte Strategie erarbeitet werden kann.

Dazu sind auch die politischen Einschätzungen der zur Verfügung stehenden Techniken, wie z. B. der Kernenergie, schon allein in unserem Land zu unterschiedlich. Erwartet werden sollte aber die Ausarbeitung von alternativen Möglichkeiten, die in sich konsistent sind und ausreichenden Realitätsbezug haben, um durch praktische Politik umgesetzt werden zu können. Es kann und soll nicht Gegenstand dieses Programms sein, auf den Verbleib und die Wirkungen der Schadgase im Klimasystem näher einzugehen. Dies ist Gegenstand des Programms Umweltforschung und Umwelttechnik der Bundesregierung.

3.4 Neue Energiequellen und Energiesysteme

3.4.1 Erneuerbare Energiequellen

In der Bundesrepublik Deutschland haben erneuerbare Energiequellen derzeit einen Anteil von knapp 3 % an der Primärenergieversorgung. Den überwiegenden Teil davon Stellt die Wasserkraftnutzung, deren Potential damit zu mehr als 3/4 ausgeschöpft ist. Der Rest besteht großenteils aus der Nutzung von Energie, die bei der Müllverbrennung entsteht. Beide Energiequellen stoßen bei einem weiteren Ausbau auf erhebliche Akzeptanzprobleme.

Die übrigen erneuerbaren Energiequellen, wie z.B. die Nutzung der Sonnen- und Windenergie zur Stromerzeugung, spielen derzeit praktisch noch keine Rolle. Die Gründe hierfür liegen vor allem in der derzeit mangelhaften Wirtschaftlichkeit. Bei dem gegenwärtigen reichlichen Energieangebot zu niedrigen Preisen sind die erneuerbaren Energiequellen nicht konkurrenzfähig zu den preisgünstigeren konventionellen, jetzt im Gebrauch befindlichen Systemen. Die Probleme der regenerativen Energien bestehen in den niedrigen Leistungs- und Energiedichten sowie in ihrer in der Regel zeitlich schwankenden Verfügbarkeit. Hieraus ergibt sich ein vergleichsweise hoher Flächen- und Materialbedarf sowie die Notwendigkeit, erneuerbare Energien entweder im Verbund mit anderen Systemen zu nutzen oder Speichereinrichtungen vorzusehen Dies alles ist mit hohen Investitionskosten - pro kW installierter Leistung - verbunden, die z. B. diejenigen der Kernenergie zum Teil erheblich übertreffen Weiterhin darf - was die Markteinführung angeht - ein wesentlicher anderer Aspekt nicht vergessen werden. Jede Technik benötigt vom Zustand der Forschung und Entwicklung bis zur Eroberung eines wesentlichen Marktanteils einen längeren, charakteristischen Zeitraum. Für die Techniken zur Nutzung fossiler Energien oder die Kernenergie betrug er etwa 40 Jahre. Dies geschah jedoch vor dem Hintergrund eines ständig steigenden Energie- bzw. Strombedarfs. Erneuerbare Energiequellen treffen aber auf einen Energiemarkt, der schon seit längerem stagniert und für den in unserem Land auch längerfristig angesichts der Bemühungen um sparsame und rationelle Energieverwendung nur geringe Aussichten auf weiteres Wachstum besteht Sie stehen deshalb in einem Verdrängungswettbewerb mit etablierten Techniken, wobei wirtschaftliche Gesichtspunkte meistens die entscheidenden Vorteile bringen. Es ist darum nicht unerwartet, daß die Diffusion der erneuerbaren Energien in den Markt bisher nicht schneller erfolgt ist als bei anderen Techniken.

Eine genauere Betrachtung zeigt jedoch, daß es Unterschiede gibt. Während die Bilanz z.B. für die Stromerzeugung mittels Photovoltaik oder Windrotoren z.Zt. noch wenig positiv ist, sieht sie bei der Be-

reitstellung von Niedertemperaturwärme, z. B. über passive Solarnutzung, wesentlich besser aus. Der Beitrag erneuerbarer Energien wird hier heute schon z.B. durch Doppel- und Isolierverglasung auf etwa 15% des jährlichen Wärmebedarfs aller Gebäude in der Bundesrepublik Deutschland geschätzt. Die Tendenz (Stichworte: Solararchitektur, Wärmepumpen, Schwimmbadheizungen etc.) ist eindeutig steigend.

Für den Zeitraum bis zum Jahre 2010 wird sich die Situation für die erneuerbaren Energien jedoch aller Voraussicht nach günstiger darstellen. Nach Einschätzung wissenschaftlicher Institute könnte bis dahin der Anteil der erneuerbaren Energiequellen an der Primärenergieversorgung - je nach Entwicklung des Energiepreisniveaus - insgesamt auf 5 % bis 8 % steigen. Die in Abschnitt 4 beschriebenen Programmteile sind so angelegt, daß diese Entwicklung wirkungsvoll unterstützt wird: Sie sollen, u. a. durch großzügige Demonstrationsprogramme, dazu beitragen, daß sich die Entwicklung des Marktanteils der erneuerbaren Energiequellen im Vergleich zum normalen Diffusionsprozeß erheblich beschleunigt.

Die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung für die zukünftige Nutzung der erneuerbaren Energiequellen waren bisher beträchtlich. Seit 1974 wurden in der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen der Energieforschungsprogramme etwa 2 Mrd. DM für etwa 500 Vorhaben bereitgestellt. Zusätzlich wurden von den übrigen Staaten der IEA insgesamt mehr als 18 Mrd. DM ausgegeben. Die Ergebnisse der entsprechenden Programme stehen auch hier wieder unserem Land aufgrund zahlreicher Abkommen zu einem großen Teil zur Verfügung. Wie die Statistiken der IEA ausweisen, gehört die Bundesrepublik Deutschland hinsichtlich der Höhe der Forschungsmittel international zu den führenden Nationen. In Europa hat unser Land eine deutliche Spitzenstellung. Mit knapp 18% des gesamten öffentlichen Forschungs- und Entwicklungsbudgets für Energieforschung geben wir anteilsmäßig weit mehr für erneuerbare Energiequellen aus als alle anderen großen Industrienationen (z. B. USA u. Japan mit je ca. 6%). Die thematische Struktur der bisherigen Förderung ist in Abb. 4 wiedergegeben.

Wichtige, zum Teil auch bereits wirtschaftlich interessante Beiträge der Forschung sind vor allem:

- Senkung der Kosten für Solarzellen um einen Faktor 10 innerhalb der letzten .10 Jahre. Damit ist der Einsatz der Photovoltaik bereits heute in speziellen; Anwendungsgebieten wie z B. Fernsehumsetzer, Hindernisbefeuerung oder Hobby- und Freizeitmarkt wirtschaftlich geworden.
- Erste wirtschaftliche Anwendungen von Solaranlagen zur Brauchwasser- und Schwimmbaderwärmung. Durch die Förderung konnten die spezifischen Investitionskosten von 1500,- DM pro m2 Kollektorfläche auf 200,- bis 300,- DM pro. m2 gesenkt werden. Die derzeit installierte Leistung an Solarkollektorfläche konnte auf etwa 250000 m2 gesteigert werden, wodurch jährlich ca. 6 Mio. 1 Heizöl eingespart werden können.
- Entwicklung verschiedener Techniken für Wärmepumpen bis zur kommerziellen Reife, wodurch jährlich ca. 160 Mio 1 Heizöl eingespart werden können, so daß Forschung und Entwicklung hier weitgehend zum Abschluß gebracht werden . konnten.
- Nachweis der technischen Machbarkeit von Solarturm-, Solarfarm- und solaren Aufwindkraftwerken.
- Schaffung von unterschiedlichen Testmöglichkeiten für kleine und mittlere Windkraftanlagen sowie erster Feldtest von 20 Anlagen in Schleswig-Holstein.
- Durchführung von Demonstrationsprogrammen für kleine und mittlere Windkraftanlagen aus deutscher Entwicklung in jeweils fünf Einzelanlagen pro Anlagentyp.
- Bau von zwei Windparks mit 1,3 und 1MW-Leistung bei Dithmarschen bzw. Cuxhaven mit Betrieb von sechs unterschiedlichen Windkraftanlagen.
- Errichtung von zwei weiteren Windparks mit Anlagen größerer Leistung in Ostfriesland sowie Schleswig-Holstein.
- Durchführung und Abschluß des GROWIAN-Projekts. Als Ergebnis können jetzt Anlagen der nächsten Generation init Leistungen über 1 MW genauer und sicherer berechnet werden. Erste Anwendungen haben sich in zwei Anlagen mit einer Leistung von jeweils 1,2 MW ergeben.
- Verabschiedung des 100 MW-Wind-Großprojekts.
- Durchführung vorbereitender Maßnahmen und Abteufung von Probebohrungen zur Nutzung von Erdwärme.

Das vorliegende Programm wird auch weiterhin Forschung und Entwicklung der erneuerbaren Energiequellen in großer Breite unterstützen. Es stellt ausreichend Mittel bereit, um jedes erfolgversprechende Forschungsprojekt fördern zu können. Dies schließt auch die Demonstration entwickelter Techniken in großer Typenvielfalt und Stückzahl ein, um, wie bereits dargelegt, das Eindringen dieser Techniken in den Markt zu beschleunigen. Hierbei sind auch eine Reihe von kleineren Förderprogrammen der Bundesländer von erheblicher Bedeutung. Allerdings darf nicht verkannt werden, daß wie bereits vorher erwähnt - das Hauptproblem der erneuerbaren Energien hinsichtlich einer breiten Markteinführung vor allem in den derzeit niedrigen Energiepreisen liegt. Die Bundesregierung wird deshalb zusätzlich zu Forschung und Entwicklung flankierende Maßnahmen ergreifen, um die Markteinführung erneuerbarer Energiequellen zu erleichtern, etwa durch entsprechende Vorschriften im Bereich der öffentlichen

Beschaffungen und Baumaßnahmen. Auch von der Privatwirtschaft wird über das heutige Engagement hinaus ein erweiterter Beitrag zur Markteinführung erwartet Ohne solche Aktionen werden die vorher genannten Primärenergiebeiträge für erneuerbare Energiequellen bis zum Jahre 2010 kaum erreichbar sein.

Effektive Unterstützung in dieser Hinsicht kann auch vom Forum für Zukunftsenergien erwartet werden, das im Sommer 1989 von Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verbänden gegründet wurde.

3.4.2 Neue Energieversorgungssysteme

Neue Energieversorgungssysteme sollen sowohl zu einer effizienteren Nutzung von Energie als auch zu einer erhöhten Flexibilität gegenüber äußeren Einflüssen oder Nachfrageänderungen beitragen. Die entsprechenden Forschungsansätze sind deshalb zu einem großen Teil im Bereich der rationellen Energieverwendung(z. B. Fernwärme, Heizungstechniken) oder Kraftwerktechnik (siehe 3.3) angesiedelt Sie zielen aber auch

- auf die Bereitstellung zusätzlicher Sekundärenergieträger wie Wasserstoff und seine Nutzung z. B. über verbesserte Brennstoffzellen oder Alkohole (Methanol, Ethanol) sowie Rapsöl für den Transportsektor sowie
- auf neue Speichertechniken für verschiedene Formen von Sekundärenergie, insbesondere von elektrischer Energie.

Wichtige Ergebnisse in diesem Zusammenhang sind:

- Erarbeitung von Empfehlungen zur Forschungs- und Förderstrategie für solaren Wasserstoff durch ein Gremium hochrangiger Experten,
- Entwicklung von Hochleistungsbatterien auf Natrium-Schwefel-Basis,
- Erfolgreiche Durchführung eines Testprogramms zur Nutzung von Methanol für den Kfz-Antrieb (1984-1989,100 PKW und 2 Busse) und Nachweis, daß Methanol als Kraftstoff primär für den Ottomotor aber mit entsprechenden Zündhilfen auch für den Dieselmotor infrage kommt.
- Entwicklung funktionsfähiger Metall-Hydrid-Speicher,
- Entwicklung eines Wasserstoff-Sauerstoff-Brenners aus der Raumfahrt für den Einsatz als Sekundärreserve im Kraftwerksbereich,
- Entwicklung von Verfahren zur Hochtemperatur-Elektrolyse.

3.4.3 Fortgeschrittene Reaktorsysteme

Brutreaktoren

Bisher liegen Betriebserfahrungen mit weltweit 21 solcher Reaktoren vor. Sie bestätigen, daß Schnellbrutreaktoren umweltfreundlich und sicher betrieben werden können Ihre Wirtschaftlichkeit ist absehbar und im Vergleich zu deutscher Steinkohle schon heute erkennbar. Forschung und Entwicklung haben sich bisher außer auf die Programme des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KfK) und der Industrie besonders auf 2 Projekte konzentriert Auf den außerordentlich erfolgreichen Betrieb der schnellen, natriumgekühlten KNKII-Anlage im KfK und auf den Bau des Prototypkraftwerks SNR 300 in Kalkar. Der Reaktor ist seit 1986 praktisch fertiggestellt Nach großen Problemen mit der Finanzierung des Projekts ist es gelungen, das finanzielle Engagement und damit auch die unternehmerische Mitverantwortung der Wirtschaft erheblich auszuweiten: 1982/83 bestand eine Finanzierungslücke von rund 2,8 Milliarden DM. Davon hat die Wirtschaft 56 % übernommen. Ihre Beteiligung lag bis dahin nur bei ca. 8 %. Die Kosten für die derzeitige sogenannte Wartephase des Projekts in Höhe von 105 Mio DM/a werden bis 1991 sogar zu 2/3 durch die Wirtschaft getragen. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, die noch offenen Fragen im Genehmigungsverfahren ohne sachfremden Druck zügig zu klären.

Es ist selbstverständlich, daß Brutreaktoren, wenn sie als Langfristoption erschlossen werden sollen, die Sicherheitsanforderungen erfüllen und dies im atomrechtlichen Verfahren unter Beweis stellen müssen. Zur Erschließung dieser Option ist weiterhin erforderlich, daß Versuchsanlagen wie der SNR 300 nicht nur gebaut, sondern auch betrieben werden, um die betriebliche Funktionstüchtigkeit der Gesamtanlage unter realen Bedingungen zu erproben und zu demonstrieren. Deshalb wird am Ziel der Inbetriebnahme des SNR 300 festgehalten. Nur der praktische Betrieb einer Anlage zeigt, ob die Dinge, die auf dem Reißbrett entworfen und in Vorversuchen getestet wurden, in der Praxis als Gesamtanlage auch wirklich sicher und dauerhaft funktionieren. Selbstverständliche Voraussetzung für eine Inbetriebnahme ist der im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren zu führende umfassende Nachweis der Sicherheit.

Die Entwicklung über die Linie KNKII - SNR300 hinaus, wird, wie bereits angesprochen, im Rahmen einer westeuropäischen Zusammenarbeit erfolgen. Grundlage hierfür war 1984 die Unterzeichnung von Regierungsvereinbarungen, wodurch eine Integration der britischen Arbeiten in die kontinentale Zusammenarbeit erreicht werden konnte. Im Vollzug dieser Vereinbarung wurden im Februar 1989 Verträge über die Zusammenarbeit von Forschungszentren und Industrie unterzeichnet. Dadurch wurde der bereits sehr intensiven europäischen Zusammenarbeit auch auf diesen Ebenen der vertragliche Rahmen gegeben. Die Verträge stellen den voll-

ständigen Erfahrungsaustausch zwischen den Partnern sicher. Die bisherigen Pläne in Frankreich, der Bundesrepublik Deutschland und in Großbritannien zur Errichtung einer großen Demonstrations-Brutreaktoranlage werden jetzt auf das Projekt European Fast Reactor (EFR) konzentriert. Mit dem EFR soll ein für alle beteiligten Staaten akzeptierbarer Sicherheitsstandard entwickelt werden, so daß in diesen Ländern das gleiche Anlagenkonzept genehmigt werden kann. Zugleich ¡sollen mit dem EFR vor allem passive, d. h. inhärent wirkende Sicherheitseigenschaften genutzt werden. Trotz dieser wesentlichen Fortschritte wird die Entwicklung der Schnellbrütertechnik bis zur kommerziellen Reife noch etliche Jahre dauern und weiteres staatliches Engagement vor allem bei der Sicherheitsforschung, der Weiterentwicklung von Schlüsselkomponenten und bei der Schließung des Brennstoffkreislaufs erfordern.

Hochtemperaturreaktoren

Bei der Entwicklung des Hochtemperaturreaktors (HTR) ist es gelungen, den THTR 300 in Schmehausen in Betrieb zu nehmen und dem Betreiber zu übergeben. Leider sind danach technische und finanzielle Probleme aufgetreten, die dazu führten, daß die Betreibergesellschaft sich aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr in der Lage sah, den Reaktor weiterhin zu betreiben, so daß der Betrieb vorzeitig eingestellt werden mußte.

Die HTR-Technik hat ihre endgültige kommerzielle Reife bisher zwar noch nicht erreicht In internationaler Hinsicht haben sich aber über Kooperationsverträge mit der UdSSR und der Volkrepublik China neue Aspekte für die Fortführung dieser Reaktorlinie ergeben (s. Abschnitt 4). Die Erwartungen, die HTR-Reaktorlinie zur Hochtemperatur-Prozesswärmeerzeugung vor allem für die Kohlevergasung einzusetzen, konnten bislang nicht erfüllt werden. Zwar lassen es die Entwicklungsfortschritte möglich erscheinen, die hohen Anforderungen an Materialien und die Komponentenauslegung zu realisieren. Generell sind aber beim heutigen Energiepreisniveau die wirtschaftlichen Voraussetzungen für die Kohlevergasung so begrenzt, daß ihre Fortentwicklung in Richtung auf eine großtechnische Einkopplung von HTR-Energie noch keine konkrete Perspektive erkennen läßt.

3.4.4 Fusionsenergie

Nach drei Jahrzehnten intensiver Forschung steht die Kernfusion Anfang der 90er Jahre an der Schwelle der physikalischen Machbarkeit. Das physikalische Ziel, ein Deuterium-Tritium-Plasma zu zünden, ist in greifbare Nähe gerückt. Hierzu hat das europäische Fusionsprogramm, koordiniert und wesentlich mitgefördert durch EURATOM, entscheidende Beiträge geliefert. Das deutsche Programm ist ein Teil des EURATOM- Programms. Dessen große Erfolge sind deshalb zu einem wesentlichen Teil auch ein Erfolg der deutschen Arbeiten. Herausragend sind hier vor allem der erfolgreiche Aufbau und die Experimente am Joint European Torus (JET) in Großbritannien sowie der Aufbau eines europäischen Teams für den Entwurf eines Nächsten Europäischen Torus-Experiments (NET) beim Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching.

Auf nationaler Ebene ist die Fusionsforschung auf drei Großforschungseinrichtungen konzentriert, und zwar auf das IPP, das KfK und das Forschungszentrum Jülich (KFA). Von den vielen international beachteten Forschungsergebnissen des IPP sind als besondere Erfolge vor allem die Entdeckung des sogenannten H-Regimes in Tokamak- Plasmen mit dem großen Experiment ASDEX, der Nachweis der Machbarkeit des Stellaratorprinzips und der Aufbau und Betrieb des Stellaratorexperiments Wendelstein VII-AS zu nennen. Auch das KFA hat mit seinem Großexperiment TEXTOR international beachtete Ergebnisse erzielt, die für die Weiterentwicklung der kontrollierten Kernfusion von weitreichender Bedeutung sind, wie z. B. die Karbonisierung der ersten Wand. Während IPP und KFA sich vor allem auf plasmaphysikalische Arbeiten konzentrieren, beschäftigt sich das KfK mit Fragen der Fusionsreaktortechnik. Auch dieses Zentrum hat inzwischen auf seinem Gebiet in Europa eine führende Stellung eingenommen.

3.5 Verstärkung des Engagements der Wirtschaft

Energieforschung mit öffentlichen Mitteln ist kein Selbstzweck, sondern sie soll letztlich zur wirtschaftlichen Anwendung führen. Um diesen Transferprozeß zu erleichtern und auch um die Zielrichtung von Vorhaben den praktischen Bedürfnissen besser anzupassen, ist das Engagement der deutschen Wirtschaft erforderlich. Der Umfang dieses Engagements ist in den verschiedenen Teilen des Programms unterschiedlich, je nach Entwicklungsstand und Anwendungsnähe. Es ist gelungen, in allen Bereichen eine erhebliche Steigerung der Mitarbeit und Mitfinanzierung zu erreichen und auch bei einigen Teilen die Weiterführung vorwiegend in die Eigenverantwortung der Wirtschaft zu überführen. Hierzu gehören in der Kerntechnik der gesamte vordere Teil des Kernbrennstoffkreislaufs sowie im rückwärtigen Teil die Schließung des Brennstoffkreislaufs für Leichtwasserreaktoren. Beim verbleibenden Teil des Kreislaufs, nämlich der Forschung und Entwicklung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, werden die anlagenspezifischen Arbeiten über die Endlagervorausleistungsverordnung durch die Verursacher finanziert. Auf die erhöhte Beteiligung der Wirtschaft an der Entwicklung des Schnellbrutreaktors wurde bereits eingegangen.

Auch im Bereich der Kohletechniken hat sich ein Wandel vollzogen. Während in früheren Jahren Förderquoten für Vorhaben in der Wirtschaft von 80% und mehr gewährt wurden, sind sie heute durchgängig auf ca. 50% gesenkt, ist das Engagement der Partner also deutlich gesteigert worden.

Ein weiteres interessantes Beispiel stellt die Entwicklung der rationellen Energieverwendung mit starkem Anwendungsbezug dar. Auch hier liegen die Förderquoten mittlerweile generell bei 50%. Im Bereich der erneuerbaren Energien bewegen sich die Förderquoten für anwendungsnahe Forschung ebenfalls deutlich auf die 50%-Marke zu, wobei sich besonders bei der Windenergie das wachsende Engagement sowohl der Anwender als auch der Hersteller verstärkt bemerkbar macht.

Wenn auch diese Tendenzen erfolgreich in die richtige Richtung laufen, so sind dennoch weiterhin Bemühungen erforderlich, um die Wirtschaft, und hier speziell die Energieversorgungsunternehmen, zur Übernahme bzw. erhöhten finanziellen Beteiligung an weiteren Forschungsbereichen zu veranlassen. Es ist beabsichtigt, im Rahmen dieses Programmes auch in dieser Hinsicht weiter aktiv zu bleiben.

4. Weiterer Forschungsbedarf und Programmschwerpunkte

Die im folgenden beschriebenen Programmschwerpunkte stellen jeweils nur einen Rahmen dar, der durch konkrete Einzelaktivitäten und Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auszufüllen ist.

4.1 Erneuerbare Energien und rationelle Energieverwendung

Erneuerbare Energiequellen wie Sonnenstrahlung, Wind, Biomasse, Erd- und Umgebungswärme stellen die Energieversorgung auf eine breitere Grundlage, schonen endliche Energievorräte und vermindern die Belastung von Luft, Wasser und Boden. Wie sich ihr Anteil an der Energiebereitstellung in Zukunft entwickeln wird, hängt vor allem davon ab, inwieweit erneuerbare Energien wettbewerbsfähig angeboten werden können. Dies ist **kurzfristig** in erster Linie eine Frage der Preise im Vergleich zu den jeweils konkurrierenden Energien; also z.B. bei Photovoltaik und Wind dem Strompreis, oder bei passiver Solarnutzung und Wärmepumpen die Preise für konventionelle Öl- bzw. Gasheizungen sowie Fernwärme in Kraft-Wärme-Kopplung oder Investitionen in verbesserte Wärmedämmung. Hier zu Bedingungen zu kommen, die den erneuerbaren Energien eine bessere Chance bieten, etwa durch sachgerechte Bewertung und dann Einbeziehung derzeit noch externer Kosten wie z. B. Klima- und Umweltbelastungen, ist in erster Linie eine Frage der Wirtschafts-, Finanz- und Umweltpolitik Auch ein hohes Maß an Eigeninitiative der Energieversorgungsunternehmen kann die Chancen für erneuerbare Energien beträchtlich erhöhen. Der Beitrag von Forschung und Entwicklung ist durch den Nachweis der Machbarkeit einer Vielzahl von Schlüsseltechniken (Siehe z.B. nachfolgende Ausführungen und Abschnitt 3) in vielen Bereichen bereits erbracht

Ihre Rolle ist deshalb jetzt **mittel- bis langfristiger** Art und kann sich in Zukunft

konzentrieren auf:

- die Erschließung von Potentialen zur weiteren Kostensenkung bisher entwickelter Techniken, um eine beschleunigte Markteinführung zu erleichtern
  - z.B. durch große Demonstrationsvorhaben,
  - durch Übertragung von Ergebnissen anderer Forschungs- und Entwicklungsprogramme wie z.B. des Materialprogramms, der Informationstechnik oder der physikalischen Technologien
- grundsätzlich neue Ansätze wie z. B. die Dünnschichttechnik oder neue Materialien für die Photovoltaik, um die mit heutiger Technik begrenzten Möglichkeiten zu erweitern.
- langfristig die Entwicklung
  - weiterer Energiequellen wie Geothermie und Teilbereiche der Biomasse,
  - neuer Versorgungssysteme wie Wasserstoff als Sekundärenergieträger in Verbindung mit Solarenergie,

  um das Potential der erneuerbaren Energiequellen - auch in Verbindung mit neuen Versorgungssystemen - in voller Breite zu erschließen.

Bei der **rationellen Energieverwendung** liegen die Dinge ähnlich wie bei den erneuerbaren Energiequellen. Auch hier ist im politischen Bereich für weitere Fortschritte nicht in erster Linie die Forschungs- sondern sind andere Politikfelder gefordert. Dazu gibt der Bericht des Bundesministers für Wirtschaft zur sparsamen und rationellen Energieverwendung in den Jahren 1985-1988 (Juli 1989) einen umfassenden Überblick über die inzwischen erfolgten Maßnahmen. Das Forschungsprogramm kann sich deshalb nach dem breiten und erfolgreichen Ansatz der vergangenen Jahre, der zu einer Vielzahl von anwendungsreifen Techniken geführt hat (siehe u.a. Abschnitt 3), jetzt ebenfalls auf mittel- bis langfristige Aufgaben konzentrieren, und zwar auf

- die weitere Erschließung kostensenkender Energieeinsparpotentiale (z. B. durchneue Materialien, Mikroelektronik oder neue Verfahrenstechniken),
- die Mitwirkung bei der Umsetzung besonders aussichtsreicher Forschungs- und Entwicklungser-

gebnisse z. B. im Bereich der kommunalen Energieversorgung durch Aufbau spezieller Beratungs- und Informationssysteme,
– die Lösung von Anwendungsproblemen neuer, aus der Grundlagenforschung hervorgehender Techniken (z. B. Supraleitung).

Bei der rationellen Energieverwendung kommt noch hinzu, daß sie ein sogenanntes Querschnittsthema ist, das auch bei anderen Gebieten der Forschungspolitik eine wichtige Rolle spielt und dort oftmals neue Impulse liefert. Weiterhin ist darauf hinzuweisen, daß Forschung, Entwicklung und Markteinführung für Techniken zur rationellen Energieverwendung zum Teil Aufgaben mit langen Zeithorizonten sind, insofern durchaus vergleichbar mit den Langfristperspektiven etwa der Photovoltaik.

Generelles Ziel aller Forschungsanstrengungen im Bereich der rationellen Energieverwendung ist, anhand konkreter Fallbeispiele

– die Wahlmöglichkeiten und Anpassungsfähigkeit des Endverbrauchers von Energie, ob als privater, gewerblicher oder kommunaler Investor, zu erhöhen,
– den Nachweis der grundsätzlichen technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit neuer, effizienter Möglichkeiten durch geeignete Referenzanlagen und -verfahren zu ermöglichen und
– die Anpassung von Standards und Normen an die durch Forschung und Entwicklung aufgezeigten Verbesserungsmöglichkeiten zu erreichen.

Die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung im Zeitraum von 1984 bis 1989 entwickelten sich für diesen Programmschwerpunkt wie folgt (Angaben in Mio. DM, 1989 vorläufiges Ist):

	1984	1985	1986	1987	1988	1989
BMBF-Projektförderung	217,5	197,7	163,5	174,0	186,4	209,0
Großforschungszentren	21,3	23,5	25,8	22,4	24,5	25,9
	238,8	221,2	189,2	196,4	210,9	234,9

Für die weitere Entwicklung ist folgende Planung vorgesehen (Angaben in Mio. DM):

	1990	1991	1992	1993
BMBF-Projektförderung	265,0	270,0	275,0	283,0
Großforschungszentren	29,3	28,0	30,0	32,0
	294,3	295,0	305,0	315,0

Ein Teil der Projektförderung ab 1990 ist auch für die Anlauffinanzierung neuer Projekte in Großforschungszentren vorgesehen, um die dort eingeleiteten programmatischen Neuorientierungen im Energiebereich zu beschleunigen.

4.1.1 Photovoltaik

a) Einführung

Unter Photovoltaik wird in diesem Zusammenhang die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in Elektrizität verstanden. Sie erfolgt mit Hilfe sogenannter photovoltaischer Solarzellen. Solche Zellen sind technisch in verschiedenen Formen und aus unterschiedlichen Materialien machbar und auch am Markt verfügbar. In der Bundesrepublik Deutschland bieten sich wegen der verhältnismäßig geringen Sonneneinstrahlung für die Anwendung der Photovoltaik nur in schmalen Anwendungsfeldern (z.B. Taschenrechner, Hobby- und Freizeitmarkt, Hindernisbefeuerung, kommunikations-technische Anwendung wie z. wirtschaftliche Möglichkeiten,

B. Relaisstationen und Fernsehumsetzer) schon heute, wenn man von der vorhandenen Technik ausgeht. Günstigere Einsatzbedingungen als bei uns ergeben sich in großräumigen sonnenreichen Ländern mit weniger ausgebautem Stromnetz, z. B. für

– Wasserpumpen und Wasseraufbereitungsanlagen, Trinkwasserversorgung und -aufbereitung, Bewässerung kleiner Felder;
– Kühlsysteme (Medikamentkühlboxen, Kühlcontainer für Lebensmittel, Eiserzeugung);
– Stromversorgungsanlagen (abgelegene Bauernhöfe, Forschungsstationen, Inseln, Dörfer).

Aber auch für diese Anwendungschancen stehen derzeit einer breiten Markteinführung noch eine Reihe von Problemen entgegen, wie mangelnde Langzeiterfahrung oder noch nicht voll ausgereifte Systeme und Komponenten (z. B. Inverter, Wandler, Laderegler).

b) Stand der Technik, offene Fragen

In den letzten 10 Jahren konnten u. a. aufgrund umfangreicher Förderungen von Forschung und Entwicklung die Kosten für Solarzellen um den Faktor 10 gesenkt werden. Eine weitere Kostensenkung um nochmals etwa eine Größenordnung wird jedoch erforderlich sein, um die photovoltaische Stromdarbietung über die vorher erwähnten speziellen Anwendungsnischen hinaus attraktiv zu machen. Hierfür erlaubt der in den Forschungslabors vorliegende Kenntnisstand die Vorhersage, daß eine optimierte Fertigungsanlage (Entwicklungs-, Planungs- und Bauzeit etwa 5 Jahre) Module aus kristallinen Silizium-Solarzellen herstellen könnte, deren Herstel-

Abb. 5: Vorhaben im Rahmen des Wind-Demoprogramms bis 250 kW

	Anlagentyp Hersteller	Leistung in kW je Anlage	Installierte I-Leistung in kW	Standort (Zahl der Anlagen in Klammern)	
A	Adler Fa. Köster	100/165	760	2251 Wittbeck (1) 2260 Niebüll (1) 2244 Wesselbüren (1) 2240 Heide (1) Brasilien (1)	
B	aeolus 12.5 Fa. Aerodyn	33	165	2053 Fuhlenhagen (2) 2211 Scharfenstein (1) 2252 St. Peter-Ording (1) 2260 Niebüll (1)	
C	55 kW-Anlage Fa. Enercon	55	110	2980 Norden (1) 6349 Mademühlen (1)	
D	Südwind N 1230 Fa. Südwind	30	150	2244 Österwurth (1) 2224 Burg (1) 2946 Wangerooge (1) 2988 Dornum (1) 8641 Tettau (1)	
E	elektrOmat Fa. Windkraftzentrale	25	125	2340 Kappeln (1) 2355 Büsum (1) 5000 Köln (1) 2391 Tarp (2)	
F	Noah Fa. Schönball	90	450	2980 Norden (1) Orte in Niedersachsen (4)	
G	45 kW-Anlage Renk Tacke	45	225	2306 Schönberg (1) 4190 Kleve (1) 4440 Rheine (1) 2970 Emden (1) 2972 Borkum (1)	
J	Inventus Fa. Wenus	5	25	5042 Erftstadt-Gymnich (1) 5014 Kerpen (1) 5100 Aachen (1) 5501 Trier (1) 5521 Hosten (1)	
K	50 kW-Anlage Fa. Krogmann	50	250	2842 Lohne (1) 2282 Ovelgönne (1) 4517 Borgloh (1) 4504 Georgsmarienhütte (1) 4576 Berge (1)	
L	HSW 250 Husumer Schiffswerft	250	1000	2250 Südermarsch (1) 2251 Bordelum (2) 2380 Schleswig (1)	
N	30 kW-Anlage Fa. Kahler	30	150	2251 Osterwittbekf. (1) 2254 Koldenbüttel (1) 2395 Gremmerop (1) 2261 Weesby (1) 2255 Langenhorn (1)	
p	50 kW-Anlage Flender Werft	50	50	7903 Laichingen (1)	
R	Windflower AN-Maschinen	8	8	2906 Wardenburg (1)	
	Summe		**3468**		**53**

Quelle: Veröffentlichung des BMFT

„Windenergie für die Bundesrepublik Deutschland“ 9/89

lungskosten den heutigen (allerdings nicht kostendeckenden) Weltmarktpreisen in etwa entsprächen. Kostenanalysen, die auch den kostensenkenden Fortschritt bei anderen Systemkomponenten berücksichtigen, kommen zu Stromkostenprognosen aus photovoltaischen Kraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland von 0,5 bis 2 DM pro kWh. Die Unterschiede erklären sich aus verschiedenen Ansätzen für Kalkulation und Finanzierung. Eine Perspektive für wirtschaftlich wettbewerbsfähige Großstromerzeugung ist deshalb aus der Sicht heutiger Kenntnis noch nicht absehbar, wenn auch langfristig anzustreben. Angesichts dieses Umstandes muß das steigende Engagement der deutschen Elektrizitätswirtschaft anerkannt werden, durch Bau und Betrieb größerer photovoltaischer Anlagen den Entwicklern und Herstellern Anwendungschancen zu bieten und ihnen die Möglichkeiten zu geben, diese Techniken weiter zu untersuchen. Besondere Aufmerksamkeit verdienen in diesem Zusammenhang auch die Absichten der deutschen Wirtschaft hinsichtlich Aufbau und Betrieb einer größeren Anlage zur Herstellung von Solarzellen für den Markt der 90er Jahre und darüber hinaus.

c) Weiteres Vorgehen

Für das Hauptziel, nämlich eine weitere Kostensenkung bei Solarzellen um etwa eine Größenordnung, sollen mehrere Entwicklungsansätze verfolgt werden: Bei Solarzellen mit kristallinem Silizium sind Verbesserungen möglich bei der Herstellung des Grundmaterials durch einfachere und weniger energieaufwendige Methoden und bei der Zellenfertigung durch einfachere und stärker automatisierte Verfahren sowie die Erhöhung des Umwandlungswirkungsgrades von Licht in Strom. Solarzellen aus dünnen amorphen Siliziumschichten eröffnen die Möglichkeiten zur Kostensenkung durch erhebliche Einsparung an halbleitendem Material und energetisch weniger aufwendige Herstellungsverfahren. Trotz beträchtlicher Fortschritte in den letzten Jahren ist noch weitere Forschung über Herstellung, Struktur und elektronische Eigenschaften geeigneter amorpher Filme zur Realisierung einer großflächigen, effizienten und stabilen Dünnschichtzelle erforderlich. Weitere, bisher noch weniger untersuchte Dünnschicht-Zellentypen wie CdSe, CulnSe und GaAs sind vor allem wegen des hohen Wirkungsgrades von Interesse. Durch Kombination photoaktiver Materialien unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit in Tandemzellen können sogar Wirkungsgrade von über 20% erwartet werden.

Zusammengefaßt bedeutet dies, daß eine Förderstrategie mit folgenden Schwerpunkten verfolgt werden soll:

- großflächig gegossene oder gezogene Zellen aus kristallinem Silizium;
- Zellen aus dünnen halbleitenden Schichten auf tragenden Substraten (Dünnschichtzellen), bestehend entweder aus amorphem Silizium oder aus Verbindungshalbleitern;
- Zellen aus zwei oder mehreren halbleitenden Schichten (Tandemzellen).

Als weiteres Ziel dieses Teilprogramms müssen parallel zur Kostensenkung der Zellen Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der anderen Systemkomponenten erhöht und wichtige Anwendungen unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen erprobt werden. In dem Maße, in dem die Wettbewerbsfähigkeit photovoltaischer Anlagen steigt, können sie zunehmend auch in den Projekten der Entwicklungshilfe eingesetzt werden.

Für den Einsatz von Solargeneratoren im praktischen Betrieb soll auch die zugehörige Anwendungstechnik im Verbund von herstellender Industrie, Fraunhofer-Gesellschaft und Hochschulen verbessert werden.

4.1.2 Solarthermische Stromerzeugung

a) Einführung

Eine weitere Möglichkeit, die Sonnenenergie für die Erzeugung von elektrischem Strom einzusetzen, besteht in der Nutzung der Wärme- oder thermischen Wirkung der Solarstrahlung. Solarthermische Stromerzeugung ist in unseren Breitengraden im Vergleich zur Photovoltaik weniger bekannt, weil sie nur die direkte Sonneneinstrahlung nutzt und daher auf wesentlich stärkere Einstrahlung angewiesen ist als sie bei uns zur Verfügung steht. Forschung und Entwicklung können daher in der Bundesrepublik Deutschland nur beschränkt durchgeführt werden; Experimente und Demonstrationen sind zumindest auf mediterrane Standorte angewiesen. Dies hat die Bundesregierung am Ende der 70er Jahre veranlaßt, entsprechende Experimente in Kooperation mit mehreren Mitgliedsländern der IEÁ bei Almería (Südspanien) durchzufuhren - einem solaren Testzentrum (Plataforma Solar), das heute in deutsch/spanischer Zusammenarbeit intensiv genutzt wird.

Von den unterschiedlichen Möglichkeiten der solarthermischen Stromerzeugung sind für das Programm vor allem folgende vier Techniken von besonderem Interesse:

- Aufwindkraftwerk mit Nutzung des thermischen Auftriebs, d.h. des Kammeffekts;
- Solarfarmkraftwerk mit Parabolrinnen als Kollektoren;
- Paraboloidkraftwerk mit Stirling-Motoren im Strahlungszentrum;

- Solarturmkraftwerk mit Spiegeln und zentralem Strahlungsempfänger.

Neben der Erzeugung von Strom aus solarthermischer Energie wäre auch ihr Einsatz für chemische Prozesse denkbar, etwa für die Erzeugung transportabler Energieträger („solar-fuels“ - z. B. auch Wasserstoff), die aus Sonnengebieten in den mitteleuropäischen Raum importiert werden könnten.

Von besonderer Bedeutung sind diese Techniken für die Energieversorgung derjenigen Entwicklungs- und Schwellenländer, die sich im Sonnengürtel der Erde befinden. Da solarthermische Stromerzeugung nur wenig High-Tech-Charakter hat und deshalb mit Fertigkeiten, Materialien und Zulieferungen dieser Länder demonstriert und später kommerziell verbreitet werden können muß, sind sie auch für deren Entwicklung von unmittelbarem Interesse.

b) Stand der Technik, weiteres Vorgehen

Eines der einfachsten Prinzipien solarthermischer Stromerzeugung ist das **Aufwindkraftwerk**. Zunächst wird eine kreisrunde Fläche mit einer einfachen Folien- oder Glasabdeckung zum Einfachstkollektor für die Solarenergie; ein Turmkamin in der Mitte, saugt aufgrund des Kamineffektes die so erwärmte Luft in die Höhe. Die Strömungsenergie des Aufwindes kann teilweise mittels einer Turbine entzogen und in einem am Turmfuß befindlichen Generator in Strom umgewandelt werden. Der Gesamtwirkungsgrad einer solchen Anordnung ist überproportional abhängig von der Turmhöhe und erreicht bei Höhen von 800 m die Größenordnung von 1%. Die Ergebnisse des Betriebs einer ersten Prototypanlage bei Manzanares in Spanien mit einer Leistung von 40 kW haben gezeigt, daß diese Technik im Prinzip machbar, aber von der Wirtschaftlichkeit noch weit entfernt ist Die Strategie der weiteren Entwicklung befindet sich in der Diskussion, da die Ergebnisse des Prototypbetriebs noch nicht vollständig ausgewertet und analysiert worden sind.

Bei **Solarfarmkraftwerken** wird der Direktstrahlungsanteil der einfallenden Sonnenstrahlung von Parabolrinnen-Kollektoren auf das in der Brennlinie befindliche Empfängerrohr (Receiver) konzentriert Der gesamte Kollektor mit dem Receiverrohr wird dem Sonnenstand einachsig nachgeführt. Eine volle zweiachsige Regelung hat sich technisch als kaum besser erwiesen - wirtschaftlich als eindeutig schlechter. Bis heute sind ca. 200 MW mit 1,4 Mio m2 Kollektorfläche insbesondere in Kalifornien unter Inanspruchnahme sehr günstiger Kredit- und Abschreibungsmöglichkeiten gebaut worden. Anders als bei den übrigen solarthermischen Techniken kann beim Solarfarmkraftwerk inzwischen unterstellt werden, daß wegen der vielen schon ausgeführten Anlagen die Lernkurve bereits heute weitgehend durchlaufen ist Die Weiterführung dieser Technik konzentriert sich auf die Entwicklung und Einbeziehung von thermischen Speichern, die die Nutzung von fossilen Zusatzheizungen reduzieren können. Ziel ist eine weitere Verbilligung der Anlagen für die Nutzung in den Ländern der Dritten Welt.

Die Technik des **Paraboloidkraftwerks** beruht auf der Verwendung von konzentrierenden Parabolspiegeln, in deren Brennpunkt jeweils ein Strahlungsempfänger mit angekoppeltem Wärmetauscher und Stirling-Motor arbeitet Von allen Verfahren der solarthermischen Stromerzeugung weist das System „Paraboloidkraftwerk“ die höchste Modularität auf, da systembedingt Konzentrator, Empfänger, Wärmetauscher, Maschine und Generator in einer Einheit gekoppelt sind. Dies führt zu besonderen Anforderungen an die Konstruktion, was sich in der Vergangenheit in hohen Kosten niedergeschlagen hat Ziel für die weitere Entwicklung ist eine erhebliche Senkung der Kosten für die Stromerzeugung. Wesentliche Elemente hierbei sind:

- Verbilligung der Spiegel z.B. mit Hilfe von Leichtbauweise;
- Konstruktionsänderungen wie z. B. durch Fix-Fokus-Spiegel;
- Verwendung anderer Arten von Wärmekraftmaschinen wie z. B. Gasturbinen in Verbindung mit höher konzentrierenden Spiegeln;
- Verbesserung der Stirling-Aggregate.

Solarturmkraftwerke konzentrieren die solare Einstrahlung und nutzen sie an zentraler Stelle zur Energieumwandlung. Wie die beiden vorher diskutierten Techniken sind sie auf die Direktstrahlung angewiesen, denn diffuse Einstrahlung läßt sich nicht konzentrieren.' Versuchsanlagen befinden sich z. B. in Almería (Nordfeld; 500 kW) und Barstow-Kalifornien (Rundumfeld; 10 MW). Viele Spiegel reflektieren bei diesen Anlagen die Sonnenstrahlung und konzentrieren sie auf den Solarempfänger, der auf einem Turm montiert ist Die Spiegelflächen sind als bewegliche Heliostate ausgeführt, die entsprechend dem jeweiligen Sonnenstand die Einstrahlung auf den Solarempfänger werfen. Der Stand der Technik und die Erfahrungen mit den bestehenden Anlagen haben gezeigt daß Solarturmkraftwerke dem konventionellen Wärmekraftwerk sehr ähnlich und von daher technisch beherrschbar sind Dies ermöglicht auch eine grundsätzlich unproblematische fossile Zusatzfeuerung, um Verfügbarkeitsprobleme bei ungünstigem Wetter zu lösen, wie dies beim Solarfarmkonzept bereits praktiziert wird Die Analyse der vorliegenden Daten läßt erwarten, daß bei Leistungsklassen von 50 bis 100 MW elektrischer Auslegungsleistung Solarturmkraftwerke den vorher beschriebenen Solarfarmkraftwerken überlegen sein könnten.

Die Weiterführung dieser Technik konzentriert sich auf Entwicklung und Test kritischer Komponenten insbesondere auf der Plataforma Solar bei Almería. Darüber hinaus soll untersucht werden, wie die im Brennpunkt beim Strahlungsempfänger verfügbare hohe Temperatur der Solarenergie für chemische Anwendungen bei Hochtemperaturprozessen genutzt werden kann. Hierbei soll auch das verfahrenstechnische Wissen, das das Forschungszentrum Jülich im Zusammenhang mit dem Hochtemperaturreaktor entwickelt hat, zum Einsatz kommen.

Als zukunftsweisendes Großprojekt wird gegenwärtig im Rahmen von EUREKA ein 30 MW-Pilotkraftwerk mit Namen PHOEBUS untersucht Inwieweit eine Beteiligung an dem Projekt für die Erarbeitung der Ziele dieses Programms von Bedeutung wäre, läßt sich erst nach Abschluß der gegenwärtig laufenden Vorstudien beurteilen.

4.1.3 Windenergie

a) Einführung

Auch bei der Windenergie handelt es sich um die Nutzung von Sonnenenergie, allerdings auf einem indirekten Weg im Gegensatz zur direkten Nutzung wie bei der Photovoltaik und Solarthermik. Das Potential des nutzbaren Windenergieangebots ist in der Bundesrepublik Deutschland erheblich. In einem wissenschaftlichen Gutachten von 1984 wurde unter bestimmten Annahmen - insbesondere steigenden Energiekosten - eine wirtschaftliche Nutzung von etwa 12 Mio. t SKE pro Jahr (ca. 3 % unseres heutigen Primärenergieverbrauchs) errechnet. Davon wurden etwa 15% bis zum Jahr 2000 als ausschöpfbar eingeschätzt.

Windenergie ist eine in der kurzfristigen Verfügbarkeit weitgehend ungesicherte Energiequelle und ersetzt allein kaum Kraftwerkskapazitäten. Daher orientieren sich die Erstattungspreise für Netzeinspeisung vor allem an den eingesparten Betriebs- und Brennstoffkosten. Durch die Ergänzung mit Photovoltaikanlagen und eventuell im Verbund mit flexiblen Kleinkraftwerken, wie z. B. Blockheizkraftwerken und Wasserkraftwerken, kann sich diese Situation ändern und damit zu einer anderen Gestaltung der-Erstattungspreise führen.

Bei Anlagen, deren Strom der Betreiber überwiegend selbst verbraucht, spart man die Bezugskosten von Strom, die regelmäßig weit über den Einspeisepreisen Hegern.

b) Stand der Technik, offene Fragen

Obwohl langsam laufende Windmühlen jahrhunderte-alte Technik darstellen, sind moderne Windkraftanlagen - schnell laufend und zumeist stromproduzierend - noch nicht etablierte Technik. Der Entwicklungsstand ist für verschiedene Größenklassen von Anlagen unterschiedlich. Kleine Windkraftwerke bis 100 kW sind bereits in großer technischer Vielzahl in der Entwicklung oder schon verfügbar. Mittlere und große Anlagen haben ihre ersten Entwicklungen hinter sich, weisen aber noch erhebliche technische Möglichkeiten auf. Das betrifft sowohl das Gesamtsystem als auch die Komponenten. Bei den Komponenten stehen neue Konzepte (z.B. getriebelose Umsetzung der mechanischen Energie in Strom), neue Regelungskonzepte hierfür sowie Werkstoffentwicklungen (z.B. Faserverbundtechnik) im Vordergrund des Interesses. Bei den Großanlagen haben der Bau und Betrieb des Growian trotz der Probleme, die zu Stillstand und Demontage geführt haben, den Stand der Technik erheblich weiter gebracht Hierzu gehören insbesondere:

- sehr gutes Regelverhalten der Gesamtanlage,
- gute Beherrschung der Schwingungen und der Gesamtdynamik,
- Rotorblätter: prinzipielle Brauchbarkeit auch sehr großer Blätter, hohe aerodynamische Güte, insbesondere im Teillastbereich,
- hervorragende Hilfsautomatik,
- Messung bisher unbekannter meteorologischer Phänomene,
- optische Akzeptanz der Anlagen durch die Bevölkerung.

Die für den Abbruch entscheidenden Probleme der Growian-Anlage waren in der Nabe (Pendelrahmen und Traverse) konzentriert, wo alle Kräfte und Momente von den Rotorblättern auf die Drehachse übertragen werden. Hier traten mehrfach Risse auf. Da im Hinblick auf die Belastungen ingenieurwissenschaftliches Neuland betreten werden mußte, sind diese Fehler jenen Risiken zuzuordnen, die wagemutige Forschungs- und Entwicklungsprojekte naturgemäß mit sich bringen.

Während kleine Windkraftanlagen hauptsächlich für private Betreiber von Interesse sind, konzentrieren sich öffentliche Betreiber und Elektrizitätsversorgungsunternehmen mehr auf mittlere und große Anlagen sowie auf Windparks. Diese Tendenzen sind auch in Ländern mit heute schon merklich größerer Stromerzeugung aus Windenergie, wie Dänemark oder USA, zu beobachten.

c) Weiteres Vorgehen

Das generelle Ziel für das weitere Vorgehen ist es, durch größere Demonstrationsprojekte und Weiterentwicklung von Schlüsselkomponenten die Kosten für Strom aus Windkraftanlagen so zu senken, daß diese erneuerbare Energiequelle Ende des nächsten Jahrzehnts volle Wettbewerbsfähigkeit erreicht. We-

sentlich hierfür ist es, daß dann Anlagen unterschiedlicher Leistungsgrößen zur Verfügung stehen, die nicht nur einzeln sondern auch im Verbund so betrieben werden können, wie es für eine gesicherte Elektrizitätsversorgung gefordert werden muß. Wichtige Elemente der Forschungsstrategie dieses Programms sind deshalb:

- Weiterentwicklung von Anlagen kleiner-, mittlerer- und großer Leistung,
- das Großexperiment „100 MW-Wind“ sowie
- Querschnitts- und Infrastrukturmaßnahmen.

Dazu ist Folgendes vorgesehen:

Kleine Windanlagen bis 100 kW weisen einen hohen Stand der Technik auf. Die weitere Förderung von Forschung und Entwicklung kann sich deshalb über die bereits verabredeten Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte hinaus auf deutlich alternative Ansätze mit überlegenem Wirtschaftlichkeitspotential beschränken.Mit einem Demonstrationsprogramm für **mittlere Windkraftanlagen** der Leistungsklasse von 80 bis 800 kW soll die derzeit vielversprechendste Größenklasse von Anlagen gefördert werden. Geplant sind etwa 10 verschiedene Anlagentypen zu je 5 Exemplaren, also insgesamt 50 Anlagen, mit einer Gesamtleistung von 15 MW. Weiterhin werden 4 experimentelle Windparks mit insgesamt 10 Anlagentypen an der niedersächsischen Nordseeküste sowie in Schleswig-Holstein betrieben. Bei der größten deutschen Mittelklasseanlage von 650 kW (MON 50), einer Anlage mit nur einem Rotorblatt und entsprechendem Gegengewicht, sind die Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten ausgerichtet auf Serienreife und damit auf den vom Land Niedersachsen geförderten Windpark mit 3 Anlagen in Wilhelmshafen. Zwei weitere Anlagen sind bereits in der Planung. MON 50 hat sich auch im EG-Demonstrationsprogramm qualifiziert und wird dort gefördert. Einen Überblick über die Förderung kleinerer und mittlerer Windkraftanlagen gibt Abb. 5.

Die Weiterführung der Entwicklung großer Windkraftanlagen baut, wie bereits erwähnt, unter anderem auf Erfahrungen mit Growian auf. Entsprechend der Tendenz bei Herstellern und Betreibern ist es das Ziel, Anlagen mit geringerem technischen Risiko zu entwickeln. Erste Schritte in diese Richtung sind die 1,2 MW-Anlage WKA 60 für Helgoland und die 1,2 MW-Anlage AWEC 60, die in deutsch-spanischer Kooperation in Spanien errichtet wird. Zur technischen Weiterführung dieser Großanlagen soll ein Windkraftwerk von ca. 3 MW Leistung in Wilhelmshaven errichtet werden. Es stellt eine Weiterentwicklung der erfolgreichen schwedisch-deutschen Versuchsanlage AEO- LUS auf der Ostsee-Insel Gotland dar. Außerdem wird die Weiterentwicklung des WK A 60-Anlagentyps geplant Weiterhin soll in deutsch-kanadischer Zusammenarbeit eine kanadische 2-M W-Anlage vom Darrieux-Typ weiterentwickelt und in der Bundesrepublik Deutschland betrieben werden.

Planung, Errichtung und Betrieb aller Anlagen werden von der Elektrizitätswirtschaft durchgeführt Die dabei gesammelten Erfahrungen sollen den Ausgangspunkt für ein weiteres vertieftes Engagement bilden mit dem Ziel, Anfang der 90er Jahre Grundlagen erarbeitet zu haben, die eine fundierte Beurteilung der technischen und wirtschaftlichen, umweltrelevanten, qualitativen und quantitativen Möglichkeiten der Stromerzeugung mit Großwindanlagen im norddeutschen Raum gestatten. Es besteht Einigkeit darüber, daß sich nach der Planungsphase die norddeutschen Küstenländer finanziell an diesen Demonstrationsprojekten beteiligen.

Als Ergänzung zur Entwicklung von Einzelanlagen unterschiedlicher Größenklasse ist das „**100 MW-Wind-Großexperiment“** zu sehen: Obwohl schon durch die bisher geschilderten Maßnahmen des Bundes - ergänzt durch Maßnahmen einiger Länder und der EG - eine installierte Leistung von nahezu 20MW entsteht, fehlt der Bundesrepublik Deutschland ein Großexperiment energiewirtschaftlicher Größenordnung, wie es auch bei anderen Kraftwerkstechniken für angemessen gehalten wird. Es wurde 1988 gutachterlich bestätigt, daß ein Großexperiment von etwa 100 MW Leistung (entsprechend einigen 100 Einzelanlagen) genügend wissenschaftliche Fragestellungen aufwirft, um im Rahmen dieses Programms eine entscheidende Unterstützung durch die öffentliche Hand geben zu können. Die Förderung konzentriert sich auf ein mehr als 10- jähriges wissenschaftliches Meß- und Evaluierungsprogramm, um langfristige Erfahrungen bezüglich Technik, Betriebsverhalten und Wirtschaftlichkeit zu sichern und Impulse für die Weiterentwicklung zu geben. Da sich die bundesstaatliche Förderung des Breitentests „100 MW-Wind“ auf das forschungs- und technologiepolitisch gebotene Maß beschränken muß, sind die bestehenden und beabsichtigten Fördermaßnahmen der norddeutschen Bundesländer von besonderem Gewicht Weiterhin ist in diesem Zusammenhang auch das energie- und umweltpolitische Engagement bei Bürgern, Unternehmen und anderen öffentlichen Händen von großer Bedeutung. Die Gesamtkosten für das Großexperiment werden auf etwa 400 Mio. DM geschätzt

Sollte das Experiment von der Nachfrageseite her den Erfolg haben, der erwartet wird, soll eine Erweiterung auf 200 MW in Aussicht genommen werden.

Zur Unterstützung der vorher skizzierten Vorhaben sind eine Reihe von **querschnitts- und infrastrukturellen Maßnahmen** vorgesehen Hierzu gehören Windmessungen auch in Rotorhöhen großer An-

lagen, die Ausarbeitung von Richtlinien für die Prüfung, Abnahme und Überwachung von Windkraftanlagen und die Schaffung von Testmöglichkeiten für die Typenzulassung sowie anwendungsorientierte Projekte der Grundlagenforschung. Außerdem sind sonstige Hemmnisse für die Nutzung der Windenergie (z. 3. im Rahmen des Baurechts) zu analysieren und auf Möglichkeiten zu ihrer Beseitigung hinzuweisen.

d) Erprobung in Entwicklungsländern

Eine Reihe von Projekten wird - in enger Kooperation mit dem Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit bzw. der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) - mit der Zielsetzung durchgeführt, Windanlagen in und mit Entwicklungsländern zu erproben. Hier geht es darum, die bei uns entwickelte Technik an die speziellen Standortbedingungen dieser Länder anzupassen und dort zu testen. Bei der Entwicklung von Anlagen im Inselbetrieb (Wind-Diesel-Systeme) gilt die deutsche Technik als weit fortgeschritten. Das zeigen insbesondere Feldtests im europäischen Ausland (Insel Kythnos, Griechenland oder Cape Clear, Irland).

4.1.4 Wasserstoff

a) Entführung

Das Interesse der Energieforschung an Wasserstoff ist zweifach: Zum einen kann dieses Gas als weiterer, umweltfreundlicher und gut transportierbarer Sekundärenergieträger verwendet werden und zum anderen kann er als effizientes Energiespeichermedium, z. B. für Elektrizität, dienen. Die Verbindung von Sonnenenergie als Primärenergiequelle und Wasserstoff als Sekundärenergieträger wäre darüber hinaus möglicherweise langfristig ein System, das die mangelnde Speicherfähigkeit von Solarstrom ausgleichen könnte, wenn Sonnenenergie eines Tages einen größeren Versorgungsanteil unseres Energieverbrauchs übernehmen sollte. Unter derzeitigen Bedingungen kann Sonnenenergie als Primärenergiequelle für die Erzeugung von Wasserstoff aber erst dann kommerziell eingesetzt werden, wenn die Stromerzeugung aus Sonnenenergie, insbesondere mittels Photovoltaik, Solarthermik oder Windkraft, ausreichend kostengünstig geworden ist.

Jede Wasserstofferzeugung über Elektrizität und Elektrolyse führt hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit zu dem Ergebnis, daß Wasserstoff pro Energieeinheit teurer sein muß als der zur Elektrolyse eingesetzte Strom. Das liegt zum einen an den Umwandlungsverlusten (heute 30%, ein Entwicklungsziel könnte bei unter 10% liegen) und zum anderen an den Kapitalkosten der Elektrolyse. Dieser Aspekt ist so wichtig, daß Elektrolyse- Wasserstoff nur dort oder erst dann eine wirtschaftliche Chance als Energieträger hat, wo Strom am kostengünstigsten zur Verfügung steht Zur Zeit wäre dies Strom aus Wasserkraft oder Kernenergie zu den Zeiten, wenn der übrige Strombedarf niedrig ist - die Kraftwerke also nicht voll ausgelastet sind. Zwar kann der resultierende Wasserstoff noch nicht mit Erdgas oder Erdöl konkurrieren - je nach Energiepreisentwicklung könnte es aber in den 90er Jahren sinnvoll werden, den nachts produzierten Wasserstoff - Sauerstoff - tagsüber in Spitzenlastkraftwerken einzusetzen. Ein entsprechend schneller Wasserstoff-Sauerstoff-Dampferzeuger ist von der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt worden und könnte zunächst im Netz- und Frequenz-Management eingesetzt werden. Von der Struktur ihres Kraftwerksbestandes her werden möglicherweise Länder wie Frankreich (hoher Kernkraftanteil, wenig Nachtstromverbrauch) zuerst in diese Richtung gehen.

Geht man von Wasserkraft aus, könnten Länder wie Kanada früher als andere zum Elektrolysewasserstoff übergehen, da dort billige Wasserkraft vorhanden ist und die Bevölkerungs- und Verbrauchsschwerpunkte räumlich weit auseinanderliegen. Außerdem verfügt Kanada über große Schweröl- und Teersandvorkommen, bei deren Hydrierung billiger Wasserstoff benötigt wird. Zwar werden auch dort Wirkungsgradverluste und Kapitalkosten für Wasserstoffelektrolyse und -transport erheblich sein; sie könnten aber gleichwohl niedriger liegen als ein entsprechender Stromtransport über tausende von Kilometern. Zur Zeit wird diese Frage mit Unterstützung der EG untersucht.

b) Stand der Technik, offene Probleme

Entsprechend den großen Möglichkeiten, die in Systemen aus Sonnenenergie und Wasserstoff für die Zukunft liegen könnten, hat die Bundesregierung 1987 einen Sachverständigenkreis um Empfehlungen zur Forschungs- und Förderstrategie zum Thema Solarer Wasserstoff gebeten. Dabei ist deutlich geworden, daß die erste Forschungspriorität bei der Entwicklung der Photovoltaik liegt (siehe 4.1.1). Darüber- hinaus sind aber auch kritische Fragen hinsichtlich der Wasserstofferzeugung und ihrer Verwertung sowie systemtechnische Zusammenhänge zu untersuchen. Die Fragen des Umgangs mit Wasserstoff (Transport, Speicherung) können als soweit gelöst angesehen werden, daß kein größerer Forschungs- und Entwicklungsbedarf für staatliche Programme mehr besteht.

c) Weiteres Vorgehen

Die Strategie des weiteren Vorgehens orientiert sich an den Empfehlungen des

Sachverständigenkreises und berücksichtigt darüber hinaus auch Ansätze für Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff, die weiter in der Zukunft liegen. Dementsprechend sind sechs Schwerpunkte vorgesehen:

- Verbesserung elektrolytischer Verfahren zur Wasserstofferzeugung,
- photoelektrochemische Wasserstofferzeugung,
- photobiologische Wasserstofferzeugung,
- Brennstoffzellen zur Nutzung von Wasserstoff,
- Untersuchungen zur energetischen Anwendung von Wasserstoff,
- Durchführung übergreifender Systemprojekte.

Bei den **elektrolytischen Verfahren** handelt es sich um drei unterschiedliche Ansätze, und zwar

- Bau und Betrieb einer 100 kW-Wasserelektrolyse-Pilotanlage beim Forschungszentrum Jülich, die durch Betriebstemperaturen bis 120° C unter Verwendung eines alkalischen Elektrolyten und die Absicht eines intermittierenden Betriebes gekennzeichnet ist.
- Entwicklung neuartiger Elektrodenkonfigurationen und -konstruktionen, insbesondere die Erprobung energiesparender Elektrolyseure unter Druck,
- Entwicklung des Diaphragma-Verfahrens (ede-Konzept)

In der Vergangenheit sind auch Wasserspaltungsverfahren studiert worden, die thermochemisch nur mit Prozeßwärmeeinkopplung ablaufen; ein praktisch realisierbares Verfahren ist allerdings nicht gefunden worden. Diese Forschungsrichtung spielt daher heute keine Rolle mehr. Dagegen besteht noch Hoffnung auf einen anderen, aus der Strahlungschemie abgeleiteten Prozeß: die direkte **photo-chemische Spaltung von Wasser durch Licht** „Direkt“ steht dabei für einen durchaus komplexen Ablauf von Strahlungsabsorption und chemischem Energieübertrag, bei dem im Prinzip Wasserstoff und Sauerstoff frei werden könnten, wie bei der Elektrolyse. Prinzipiell erscheint elegant, den Umweg über Strom vermeiden zu können - damit ist aber keineswegs sicher, daß dieser Weg etwa - was die Nutzung der Sonnenenergie betrifft - zu preiswerterer solarer Wasserstoff Produktion führen kann als andere Verfahren. Insbesondere sind bisher bekannte Systeme in dem Sinne nicht erneuerbar, als sie teure Werkstoffe korrodieren, also verbrauchen. Solange dieses Problem nicht gelöst ist, sind solche photo-elektrochemischen Systeme wirtschaftlich noch nicht interessant.

Auch **photobiologische Wasserspaltung** ist grundsätzlich möglich, und zwar auf zwei Wegen:

Unterbrechung des photolytisch gewonnenen Wasserstoffs beim Einbau in das Kohlehydrat mit entsprechenden Inhibitoren und

Abbau des in der Biomasse gespeicherten Wasserstoffs mit geeigneten Mikroorganismen.

Biologische Ansatzpunkte für entsprechende Grundlagenforschung sind hierbei:

- Mikrobiologische Screening-Verfahren und genetische Stammoptimierung geeigneter Mikroorganismen,
- Bioreaktorentwicklung zur verbesserten Wasserstoffausbeute,
- Entwicklung zellfreier Systeme zur Wasserstoffproduktion
- Bisher sind praktisch einsetzbare Systeme der photobiologischen Wasserspaltung noch außerhalb des wissenschaftlich Absehbaren.
- Das Hauptproblem stellen der niedrige Wirkungsgrad (definiert als Verhältnis der dem System entnehmbaren Nutzenergie zur eingestrahlten Sonnenenergie) und die komplizierte Trennung von Wasserstoff und Sauerstoff dar. Als theoretisch erreichbarer Wirkungsgrad werden 14% angenommen. Die derzeit bekannten Systeme liegen meist unter 1 %.

Brennstoffzellen

Brennstoffzellen als elektrochemische Energiewandler unterliegen nicht den Wirkungsgradbeschränkungen thermischer Kreisprozesse. Sie weisen theoretische Wirkungsgrade der Stromerzeugung von bis zu 80% auf. In der Praxis spielen Brennstoffzellen zur Zeit keine Rolle in der Energiewandlungstechnik.

Brennstoffzellen können grundsätzlich sowohl mit fossilen Energieträgern (z. B. Erdgas) als auch mit Wasserstoff oder entsprechenden Gasgemischen betrieben werden. Obwohl sie eigentlich Wasserstoff verströmen, also ein wesentliches Element einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft sind, lassen sich Brennstoffzellen bereits heute, lange vor Einführung einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft, zur technischen Stromerzeugung auch für Kohlegas oder Methan mit sehr hohen Wirkungsgraden nutzen. Ein derartiger Einsatz und entsprechende Entwicklungen könnten wirksam zur Senkung von CO_2- Emissionen in die Atmosphäre beitragen.

Auch in den USA, Japan und neuerdings den Niederlanden werden entsprechende Entwicklungen durchgeführt. Je nach Brennstoffzellen-Typ ist der Einsatz für den Betrieb von Blockheizkraftwerken, für den Einsatz in Kraftwerken als auch in dezentralen oder mobilen Kleinanlagen möglich. Voraussetzung ist jedoch, daß entsprechende Entwicklungen bei den Leicht- und Schwerbrennstoffzellen weitergetrieben

werden. Ausgehend von den verschiedenen Brennstoffzellen-Typen und von einem unterschiedlichen Entwicklungsstand der Systeme wurde eine Fach-Mission eingesetzt, um Optionen und Entwicklungsziele unter Beteiligung von Vertretern der Wissenschaft und der Industrie festzulegen. Insbesondere die Systeme Niedertemperaturzelle (alkalische oder Ionentauscher-Membran), Mitteltemperaturzelle (phosphorsaure BZ) und Hochtemperaturzelle (Karbonatschmelzen- und Oxid-Keramik-BZ) sollen einer vertieften Bewertung unterzogen werden. Die oxidkeramische Zelle wird bereits im Rahmen von Forschungsprojekten entwickelt (Hot-Elly-Verfahren, ursprünglich für die Erzeugung von Wasserstoff).

Die Bundesregierung wird den Entwicklungsstand und Optionen der Brennstoffzellentechnik auf Basis der o. a. Fachmission überprüfen und evtl. aussichtsreiche Projektansätze im Rahmen dieses Programms fördern.

Zur besseren Auslotung des Potentials dieser Technik sind Vorhaben zur **Untersuchung der energetischen Anwender von Wasserstoff** geplant. Hier gibt es verschiedene Gebiete. Von möglichem kommerziellem Interesse könnte die Anwendung im Transportsektor sein, wo vor allem Industrieunternehmen Eigenforschung betreiben. Weitere interessante Ansätze bestehen evtl. für den Öffentlichen Nahverkehr. Auch für die Weltraumtechnik zeichnen sich Einsatzgebiete ab. Eingehende Analysen zur Ermittlung des Forschungsbedarfs für die staatliche Förderung haben aber ergeben, daß auf diesem Gebiet keine zeitdringlichen Aufgaben bestehen. Die Förderung beschränkt sich deshalb auf Institutsförderung.

In Ergänzung zu dieser Strategie werden auch **übergreifende Systemprojekte** zum' Thema Wasserstoff gefördert. So ist 1985 als ein Großprojekt dieser Art zusammen mit Saudi- Arabien und Baden-Württemberg das Hysolar-Programm angelaufen. In diesem 40 Mio. DM-Programm arbeiten zusammen die DLR, die Universität Stuttgart, die saudische Forschungseinrichtung King-Abdul Aziz-City-for-Sdence-and-Technology sowie zwei saudische Universitäten. Von besonderer Bedeutung ist ein umfassendes Solar-Wasserstoffprojekt in Bayern, das unter der Führung der Bayernwerk AG unter Beteiligung einiger Industriefirmen durchgeführt wird. Die erste Phase des Projekts umfaßt ein 500 kW-Photovoltaikfeld, Elektrolyse, Speicherung und Anwendung unter anderem in Gasmotoren, Brennstoffzellen und Heizkesseln. Das Projekt wird in der Oberpfalz realisiert und kostet in seiner ersten Phase bis 1991 etwa 50 Mio. DM. Davon tragen die Unternehmen die Hälfte, die Bundesregierung fördert mit 35%, das Land Bayern mit 15%.

4.1.5 Geothermie, Biomasse und andere Energiequellen

Geothermie (Einführung, Probleme, weiteres Vorgehen)

Erdwärme aus hydrothermalen Vorkommen ist an vielen Stellen der Erde (z.B. in Kalifornien, Island oder Italien) eine fast konventionelle Energiequelle. Die Bundesrepublik Deutschland verfügt nicht über entsprechende Vorkommen. Experimente unter relativ günstigen geologischen Bedingungen (z. B. in Bruchsal im Oberrheingraben) zeigen bisher, daß eine Nutzung zwar technisch, aber zur Zeit nicht zu vertretbaren Kosten möglich ist. Deshalb sollen neue Verfahren und Methoden gefördert werden, die hydrothermale Vorkommen wirtschaftlich interessant erschließen können.

Langfristig stellt die Nutzung der Erdwärme aus trockenem heißem Tiefengestein (Hot Dry Rock) eine noch nicht ausreichend erforschte Option dar, die bei positiven Forschungsergebnissen für die Wärme- und Stromversorgung der Bundesrepublik Deutschland wesentliche energiewirtschaftliche Bedeutung erreichen könnte. Bei dieser Technik ist das aufzuheizende Wasser in ein Bohrloch einzubringen, das über ein künstlich geschaffenes Rißsystem mit einem zweiten Bohrloch in Verbindung steht. Beim Durchströmen des im tiefen Untergrund (z. B. 6000 m) heißen Gesteins nimmt das Wasser Wärme auf und steigt durch die zweite Bohrung wieder nach oben. Diese Technik stellt eine der großen offenen Fragen der Energieforschung dar, und zwar nicht nur für die Bundesrepublik Deutschland, sondern für ganz Europa. Deshalb soll sie in einem gemeinsamen europäischen Ansatz entwickelt werden. Voraussetzung ist allerdings, daß die investiven Phasen eines solchen Projektes auch von industriellem Interesse mitgetragen werden. Es wird deshalb z. Zt. ein kleineres europäisches Wissenschaftsprogramm durchgeführt. Von den Ergebnissen dieses Programms und von einem nennenswerten privaten Engagement der Wirtschaft wird es abhängen, inwieweit dieses Verfahren zu einer möglichen Anwendungsreife geführt werden kann.

Biomasse (Einführung, Stand der Technik)

Beim Einsatz von Biomasse zu energetischen Zwecken ist zwischen Energiepflanzen und organischen Reststoffen zu unterscheiden.

Energiepflanzen sind

- schnellwachsende Baumarten und spezielle einjährige Energiepflanzen mit hohem Trockenmasseertrag zur Gewinnung von Brennstoffen;
- hochertragreiche zucker- und stärkehaltige Ackerfrüchte für die Umwandlung in Alkohole und

hochertragreiche Ölfrüchte für den Einsatz im Treibstoffsektor.

Ein wirtschaftlich nutzbares Potential ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt bei Energiepflanzen nicht gegeben. Der diskutierte Anbau spezieller Energiepflanzen ist hinsichtlich seiner Wirkungen auf die Umwelt heute noch nicht abschließend zu beurteilen. Zu möglichen Umweltbeeinträchtigungen gehören z.B. neben Erosion und Bodenverdichtung Auswirkungen auf die Artenvielfalt oder mögliche Veränderungen des Wasserhaushaltes oder hohe Nährstoffbelastungen von Böden, um große Erträge zu erreichen, also alle Nachteile einer Intensiv-Landwirtschaft wie starker Pflanzenschutz, Dünger, Bodenverarmung.

Organische Reststoffe (Agrar- und Forstwirtschaft, Industrie, Haushalte) wie organischer Müll, Klär- und Deponiegas werden in der Bundesrepublik Deutschland bereits zur Energieerzeugung genutzt. Hierbei sind auch Aspekte einer möglichst umweltgerechten Entsorgung dieser Rest- und Abfallstoffe von Interesse, wofür noch einiger Forschungsbedarf besteht.

Andere Energiequellen

An anderen Energiequellen für die Energieversorgung unseres Landes ist vor allem die Wasserkraft von besonderer Relevanz. Nach neuen Untersuchungen ist das technischwirtschaftliche Potential der Wasserkraft bereits zu etwa 3/4 ausgeschöpft. Von dem verbleibenden Potential wird ein bedeutender Anteil aus Gründen des Umwelt-und Naturschutzes nicht erschließbar sein, wobei die jeweils vorzunehmende Abwägung in der Zuständigkeit der Länder liegt. Ein Forschungsbedarf zur Weiterentwicklung der Wasserkraft wird derzeit im Rahmen dieses Programms nicht gesehen.

Von Bedeutung ist auch die Energieerzeugung durch Müllverbrennung. Hier besteht noch Forschungsbedarf im Hinblick auf die Umweltbelastungen. Entsprechende Forschungsvorhaben werden deshalb im Umweltforschungsprogramm der Bundesregierung gefördert.

Die Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Rohholz sind begrenzt durch die nutzbare Menge auf der einen und durch die Bereitstellungskosten auf der anderen Seite. Eine volle Ausschöpfung des theoretisch vorhandenen Potentials findet derzeit aus Kostengründen nicht statt. Für die Energieversorgung kann Rohholz nur unter besonderen lokalen Bedingungen von Bedeutung sein. Unter Umweltgesichtspunkten ist die Nutzung von Rohholz nicht unproblematisch.

4.1.6 *Energieeinsparung und Solaranwendung in Haushalt und Kleinverbrauch*

a) Einführung

Mit einem nahezu konstanten Anteil von ca. 45% am gesamten Endenergieverbrauch stellt der Sektor „Haushalt und Kleinverbrauch“ noch vor Industrie und Verkehrswesen nach wie vor den größten Verbrauchsposten in der Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland dar. Der weitaus überwiegende Anteil dient der Beheizung von Gebäuden. Hiervon wird die Hälfte weiterhin durch Öl gedeckt, ca. 40% werden über die leitungsgebundenen Energieträger Gas, Strom und Fernwärme bereitgestellt. Noch immer besteht ein beachtliches Einsparpotential, da der Wohnungs- und Gebäudebestand ganz überwiegend aus den Jahren niedriger Energiepreise stammt und eine Vielzahl von Techniken zur Verfügung steht, die hier auf breiter Front eingesetzt werden könnten.

Seit 1974 Wurde eine Vielzahl sowohl technischer als auch organisatorischer Maßnahmen erforscht, entwickelt und eingeführt. Viele wurden hauptsächlich unter dem Kostendruck hoher Energierechnungen verwirklicht. Für andere bedurfte es staatlicher Eingriffe sowohl im Verordnungsweg als auch durch gezielte finanzielle Anreize. Dies war auch in dem zur Zeit fortbestehenden Umstand begründet, daß das Gebiet von wenig forschungs- und innovationsorientierten Strukturen und Unternehmen geprägt ist. Forschung wird von den Unternehmen z.B. des Wohnungsbaus zu häufig als Fremdaufgabe angesehen. Das Fehlen von Forschungseinrichtungen und privat aufgebrachten Forschungsfonds reduziert die Forschung und Entwicklung auf eng am Eigennützen eines Unternehmens orientierte Maßnahmen. Dieses Defizit wurde im Rahmen der bisherigen Programme vor allem durch die staatliche Energieforschung ausgeglichen. Auch für die Zukunft bleiben angesichts dieser Strukturen weitere Aufgaben für das Programm bestehen, jedoch mit einem Aufwand, der dem noch bestehenden Bedarf angepaßt ist.

b) Stand der Technik, offene Probleme

Die ersten Reaktionen auf die Erhöhung der Ölpreise 1974 waren vor allem verbesserte Wärmedämm-Maßnahmen und die Anpassung von zumeist überdimensionierten Heizungssystemen an den tatsächlichen Bedarf. Daraus ist heute aufgrund umfangreicher Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten eine integrale Betrachtung des Gebäudes als energie- und bautechnische Einheit entstanden, die auch innere Wärmequellen, passive Sonnenenergienutzung und Bewohnerverhalten berücksichtigt. Dank der Bau- und Dämmstoffe hoher Güte und dank einer konsequenten weiteren Verbesserung der thermischen Qualität von Bauarten und Fensterkonstruktionen ist in den letzten 10 Jahren mehr zur Energieeinsparung

im Hochbau beigetragen worden als in den vergangenen 30 Jahren. Die zwischenzeitlich erreichten Erfolge sind an der Abnahme des spezifischen Energieverbrauchs in Liter Heizöl/m^2 und Jahr ablesbar. Während vor der ersten Ölkrise ein spezifischer Verbrauch von mehr als 401/m^2 und Jahr vorherrschte, besteht derzeit ein durchschnittlicher Verbrauch von ca. 221/m^2 und Jahr, gemittelt über den gesamten Gebäudebestand. Verbrauchswerte im Neubaubereich der sogenannten Niedrigenergie-Häuser von unter 101/m^2 und Jahr sowie von unter 51/m^2 und Jahr im Bereich der Erprobung belegen eindrucksvoll sowohl das zwischenzeitlich Erreichte als auch das technisch Machbare.

Bei der Verminderung der Transmissionswärme-Verluste durch die Gebäudeumfassungsflächen als klassisches Ziel des baulichen Wärmeschutzes wurden bereits in der Vergangenheit durch weiterentwickelte Wärmedämm-Materialien und neuartige konstruktive Lösungen die Voraussetzung geschaffen für erheblich verschärfte gesetzliche Anforderanlagen, die über die zweite Stufe der „Wärmeschutzverordnung“ in das Bauwesen eingeführt wurden und heute den Stand der Technik darstellen. In Einzelfallen ist aber auch bei der konventionellen Wärmedämmung bis heute unverändert die Notwendigkeit zur Verbesserung von Materialien und Systemen gegeben, insbesondere für typische Anwendungen zur Sanierung im Altbaubereich.

Die derzeit übliche Wärmedämmung von Gebäuden vermindert zwar die Transmissionswärme-Verluste, gestattet jedoch nicht die Nutzung der auf die Außenwände auftreffenden Strahlungsenergie zu Heizungszwecken. Optimal wären daher transparente, d.h. lichtdurchlässige Wärmedämmschichten, die - ähnlich einem Fenster - gleichzeitig als Solarkollektor bzw. wie eine Trombewand wirken. Hier ist weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit notwendig, die auf, ersten Grundlagenuntersuchungen und Experimenten aufbauen kann.

Da dem Einsatz von „aktiven“ (apparativen) Systemen zur Nutzung von Umweltenergie im hiesigen Klima und unter den gegebenen Wirtschaftlichkeitsanforderungen derzeit noch enge Grenzen gesetzt sind, kommt den „passiven“ (baulichen) d.h. nichtapparativen Maßnahmen unverändert eine überragende Bedeutung bei der Bemühung um Energieeinsparung in Gebäuden zu. Neben den klassischen Methoden, wie z. B. einer verstärkten Wärmedämmung, wird seit einigen Jahren denjenigen Möglichkeiten mehr Aufmerksamkeit gewidmet, die durch geeignete planerische Auslegung von Gebäuden und Ausbildung von speziellen Baukomponenten die Sonnenenergie verstärkt zur Heizung von Gebäuden einbeziehen. Diese sogenannte Solararchitektur verbindet sowohl konzeptionell als auch wirtschaftlich konventionelle Bautechniken mit neuen Solartechniken zur Einsparung von Energie. Inzwischen hegen mit dieser Architektur erste Erfahrungen aufgrund eines umfangreichen Forschungsprogramms vor, das in 22 bewohnten Häusern unter Praxisbedingungen durchgeführt wurde. Dabei ergaben sich unter anderem Einsparpotentiale beim Heizungsvierbrauch bis zu 50%. Es hat sich aber auch gezeigt, daß ein aktives Verhalten der Bewohner ein wichtiges Element für den Erfolg dieser Solararchitektur ist. Trotz dieser positiven Bilanz bleiben noch einige Probleme, z. B. hinsichtlich Regelungstechnik oder Bauphysik bestehen.

Auch die Haustechnik hat durch die Ölpreisverteuerung der 70er Jahre wesentliche neue Impulse erfahren. Forschung und Technik haben neue, rationellere Heizungstechniken entwickelt und ein besseres Verständnis der Wechselwirkung zwischen Gebäude und Heizung sowie eine verstärkte Kombination von Lüftung und Heizung in Verbindung mit Wärmerückgewinnung geliefert. Die als Folge verstärkter Energiesparmaßnahmen geradezu zwangsläufig in den Vordergrund getretenen Probleme, welche aus der energetisch erwünschten, aber hygienisch und bauphysikalisch kritischen Reduzierung der Lüftungswärmeverluste entstehen, führten zur Initiierung eines breitgefächerten und umfangreichen Verbundforschungsprojekts unter dem Arbeitstitel „Lüftung im Wohnungsbau“. Die inzwischen vorliegenden und veröffentlichten Ergebnisse dieses Programms finden zur Zeit Eingang in die Praxis, unter anderen bei der laufenden Überarbeitung der sogenannten „Lüftungsnormen“. Die Vorteile energiesparender Heiztechniken können im Zusammenhang mit kontrollierter Lüftung wohl am besten als Luftheizungssystem wesentlich erhöht werden. Hierzu besteht aber noch erheblicher Forschungsbedarf, wobei sich besonders schwierige Fragen im Hinblick auf entsprechende Sanierungsmethoden im Althausbestand stellen.

Bei den konventionellen Heizungssystemen wurde unter anderem als Ergebnis intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den letzten Jahren ein hoher technischer Stand erreicht, der es erlaubt, dieses Gebiet dem weiteren Spiel der Marktkräfte und eines funktionierenden Wettbewerbs zahlreicher Anbieter zu überlassen. Dennoch bleiben weitere Aufgaben bestehen, die vor allem die Umsetzung moderner Techniken, die auf anderen Gebieten entwickelt wurden (z. B. keramische Werkstoffe) zum Inhalt haben.

Neben der passiven Nutzung von Sonnenenergie für die Anwendung im Gebäude- und Dienstleistungsbereich ist seit 1973/74 auch die aktive Nutzung von Sonnenenergie neu ins Bewußtsein getreten. Stichworte hierfür sind Heizung und Warmwasserbereitung sowie Wärmepumpen. Bei den ersten beiden Themen zielte die Forschung und Entwicklung auf

kostengünstige Kollektor-Systeme mit langer Haltbarkeit. Hier sind erhebliche Erfolge erzielt worden, so daß Entwicklungsarbeiten nur noch zur Verbesserung integrierter Nutzungssysteme zu leisten sind, die dann im Dauerbetrieb erprobt werden müssen. Wenn auch diese Techniken angesichts des derzeitigen niedrigen Energiepreisniveaus große Probleme haben, sich am Markt zu behaupten, so zeigen die bislang vorliegenden Erfahrungen mit einer Vielzahl von Anlagen doch, daß diese Systeme durchaus in der Lage sind, einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung in Gebäuden zu liefern. Die langfristig angelegten projektbegleitenden Meßprogramme belegen aber auch, daß es unbedingt notwendig ist, die Integration der Einzelkomponenten in optimierte abgestimmte Systeme weiter zu verbessern. Insgesamt ist zwischen dem hohen technischen Stand auf der einen Seite und der praktischen Anwendung der verbesserten neuen Heiztechniken auf der anderen ein großes Umsetzungsdefizit zu beobachten, dessen Beseitigung vom Engagement insbesondere von Industrie, Handwerk und Verbrauchern abhängt. Die Förderung von Forschung und Entwicklung kann hier nur in Ausnahmefällen helfen.

Nicht zuletzt aus diesem Grund wurde die Erprobung und Markteinführung durch Solaranlagen unterschiedlicher Konzeption im öffentlichen Bereich gefördert. Die noch nicht abgeschlossenen Meß- und Bewertungsmaßnahmen zeigen, daß solche Anlagen aktiver Solarnutzung technisch und wirtschaftlich eher langfristige Option als jetzt verfügbare Alternative ist. Gleichwohl bestehen schon heute gute Chancen, solare Niedertemperaturwärme zur Schwimmbadheizung und Brauchwasserbereitung wirtschaftlich einzusetzen.

Besonders hohes Potential kommt im Bereich der Niedertemperaturwärme-Versorgung von Gebäuden den Wärmepumpen zu. Hier sind inzwischen aufgrund der Forschungsförderung und des hohen Engagements von Wirtschaft und Privatverbraucherti viele Erfahrungen gesammelt worden. Die Hauptprobleme dieser Technik liegen nach wie vor in der Wirtschaftlichkeit und der Betriebszuverlässigkeit. Besonders letztere wird jedoch mit ständig steigenden Betriebserfahrungen immer besser. In der Technik der Wärmepumpen liegt erhebliches Entwicklungspotential, das auch auf die beiden vorgenannten Probleme Einfluß hat. Ihm soll in Zukunft weiter nachgegangen werden, u.a. im Rahmen eines Wärmepumpenzentrums beim Fachinformationszentrum Energie in Karlsruhe.

Nach vielen Jahren intensiver Forschungsaktivitäten sind eine Reihe von Fördermaßnahmen ausgelaufen bzw. befinden sich in der Auslaufphase. Dies gilt insbesondere für die örtlichen und regionalen Energieversorgungskonzepte. Eine wichtige Aufgabe ist es, den methodischen und faktischen Inhalt der umfangreichen Studienwerke zu dokumentieren und für die Zukunft ein Informationssystem aufzubauen, das allen Interessenten - vor allem den Kommunen aber auch den Versorgungsunternehmen - erlaubt, die Ergebnisse rasch in die Praxis umzusetzen.

c) Weiteres Vorgehen

Aufgrund der bisher intensiven und breit angelegten Förderung dieses Gebietes ist inzwischen soviel Wissen für die Umsetzung in die Praxis erarbeitet worden, daß das hier vorgelegte Programm sich auf nur noch wenige, besonders wichtige Themen konzentrieren kann. Ausgehend vom geschilderten Stand der Technik und der skizzierten verbliebenen Probleme ergeben sich deshalb für das weitere Forschungskonzept folgende 6 Schwerpunkte:

- Entwicklung der transparenten Wärmedämmung bis zur kommerziellen Reife in einem umfassenden Ansatz, der sowohl Grundlagenarbeiten wie angewandte Forschung aus unmittelbarer Praxis (z.B. Witterungsverhalten, optische Probleme, Konstruktion etc.) umfaßt.
- Passive Nutzung von Sonnenenergie: Dokumentation und Verbreitung des bisher erarbeiteten Wissens zur raschen Umsetzung in die Praxis, Weiterentwicklung von Schlüsselkomponenten.
- Kontrollierte Lüftung im Wohnungsbau: Wärmerückgewinnungs-Techniken mit neuen Materialien, Luftheizung mit Warmluftkollektoren, Luft/Luft-Wärmepumpen.
- Verbesserung herkömmlicher Heizungssysteme: Öl-Brennwertgeräte, Kondensatprobleme bei Niedertemperaturheizung, Maßnahmen zur Reduktion von Schadstoffemissionen, Akzeptanzstudien für neue Heizungssysteme, Energieberatungssysteme.
- Aktive Nutzung von Solarenergie: Integration der Einzelelemente in optimierte, abgestimmte Systeme für Heizung und Warmwasserbereitstellung; Weiterführung der Wärmepumpentechnik durch
- Wärmepumpen mit Stirlingantrieb,
- Suche nach neuen Stoffpaaren für kleine Absorbtionswärmepumpen
- Mehrstufige Absorbtionswärmepumpen.
- Aufbau von Informationssystemen vor allem für Kommunen und Versorgungsunternehmen über die Ergebnisse der bisherigen Forschung, einschließlich der vielen Informationen, die zusätzlich über die IEA verfügbar sind.

Die Förderung aufgrund dieser Konzeption setzt besonders dort an, wo Marktanreize und -Strukturen zur selbständigen Lösung von Innovationsproblemen nicht ausreichen, obwohl jenseits hoher Erfolgsrisiken bedeutsame Anwendungspotentiale zu erwarten sind. Darüber hinaus bleiben Forschung, Entwicklung und Demonstration auch für heue, jetzt noch nicht erkennbare Lösungen wichtig und erhal-

ten zusätzliche Impulse aus der Grundlagenforschung und anderen Gebieten, insbesondere im Hinblick auf den Einsatz von neuen Werkstoffen und neuen Verfahren.

4.1.7 *Rationelle Energieverwendung in Energiewirtschaft und Industrie, Fernwärme*

4.1.7.1 Allgemeines

Eine Darstellung der rationellen Energieverwendung in Energiewirtschaft und Industrie im Rahmen der Abgrenzungen dieses Programms wäre unvollständig, wenn nicht berücksichtigt würde, daß wesentliche Forschungsarbeiten zugunsten einer rationelleren Energieverwendung sinnvollerweise auch in anderen Forschungsprogrammen der Bundesregierung verfolgt werden:

- in der Materialforschung, wo z.B. neue Keramiken oder Membranen neue Energiesparpotentiale eröffnen;
- in den physikalischen Technologien, wo z. B. neue Supraleiter hoher Sprungtemperatur den rationellen Umgang mit Elektrizität revolutionieren könnten;
- in der Elektronik und Informationstechnik, wo nicht nur Sensor-, Meß- und Regelungstechnik neue Wege eröffnen, sondern auch neue Organisationsformen und -abläufe softwaregesteuert vorstellbar geworden sind;
- in der Biologie und Biotechnologie, die neue energiesparende Verfahrenstechniken zur Herstellung heute energieintensiver Produkte bringen dürfte;
- in der Verkehrs- und Luftfahrttechnik, wo neue Systeme häufig zugleich weniger Energie verbrauchen.

Auch im Rahmen dieses Programms ist es praktisch, Kraftwerks- und Feuerungstechnik in dem eigenen Schwerpunkt der fossilen Energieträger zu organisieren, obwohl diese Förderaktivitäten auch wesentlich zum rationelleren Umgang mit Energie beitragen. Dies ist insbesondere der Grund, weshalb sich die hier beschriebenen Fördermaßnahmen im Bereich der Energiewirtschaft nicht mit der Strom- und Fernwärmebereitstellung aus großen Kraftwerkseinheiten befassen.

4.1.7.2 Rationelle Energieverwendung in der Energiewirtschaft

Die Energiewirtschaft wird weiterhin von großen und finanzstarken Unternehmen der Elektrizitätsversorgung, der Öl- und Gaswirtschaft geprägt, die Ziele der Energieeinsparung im eigenen Umwandlungs- und Transportbereich eigenständig bearbeiten und finanzieren können. Abgesehen von Fragen moderner, umweltfreundlicher Großkraftwerke hat sich der Staat daher weitgehend aus der Förderung zurückgezogen. Dies gilt auch für Studienwerke, Machbarkeitsuntersuchungen und Modellprojekte zum Thema „Örtliche und Regionale Energieversorgungskonzepte“. Dieser abgeschlossene Förderschwerpunkt hat erfolgreich weitbeachtete Grundlagen geschaffen und demonstriert, die mm von den jeweiligen Planungs- und Entscheidungsträgem (Gemeinden, Landkreisen, Unternehmen, Bauträgern etc.) vielfach kooperativ und eigenverantwortlich genutzt werden.

Zurückhaltung bei der Förderung ist auch geboten bei Forschung und Entwicklung im Bereich der elektrotechnischen Industrie z.B. bei Kabel- und Übertragungstechniken oder stromsparenden Hausgeräten, da diese Gebiete im Wettbewerb leistungsfähiger Firmen in der Regel ausreichend bearbeitet werden. Ausnahmefalle einer staatlichen Förderung beziehen sich auf Anwendung neuer physikalischer Techniken mit zunehmend hohem Erfolgsrisiko, wobei auch berücksichtigt wird, wie andere Industrienationen solche Techniken staatlich unterstützen.

4.1.7.3 Fernwärme

a) Sachstand

Anders als bei Elektrizität, Öl und Gas sind die Fernwärmeversorgung und ihr Bedarf an Forschung und Entwicklung zu beurteilen. Die Versorgungsunternehmen sind finanziell nur begrenzt imstande, hier in ausreichendem Maß voranzugehen. Auch lassen sich Forschungs- und Entwicklungsergebnisse zumeist nicht in einem Versorgungsunternehmen selbst mit ausreichendem betrieblichem Nutzen umsetzen. Ihr Wert kommt vielmehr der gesamten Fernwärmewirtschaft zugute. Für Hersteller von Systemen und Komponenten existiert zwar teilweise reger Wettbewerb; die mittel- und langfristig unsichere Marktentwicklung erlaubt aber nur beschränkt, längerfristige Entwicklungen allein zu finanzieren. Weiterentwicklung ist aber gerade wegen der erforderlichen Kostensenkung bei Transport und Verteilung sowie dezentralen Wärmeerzeugungstechniken der Nahwärme (Blockheizkraftwerke, Wärmepumpenheizwerke, kleine Wirbelschicht gefeuerte Kohleheizkraftwerke) notwendig, um den Kapitalbedarf eines energiepolitisch langfristig sinnvollen Fernwärmesystems zu mindern und den steigenden Umwelterfordernissen entsprechen zu können.

b) Weiteres Vorgehen

Entsprechend diesem Sachstand ist das Förderangebot dieses Programms in seiner Ausrichtung auf Kostensenkung ein notwendiger Bestandteil der auf rationelle Energieverwendung zielenden Energiepolitik der Bundesregierung. Dazu sind vor

allem folgende Projekte vorgesehen oder bereits in der Durchführung:

- Fortgeschrittene und umweltfreundliche Konzepte für Nahwärmeversorgungstechniken (z. B. Großwärmepumpen mit neuartiger Absorbtionsverfahrenstechnik oder schadstoffärmere Blockheizkraftwerke).
- Die Anwendung von Reibungsminderem (Tensiden), um die Transportkapazität vor allem bereits vorhandener Fernwärmeversorgungssysteme erheblich zu erhöhen und die spezifische Pumpleistung zu verringern. Die Projekte werden in der Regel im Verbund zwischen Universitätsforschung, Herstellern und Betreibern von Fernwärmenetzen bearbeitet.
- Die betriebliche Selbstvorspannung zur Vermeidung von teuren Kompensationsmaßnahmen bei der Verlegung von Fernwärmeleitungen, die bisher wegen der temperaturabhängigen Wärmedehnung der Leitungen notwendig sind.
- Die Vakuum-Superisolationstechnik zur Verminderung von Wärmeverlusten und zur Vermeidung von Kompensationsmaßnahmen wird ebenfalls als Verbundprojekt ausgeführt, das Grundlagen, Fertigungstechnik und eine Teststrecke unter praktischen Fernwärmebedingungen einschließt.
- Bautechnische Vereinfachungen (z.B. Flachverlegung oder schachtlose Bauweise) versprechen erhebliche Kostensenkungen.
- Alternative Wärmetransportverfahren über die Schiene sind Gegenstand eines Verbundprojektes unter Beteiligung von Stadtwerken, Bundesbahn u. a.
- Einzelkomponenten sowie Meß- und Kontrollsysteme für kostengünstigeren Betrieb von Fernwärmesystemen.
- Aufbau eines Informationssystems „Kommunale Energieversorgung“ (KEV) beim Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik.

Eine wichtige Rolle bei der förderpolitischen Weiterentwicklung des Fernwärmeschwerpunktes spielt die Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme (AGFW) im VDEW.

4.1.7.4 Rationelle Energieverwendung in der Industrie

a) Einführung

Von 1974 bis 1986 ist der spezifische Energieverbrauch der Industrie (Energieverbrauch pro Einheit der Wertschöpfung) bedingt durch strukturelle Veränderungen und rationellere Energienutzung um ca. 31% gesunken. Die Industrie leistet damit von allen Verbrauchssektoren den größten Beitrag zur rationelleren Energieverwendung. Die Fortsetzung dieser Entwicklung hängt in Zukunft in noch stärkerem Maß von der Einführung neuer Techniken ab, wobei Substitutionsprozesse zwischen Energieträgern weit fortgeschritten sind und eine Vielzahl verfügbarer technischer Lösungen intensiv umgesetzt wurden (z. B. die neuen elektronischen Meß- und Regelsysteme).

b) Sachstand und Probleme

Die Verbesserung der Energieeffizienz in der Industrie ist ein Prozeß, der kontinuierlich seit den 60er Jahren abläuft. Die Techniken dazu sind sehr vielfältig und von Industriezweig zu Industriezweig unterschiedlich. In der Regel kommen Systemlösungen zum Einsatz, d. h. Kombinationen von Komponenten und Vorrichtungen, die in die Verfahrenstechnik des jeweiligen Wirtschaftszweiges integriert werden. Je nach der Tiefe des Eingriffes in die Verfahrenstechnik lassen sich hier Maßnahmen ansteigender technischer Schwierigkeiten und Eingriffstiefe unterscheiden, bis hin zu grundlegend neuen Produktionsverfahren. Die Mehrzahl der in den ersten 10 Jahren seit 1974 durchgeführten Maßnahmen dürfte eine vergleichsweise geringe Eingriffstiefe aufgewiesen haben. Dazu zählen z.B. Wärmetauscheranwendungen und Industrieofen Verbesserungen. Demzufolge lag der Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit von Herstellern und Anwendern bei der Entwicklung einzelner Komponenten und branchenspezifischer Systemlösungen. In geringem Maß und auch erst seit wenigen Jahren werden grundlegende Verfahrensänderungen angestrebt. Dabei ist der rationellere Umgang mit Energie häufig nicht vorrangiges Ziel, sondern es wird zugleich eine Ausrichtung auf neue Produkte, Umweltschutz, Rohstoffeinsparung und Rationalisierung angestrebt. Auch wenn bisher keine spektakulären technischen Durchbrüche erzielt werden konnten, ist das Niveau der technischen Kenntnisse und Fähigkeiten in einzelnen Technikbereichen beträchtlich gestiegen. Dennoch stehen Entwicklung und Verbreitung der Techniken vor einer Reihe wirtschaftlicher und technischer Schwierigkeiten. Stichworte hierfür sind mittelfristig unsichere Energiepreise, zu kurze Vorgaben bei den Amortisationszeiten für energiesparende Maßnahmen, hohe technische, oft zu eng bemessene sowie wirtschaftliche Risiken grundlegender Verfahrensänderungen.

c) Weiteres Vorgehen

Die Förderung von Forschung und Entwicklung zur rationellen Energieverwendung in der Industrie kann nur bedingt nach einem (technisch-fachlich) breit angelegtem, umfassenden Konzept erfolgen, da industrielle Eigenentwicklung und -Finanzierung die Regel und staatliche Hilfe die Ausnahme sein muß. Öffentliche Förderung sollte daher am Einzelfall bemessen und davon abhängig gemacht werden, daß durch sie Hemmnisse im Marktgeschehen beseitigt

werden können. Daneben wird von Gestaltungszielen ausgegangen, die darauf hinwirken sollen,

- die Zusammenarbeit Wissenschaft-Wirtschaft zu verbessern;
- kooperative Lösungsansätze mehrerer Unternehmen oder ganzer Branchen zu fördern.

Diese Gestaltungsziele zu erreichen, ist häufig schwierig und zeitaufwendig. Es muß deshalb pragmatisch berücksichtigt werden, daß ideale Kooperationsmodelle nicht immer zeitgerecht für die anstehende Forschungs- und Entwicklungs-Arbeit erreicht werden können. Hier darf das Ziel, neue technisch-wirtschaftliche Einsparpotentiale für die Volkswirtschaft rasch zu erschließen, nicht gefährdet werden.

Beispiele laufender und geplanter Förderprojekte sind:

- Die Stirling-Motor-Technik, die wegen der guten Wirkungsgrade und der Energiezufuhr durch äußere Verbrennung als längerfristig aussichtsreich gilt;
- der Öldampf-Keramikmotor nach dem Ficht-Prinzip;
- fortschrittliche technische Lösungsansätze zur Verbesserung der Leistungsdaten von Wärmepumpen und Wärmetransformatoren;
- Verbesserung des Wärmeübergangs durch Strahlungswände bei Industrieöfen;
- Keramik-Wärmetauscher für hohe Temperaturen und korrosive Bedingungen;
- alternative Verfahren zur Abwärmenutzung, z.B. durch Wärmerohre und mehrstufige Absorptionswärmepumpen;
- energiesparende Herstellung von Schaumkeramik;
- Verminderung des Energieverbrauchs beim Zerkleinern;
- energiesparende Maßnahmen beim Sinter-Prozeß und bei Verformungsverfahren;
- Verfahren zum Trocknen und Entwässern, wo besonders große Einsparpotentiale liegen.

Flankierend zu diesen Forschungsansätzen untersucht das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG/ISI), wo neue Forschungs- und Entwicklungsthemen liegen könnten und wie die bisher erarbeiteten Ergebnisse zielgruppenorientiert verbreitet werden können. Dort wird auch an einer Methode gearbeitet, mit deren Hilfe die Abhängigkeit der Energieintensität und -effizienz von verschiedenen Determinanten bestimmt werden soll. Sie bildet die Fortsetzung eines EG-Projekts zur Untersuchung des Energieverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland.

4.1.8 Energiespeicher

a) Einführung

Energiespeicher sind in der Regel aufwendige Komponenten eines Gesamtsystems, so daß ein guter Systementwurf Speicherkosten klein halten (z. B. durch Nutzung der guten Speicherfähigkeit fossiler Energieträger in solar-fossilen hybriden Systemen oder im Netzverbund) oder Integrationsmöglichkeiten optimieren sollte (z. B. bei neuen solaren Speicherkollektoren oder der Kombination thermo-chemischer Wärmespeicherung mit Wärmepumpenbetrieb). Anwendungsziel von Speichern ist insbesondere die Anpassung zwischen Energiequelle und Energiebedarf.

b) Stand der Technik, offene Probleme

Der Stand der Energiespeichertechnik ist auf vielen Gebieten ausgereift und kommerziell, z.B. bei Starterbatterien, vielen Arten von Gerätebatterien, wartungsarmen Bleibatterien für Solaranwendungen, Warmwasserspeichern in Heizungsanlagen und Fernwärmenetzen oder Latentwärmespeichern wie z.B. Eisspeichern. In letzter Zeit haben auch Großwärmespeicher in Felskavemenbauweise, z.B. in Schweden ihre Reife nachgewiesen.

Wenn der Stand der Energiespeichertechnik gleichwohl häufig als unbefriedigend dargestellt wird, so bezieht sich dies auf Kosten und Wirtschaftlichkeit für wünschenswerte Anwendungen der rationellen Energieverwendung und der erneuerbaren Energien. So braucht die saisonale Wärmespeicherung von im Sommer anfallender Abwärme oder Sonnenenergie Wärmespeicher, die wegen ihrer jährlich nur einmaligen Nutzung viel billiger sein müssen als Kurzzeitspeicher mit 100 und mehr Nutzungszyklen pro Jahr.

Bei der Speicherung von Elektrizität sind die hohen Batteriekosten schon im Kurzzeitbereich problematisch. Für die saisonale Speicherung von Solarstrom stellen daher Batterien keine Lösung dar. Man denkt hier eher an die Produktion von Wasserstoff und anderen chemischen Energieträgern.

Die im Auftrag des BMFT durchgeführte Untersuchung „Einsatzpotential von Wärmespeichern in der Industrie“ zeigt, daß bei vielen industriellen Prozessen, z. B. in der Eisen- und Stahl-, Feinkeramik-, Aluminium-, Textil- und Nahrungsmittelindustrie verstärkt Abwärme durch Wärmespeicher genutzt werden kann. Das technisch- wirtschaftlich nutzbare Potential ist beachtlich. Es werden Wärmespeicher hoher Leistung für den gesamten Temperaturbereich zwischen 100°C und 1200°C benötigt. Die weitere Entwicklung neuer Speichertechniken mit Salz-Keramik und die Erprobung in Pilot- und Demonstrati-

onsprojekten ist erforderlich. Die Speicher können auch eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der solarthermischen Stromerzeugung erbringen, wie eine kürzlich durchgeführte Studie der DLR zeigte.

Wo neue Techniken und Werkstoffe neue Möglichkeiten eröffnen, kann Forschung und Entwicklung in vielen Fällen von den beteiligten Firmen allein getragen werden - mitunter nach einer staatlich geförderten Grundlagen- u. Anlaufphase. In diesem Sinne ist beabsichtigt, einige erfolgsversprechende Fördervorhaben zu beenden, wie z.B. die Natrium-Schwefel-Batterie, die dann in die Demonstrationsphase eintritt.

Umgekehrt ist es im Interesse einer Erforschung der Möglichkeiten erneuerbarer Energien und rationeller Energieverwendung notwendig, einige Speichertechniken auch mit hohen staatlichen Beteiligungen zu erforschen und zu erproben. Beispiele finden sich insbesondere im Zusammenhang der noch nicht marktfähigen solarthermischen Prozeßwärme- und Stromerzeugung.

Eine spezifische Herausforderung könnte sich aus den neuentdeckten Supraleitern mit hoher Sprungtemperatur für die verlustfreie Stromspeicherung ergeben, sobald geeignete Werkstoffe und Bearbeitungsverfahren verfügbar sind. Neuere Untersuchungen zeigen aber, daß die Verringerung des Kühlaufwands wahrscheinlich nicht zu durchbruchartigen Kostensenkungen führen wird. Auch bleibt es bei den großen geometrischen Strukturen supraleitender Speicher, die bereits mehrfach experimentell dargestellt worden sind, so daß sich z.B. für dezentrale Anwendungen erneuerbarer Energien keine neue Perspektive ergibt.

Aber auch aus anderen neuen Werkstoffen ergeben sich interessante Ansätze; z. B. aus den leitenden Polymeren geänderte Batteriekonzepte oder aus verbesserten Verbundwerkstoffen Schwungradspeichersysteme, die allerdings eher wegen ihrer Leistungscharakteristik als wegen der gespeicherten Energie interessant werden könnten. Auch auf die Wasserstofftechnik ist in diesem Zusammenhang hinzuweisen.

c) Weiteres Vorgehen

Aufbauend auf den Ergebnissen des bisherigen, umfassenden Ansatzes und wegen der Beiträge, die aus anderen Bereichen der Forschung erwartet werden können, kann die weitere Förderung der Energiespeicher-Entwicklung im Rahmen dieses Programms konzentriert werden auf nur noch wenige, besonders aussichtsreiche Projekte wie:

- Bleibatterie mit Elektrodendurchströmung;
- Eisen-Chrom-Redox-Speicher;
- Entwicklung von Ionenleitem aus Zeolithischen Systemen für Batterien und Brennstoffzellen;
- Schwungrad- und Aquiferwärmespeicher;
- Erdsondenspeicher, auch für saisonale Speicherung von Niedertemperaturwärme im Erdreich;
- thermochemische Speicher;
- Mittel- und Hochtemperaturspeicher für Solaranlagen, für deren Erprobung insbesondere das südspanische Solarzentrum bei Almeria genutzt werden soll.

Insgesamt werden die bekannten Ansätze zur Energiespeicherung allerdings die weitreichenden Hoffnungen, insbesondere im Bereich saisonaler Abwärmespeicher und billiger Solarsysteme, noch nicht erfüllen können. Nötig ist daher eine Verbreiterung der Grundlagenforschung, um neue Ideen zu finden und zu erproben. Sie wird im Rahmen dieses Programms besonders gefördert.

4.1.9 Bodengebundener Transport und Verkehr

Der Energiebedarf im Verkehr wird zu über 98 % mit flüssigen Kohlenwasserstoffen gedeckt. Insbesondere der Kraftfahrzeugverkehr ist heute nahezu vollständig auf Kraftstoffe aus Mineralöl angewiesen, während die spurgeführten Verkehrsmittel, vorwiegend elektrische Antriebe nutzen und somit eine teilweise Unabhängigkeit vom Mineralöl aufweisen.

Ansatzpunkte für technische Verbesserungen zur Energieeinsparung bieten vor allem die unterschiedlichen, insgesamt niedrigen Energienutzungsgrade der einzelnen Verkehrssysteme. Wesentliche Energieeinsparungen und damit auch eine spürbare Verringerung der Umweltbelastung lassen sich im Verkehr durch eine Verlagerung von Verkehrsleistungen vom Straßenverkehr zum Schienenverkehr erreichen.

Rationelle und umweltfreundliche Energieausnutzung und Diversifizierung auf mineral- ölunabhängige Energieträger sind daher wichtige Förderziele in der Entwicklung neuer und verbesserter Verkehrstechniken im Rahmen des Verkehrsforschungskonzeptes des BMFT.

Kraftfahrzeuge und Straßenverkehr

Die Förderung von Techniken zur Energieeinsparung für den Bereich Kraftfahrzeuge und Straßenverkehr konzentriert sich auf Projekte, die geeignet sind, zur Erreichung folgender Ziele beizutragen:

- Reduzierung des Energieeinsatzes z.B. durch neue Motorkonzepte,
- Verringerung der Abhängigkeit von wichtigen in der Bundesrepublik Deutschland nicht verfügbaren Rohstoffen, insbesondere fossilen Kraftstoffen, durch Substitution von Mineralölprodukten

z.B. durch Wasserstoff, Methanol, Ethanol oder nachwachsende Pflanzenöle (Rapsöl),
- Verbesserung des Verkehrsablaufs durch die Optimierung des gesamten Systems „Fahrzeug - Fahrer - Verkehrsinfrastruktur“ (z.B. PROMETHEUS - Programme for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety).

Öffentliche Nah- und Fernverkehrs Systeme

Der spezifische Energieverbrauch öffentlicher Verkehrssysteme ist wesentlich günstiger als der des individuellen Kraftfahrzeuges. Die Förderung von Techniken zur Energieeinsparung im Verkehr konzentriert sich deshalb auf Maßnahmen, die dem Ziel dienen, den Anteil des öffentlichen Personenverkehrs am Gesamtverkehr durch Steigerung der Attraktivität zu erhöhen und so zu einem niedrigeren Gesamtenergieverbrauch im Verkehr beizutragen. Weitere wesentliche Beiträge werden durch folgende Maßnahmen erwartet:

- Entwicklung von energiesparenden Antrieben mit Bremsenergierückgewinnung,
- Substitution von Mineralölprodukten durch den Einsatz von alternativen Kraftstoffen (z-B. Methanol),
- Optimierung der Antriebe von Nahverkehrsfahrzeugen und Schnellbahnsystemen durch Weiterentwicklung von Komponenten,
- Gewichtsreduzierungen durch Verwendung neuer Werkstoffe und Anwendung der Leichtbauweise,
- Verbesserung des Betriebsablaufs durch den Einsatz von rechnergestütztem Betriebsleitsystem.

Güterverkehr und Transportketten

Auch in diesem Bereich besteht ein erhebliches Potential zum rationelleren Einsatz von Energie. Dies kann zum einen durch die Realisierung des verkehrspolitischen Ziels, den Güterfernverkehr von der Straße auf die Schiene zu verlagern, erreicht werden, sowie durch Stärkung des kombinierten Verkehrs und durch die Optimierung der Gütertransportkapazitäten im Straßengüterverkehr. Die Entwicklung und Einführung moderner Kommunikations- und Informationstechniken können dabei einen wesentlichen Beitrag leisten.

4.1.10 Nutzungssysteme für südliche Klimabedingungen

a) Einführung

Die meisten Entwicklungsländer liegen im Sonnengürtel der Erde. Strom aus Wasserkraft sowie die Nutzung von Brennholz stellen vielfach wichtige Energieträger dieser Länder dar. Mechanische Antriebe und Generatoren auf Dieselbasis haben in den Jahren billigen Öls zwar einen immer größeren Anteil an der Energieversorgung erreicht, leiden heute jedoch an Problemen hoher Ölkosten, ungesicherter Verfügbarkeit aufgrund von Transport- und Devisenproblemen sowie an fehlender Wartung und Reparatur.

Allein das hohe Bevölkerungswachstum in der Dritten Welt führt zu einem rasch steigenden Primärenergieverbrauch dieser Länder. Industrialisierung und Verbesserung der Lebenssituation beschleunigen diesen Anstieg. Dies führt zu einer zunehmenden Ausschöpfung der klassischen Energieträger Wasserkraft und Brennholz und zugleich zu wachsenden ökologischen Problemen, insbesondere zu Bodenerosion und Entwaldung weiter Landstriche. -

Ein progressiv steigender Einsatz fossiler Energieträger kann außerdem durch die verstärkte Emission von Treibhausgasen weltweit zu einer Verstärkung der Klimaprobleme führen.

Die Energieversorgung in der Dritten Welt steht zunehmend auch vor logistischen Problemen. Der Leistungsbedarf insbesondere der Dörfer in ländlichen Regionen ist so gering und die Verbrauchseinheiten liegen häufig soweit auseinander, daß die Netzanbindung spezifisch sehr hohe Kosten aufweist. Hinzu tritt eine mangelhafte Verkehrsinfrastruktur, die Transport und Verteilung von Öl und Kohle verteuern und einschränken.

In dieser Situation wird der Einsatz erneuerbarer Energien besonders attraktiv. Eine Reihe von Entwicklungen wird deshalb spezifisch für den Einsatz in sonnenreichen Ländern durchgeführt. Dazu zählen

- solarthermische Kraftwerke (s.o. 4.1.2)
- Energieerzeugungs- und Nutzungsanlagen für den ländlichen Raum.

Bei der Entwicklung von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien im ländlichen Raum der Dritten Welt lag der Schwerpunkt bisher bei der Entwicklung einzelner Nutzersysteme und bei dem kombinierten Einsatz von einzelnen Nutzersystemen zur Versorgung ländlicher Einheiten („Solardorfprogramm“).

b) Ergebnisse bisheriger Arbeiten und erreichter Stand der Technik

Bei der Entwicklung einzelner Nutzungssysteme erneuerbarer Energien lagen die Schwerpunkte der Förderung in folgenden Bereichen, die in besonderem Maße auf eine bessere Befriedung von Grundbedürfnissen ausgerichtet sind:

Photovoltaische und solarthermische Trinkwasserpumpen

Hier konnte die technische Funktionsfähigkeit nachgewiesen, der Wartungsbedarf gesenkt und die Lebensdauer erhöht werden. Systemoptimierung, weitere Kostensenkung, geringerer Wartungsbedarf und eine bedarfsgerechte Standardisierung sind weitere Aufgaben, die der Lösung bedürfen, wenn diese Techniken breit eingesetzt werden sollen.

Nutzung der Photovoltaik im Bereich der Telekommunikation

Mit jährlichen Steigerungsraten zwischen 20 und 40% in den letzten 5 Jahren hat sich die Telekommunikation rasch an die Spitze aller kommerziellen PV-Anwendungen gesetzt. 1984 wurde fast die Hälfte der für den kommerziellen Einsatz produzierten Photozellen für nachrichtentechnische Einrichtungen verwendet. Dazu zählen in Entwicklungsländern insbesondere Umsetzerstationen, Lautsprecheranlagen in Dörfern, kleine örtliche Fernsprechnetze; Gemeinschaftsanlagen für Fernsehempfang, Funktelefone, Leuchtfeuer, Navigationshilfen, Einzelanlagen für Rundfunk und Fernsehen.

Die technische Entwicklung in diesem Bereich ist weit fortgeschritten. Grundlegende FuE-Aufgaben sind derzeit nicht zu erkennen. Die erfolgten Demonstrationen sind ausreichend, um eine marktmäßige Verbreitung zu sichern.

Photovoltaische Kleinsysteme zur dezentralen dörflichen Energieversorgung

Photovoltaische Kleinsysteme bieten in abgelegenen Regionen mit disperser Siedlungsstruktur häufig die einzige Möglichkeit einer minimalen Stromversorgung für die dort lebende Bevölkerung.

Die Hauptanwendungsbereiche erstrecken sich gegenwärtig auf die Versorgung, privater Haushalte (insbesondere für Beleuchtung), die Kühlung von Medikamenten in Krankenstationen und die Stromversorgung diverser Verbraucher in öffentlichen Einrichtungen (sog. Stationsversorgung). Letztere unterscheidet sich von den zuerst genannten durch die höhere bereitgestellte Leistung, die bis in den Kilowattbereich reichen kann, sowie die Art und Anzahl der angeschlossenen Verbraucher. Technischer Entwicklungsbedarf besteht vor allem im Bereich der elektronischen Vorschaltgeräte und Laderegler, der Systemintegration, der Energieeinsparung bei den konventionellen Komponenten, der Standardisierung von Systemen und Komponenten, der Anpassung an die Einsatzbedingungen in Entwicklungsländern. Mit der Lösung dieser technischen Aufgaben und mit breiteren Feldtests zur Ausräumung von dann noch bestehenden Kinderkrankheiten können photovoltaische Kleinsysteme in breitem Maße wirtschaftlich wettbewerbsfähig eingesetzt werden.

Solare Meer- und Brackwasserentsalzung

Mit der Entwicklung solcher Systeme haben sich in der Bundesrepublik Deutschland bisher ca. 30 Vorhaben in unterschiedlichen Projektstadien (einschließlich Projektvorschlägen) befaßt, wobei noch keine dieser Entwicklungen zu einer kommerziellen Anwendung geführt hat oder als voll ausgereift gelten kann.

Die bisher entwickelten solarthermischen Entsalzungsverfahren sind Destillationsverfahren, die entweder auf der Feuchtluft-, der Vakuum- oder der Trans-Membran- Destillation basieren. Andere Verfahren zur solarthermischen Meerwasserentsalzung, wie thermische Ausfrierverfahren, atmosphärische Adsorption-Desorption oder Thermoosmose wurden bisher nicht näher untersucht.

Angesichts dieser unbefriedigenden Situation in der Technik und des andererseits bestehenden hohen Bedarfs ist es erforderlich, neben möglichen technischen Weiterentwicklungen und Verbesserungen noch grundlegend neue technische Lösungen zu suchen.

Solarthermische Trockner

Allgemein werden die in den Entwicklungsländern bei traditionellen Trocknungsmethoden entstehenden Nahrungs- und Futtermittelverluste auf jährlich 10-30% geschätzt. Um diese-Verluste zu reduzieren, wurde in der Vergangenheit mit den verschiedensten Bauarten von solarthermischen Trocknungssystemen in einer Vielzahl von Versuchs- und Demonstrationsprojekten experimentiert.

Bislang wurden in erster Linie solare Kleinstanlagen und dabei vor allem Durchströmtrockner mit Naturkonvektion untersucht. Der Einsatz von Kollektoranlagen zur Luftvorwärmung in der industriellen Trocknung wurde wegen des hohen Investitionsaufwands nur selten demonstriert.

Der Kreis der Wissensträger und Forscher in der Bundesrepublik Deutschland ist begrenzt und entfallt im wesentlichen auf Forschungseinrichtungen. Ein industrielles Engagement ist kaum festzustellen.

Von Ausnahmen abgesehen befinden sich solare Trocknungsanlagen noch im Entwicklungsstadium. Es gilt noch Materialprobleme zu lösen, Prozesse produktspezifisch zu optimieren, und die notwendigen Regelungseinheiten zu verbessern. Erst im zweiten Schritt kann dann eine Erprobung und Optimierung unter Praxisbedingungen erfolgen.

Solarkocher

Seit etwa drei Jahrzehnten werden in Entwicklungsländern Vorhaben durchgeführt, die das Ziel verfolgen, den Brennstoffbedarf von Haushalten für Koch- und Backzwecke durch die Ausnutzung von Solarenergie zu reduzieren.

Die bisherigen Bemühungen zur Entwicklung von Solarkochern orientierten sich dabei mehr an der technischen Realisierbarkeit als an den konkreten Möglichkeiten der Benutzung und dem damit zusammenhängenden Akzeptanzaspekt.

Von einigen Teilerfolgen mit der solaren Kochkiste in Indien und China abgesehen, ist eine nennenswerte Verbreitung von solaren Kochgeräten nirgendwo gelungen, so daß die Aktivitäten nationaler und internationaler Geberorganisation auf diesem Gebiet inzwischen deutlich abgenommen haben.

Technische Lösungen, die zugleich wirtschaftlich sind und den kulturellen örtlichen Gegebenheiten angepaßt werden können (Kochen in den Abendstunden) sind derzeit nicht in Sicht.

Solarthermische Anlagen zur industriellen Prozeßwärmegewinnung

Aus technischer Sicht kommt für den Einsatz solarthermischer Anlagen zur Prozeßwärmegewinnung in der Industrie zur Zeit der Temperaturbereich zwischen 60 und 300° C in Frage. In Entwicklungsländern besteht ein Hauptbedarf zwischen 80 und 150° C. Die industrielle Struktur vieler Entwicklungsländer weist Schwerpunkte bei der Verarbeitung von Nahrungsmitteln, der Herstellung von Textilien und anderen Branchen auf, die erhebliche Teile der Prozeßwärme in dem genannten Temperaturbereich benötigen und damit für die Substitution konventioneller Energieträger durch Solarenergie grundsätzlich geeignet sind.

Bisher nur vereinzelt durchgeführte Vorhaben zur industriellen Prozeßwärmeerzeugung in Entwicklungsländern haben die Pilotphase noch nicht verlassen; eine breiter angelegte, systematische Erprobung an geeigneten Standorten steht daher noch aus. Neben ungelösten System- und Prozeßfragen gibt es noch einen erheblichen Entwicklungsbedarf bei einzelnen Komponenten. Insgesamt stellt sich hier für die Technikentwicklung und -förderung eine komplexe Aufgabe, die ein breiteres und systematischeres Vorgehen als in der Vergangenheit erfordert.

Solarthermische Kühlanlagen

Die Entwicklung der Anlagen beschränkt sich auf kleine bis mittelgroße Systeme bis zu einer Leistung von maximal 200 kW, wobei der häufigste Bereich zwischen 10 und 20 kW liegen dürfte.

Als typische Einsatzbereiche kommen in Entwicklungsländern in Frage:

- Kühlung von Medikamenten (insbesondere Impfstoffe) in Krankenstationen,
- Kühlung von landwirtschaftlichen Erzeugnissen wie Milch, Fisch und anderen Produkten in landwirtschaftlichen Betrieben bzw. größeren Kühlhäusern,
- Klimatisierung von speziellen Räumen.

Die Entwicklungsarbeit für solarthermische Kühleinrichtungen wird vorwiegend an Technischen Universitäten und Forschungsinstitutionen betrieben, wobei sich die Wissensträger auf eine Vielzahl von Industrienationen Verteilern In den wenigen Fällen, wo private Firmen engagiert sind, geschieht dies grundsätzlich auf der Basis öffentlicher Fördermittel.

Der technische Stand ist insgesamt unbefriedigend. Wesentliche Arbeiten sind erforderlich in den Bereichen Kältetechnik, Systemkomponenten, Solarkomponente, Bedienerfreundlichkeit und Systemintegration. Die Zurückhaltung der kältetechnischen Industrie könnte sich in Zukunft aufgrund der Ozonproblematik ändern, so daß mit neuen Maßnahmen für Forschung und Entwicklung gezielter angesetzt werden könnte.

Integrierte ländliche Versorgungssysteme

In verschiedenen „Solardorfprojekten“

- Sonntlan/Mexiko,
- Daxing/China,
- Solardörfer Indonesien

ist der kombinierte Einsatz der o. g. Techniken erprobt worden, um mit ihrer Hilfe die Lebenssituation der ländlichen Bevölkerung zu verbessern und Impulse für eine eigenständige Entwicklung zu schaffen. Dieses Ziel konnte nicht in vollem Umfang realisiert werden. Technische Mängel bei einzelnen Techniken (z.B. bei Entsalzungsund Kühltechniken), mangelnde Robustheit einzelner Anlagen, zu hohe Anforderungen an den Nutzer haben dies verhindert

Die in diesem Vorhaben gewonnenen Erfahrungen waren andererseits aber insofern von großer Bedeutung, als es gelungen ist, diejenigen Techniken zu finden, die mit verhältnismäßig geringen Entwicklungsaufwand in eine breitere Umsetzung gebracht werden können.

Dazu zählen

- photovoltaische und solarthermische Trinkwasserpumpen,
- photovoltaische Kleinsysteme,
- Anlagen im Bereich der Telekommunikation,
- solare Trockner (in Einzelfallen).

Damit ist es heute insgesamt möglich, mit Hilfe erneuerbarer Energien in absehbarer Zeit einen Beitrag zur Verbesserung der Grundbedürfnisbefriedigung in Entwicklungsländern zu leisten.

Zukünftige Maßnahmen

Im Lichte dieser Erfahrungen konzentriert sich die Zusammenarbeit bei Forschung und Entwicklung zunehmend auf die bisher erfolgreichsten Kooperationen in wenigen Ländern Asiens und Lateinamerikas sowie auf weltweite Tests neuer Techniken und neuer Systeme unter verschiedenen Klimabedingungen. Diese Vorhaben sollen den in der Bundesrepublik Deutschland erreichten technischen Stand demonstrieren, wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien dokumentieren und Verbreitungshemmnisse in den Partnerländern vermindern. Diese Maßnahmen werden unter Beteiligung und enger Abstimmung mit BMZ, GTZ, KfW und DEG durchgeführt. Beispiele hierfür sind:

- Einsatz von kleinen Windkraftanlagen für die Stromversorgung von Inselnetzen;
- Einsatz von photovoltaischen und solarthermischen Trinkwasserpumpen in Gebieten ohne Stromversorgung;
- Qualifikationstests von kleinen Windkraftanlagen und Wind-Diesel-Systemen für Einzelverbraucher, zur Minimalstromversorgung und für kleine Inselnetze („Schwache Netze“).

Die hier eingesetzten Techniken haben sich bereits bewährt Die breiter angelegten Feldtests dienen einer letzten Erprobung Bei Erfolg dieser Maßnahmen wird es in Zukunft möglich sein, auch im ländlichen Raum der Dritten Welt eine wirtschaftliche Basisenergieversorgung mit Hilfe erneuerbarer Energien sicherzustellen.

Nutzungssysteme, die noch wesentliche technische Mängel und demzufolge einen hohen FuE-Bedarf aufweisen, bedürfen in Zukunft einer anderen Art des forschungspolitischen Vorgehens. Häufig sind diese Techniken bzw. die mit ihnen angesprochenen Märkte für die Industrie nicht von besonderer Priorität. Aus entwicklungspolitischen und humanitären, mehr und mehr auch aus übergeordneten ökologischen Gesichtspunkten heraus sind sie jedoch von hoher Priorität Die Forschungsförderung wird deshalb diese Entwicklungen in enger Abstimmung mit der Entwicklungspolitik mehr unter dem Gesichtspunkt einer staatlichen Aufgabe voranbringen. Ziel ist es dabei, ökologische Schäden z. B. durch extensiven Brennholzverbrauch zu vermindern und Techniken bereitzustellen, die auch die Erwerbsquellen der ländlichen Bevölkerung erweitern.

4.2 Kernenergie

Forschung und Entwicklung zur-friedlichen Nutzung der Kernenergie ist der älteste und zugleich ein sehr erfolgreicher Teil des Energieforschungsprogramms. Das bei Beginn der Förderung 1958 im Vordergrund stehende Ziel, nämlich in der Bundesrepublik Deutschland über eigenständige Techniken in allen wichtigen Bereichen der Kernenergie zu verfügen, ist für das Leichtwasserreaktorsystem einschließlich des Brennstoffkreislaufs erreicht Der hohe Stand der Kerntechnik in unserem Land ist das Ergebnis einer intensiven gemeinsamen Anstrengung von Wissenschaft, Wirtschaft und Staat Sie hat dazu geführt, daß heute die Kernenergie mit ca. 40% neben der Kohle zur wichtigsten Quelle für die öffentliche Stromversorgung geworden ist. Die deutschen Kernkraftwerke stehen hinsichtlich ihrer zeitlichen Verfügbarkeit weltweit ganz vorne auf der Leistungsskala.

Nach der Kommerzialisierung der Leichtwasserreaktoren um 1970 hat die Wirtschaft auch weitgehend die Verantwortung für den zugehörigen Brennstoffkreislauf übernommen. Die finanzielle Förderung der Kernenergie konnte deshalb kontinuierlich abgebaut werden: Vergleicht man das Fördervolumen von 1982 (1927 Mio. DM) mit dem von 1989 (755,7 Mio. DM, jeweils ohne Kernfusion und intern. Beiträge), so ergibt sich eine Absenkung auf weniger als 40% der früheren Beträge. Eine derartige Reduktion wird sich im Rahmen dieses Programms nicht fortsetzen lassen. Der Grund hierfür liegt darin, daß die Weiterentwicklung der Kerntechnik - ein natürlicher Vorgang, der sich aber jetzt nach der langen öffentlichen Förderung weitgehend in industrieller Eigenverantwortung vollziehen muß - wegen ihrer Komplexität auch in Zukunft des mitgestaltenden Engagements des Staates durch eigene Forschungsanstrengungen bedarf. Nicht zuletzt der Reaktorunfall in Tschernobyl hat gezeigt, daß besonders die Sicherheit dieser Technik ein Aspekt größter Priorität ist, bei dem der Staat ein hohes Maß an eigener Kompetenz aufweisen muß, wenn er die zukünftigen industriellen Entwicklungen auf ihre Verantwortbarkeit hin beurteilen will. Dies ist auch zunehmend von internationaler Bedeutung: Die neuen Abkommen mit der UdSSR und anderen osteuropäischen Staaten haben die Möglichkeit eröffnet, unsere Erkenntnisse und Entwicklungen aus dem Bereich der Sicherheit von Nuklearanlagen auch nach dorthin zu übertragen und so die bereits mit unseren westlichen Nachbarn bestehenden Kooperationen bei der nuklearen Sicherheitsforschung um eine gesamteuropäische Perspektive zu erweitern mit dem Ziel einer Strategie auf höchstmögliche europäische Sicherheit in der Kerntechnik.

Das Abkommen mit der UdSSR hat - zusätzlich zu der beabsichtigten Zusammenarbeit mit der Volksrepublik China - auch für den Hochtemperaturreaktor eine interessante Anwendungsperspektive eröffnet.

Die inzwischen eingeleiteten Entwicklungen hin zu einem gemeinsamen europäischen Markt haben dazu geführt, daß sich auch im Bereich der übrigen Kerntechnik die Europäisierung fortsetzt: So wurde im Frühjahr 1989 die westeuropäische Brüterkooperation mit dem Beitritt Großbritanniens erweitert. Weiterhin haben zur gleichen Zeit Siemens/KWU und der französische Reaktorhersteller Framatome beschlossen, bei der Weiterentwicklung und beim Bau zukünftiger Leichtwasserreaktoren zusammenzuarbeiten. Bei den Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs sind europäische Kooperationen im Bereich der Uran-Anreicherung schon seit langer Zeit üblich, wie z.B. im Fall des trilateralen D-NL-UK-Unternehmens URENCO zur Entwicklung und Kommerzialisierung der Zentrifugentechnik. Das gemeinsame europäische Vorgehen wurde im Sommer 1989 auch auf die Schließung des LWR-Brennstoffkreislaufs ausgedehnt: Die deutsche Wirtschaft wird - unter Beihaltung des Konzepts des geschlossenen Brennstoffkreislaufs - die Nutzung der Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich und Großbritannien ausweiten und als Konsequenz daraus die Pläne für die Errichtung einer eigenen Anlage nicht weiter verfolgen. Es besteht jedoch Konsens zwischen den drei beteiligten Regierungen, daß die Endlagerung radioaktiver Abfälle in nationaler Verantwortung liegt und dementsprechend eigene Anlagen errichtet werden müssen.

Das dafür vorgesehene deutsche Forschungsprogramm zur Endlagerung radioaktiver Abfalle gilt weltweit als führend und am weitesten fortgeschritten. Es entspricht der konsequenten Realisierung der Forderung, daß solche Abfälle mit sehr hoher Sicherheit von der Biosphäre getrennt bleiben, bis durch den radioaktiven Zerfall die natürlich vorkommenden Aktivitätskonzentrationen wieder erreicht werden.

Mit der Reduzierung der Förderung der Kerntechnik ist auch ein Abbau der entsprechenden Forschungskapazitäten in den Kernforschungszentren verbunden gewesen. Das hat zu einer forschungspolitischen Neuorientierung vor allem der beiden großen Zentren in Jülich und Karlsruhe geführt. Die freigewordenen Kapazitäten haben inzwischen mit beachtlichem Erfolg neue Aufgaben aus anderen Bereichen der Forschungsförderung übernommen, wie z.B. der Umwelt- und Klimaforschung, der Informationstechnik oder neuen Umwelttechniken wie Rauchgasreinigung bei Müllverbrennung oder Aufbereitung von Abwässern.

Ein gemeinsames europäisches Vorgehen, wie es jetzt praktisch im gesamten Bereich der Kerntechnik besteht, war bei der Fusionsforschung bereits von Anbeginn im Rahmen von EURATOM gegeben. Hier hat sich inzwischen die internationale Dimension sogar noch wesentlich erweitert. Mit dem sogenannten ITER-Projekt (siehe 4.2.8) ist es erstmals gelungen, alle großen Fusionsprogramme der Welt zu einem gemeinsamen Vorhaben zusammenzuschließen. Europa, Japan, die UdSSR und die USA sowie als kleinerer Partner Kanada entwerfen in einem gemeinsamen Team, das beim Max- Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching angesiedelt ist, das nächste Fusionsexperiment, das auf die derzeit betriebenen Großanlagen (wie z.B. JET in Culham, GB) folgen und gemeinsam gebaut und betrieben werden soll. Sollte sich ein solches Projekt realisieren lassen, dann würde sich die Bundesrepublik Deutschland für den Standort dieser Anlage bewerben. Damit sollen die Chancen erhöht werden, um diese einzigartige Zusammenarbeit der vier großen Industrieblöcke zum Bau einer gemeinsamen großen Experimentieranlage Wirklichkeit werden zu lassen. Auch das unter 4.2.8 beschriebene deutsche Fusionsprogramm ist so angelegt, daß es darauf hinarbeitet.

Die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung im Zeitraum von 1984 bis 1989 entwickelten sich für diesen Programmschwerpunkt wie folgt (Angaben in Mio. DM, 1989 vorläufiges Ist):

	1984	1985	1986	1987	1988	1989
BMBF-Projektförderung	1101,3	1103,6	663,4	381,6	385,6	431,8
Großforschungszentren	443,2	411,8	376,2	343,5	348,5	323,7
Internationale Beiträge	34,5	39,1	37,8	34,6	36,4	37,3
Andere Ressorts	33,9	35,1	36,3	35,9	37,1	-
Kernspaltung	1612,9	1589,6	1113,7	795,6	807,6	792,8

Für die weitere Entwicklung ist folgende Planung vorgesehen (Angaben in Mio. DM):

	1990[8]	1991	1992	1993
BMBF-Projektförderung	302,7	356,7	363,1	346,5
Großforschungszentren	303,6	303,9	297,0	306,1
Internationale Beiträge	35,2	35,2	35,2	35,2
Kernspaltung	641,5	695,8	695,3	687,8

8 Zuzüglich bis zu 80 Mio. DM Erlöse aus Uranverkauf

4.2.1 Reaktorsicherheitsforschung

Vorsorgemaßnahmen zur Gewährleistung einer höchstmöglichen präventiven Sicherheit der Kernenergieanlagen bleiben auch weiterhin vorrangiges Ziel der Bundesregierung. Deshalb wird neben den erforderlichen administrativen und technischen Sofortmaßnahmen, die im Rahmen der atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren durchgeführt werden können, auch in Zukunft ein umfassendes Forschungsprogramm zur Reaktorsicherheit weiterhin große Bedeutung haben. Mit diesen Arbeiten sollen zum einen die Grundlagen- und Rahmenbedingungen für eine mit der raschen Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik einhergehende, verbesserte Bewertung der Sicherheitsreserven von Kernenergieanlagen sichergestellt werden. Zum anderen sollen, z. B. mittels risikoanalytischer Untersuchungen, Schwachstellen identifiziert und für deren Beseitigung schon vorhandene oder aber noch neu zu entwickelnde Sicherheitspotentiale aufgezeigt werden. Darüber hinaus werden die Abläufe von hypothetischen Reaktorunfällen, wie z.B. Kernschmelzen, sowie deren Auswirkungen sorgfältig analysiert. Insgesamt wird die Reaktorsicherheitsforschung damit einen entscheidenden Beitrag zur weiteren Minderung des mit dem Betrieb von Kernenergieanlagen verbundenen Restrisikos leisten.

Dabei haben solche Forschungsarbeiten höchste Priorität, deren Ergebnisse einen nennenswerten Beitrag zur Verhütung von Störfällen leisten können. Untersuchungen zu den hypothetischen Störfällen sollen darüber hinaus Möglichkeiten zur weiteren Verbesserung von Maßnahmen zur Beherrschung von Unfällen sowie deren Folgen aufzeigen.

Damit ergeben sich im einzelnen die Forschungsschwerpunkte a) Komponentensicherheit und Qualitätssicherung, b) Mensch-Maschine-Kommunikation, risikoanalytische Untersuchungen sowie c) Transienten- und Unfallanalyse. In allen Bereichen sollen die analytischen Methoden und Verfahren zur Sicherheitsbewertung weiterentwickelt und durch geeignete experimentelle Untersuchungen verifiziert werden, wobei den Langzeiteinflüssen auf sicherheitstechnisch wichtige Komponenten und Systeme sowie der Bewertung des Sicherheitspotentials von anlageninternen Notfallschutzmaßnahmen ein besonderes Interesse zukommt.

a) Komponentensicherheit und Qualitätssicherung

Da ein großer Teil der installierten Kernkraftwerke bereits in die zweite Hälfte ihrer bisher veranschlagten Lebensdauern kommt, rücken die Sicherheitsaspekte, die mit dem Langzeitbetrieb dieser Anlagen verbunden sind, immer mehr in den Vordergrund des Interesses. Dazu gehört insbesondere die Bewertung der Auswirkungen, die durch langzeitige Bestrahlungseinwirkungen hervorgerufen werden können. Die zukünftigen Untersuchungen zielen daher sowohl auf eine besser quantifizierbare Erfassung von Fehlermechanismen als auch auf die Entwicklung von Verfahren zur realistischen Beschreibung des Werkstoffzustandes ab. Damit können Methoden zur präzisen Erfassung des Sicherheitszustandes der jeweils betrachteten Komponenten entwickelt werden. Diese Methoden sollen zur Entwicklung von Online-Überwachungssystemen von Komponenten beitragen, die im Verbund mit Expertensystemen eine frühzeitige Einleitung von Gegenmaßnahmen erlauben, falls während des Betriebs unzulässige Komponenten-Belastungen oder Werkstoffzustände auftreten sollten.

b) Mensch-Maschine-Kommunikation und Risikoanalytische Untersuchungen

Wie aus allen Bereichen der Technik bekannt ist, spielen genauere Analysen der Mensch- Maschine-Kommunikation eine immer größere Rolle, um Schnittsteilen-Probleme, die zum Auslösen oder zu einer Verschärfung von Störungen fuhren können, zu identifizieren und diese durch anforderungsgerechte Maßnahmen zu beseitigen. Hierbei müssen Untersuchungen zur besseren Bewertung der Zuverlässigkeit menschlicher Handlungen - auch in außergewöhnlichen Betriebssituationen - sowie Maßnahmen zu einer weiteren Qualifikationsverbesserung des Betriebspersonals Hand in Hand gehen mit den Anstrengungen auf der technischen Seite, die eine Verbesserung der Überwachungs- und Entscheidungshilfen ergeben sollen. Dazu zählt insbesondere die Schaffung der Grundlagen für eine bewertende Informationsverdichtung sowie eine rechnergestützte Früherkennung von Betriebsabweichungen. Zunächst sind hierzu Methoden zu analysieren, die eine Frühdiagnose von betrieblichen Abweichungen sicherheitstechnisch relevanter Komponenten erlauben. Auf den Ergebnissen dieser Untersuchungen aufbauend, sollen dann die Grundlagen für Instrumentarien geschaffen werden, die eine schnellere und zuverlässigere Diagnose des gesamten Anlagenzustandes gestatten.

Einen wichtigen Beitrag zur Erkennung von Schwachstellen leisten die risikoanalytischen Untersuchungen, die auch für Siedewasserreaktoren (SWR) sowie fortgeschrittene Reaktoren, wie z.B. den Hochtemperaturreaktor (HTR), durchgeführt werden sollen. Dazu müssen die bereits im Zusammenhang mit der Deutschen Risikostudie, Phasen A und B, für Druckwasserreaktoren angewandten und weiterentwickelten Analyse- und Bewertungsmethoden an die spezifischen Konstruktions- und Betriebsmerkmale von SWR und HTR adaptiert werden. Außerdem wird durch geeignete Maßnahmen sichergestellt, daß die neuesten Er-

kenntnisse aus allen Bereichen der Reaktorsicherheitsforschung, sowie aus dem Reaktorbetrieb, ständig miteinbezogen werden, um einen höchstmöglichen Aktualitätsgrad dieser Analysen zu erreichen.

c)Transienten- und Unfallanalyse

Vertiefende Untersuchungen zu auslegungsüberschreitenden Abläufen sollen die Grundlagen für die Bewertung von Maßnahmen zum anlageninternen Notfallschutz absichern. Dazu ist eine genaue Kenntnis des Verhaltens der Anlage bei transienten Vorgängen, die in auslegungsüberschreitende Abläufe übergehen können, notwendig. Dabei sind auch präventive Maßnahmen unter Einbeziehung von Betriebssystemen und von Handeingriffen zu berücksichtigen. Hierbei ist es erforderlich, Einzeleffekt- und Integralexperimente durchzuführen, die Rechenverfahren zur realistischen Beschreibung von Unfallabläufen weiter abzusichern, die Kenntnisse über die Phänomenologie des Spaltproduktverhaltens und der Spaltproduktrückhaltung zu verbreitern und das Containmentverhalten unter Unfallbelastungen vertieft zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Arbeiten werden zusammengeführt zu einer geschlossenen Methodik zur Bewertung der Wirksamkeit des anlageninternen Notfallschutzes.,

4.2.2 Strahlenschutz

Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) fördert im Rahmen seiner Zuständigkeit für das Atomgesetz, das Strahlenschutzvorsorgegesetz und die Strahlenschutzverordnung über Forschungsvorhaben umfangreiche Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor den schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlen. Gemeinsames Ziel aller Forschungsvorhaben ist die Weiterentwicklung bzw. Neuentwicklung von Maßnahmen oder Verfahren im Strahlenschutz, um auf den breit gefächerten Gebieten des Strahlenschutzes den jeweils aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik berücksichtigen zu können. Dies geschieht durch gezielte Untersuchungen spezieller Fragestellungen, durch wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch auch auf internationaler Ebene und durch Nutzung externen Sachverstands im Rahmen der bestehenden Beratungsgremien.

Der Reaktorunfall von Tschernobyl mit seinen radioaktiven Emissionen hat auch das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland betroffen. Wenn auch die Strahlenbelastung durch den Unfall in unserem Land sehr stark zurückgegangen ist, finden sich in den verschiedenen Themenbereichen des Strahlenschutzforschungsprogramms doch eine Reihe von Vorhaben, die sich mit den langfristigen Auswirkungen des Reaktorunfalls befassen oder die Vorbereitung von Strahlenschutzvorsorgemaßnahmen im Rahmen des Strahlenschutzvorsorgegesetzes zum Inhalt haben:

- Die **natürliche Strahlenexposition** und vor allem die zivilisatorisch bedingte Veränderung der Strahlenexposition, wie z.B. als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl, müssen ständig beobachtet werden. Gemeinsames Ziel dieser Untersuchungen ist dabei die frühzeitige Erkennung von Änderungen der Strahlenexposition, um im Vorfeld einer Gefährdung des Menschen rechtzeitig reagieren zu können.

- Durch universell einsetzbare und möglichst bequem anwendbare **Dosismeßgeräte** sowie ausreichend genaue Verfahren der Dosisermittlung muß sichergestellt werden, daß auch bei unterschiedlichsten Expositionen eine zuverlässige Dosisbestimmung bei geringem Aufwand möglich ist. In den laufenden Forschungsvorhaben werden deshalb bestehende Dosimeter auf besondere Anwendungsfälle hin erweitert und erprobt sowie neue Systeme entwickelt und ihre Anwendungsmöglichkeiten getestet. Daneben laufen Untersuchungen zur Ermittlung der Körperdosen bei externen und interner Strahlenexposition verschiedener Altersgruppen und unter besonderen beruflichen Bedingungen.

- Die Forschungsvorhaben zum Thema **Radioökologische Daten und Modelle** haben die Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Umwelt bei Ableitung in Luft oder Wasser zum Inhalt. Hierbei werden spezifische Anreicherungen in den einzelnen Ökosystemen insbesondere im Hinblick auf die Nahrungsketten analysiert. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen eine umfassende Ermittlung der Strahlenexposition nach Ableitung radioaktiver Stoffe mit Hilfe von radioökologischen Modellen ermöglichen.

- Im Rahmen weiterer Forschungsvorhaben werden **biologische Effekte** als Folge der Einwirkung ionisierender Strahlen auf den Menschen untersucht. Dabei sollen Aussagen hierzu einerseits über biologisch medizinische Untersuchungen bei unterschiedlichen Strahlenarten, Dosen und Dosisleistungen, andererseits über epidemiologische Erhebungen gewonnen werden mit dem Ziel der Ermittlung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung. Neben der Wirkung ionisierender Strahlen allein werden auch Kombinationseffekte als Folge von Umweltnoxen und ionisierenden Strahlen untersucht werden.

- Ziel weiterer Forschungsvorhaben ist es, drohende Strahlenexpositionen der Bevölkerung und des Personals in kerntechnischen Unfallsituationen rasch in ihrem Umfang zu erfassen, geeignete Methoden, Verfahren, Maßnahmen und Geräte unter

Berücksichtigung der Wirksamkeit, Durchführbarkeit, Planung und Optimierung von Notfallschutzmaßnahmen fortzuentwickeln und damit einen bestmöglichen Schutz vor Strahlenschäden nach kerntechnischen Unfällen planerisch zu sichern.

Durch Erlaß des Bundeskanzlers vom 5. Juni 1906 ist das Aufgabengebiet der Strahlenhygiene ebenfalls dem BMU zugeordnet. Zu diesem Bereich gehören u.a. die „nicht ionisierenden Strahlen" bei elektromagnetischen Feldern, UV-Licht sowie der solarthermischen Stromerzeugung. In diesen Bereichen ist es vorrangig, die biologische Wirkung der nicht ionisierenden Strahlen in mittel- und langfristigen Untersuchungen zu erfassen, um Mensch und Natur zu schützen. Ein wissenschaftlicher Ausschuß der Strahlenschutzkommission befaßt sich z.Zt. mit den Grundsatzfragen. Mittel- und langfristige Forschungsvorhaben sind erforderlich, um die offenen Fragen zu klaren.

4.2.3 *Internationale Sicherungsmaßnahmen für Kernmaterial (Safeguards)*

a) Einführung

Im Jahr 1957 trat die Bundesrepublik Deutschland dem Vertrag zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) bei, der das weitestreichende Kontrollsystem für die Nutzung der Kernenergie vorsieht. Mit der Unterzeichnung und Ratifizierung des Vertrages über die Nichtverbreitung von Kernwaffen (NW) in den Jahren 1969 und 1975 hat sie ihren Verzicht auf Kernwaffen bestätigt.

In der Bundesrepublik Deutschland werden die Aufgaben der internationalen Kernmaterialüberwachung - bedingt durch die Bindung an EURATOM und den NV- Vertrag-sowohl durch EURATOM als auch durch die Internationale Atomenergieorganisation (IAEO) wahrgenommen:

Ziel der beiden grundsätzlich unabhängig voneinander existierenden Überwachungsmaßnahmen ist es, Aussagen über eine mögliche Abzweigung von spaltbarem Material im Rahmen der vorgegebenen Überwachungsziele zu ermöglichen. Diese Überwachungsziele sind die rechtzeitige Entdeckung einer Abzweigung einer „signifikanten" Menge von Kernmaterial aus dem Bereich der friedlichen Nutzung sowie die Abschreckung vor einer Abzweigung durch das Risiko der Entdeckung.

b) Stand der Technik, Probleme

Zur Erreichung dieser Ziele verwendet insbesondere die IAEO in Wien intern definierte Mengenrichtwerte, die sich von den kritischen Massen für die jeweiligen Spaltstoffe herleiten lassen und dem internationalen Standard der Meßmöglichkeiten Rechnung tragen. Für die Rechtzeitigkeit werden Zeiten zugrunde gelegt, die notwendig sind, um bestimmtes in einer Anlage vorhandenes Kernmaterial in eine waffenfähige metallische Konfiguration umzuwandeln.

Die Sicherungsmaßnahmen bestehen im wesentlichen aus drei Elementen:

- Einem Buchführungs- und Berichtssystem, das den jeweils neuesten Stand von Verbleib und Bewegungen von spaltbarem Material den jeweils neuesten Stand wiedergibt und das auch Transfers im zwischenstaatlichen Bereich erfaßt.
- Inspektionen vor Ort, bei denen die Inspektoren die Richtigkeit der Materialbuchführung nachprüfen.
- Einschließungs- und Beobachtungsmaßnahmen in kerntechnischen Anlagen, wie z. B. Video-Kameras, Versiegelungen u.a., deren ungestörtes Funktionieren durch die Inspektoren verifiziert wird.

Die Inspektionen unterscheiden sich in Art und Umfang in den verschiedenen Anlagen nach Art und Umfang der dort vorhandenen spaltbaren Materialien bzw. derer direkter Zugänglichkeit.

Lange vor der ersten Aufnahme von Kernmaterial in einer Installation oder Anlage hat' der betreffende Betreiber die technischen Merkmale der Installation bzw. Anlage der Euratomdirektion für Sicherheitsüberwachung zu melden. EURATOM handelt auf dieser Basis die sogenannten anlagenspezifischen Anhänge mit der IAEO aus, um die Einzelregelungen für zu definierende Materialbilanzzonen festzulegen. Sind für einzelne Anlagen noch keine anlagenspezifischen Anhänge ausgehandelt, erfolgt eine Überprüfung durch die internationalen Organisationen im Rahmen von sogenannten „Ad hoc- Inspektionen", die in Art und Umfang teilweise über die Anforderungen des anlagenspezifischen Anhanges hinausgehen.

Durch diese Überwachungsmaßnahmen ist sichergestellt, daß die Sicherungsmaßnahmen der Safeguards-Inspektorate lückenlos alle nuklearen Aktivitäten innerhalb der Bundesrepublik Deutschland erfassen, und die Jahresberichte der IAEO weisen ebenso wie die Berichte von EURATOM aus, daß es zu keiner Zeit je einen Verdacht gegeben hat, daß Kernmaterial nicht für friedliche Zwecke verwendet worden wäre oder aus dem zivilen Brennstoffkreislauf der Bundesrepublik Deutschland verschwunden sei.

c) Weiteres Vorgehen

Wegen der großen Bedeutung, die dem Safeguardssystem allgemein zukommt, soll die IAEO im Rahmen dieses Programms auch weiter durch Forschung und

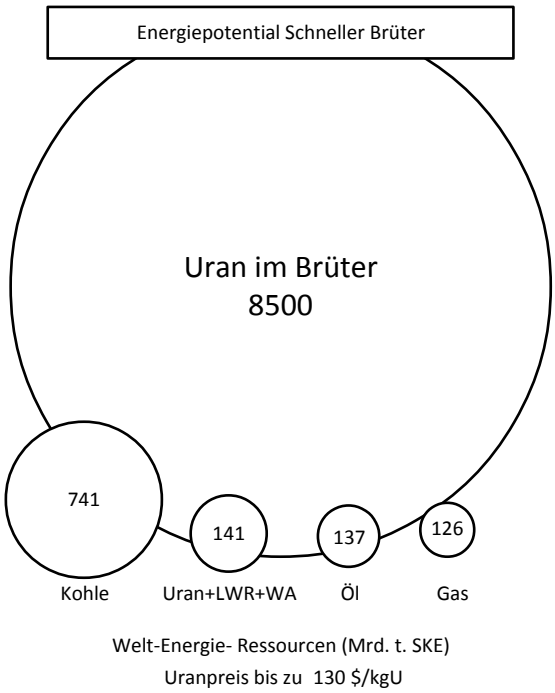


Abb. 6

Entwicklung unterstützt werden. Dabei werden vorrangig folgende Bereiche bearbeitet:

- Konzeptentwicklungen für neuartige kerntechnische Anlagen,
- Entwicklung von Bewertungsverfahren und Informationssystemen,
- Geräteentwicklungen,
- Expertenberatung,
- Ausbildungskurse der IAEO in deutschen Kernforschungszentren und in deutschen Nuklearbetrieben.

Die Fortführung dieser Unterstützungsmaßnahmen im Verbund mit ähnlichen Initiativen anderer IAEO-Mitgliedstaaten sorgt dafür, daß die Kontrollen mit den Entwicklungen im Brennstoffkreislauf schritthalten.

4.2.4 Beseitigung von kerntechnischen Anlagen

a) Einführung

Kerntechnische Anlagen, insbesondere Kernkraftwerke, sollen nach Abschluß ihres bestimmungsgemäßen Betriebs vollständig beseitigt werden können, um eine weitere Nutzung des Standortes zu ermöglichen. Hierbei, aber auch bei Umrüstmaßnahmen während der Betriebszeit fallen leicht radioaktive Materialien an, die gesondert zu beseitigen sind.

b) Stand der Technik, Probleme

Grundsätzlich sind hierfür Lösungen verfügbar, mit denen bereits industrielle Erfahrungen gewonnen werden konnten. Sie beziehen sieh auf die inzwischen erfolgreich abgeschlossene Umrüstung des Nuklearschiffes „Otto Hahn“ für konventionelle Nutzung, auf die partiellen Abbaumaßnahmen bei den stillgelegten Kernkraftwerken Gundremmingen A und Lingen, auf Umrüstungsmaßnahmen an den Siedewasserreaktor-Kernkraftwerken Isar 1, Philippsburg 1, Würgassen und Brunsbüttel und auf den Austausch der normalen Lagergestelle für abgebrannte Brennelemente gegen Kompaktlagergestelle in einigen Kernkraftwerken. Für Anlagen des Brennstoffkreislaufs wurden Erfahrungen beim Abbau der Alkem-Produktionsanlagen in Karlsruhe, sowie bei der Dekontermination der Eurochemic und der WAK-Auflöserzelle für Umbau- und Reparaturarbeiten gesammelt. Hinzuweisen ist auch auf die Abrißmaßnahmen des Kernkraftwerks Niederaichbach und einzelner Forschungsreaktoren wie FR-2 und MZFR im Kernforschungszentrum Karlsruhe. Insbesondere mit dem Abriß des Kernkraftwerks Niederaichbach soll zum ersten Mal in der Bundesrepublik Deutschland demonstriert werden, daß der Zustand „grüne Wiese“ wiederhergestellt werden kann.

c) Weiteres Vorgehen

Die völlige Beseitigung kerntechnischer Anlagen und die Endlagerung der damit anfallenden radioaktiven Abfälle ist also grundsätzlich technisch machbar. Wegen der großen Bedeutung dieser Aufgaben für die Zukunft und wegen des damit verbundenen besonderen öffentlichen Interesses, ist eine Weiterentwicklung und Optimierung der dabei angewandten Verfahren und Techniken geboten. Sie hat folgende Ziele: Verbesserung der Zerlegetechnik, insbesondere für aktivierte Strukturteile; weitere Reduktion der Strahlenbelastung des Betriebspersonals; Optimierung der Konzepte zur Abfallbehandlung und Endlagerung, insbesondere auch im Hinblick auf die großen Mengen sehr schwach radioaktiver Abfälle.

Entsprechend der Zuständigkeit des Bundes (für Endlagerung und Demonstrationsanlagen im Besitz der Großforschungszentren) und der Industrie (kommerzielle Kraftwerke und Brennstoffkreislauf-Anlagen) wird die Kostenteilung bei den notwendigen Forschungs- und Entwicklungs-Maßnahmen im Einzelfall unter Abwägung der jeweiligen Interessen und Aufgaben vorgenommen.

4.2.5 Kernbrennstoffkreislauf

Kernbrennstoffversorgung

Die Kernbrennstoffversorgung umfaßt die Schritte Prospektion, Exploration, Abbau, Aufbereitung, U308-Konversion zu Uranhexafluorid, Anreicherung, Konditionierung der Kernbrennstoffe und Brennele-

mentherstellung. Alle Schritte werden nach langjähriger Förderung von deutschen Unternehmen beherrscht und mit Ausnahme der Konversion in Uran-Hexafluorid auch ausgeübt. Nutzung und Weiterentwicklung der Technik für die Kernbrennstoffversorgung von Leichtwasserreaktoren sind Aufgabe der Industrie, die nur in wenigen speziellen Fällen noch einer staatlichen Förderung von Forschung und Entwicklung bedürfen. Hierzu gehören auf dem Gebiet der Uransuche und -gewinnung Satelliten- und flugzeuggestützte Fernerkundung, Methoden zur Auffindung von Uranvorkommen, die nicht bis an die Erdoberfläche reichen (Radon- Messungen) und insbesondere Untersuchungen zum Personen- und Umweltschutz bei Bergbau und Aufbereitung.

Urananreicherung

Die Förderung des Gaszentrifugen Verfahrens konnte 1985 dank der erfolgreichen technischen Entwicklung und der bereits erreichten wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit vorzeitig beendet werden. Die weitere Entwicklung wird jetzt von der Industrie aus eigenen Mitteln finanziert.

Erhebliche Senkungen der Anreicherungskosten könnten durch das Laserverfahren ermöglicht werden. Die industrielle Reife wird jedoch nicht vor Ende der 90iger Jahre erwartet Mit der Entwicklung dieses Verfahrens ist auch ein erhebliches Innovationspotential im Bereich der Hochleistungslaser verbunden. Die finanziellen Aufwendungen werden wegen des noch grundlegenden Charakters der Forschung begrenzt bleiben.

Wiederaufarbeitung

Aufgrund der industriellen Verträge zur langfristigen Wiederaufarbeitung von Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren und damit Schließung des Brennstoffkreislaufs durch Nutzung der Anlagen in Frankreich und Großbritannien können die nationalen staatlichen Aufwendungen für Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet erheblich zurückgenommen werden. In welchem Umfang eine Fortführung der Technik, besonders im Hinblick auf eine längerfristige Perspektive einschließlich des Brütersystems, noch notwendig sein wird, muß im Laufe der weiteren Entwicklungen erarbeitet werden, die durch die im Sommer 1989 beschlossenen neuen Kooperationsvereinbarungen zwischen der Bundesrepublik Deutschland und den Regierungen der beiden vorgenannten Ländern eingeleitet wurden.

Thermische Rezyklierung von Plutonium

Die Rezyklierung von Plutonium in Leichtwasserreaktoren hat in den letzten Jahren zunehmend die technische Reife erreicht. In umfangreichen Qualifikationsuntersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß in LWR verschiedener Leistung eine vollständige Rezyklierung des Plutoniums im Rahmen der Eigenerzeugung erfolgen kann. Die notwendigen Fertigungsprozesse sind entwickelt Ein Genehmigungsverfahren für einen neuen Fertigungsbau der Alkem wurde durchgeführt. Ein erster Teil der Errichtungsgenehmigung für den Bau der Anlage ist erteilt

Im Rahmen dieses Programms werden nur noch Techniken weiterentwickelt, die folgende Zielsetzungen haben: Erreichung geringerer Strahlenbelastung für die Beschäftigten, Verminderung von Abfällen, Anpassung an die zunehmenden Abbrände der Brennstoffe und Einsatz von Fernbedienungs- und Automatisierungstechniken.

Konditionierung radioaktiver Abfälle

Die Verfahren zur Konditionierung aller Arten radioaktiver Abfälle sind inzwischen so weit entwickelt worden, daß sie für die industrielle Nutzung bereitstehen bzw. bereits überführt werden konnten.

Da die Annahme von radioaktiven, verfestigten Abfällen in ein Endlager zum Bereich der staatlichen Verantwortung gehört, wird es notwendig, an der Schnittstelle zwischen Abfallproduzent und Abfallendlager Maßstäbe und Kriterien für die laufenden konkreten Endlagerprojekte zu erarbeiten, die eine sichere Endlagerung der erzeugten Gebinde erlauben. Deshalb bleiben als wichtige Aufgabe für diesen Teil des Programms noch Arbeiten zur Qualitätssicherung der verfestigten Abfallprodukte bestehen.

4.2.6 Entsorgung

Rechtliche Grundlagen

Nach dem Atomgesetz liegen der Bau und Betrieb von Endlagern für radioaktive Abfallstoffe in der Zuständigkeit des Bundes. In Ausfüllung dieser gesetzlichen Verpflichtung haben die Regierungschefs von Bund und Ländern im September 1979 das Integrierte Entsorgungskonzept bestätigt Es sieht die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen vor, also keine oberflächennahe Vergrabung und auch keine Meeresversenkung. Als Endlager in der Bundesrepublik Deutschland sind die ehemalige Eisenerzgrube Konrad in Salzgitter (für Abfalle mit vernachlässig- barer Wärmeentwicklung) und der Salzstock Gorleben (für alle Arten von Abfällen) geplant

Radioaktive Abfälle fallen an

- beim Betrieb von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren;
- im Kernbrennstoffkreislauf, insbesondere bei der Wiederaufarbeitung;

- bei der Beseitigung kerntechnischer Anlagen;
- in den Forschungseinrichtungen;
- bei der Radioisotopenanwendung in Industrie, Forschung und Medizin.

Das Entsorgungskonzept enthält auch die Aufgabe, die direkte Endlagerung für Brennelemente, bei denen eine Wiederaufarbeitung technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht vertretbar ist, sowie für abgebrannte Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren zu entwickeln.

Zielsetzungen

Aus der Verantwortung für den Bau und Betrieb von Endlagern folgt für den Bund auch die Zuständigkeit für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die erforderlich sind, das entsprechende Konzept zu realisieren.

Ziel der Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten ist

- den Nachweis für die grundsätzliche sicherheitstechnische Machbarkeit der Endlagerung zu erbringen,
- die Grundlagen für die technische Realisierung von Endlagern zu entwickeln und die Voraussetzungen für die Durchführung der Planfeststellungsverfahren zu schaffen (Demonstration von Techniken, analytische Methoden, u. Verfahren zur Sicherheitsbewertung, Daten),
- für die Weiterentwicklung und Optimierung der Sicherheit des Endlagerbetriebs und der Nachbetriebsphase Sorge zu tragen.

Lagerung in Salz

Arbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle wurden in der Bundesrepublik Deutschland frühzeitig begonnen. Das ehemalige Salzbergwerk Asse dient nach erfolgter Umrüstung 1967 der Entwicklung und Erprobung von Endlagertechniken für Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung sowie der In-situ-Untersuchung des Einflusses von wärmeerzeugenden Abfällen auf das Salzgestein. Darüber hinaus werden eine Reihe von Versuchen zu Fragen der Langzeitsicherheit durchgeführt, die zum Nachweis der Genehmigungsfähigkeit eines Endlagers am Standort Gorleben unerläßlich sind.

Im Rahmen der Forschungsarbeiten zur Optimierung der Endlagerung wurde in den Jahren 1983 bis 1985 ein erster Simulationsversuch durchgeführt, bei dem mit Co-60- Quellen und elektrischen Erhitzern in Bohrlöchern die gekoppelten Effekte von Strahlung und Wärme auf Steinsalz in situ untersucht wurden. Dabei wurde dem Phänomen der Wasserfreisetzung und Gasbildung besondere Beachtung geschenkt. Das mineralogisch-geochemische Nachuntersuchungsprogramm dauert noch an.

Weitere wichtige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die zum Nachweis der Realisierbarkeit eines Endlagers im Salz und mit Blick auf die Ergebnisübertragung auf den Standort Gorleben als großmaßstäbliche Versuche in der Asse durchgeführt werden, sind:

- Die Versuchseinlagerung hochradioaktiver wärmeentwickelnder Abfallsimulate (HAW-Versuche). 30 Glaskokillen mit Cäsium-137 und Strontium-90 werden ab 1990 zur Untersuchung der Wechselwirkung mit dem Salzgestein in Bohrlöchern eingelagert und nach Versuchsende wieder nach übertage gebracht.
- Die rückholbare Einlagerung von mittelaktiven, wärmeentwickelnden Abfällen in Bohrlöchern (MAW-Versuche); Ziel ist die Entwicklung und Demonstration technischer Lösungen u. a. für Handhabung, Transport und Endlagerung.

Andere Arbeiten dienen der Ausarbeitung von Konzepten für Bohrlochverschlüsse und Dämme sowie der hydrogeologischen, geophysikalischen und gebirgsmechanischen Untersuchungen.

Im Rahmen des „Projekts Sicherheitsstudien Entsorgung“ (PSE) wurde ein wissenschaftliches Instrumentarium für die Durchführung von Sicherheitsanalysen erarbeitet.

In diesem Zusammenhang wurden standortunabhängige Rechnungen zur Nuklidausbreitung bei einem Endlager im Salz, für das beispielhaft die Deckgebirgsdaten des Salzstockes Gorleben angenommen wurden, durchgeführt. Selbst bei hypothetischer Unterstellung des Wasserzutritts ergab sich auch langfristig eine Strahlenexposition in der Umgebung, die unterhalb des Schutzziels von 30 mrem pro Jahr für den Ganzkörper liegt, d. h. unterhalb der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Alle bisher erzielten Ergebnisse haben das Konzept der Endlagerung in Salzgestein als das zweifelsfrei beste bestätigt.

Für die noch notwendigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagersicherheit in der Nachbetriebsphase ist ein Rahmenplan in Abstimmung mit den verschiedenen an der Forschung beteiligten Institutionen erstellt worden, in dem der heutige Kenntnisstand und die noch offenen Fragestellungen ausgewiesen sind. Entsprechend ihrer Bedeutung werden die Arbeiten zügig weitergeführt, um rechtzeitig für das Planfeststellungsverfahren Gorleben alle notwendigen Techniken entwickelt und die Daten und Instrumentarien für die Sicherheitsanalyse im Salz verfügbar zu haben.

Direkte Endlagerung

In der Zeit von Anfang 1981 bis Ende 1984 ließ die Bundesregierung die Systemstudie „Andere Entsorgungstechniken“ erarbeiten. Ziel war, andere Entsorgungstechniken, wie z. B. die direkte Endlagerung, auf ihre technische Realisierbarkeit zu überprüfen und einen sicherheitsmäßigen Vergleich mit dem integrierten Entsorgungskonzept durchzuführen. Die Ergebnisse wurden vom damaligen BMI unter Beratung durch die Reaktor- Sicherheitskommission (RSK), Strahlenschutzkommission (SSK) sowie unter Beteiligung des Länderausschusses für Atomkernenergie sicherheitstechnisch beurteilt.

Darauf aufbauend bewertete die Bundesregierung die Ergebnisse des Entsorgungsvergleichs im Januar 1985 folgendermaßen:

- Die technische Realisierbarkeit der direkten Endlagerung ist gegeben; dieser Entsorgungsweg ist jedoch nicht demonstriert, kann aus heutiger Sicht nicht als Nachweis der Entsorgungsvorsorge herangezogen werden und ist mit dem Atomgesetz nur vereinbar, wenn die im § 9a Abs. 1 Nr. 2 genannten Kriterien erfüllt sind.
- Die direkte Endlagerung weist im Vergleich zur Integrierten Entsorgung keine entscheidenden sicherheitsmäßigen Vorteile auf.
- Die direkte Endlagerung ist aus heutiger Sicht nur für solche Brennelemente in Betracht zu ziehen, für die die Entwicklung einer eigenen Wiederaufarbeitungstechnik technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht vertretbar ist.
- Die Bundesregierung hält es für zweckmäßig, daß in Ergänzung zur Realisierung des Integrierten Entsorgungskonzepts die direkte Endlagerung von Brennelementen zur Anwendungsreife weiterentwickelt wird; sie wird hierzu unter Einbeziehung internationaler Entwicklungen ihren Beitrag leisten.

Demzufolge wurden Mitte 1985 Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für die Anwendung der Direkten Endlagerung begonnen. Das zunächst bis 1993 vorgesehene Programm umfaßt 3 Schwerpunkte:

- Demonstrationsversuche zur technischen Machbarkeit dieses Entsorgungsweges (Konditionierung, Behälterentwicklung, Schachttransport, Handhabung der Gebinde, Lagertechniken etc.);
- Systemanalyse zum Nebeneinander der Direkten Endlagerung und der Endlagerung von Abfällen aus der Wiederaufarbeitung (Mischkonzept);
- Untersuchungen zur Korrosion von Werkstoffen und Rückhaltung von Spaltgasen im Salzversatz.

Die bislang erzielten Ergebnisse der Demonstrationsversuche haben keine Hinweise auf grundsätzliche technische Schwierigkeiten der Realisierung gegeben.

Bei der Systemanalyse „Mischkonzept“ ist die Auswahl der weiterzuverfolgenden Konzepte aus einer größeren Zahl erarbeiteter Varianten erfolgt.

Arbeiten zur Korrosion sowie zur Spaltgasrückhaltung ergaben wichtige Grundlageninformationen über das Verhalten relevanter Materialien unter Laugeneinwirkung. Untersuchungen der Migration von Spaltprodukten im Salzversatz und Salzgebirge haben begonnen.

Die Arbeiten im Programm „Direkte Endlagerung“ werden mit unverminderter Intensität fortgeführt und auch nach 1993 fortgesetzt werden.

Lagerung im Fels

Die Untersuchungen zur grundsätzlichen Eignung der **Schachtanlage Konrad** für die Endlagerung radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung wurden 1982 abgeschlossen. Im gleichen Jahr reichte die Physikalisch-Technische-Bundesanstalt (PTB) auf der Grundlage des Abschlußberichtes einen Planfeststellungsantrag ein. Bis 1986 wurden in Konrad noch weitere FE-Arbeiten zur Methodenentwicklung für die Bearbeitung sicherheitsrelevanter Fragestellungen in Festgesteinen durchgeführt. Dabei standen die Bestimmung hydrodynamischer Vorgänge in gering permeablen und gering durchfeuchteten Gesteinsverbänden sowie die Messung geringer tektonischer und gebirgsmechanischer Bewegungen durch geophysikalische Neigungsmessungen im Vordergrund. Die Ergebnisse haben für die Beurteilung des Langzeitabschlusses radioaktiver Abfälle durch das umgebende Gebirge besondere Bedeutung.

Zur Klärung örtlicher Möglichkeiten der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Granit ist 1984 ein Katalog der Kristallinvorkommen in der Bundesrepublik Deutschland erstellt worden. Durch die Auswertung von Untersuchungen sowie von Literatur und Archivmaterial konnten Angaben zu Ausdehnung, Tiefenlage und möglicher Erschließung gemacht werden, aus denen bei Bedarf eine Vorauswahl zur Einleitung von Standorterkundungsmaßnahmen getroffen werden kann.

Im **Felslabor Grimsel** (Schweiz) werden, zunächst bis 1990, hauptsächlich die felsmechanischen, felshydraulischen und geophysikalischen Eigenschaften des Granits im Hinblick auf die Langzeitsicherheit von Endlagern untersucht und die hierzu erforderlichen Meßverfahren und Methoden weiterentwickelt.

In der ersten, inzwischen abgeschlossenen Phase (1983-1987) konnte das Verständnis der Grundzusammenhänge zwischen Felsmechanik und -hydraulik, Mechanismus und Vorgängen im geklüfteten Fels stark verbessert werden. Es wurden außerdem wert-

Abb. 7: Schnelle Brüterreaktoren Weltweit
Seit 1951 liegen Betriebserfahrungen von 19 Brutreaktoren vor, darunter 4 Prototypanlagen und Superphenix als Demonstrationsreaktor; 2 Prototypanlagen, SNR 300 und MONJU (Japan) sind betriebsbereit oder im Bau

Versuchsanlagen				
Anlage	**Land**	**Betriebsbeginn/ -ende**	**Thermische Leistung MWth**	**Elektrische Leistung MWe**
EBR-1	USA	1951/1963	1,2	0,2
BR-2	USSR	1956/1958	0,1	-
BR-3	USSR	1958/1971	5	-
DFR	GB	1959/1977	60	14
Enrico Fermi	USA	1963/1971	200	66
EBR-II	USA	1964	62,5	20
Rapsodie	F	1967/1982	20*)	-
BOR-60	USSR	1969	69	12
SEFOR	USA	1969/1972	20	-
BR-10	USSR	1973	10	-
KNK-II	BRD	1977	58	20
Joyo	JAPAN	1978	100	-
FFTF	USA	1980	400	-
FBTR	INDIEN	1985	42,5	12,5
PEC	ITALIEN	im Bau	116	-

Prototypkraftwerke				
Anlage	**Land**	**in Betrieb seit/ab**	**Thermische Leistung MWth**	**Elektrische Leistung MWe**
BN 350	USSR	1973	1000	125**)
Phenix	F	1973	563	250
PFR	UK	1974	600	250
SNR 300	DeBeNe	xxxx	760	327
MONJU	Japan	1992	715	280
BN 600	USSR	1980	1470	600

Demonstrationskraftwerke				
Anlage	**Land**	**Inbetrieb-nahme**	**Thermische Leistung MWth**	**Elektrische Leistung MWe**
SPX 1	F	1987	3000	1200
SPX 2	F	Planung	, 3000	1500
BN 800	USSR	im Bau	2100	800
BN 1600	USSR	Planung	4200	1600
CDFR	GB	Studien	3250	1250
SNR 2	DeBeNe I, F	Studien	3750	1300
DFBR	Japan	Studien	2550	1000
EFR	West- Europa	Planung	4600	1500

*) ab 1970: 40 MWth

**) Neben der Elektrizitätserzeugung wird der BN—350 zur Entsalzung, von Meerwasser benutzt

***) bereit zur Inbetriebnahme

Quelle: Nach Motor Columbus „Gutachten zum forschungspolitischen Nutzen des SNR 300"/Sept. 1987

Aktualisierter Stand: 1. 1. 1991

volle Erfahrungen, z. B. auf den Gebieten Meßmethodik, Geräte- und Instrumentenwahl, Datenerfassung und -Sicherung, Auswertung etc. gesammelt.

Im Rahmen der FE-Arbeiten in der Schachtanlage Konrad und im Felslabor Grimsel wurden Untersuchungsverfahren entwickelt, die auch bei anderen Gesteinen im Nicht- Salinar und z.T. auch im Salinar (z.B. Anhydrit) anwendbar sind. Darüber hinaus stehen der Bundesregierung auch die Erkenntnisse zur Verfügung, die bei den Forschungsarbeiten der Europäischen Gemeinschaften gewonnen werden.

Meeresversenkung

Für die Bundesregierung steht die Frage der Versenkung von radioaktiven Abfallen im Meer nicht zur Diskussion. Sie hat sich im Jahr 1983 zusammen mit anderen Partnerstaaten der Londoner Dumping Konvention einem inzwischen unbefristeten Moratorium unterworfen, nach dem auf das Einbringen radioaktiver Abfälle in das Meer verzichtet wird.

Nichtsdestoweniger beteiligt sich die Bundesregierung aus forschungspolitischen Gründen an internationalen Untersuchungen* zur Meeresversenkung. Bisherige Ergebnisse zeigen, daß die Lagerung auch hochaktiver Abfälle im Meeresboden technisch und sicherheitsmäßig prinzipiell machbar ist.

4.2.7 Fortgeschrittene Reaktorsysteme

Brutreaktoren

a) Einführung

Das mit Brutreaktoren erschließbare Energiepotential übersteigt das aller fossilen Energievorräte um ein Vielfaches (s. Abb. 6). Durch Nutzung von 11 Natururan im heutigen Leichtwasserreaktor (mit Plutonium-Rückführung) kann die gleiche Elektrizitätsmenge erzeugt werden, wie durch Verbrennung von ca. 23000 t Steinkohle im Kohlekraftwerk. Der Einsatz von 11 Natururan im Schnellbrutreaktor hingegen entspricht dem Energiepotential von fast 1,7 Mio. t Steinkohle. Die Energieausbeute aus der gleichen Menge Natururan ist im Schnellbrutreaktor also rd. 60 mal so hoch wie im Leichtwasserreaktor. Das schon jetzt vorhandene, bei der Urananreicherung für die Leichtwasserreaktoren anfallende angereichertes Uran stellt bei Einsatz im Schnellbrutreaktor eine Energiequelle dar, welche die gesamte Stromversorgung der Bundesrepublik Deutschland auf heutigem Niveau für Jahrhunderte sicherstellen könnte, während es sonst Abfall wäre.

Aufgrund dieser Erkenntnisse ist die Entwicklung der Schnellbrutreaktortechnik in fast allen größeren Industrieländern und auch in einigen Entwicklungsländern ein wichtiges Vorsorgeelement der langfristigen Zukunftssicherung der Energieversorgung. Die entsprechenden Forschungsprogramme zeigen alle grundsätzlich folgende Entwicklungsschritte: Grundlagenforschung, Versuchsanlagen, Prototypkraftwerke, Demonstrationskraftwerke. Eine Übersicht über den weltweiten Stand der Entwicklung gibt Abb. 7.

Zu Beginn der Schnellbrutreaktorentwicklung wurden die Programme trotz vieler internationaler Kontakte zunächst rein national durchgeführt. In dieser Phase wurde die Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage (KNK) in Karlsruhe geplant und gebaut. Sie wurde später mit einem schnellen Kern versehen und ist inzwischen als KNK II seit mehr als zehn Jahren erfolgreich in Betrieb. Bereits in dieser Zeit gab es aber auch schon eine größere Zahl von Forschungs- und Entwicklungsaufgaben in internationaler Zusammenarbeit. Daraus entstand z.B. das Prototypkraftwerk SNR 300, ein Gemeinschaftsprojekt der Niederlande, Belgiens und der Bundesrepublik Deutschland. Weiterhin hat die übereinstimmende Beurteilung des Potentials der Brutreaktoren auch zur deutschen Beteiligung am gemeinsam mit Italien errichteten großen 1200-MW-Demonstrationsreaktor Superphenix in Frankreich geführt

b) Stand der Technik, offene Probleme

Mittlerweile liegen mit den flüssigmetallgekühlten Reaktoren Erfahrungen von weit mehr als 100 Betriebsjähren vor. Sie weisen eine ausgezeichnete Sicherheitsbilanz auf. Eingehende Analysen haben gezeigt, daß die Sicherheit derjenigen der etablierten Kernenergienutzung entspricht (vergl. „Risikoorientierte Analyse zum SNR 300“, Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Zukünftige Kernenergiepolitik“, 1982). Die Wirtschaftlichkeit solcher Reaktoren erscheint im Vergleich zum heutigen Leichtwasserreaktor erreichbar. Bei Vergleich mit fossiler Stromerzeugung ist sie bereits heute absehbar.

Wie bereits erwähnt, erfolgt die Entwicklung der Schnellbrüterreaktortechnik in europäischer Kooperation. Die Prototyp-Anlage SNR 300 ist der wesentliche Beitrag, den die Niederlande, Belgien und die Bundesrepublik Deutschland in diese Zusammenarbeit einbringen. Deshalb ist der Betrieb des SNR 300 für die weitere europäische Entwicklung ein wichtiger Baustein. Dies ist auch die wesentliche Aussage in einem Gutachten der Firma Motor Columbus, das im Oktober 1987 der Öffentlichkeit vorgestellt wurde. Die Inbetriebnahme und der Dauerbetrieb des SNR 300 werden wesentliche Erkenntnisse im Blick auf die sicherheitstechnischen Eigenschaften und das betriebliche Verhalten eines großen Brutreaktors liefern. Hierfür sind umfangreiche Inbetriebnahme-und betriebsbegleitende Forschungs- und Versuchsprogramme vorgesehen.

Der forschungspolitische und technische Nutzen aus dem Betrieb ist insbesondere:

- **Verifizierung des betrieblichen und sicherheitstechnischen Verhaltens** einer großen SNR-Gesamtanlage im Hinblick auf die industrielle Erprobung der Reaktortechnik und Qualifizierung der sie betreibenden Institutionen;
- **Demonstration der z.T. spezifischen deutschen sicherheitstechnischen Merkmale** und Einrichtungen im Hinblick auf das Sicherheitskonzept der zukünftigen europäischen Brüter;
- **Erprobung großer Reaktorkerne** im Betrieb mit schnellen Neutronen zur Bestätigung der Auslegung und zur notwendigen Weiterentwicklung der Brennelemente im Hinblick auf die Verbilligung der Brennstoffzykluskosten;
- **Erprobung der Komponenten** von Natriumsystemen zur Verbreiterung der europäischen Wissensbasis, insbesondere auch von loop-spezifischen Entwicklungen. Die Pool-Loop-Frage ist von untergeordneter Bedeutung
- **Durchführung von speziellen Inbetriebnahme- und betriebs-begleitenden Versuchsprogrammen** zur Vertiefung des allgemeinen Erkenntnisgewinns bei spezifischen Fragestellungen.

Mit dem Betrieb sollen spezifisch deutsche Sicherheitskonzepte demonstriert werden, die im internationalen Vergleich besonders hohen Ansprüchen genügen. Nur deren Bewährung im Betrieb wird dafür sorgen, daß sich die hohen deutschen Sicherheitsstandards auch international durchsetzen. Der Nachweis inhärenter Sicherheitseigenschaften, z. R bei der passiven Nachwärmeabfuhr durch tankinterne Tauchkühler, ist ebenso von Bedeutung, wie beispielsweise der Funktionsnachweis der aktiven diversitären Abschaltssysteme im bestimmungsgemäßen Betrieb. Die Bewährung spezifisch deutscher, belgischer und niederländischer Schlüsselkomponenten des SNR 300 im Dauerbetrieb wird der europäischen Brutreaktorentwicklung wichtige Hinweise geben.

Darüber hinaus wird der SNR 300 auch als Testanlage für weiterentwickelte Brennelemente benötigt und kann als Bestrahlungsanlage für die Erforschung der Möglichkeiten eines Schnellneutronenreaktors zur Beseitigung von Aktiniden eingesetzt werden.

Das atomrechtliche Genehmigungsverfahren für den SNR 300 hat sich als außerordentlich schwierig erwiesen. Hierbei spielten und spielen nicht nur technische und rechtliche Probleme eine Rolle. Das Projekt ist damit seit 1987 in eine genehmigungsbedingte Wartephase gekommen. Nachdem diese 1988 nicht beendet werden konnte, war eine Fortsetzung der Finanzierungsregelung erforderlich. Es ist gelungen, für 1989 und - soweit dies erforderlich sein sollte - auch darüber hinaus bis 1991 die Finanzierung der weiteren Wartephase zu sichern. Dabei haben der BMFT und der Hersteller Siemens sowie die Elektrizitätswirtschaft (RWE, PreussenElektra und Bayernwerk) je ein Drittel der erforderlichen Mittel von 105 Mio. DM pro Jahr in der Wartephase zugesagt. Darüber hinaus beabsichtigen Preussenelektra und Bayernwerk, sich unter bestimmten Bedingungen auch gesellschaftsrechtlich an der SBK, der Betreibergesellschaft des SNR 300, zu beteiligen. Die Finanzierung der Wartephase soll eine Klärung der noch offenen Fragen im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren ohne sachfremden Druck ermöglichen.

c) Weiteres Vorgehen

Europäische Kooperation

Für die grenzüberschreitende Zusammenarbeit bei der Brutreaktorentwicklung gibt es eine Reihe günstiger Voraussetzungen:

- ein hohes Maß an Übereinstimmung in der Einschätzung des Potentials der Brütertechnik und der Notwendigkeit ihrer Entwicklung in allen großen Industrieländern;
- die weltweite Verfolgung des technischen Konzepts der Kühlung mit Hilfe flüssigen Natriums;
- die Längerfristigkeit der Entwicklung bis zur breiteren kommerziellen Anwendung und die hohen Aufwendungen für Forschung und Entwicklung sowie insbesondere für den Bau von Prototyp- und Demonstrationsanlagen.

Im Laufe von mehr als 20 Jahren wurden zahlreiche Abkommen zwischen Forschungseinrichtungen, Reaktorherstellern und Elektrizitätsversorgungsunternehmen geschlossen, um diese Technik weiter zu entwickeln, woran vor allem Frankreich, die Bundesrepublik Deutschland, die Niederlande und Belgien beteiligt waren. 1984 wurde mit einer Regierungsvereinbarung die Integration der britischen Arbeiten zur Brüterentwicklung in die des westeuropäischen Kontinents eingeleitet Der vorläufig letzte Schritt in Ausfüllung dieser Regierungsvereinbarung war die Unterzeichnung von drei weiteren Verträgen zwischen Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen im Februar 1989 in Bonn. Diese Verträge regeln die arbeitsteilige Zusammenarbeit bei Forschung und Entwicklung, die gemeinsame Verwertung von Kenntnissen, die in einen gemeinsamen Pool eingebracht werden, und sie regeln die beabsichtigte Zusammenarbeit bei den bereits laufenden Entwurfsarbeiten zu dem gemeinsamen European Fast Reactor (EFR). Mit diesem Schritt wird der bisher in Europa bereits verwirklichte Pool an Know how durch den Beitritt der britischen Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen und der Hersteller vergrößert

Hauptziele bei den Entwicklungsarbeiten für den EFR, der eine Gesamtleistung von 1500 MWe haben soll, sind:

- Erarbeitung einer gemeinsamen Sicherheitsstrategie, nach der der EFR ohne größere Modifikationen in allen beteiligten Ländern genehmigt werden kann;
- möglichst weitgehende Berücksichtigung passiver Sicherheitseigenschaften;
- Optimierung der Anlage, so daß die Investitionskosten mit denen eines Leichtwasserreaktors gleicher Größe vergleichbar werden.

Um möglichst niedrige Stromerzeugungskosten zu erreichen, die mit denen von Leichtwasserreaktoren vergleichbar sein sollen, wird zudem angestrebt, den Abbrand und damit die Standzeit der Brennelemente zu vergrößern. In diesem Zusammenhang sei auch erwähnt, daß im Blick auf anzustrebende Kostenreduktionen in den nächsten Jahren auf die Optimierung der Brutrate (Überschußproduktion des Brennstoffs Plutonium) verzichtet werden kann. Es wird erwartet, daß die Entwurfsarbeiten bis Mitte der 90er Jahre soweit gediehen sein werden, daß über einen Bau der Anlage entschieden werden kann. Zu gegebener Zeit muß dann auch ein Standort für den EFR festgelegt werden. Die Planung, die Errichtung und der Betrieb werden allein von der Wirtschaft getragen.

Das jetzt hohe Engagement der Privatwirtschaft ermöglicht es der Bundesregierung, ihre Förderung für die Entwicklung schneller Reaktoren auf begleitende Forschungs- und Entwicklungsprogramme zu begrenzen. Diese Programme sollen die Arbeiten zum Konzeptentwurf unterstützen und absichern, so z.B. soll das verstärkt ausgebaute passive Sicherheitskonzept, das schon für den SNR 2 entworfen wurde, vorläufig als Referenzkonzept für den EFR übernommen werden. Hiernach soll beispielsweise die Nachwärmeabfuhr ausschließlich durch Naturkonvektion sichergestellt werden.

Parallel zu den Ingenieurarbeiten müssen aber durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten viele erforderliche Nachweise für die Sicherheit des neuen Reaktorkonzepts erbracht werden. Z. B. daß die Nachwärmeabfuhr durch Naturkonvektion unter allen Umständen sichergestellt werden kann. Viele weitere Fragen werden sich daraus ergeben, daß eine einheitliche europäische Sicherheitsstrategie verwirklicht werden soll, nach der die jeweils besten verfügbaren Sicherheitsmaßnahmen zusammengeführt werden sollen, die ihrerseits durch Forschung und Entwicklung verifiziert werden müssen. Wichtige Themen sind dabei z.B.

- Untersuchungen zu hypothetischen Störfällen,
- Kernoptimierung,
- Kühlungsstörungen,
- Nachwärmeabfuhr,
- Natrium-Brand,
- Weiterentwicklung der Meßtechnik z. B. zur Lebensdauerüberwachung.

Die BMFT-Förderung zielt vor allem darauf ab, daß die angesprochene einheitliche europäische Sicherheitsstrategie verwirklicht werden kann. Dazu sollen im Rahmen dieses Programms sowohl Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der Industrie als auch eigene Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des Kernforschungszentrums Karlsruhe beitragen.

Hochtemperaturreaktoren

a) Einführung

In der Bundesrepublik Deutschland wird seit mehr als zwanzig Jahren das Konzept der Hochtemperaturreaktoren (HTR) nach dem Kugelhaufenkonzept verfolgt. Dieses Konzept unterscheidet sich vor allem durch zwei Eigenschaften von den kommerziellen Leichtwasserreaktoren:

- Die Einbindung des Kernbrennstoffs in eine keramische Matrix und die Kühlung mit Helium erlauben hohe Prozeßtemperaturen bis etwa 900° C, so daß die Reaktoren auch in Wärme-Kraft-Kopplung oder als Prozeßwärmelieferant in der Industrie eingesetzt werden könnten.
- Die Hochtemperaturreaktoren verfügen über einen hohen Anteil an passiver und inhärenter Sicherheit, der sich insbesondere bei kleinen Reaktorleistungen bemerkbar macht.

b) Stand der Technik, offene Probleme

Es gibt in der Bundesrepublik Deutschland zwei Prototypkraftwerke für Hochtemperaturreaktoren: den AVR mit einer Leistung von 15 MWe und den THTR 300 mit einer Leistung von 300 MWe.

Der AVR wurde 21 Jahre lang erfolgreich betrieben, so daß 1988 der Beschluß gefaßt werden konnte, den Reaktor ab Anfang 1989 außer Betrieb zu nehmen, weil er seine Aufgabe erfüllt hatte. Im Rahmen der Stillegung wird ein Nachuntersuchungsprogramm durchgeführt werden. Der THTR 300 wurde Mitte 1986 in Betrieb genommen, ein Jahr später dem Betreiber,1 der Hochtemperatur-Kernkraftwerks GmbH, HKG, übergeben. Leider sind danach technische und finanzielle Probleme aufgetreten, die dazu führten, daß die HKG sich nicht mehr in der Lage sah, den Reaktor weiterhin zu betreiben, so daß der Betrieb des THTR 300 vorzeitig eingestellt werden mußte. In welcher Form die technische Stillegung und Beseitigung der Reaktoranlage zu erfolgen hat, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Mit den beiden Anlagen hat sich die Funktionsfähigkeit des Kugelhaufenkonzepts, besonders für kleine Leistungsgrößen, erwiesen. Die Vorteile des HTR bezüglich Brennstoffnutzung, Temperaturpotential, besonders aber auch der gesicherte Einschluß des Spaltproduktinventars bei Betrieb und im Störfall haben sich bestätigt.

Die Anlagen haben aber auch gezeigt, daß ein kommerzieller Erfolg noch nicht erreicht werden konnte. Hierzu sind noch weitere Entwicklungsarbeiten erforderlich. Sie werden jedoch, anders als in der Vergangenheit, im Rahmen dieses Programms nur noch dann gefördert, wenn ein erhebliches finanzielles Eigenengagement der Industrie vorliegt. Weiterhin wird davon ausgegangen, daß Bau und Betrieb künftiger Hochtemperaturreaktoren in alleiniger Verantwortung durch die Wirtschaft erfolgen. Ein hoher Stellenwert kommt bei der HTR-Entwicklung auch den Arbeiten der KFA-Jülich zu, und zwar insbesondere auf den Gebieten:

- Methodenentwicklung und Sicherheitsanalysen,
- Bestrahlung von Reaktorgraphiten und deren Nachuntersuchungen,
- Entsorgung der abgebrannten Brennelemente,
- Brennelemententwicklung zu höheren Temperaturen, Bestrahlungen und Nachuntersuchungen,
- metallische und keramische Werkstoffe für den Hochtemperatureinsatz,
- fortschrittliche HTR-Anwendungen bei Nuklearer Prozeßwärme.

Gegenwärtig werden von der Industrie drei Linien zur Weiterentwicklung und zur kommerziellen Einführung des HTR verfolgt: Der HTR-Modul, der HTR-500 und der HTR-Heizreaktor.

Der HTR-Modul hat eine thermische Leistung von 200 MW und eine elektrische von 80 MW. Durch seine Kapazität, aber auch durch die Kühlgastemperatur von 700° C mit einem Entwicklungsziel von 950° C ist er auch als Heizkraftwerk und als industrielle Prozeßwärmeanlage geeignet Er verwendet die beim AVR realisierte und erprobte HTR-Technik.

Der HTR-500 ist in erster Linie auf Stromerzeugung ausgelegt. Er entspricht in seinem Konzept dem THTR 300 und hat eine Leistung von 550 MWe. Er verfügt über einen Großteil der passiven Sicherheitseigenschaften des HTR-Konzepts. Aufgrund des größeren Reaktorkerns sind zur Beherrschung von Störfällen zusätzliche aktive Sicherheitseinrichtungen vorgesehen.

Der HTR-Heizreaktor wird für dezentrale Wärmeversorgung entwickelt und soll die zwei Leistungsklassen 10 und 20 MW-thermisch abdecken. Er hat folgende technische Merkmale: einfaches Betriebssystem, passives Sicherheitssystem, weitgehende Warnungs- und Bedienungsfreiheit, Brennstoffeinsatz für lange Betriebszeiten, sehr geringe radiologische Belastungen der Umgebung.

c) Weiteres Vorgehen

Da die wesentliche Motivation für die Weiterentwicklung der HTR in der besonderen Sicherheitstechnik dieses Reaktorsystems liegt, soll auch zukünftig dieser Aspekt im Mittelpunkt der verbleibenden staatlichen Forschungsförderung stehen. Sie zielt deshalb auf folgende Themenbereiche ab:

- sicherheitstechnische Grundlagen, insbesondere hinsichtlich Weiterentwicklung der Brennelemente,
- sicherheitstechnische Funktionen des Reaktorkerns,
- Regel-, Abschalt-, Überwachungssystem,
- Wärmeabfuhrsystem,
- Druckbehältertechnik,
- Aktivitätseinschluß,
- Materialuntersuchungen und -entwicklungen.

Durch gutachterliche Überprüfung ist der erreichte Stand der Sicherheitstechnik festzustellen. Hieraus ergeben sich bei möglichen Schwachstellen Hinweise für evtl. weitere notwendige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Die Stillegung von AVR und THTR 300 bietet darüber hinaus die Gelegenheit für ein gezieltes Nachuntersuchungsprogramm für Brennelemente, Komponenten und Materialien. Die Ergebnisse dieses Programms sind für die Weiterentwicklung dieser Reaktorlinie, für die Überführung der Anlagen in den gesicherten Einschluß und die spätere endgültige Beseitigung von Bedeutung.

d) Internationale Entwicklungen und Kooperationen

An Hochtemperaturreaktoren wird auch in anderen Ländern gearbeitet Umfangreiche Aktivitäten gibt es in USA und der UdSSR. In Japan wurde 1989 beschlossen, einen dem AVR entsprechenden HTR-Testreaktor zu bauen.

Innerhalb Europas gibt es zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Schweiz eine langjährige intensive, auch unternehmerische Zusammenarbeit bei Hochtemperaturreaktoren. Die derzeitigen Aktivitäten in der Schweiz hegen beim HTR 500 und dem Heizreaktor.

Zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Sowjetunion bestehen sowohl auf unternehmerischer als auch auf Regierungsebene enge Kontakte auf dem HTR-Sektor. Auf Unternehmensebene zielt die Zusammenarbeit auf den Bau eines Moduls als

großtechnische Versuchsanlage. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit im Rahmen der Regierungszusammenarbeit hat die Erhöhung des Temperaturniveaus des HTR von 750° C auf 950° C zum Ziel, denn in der Sowjetunion wird der HTR vor allem auch als Prozeßwärmelieferant gesehen.

Mit der Volksrepublik China ist die gemeinsame Errichtung eines 10 MW-Versuchsreaktors an der Tsinghua Universität in Peking geplant.

Neue Reaktorkonzepte

International wird besonders seit der Weltenergiekonferenz in Montreal im September 1989, aber auch schon vorher in Gremien der NEA/OECD und der IAEO, über die Möglichkeit diskutiert, neue Konzepte für thermische Reaktoren zu entwickeln, die besondere Sicherheitseigenschaften aufweisen. Dies ist auch für die Zukunft der Akzeptanz der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland von Bedeutung. Die internationalen Entwicklungen sollen deshalb im Rahmen dieses Programms durch eigene sicherheitsbezogenen Forschungsarbeiten begleitet werden.

4.3 Fusionsenergie

4.3.1 Überblick und Strategie

Ziel der Fusionsforschung ist es, den Energiegewinn bei der Fusion von Wasserstoffkernen in einer kontrollierten Reaktion in Kraftwerken nutzbar zu machen. Aus physikalischen Gründen am erfolgversprechendsten ist die Verschmelzung der Wasserstoffkerne Deuterium und Tritium. Deuterium ist ein natürlicher Bestandteil des Wassers, und Tritium soll während der Fusionsreaktion über einen Brutprozeß in der Reaktionskammerwand aus dem Alkali-Metall Lithium gewonnen werden. Lithium ist auf der Erde in großen Mengen vorhanden.

Fusionsforschung wird weltweit und so auch in der Bundesrepublik Deutschland seit Mitte der 60er Jahre betrieben. Die Wissenschaftler standen dabei vor physikalischen Problemen, deren Größe zu Beginn der Arbeiten weit unterschätzt wurde. Vor allem in den letzten 5-6 Jahren haben die erheblichen Finanzmittel, die weltweit in große Fusionsexperimente investiert worden sind, aber zu einer erheblichen Ausweitung des Wissens geführt Dadurch sind jetzt zuverlässigere Aussagen über die technische Nutzbarkeit der Fusion als Energiequelle möglich geworden. Dennoch werden weitere jahrzehntelange Entwicklungsarbeiten und die Lösung zahlreicher grundsätzlicher Probleme erforderlich sein, bis die Fusion als kommerziell einsetzbares Energiesystem zur Verfügung steht.

Die markantesten Erfolge der Fusionsforschung in den letzten Jahren sind die erfolgreiche Inbetriebnahme der Großexperimente TFTR in Princeton/USA, JET in Culham/Großbritannien und JT-60 in Japan. Nach den Ergebnissen von JET ist für eine positive Energiebilanz nur noch eine Verbesserung von Teilchendichte, Einschlußzeit und Temperatur um einen Faktor 2 erforderlich; für eine Zündung des Plasmas eine Verbesserung um den Faktor 8. Dieser Fortschritt wird dann besonders deutlich, wenn man bedenkt, daß die Wissenschaftler noch 1970 um den Faktor 25000 von diesen Reaktorerfordernissen entfernt waren. Mit dem nächsten Schritt und der Nutzung von Tritium ist man deshalb zuversichtlich, ein sieh selbst erhaltendes, brennendes Plasma zu erreichen und damit die Funktion eines Fusionsreaktors nachzuweisen.

Bedingt durch die Fortschritte in der Plasmaphysik rücken zunehmend auch die technischen Probleme ins Blickfeld, die für die Möglichkeit des Baus eines Fusionsreaktors ebenso entscheidend sein werden, wie die Lösung des physikalischen Grundproblems. Dementsprechend wird die Fusionsforschung in Zukunft im Wesentlichen zwei Zielrichtungen verfolgen: Lösung der plasmaphysikalischen Probleme mit Hilfe großer Experimentiereinrichtungen und Bearbeitung technischer Fragestellungen in einem umfassenden Technologieprogramm.

Die Fusionsforschung wird in Europa vollständig in einem gemeinsamen Programm im Rahmen von EURATOM verfolgt, dem sich die Schweiz und Schweden angeschlossen haben. Das Programm wird von der EG-Kommission geleitet. Zur Zeit werden in Europa rd. 900 Mio. DM pro Jahr für die Fusionsforschung aufgewendet (davon in der Bundesrepublik Deutschland ca. 200 Mio. DM), wovon ungefähr 400 Mio. DM (44 %) von der EG finanziert werden.

Ähnlich große Forschungsprogramme werden in den USA, Japan und in der UdSSR durchgeführt Eine enge Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Großprojekten wurde im Rahmen der IEA zwischen den westlichen Industrienationen mit einer Reihe von Implementing Agreements vereinbart.

Vertreter der Europäischen Gemeinschaft, Japans, der Sowjetunion sowie der USA haben sich auf Initiative von Präsident Reagan und Generalsekretär Gorbatschow im Oktober 1987 geeinigt, ihren Regierungen gemeinsame Planungsarbeiten für ein internationales Fusionsexperiment einen Internationalen Thermonuklearen Testreaktor (ITER) vorzuschlagen. Als Sitz für gemeinsame technische Arbeiten wurde - entsprechend einem Angebot der Europäer - das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching bei München gewählt. Den Vorsitz der drei Entscheidungs- und Beratungsorgane des Projekts hat jeweils ein amerikanischer, ein japani-

scher sowie ein sowjetischer Leiter. Die Schirmherrschaft über das Projekt hat die Internationale Atomenergie-Organisation. Dem Vorhaben hat sich inzwischen auch Kanada angeschlossen.

Ziel der ab April 1988 zunächst auf 3 Jahre verabredeten Studienphase ist es, gemeinsam den nächsten Schritt eines Fusionsexperiments vorzubereiten. Diese Planungsarbeiten sollen Ende 1990 die Entscheidung ermöglichen, ob und wie-gemeinsam oder von den einzelnen Partnern alleine - das Fusionsexperiment gebaut und betrieben werden soll. Die Bundesrepublik Deutschland wird sich als Standort für das nächste internationale Großprojekt bewerben. Sie möchte durch Zurverfügungstellung eines solchen Standortes die Bemühungen um ein gemeinsames internationales Vorgehen beim nächsten großen Schritt in der Fusionsforschung nachhaltig unterstützen. Es wird angesichts eines wahrscheinlich hochqualifizierten internationalen Wettbewerbs nicht einfach sein, den Projektstandort Bundesrepublik Deutschland zu verwirklichen. Es bestehen dafür aber gute Chancen, zumal unser Land in wissenschaftlicher und technischer Hinsicht bei der Fusionsforschung zu den führenden Nationen der Welt gehört und das Forschungsprogramm so angelegt ist, daß es zielgerichtet auf NET (siehe weiter unten) / ITER hinarbeitet.

Nach europäischem Plan soll, solange ein Baubeschluß zu ITER als weltweitem Projekt mit europäischer Beteiligung nicht getroffen ist, der erarbeitete Entwurf als europäisches NET-Projekt weitergeführt werden. Bei positiver Entscheidung zu NET könnte nach dem Detailentwurf etwa ab 1995 mit dem Bau des Experiments begonnen werden.

4.3.2 Tokamak-Anlagen

Der toroidale Einschluß des heißen Fusionsplasmas nach dem Tokamak-Prinzip bildet die Hauptlinie der Forschung. Ziel des europäischen Programms ist der erfolgreiche Betrieb des Großprojekts JET (Joint European Torus) und die Erarbeitung der Grundlagen für eine Bauentscheidung (1991/92) für das als Nachfolgeanlage geplante Großexperiment NET (Next European Torus), das bei weiterer Beteiligung durch Japan, die UdSSR, die USA und Kanada als ITER errichtet werden kann. NET soll bereits ein brennendes Plasma enthalten, zur Optimierung der physikalischen Parameter dienen und als Testanlage für die Entwicklung der technischen Großkomponenten zur Verfügung stehen. Diese werden für die Planung eines Demonstrationsreaktors (DEMO) zu Anfang des nächsten Jahrhunderts benötigt, der aus heutiger Sicht nicht vor 2020 in Betrieb gehen kann. Ergänzend zu den JET-Arbeiten, aber vor allem zur Vorbereitung der NET-Entscheidung wird in den Assoziationslaboratorien in Europa ein zusammenhängendes und arbeitsteiliges Plasmaphysik-Forschungsprogramm durchgeführt

In der Bundesrepublik Deutschland geschieht dies im IPP mit dem großen Tokamak- Experiment ASDEX und ab 1990 mit der Nachfolgeanlage ASDEX-Upgrade, sowie im Forschungszentrum Jülich (KFA) mit dem großen Tokamak TEXTOR. Weitere große Anlagen gibt es in Frascati (Italien) und Cadarache (Frankreich). Die Fusionslaboratorien der übrigen Länder im europäischen Fusionsprogramm, deren Vorhaben wesentlich kleiner sind, arbeiten entweder an den großen Anlagen mit oder haben sich zu gemeinsamen Experimenten zusammengeschlossen.

Der nächste Entscheidungszeitpunkt über das weitere Vorgehen liegt 1991, wenn über detaillierte Planungen und über den Standort für das NET/ITER-Experiment befunden werden muß. Bis dahin sollen die Arbeiten auf dem jetzigen finanziellen Niveau fortgesetzt werden.

4.3.3 Alternativen zu toroidalen Konfigurationen

Im Gegensatz zur Tokamak-Linie werden die beim Plasma-Einschluß in internationaler Absprache in nationalen Laboratorien untersucht. Die Bundesrepublik Deutschland ist dabei führend bei dem Stellarator-Prinzip mit dem Experiment Wendelstein VII AS im IPP, das den modularen Aufbau der Spulen und ein Stellarator-Plasma über einige Sekunden Zeitdauer nachweisen soll Das IPP plant mit dem Großexperiment Wendelstein VII -X die grundsätzliche Eignung des Stellaratorprinzips für künftige Großexperimente oder DEMO-Anlagen nachzuweisen.

Lineare Konfigurationen (Spiegelmaschine etc.) sind als weniger aussichtsreich ein- gestuft worden und gehören daher nicht zum europäischen Programm.

4.3.4 Technologieprogramm

Das Fusionstechnologieprogramm zielt im Augenblick hauptsächlich auf NET/ITER mit Fragen zur Entwicklung von Supraleitungsmagneten, Hochfrequenz-Zusatzheizungs-Systemen und Brutmantelvarianten. Es enthält aber auch Komponenten, die längerfristig angelegt sind, wie etwa die Materialentwicklung oder die fusionsspezifische Sicherheits- und Umweltforschung. Von deutscher Seite ist an diesem Programm das Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) wesentlich beteiligt. Es deckt etwa ⅓ des gesamten europäischen Technologieprogramms ab. Durch KfK soll längerfristig auch das benötigte kerntechnische Wissen in die Fusionsforschung eingebracht werden.

In unserem Land konzentriert sich die Fusionsforschung auf die drei Zentren IPP (ASDEX, ASDEX-

Upgrade, WENDELSTEIN VII-AS), KfK (Technologieentwicklung) und KFA (TEXTOR), wobei die im Dezember 1982 gegründete „Entwicklungsgemeinschaft Kernfusion“ zwischen IPP (Physik) und KfK (Technik) den Schwerpunkt bildet. Daneben gibt es kleinere Forschungsaktivitäten am HMI (Berlin) und an zahlreichen Universitäten, die mit den Zentren wissenschaftlich und zum Teil auch vertraglich verbunden sind. Über die künftige Schwerpunktbildung und die mit dem Bau von NET/TTER einzuleitenden Konzentrationsprozesse wird im Zusammenhang mit den anstehenden europäischen oder weltweiten Entscheidungen zu NET/ITER befunden werden.

Die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung von 1984bis 1989 entwickelten sich für diesen Programmschwerpunkt wie folgt (Angaben in Mio. DM, 1989vorläufiges Ist):

	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Fusionsenergie	157,8	167,4	198,2	194,2	194,9	192,4

Für die weitere Entwicklung ist folgende Planung vorgesehen (Angaben in Mio. DM):

	1990	1991	1992	1993
Fusionsenergie	195,8	198,9	198,3	206,8

Fossile Energieträger werden auch in Zukunft den dominierenden Anteil an der Energieversorgung sowohl der Bundesrepublik Deutschland als auch weltweit steilem Angesichts dieser Bedeutung sind Forschung und Entwicklung seit Beginn des Programms mit erheblichen Mitteln gefördert worden. Dies hat zu beachtlichen Erfolgen auf verschiedenen Gebieten geführt Deutsche Kohletechnik wird heute international als Spitzentechnik angesehen; neue Bergbautechniken haben durch erhebliche Steigerung der Schichtleistungen die Förderkosten für Steinkohle im Vergleich zu 1980 fast konstant gehalten, trotz allgemeiner Kostensteigerungen und der schwierigen Geologie im deutschen Steinkohlebergbau. Auch die Kohleverflüssigung und die Technik zur Gaserzeugung aus Kohle konnten soweit entwickelt werden, daß sie heute für den großtechnischen Einsatz zur Verfügung stehen. Leider ist die Umsetzung in die wirtschaftliche Anwendung unter Verwendung deutscher Steinkohle wegen der gegenwärtigen Bedingungen der Energiemärkte für die Zukunft nicht absehbar. Aufgrund dieser Situation kommt es vor allem bei der Kohleverflüssigung darauf an, einen Fadenriß in der Entwicklung zu vermeiden, da diese Technik längerfristig - auch im Hinblick auf die Energiesysteme der Länder der Dritten Welt in Verbindung mit preiswerter Kohle auf dem Weltmarkt - ein großes Potential besitzt Dabei kann die Rolle von Forschung und Entwicklung wegen der vor allem marktbedingten Probleme zwar nur unterstützend sein; es soll jedoch hierbei bis an die Grenzen des forschungspolitisch Möglichen gegangen werden.

Nach den massiven Förderungen der Vergangenheit die auf eine fasche Umsetzung und die Bereitstellung eines breiten Spektrums an Techniken zielten, konnte die finanzielle Ausstattung dieses Programmteils inzwischen erheblich zurückgenommen werden von ca. 500 Mio. DM im Jahr 1982 auf rd. 175 Mio. DM im Jahr 1989. Damit einher ging eine Konzentration auf die Bearbeitung derjenigen Probleme, die für Forschung und Entwicklung langfristig noch bestehenbleiben. Sie liegen in erster Linie bei den Umweltbelastungen und hier vor allem beim Ausstoß von Schadgasen, die mit der Verbrennung fossiler Energieträger verbunden sind. Dabei zeichnet sich hinsichtlich der CO_2-Emission eines der größten Entsorgungsprobleme für die Zukunft ab. Es stellen sich dabei Aufgaben, die langfristig nicht auf technische Einzelentwicklungen allein beschränkt bleiben dürfen, sondern auf Systembetrachtungen und mögliche Änderungen der Versorgungstechniken im Sekundärenergiebereich (z.B. durch vermehrten Einsatz von Elektrizität und Wasserstoff) ausgeweitet werden müssen. Solchen Systembetrachtungen soll vor allem im fünften Programmschwerpunkt, der Klimabeeinflussung durch Energiesysteme, nachgegangen werden. Hauptaufgabe dieses vierten Schwerpunktes ist die Entwicklung umweltschonender Techniken vorwiegend im Kraftwerksbereich und sonstigen Anlagen zur Verbrennung fossiler Energieträger. Sie sollen so angelegt werden, daß Klima- und Umweltschutz mit wirtschaftlichen Erfordernissen in Einklang gebracht werden können, um so ihr Eindringen in den Markt zu erleichtern und damit den breiten Einsatz neuer Techniken in diesem Bereich zu beschleunigen. Langfristiges Ziel sind dabei nicht sekundäre und nachgeschaltete Techniken zur Beseitigung vorhandener Umweltbelastungen, sondern Spitzentechniken, die den Anforderungen des Klima- und Umweltschutzes schon bei der Konzeption von Anlagen gerecht werden.

Neben dem zentralen Problem der Umweltbelastungen stellen sich auch für die Zukunft weiterhin Aufgaben aus dem Bereich der Ressourcenbereitstellung fossiler Energieträger. Sie liegen bei der Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung heimischer Kohle, sowie in der Untersuchung neuer unkonventioneller Gewinnungsmethoden für Kohle, Erdöl und Erdgas. Auch diesen Aufgabenstellungen soll im Rahmen des Programms mit gezielten Strategien nachgegangen werden.

Die Anwendungen für Forschung und Entwicklung im Zeitraum von 1984 bis 1989 entwickelten sich für diesen Programmschwerpunkt wie folgt (Angaben in Mio. DM, 1989 vorläufiges Ist):

	1984	1985	1986	1987	1988	1989
BMBF-Projekt-förderung	296,2	242,	240,4	227,6	190,9	147,2
Großforschungs-zentren	16,3	8,8	10,8	9,4	9,9	9,4
andere Ressorts	41,4	56,2	29,1	0,5	-	
	353,9	307,8	280,3	237,5	200,8	156,6

Für die weitere Entwicklung ist folgende Planung vorgesehen (Angaben in Mio. DM):

	1990	1991	1992	1993
BMBF-Projekt-förderung	136,0	129,0	122,0	121,7
Großforschungs-zentren	9,2	10,0	10,1	10,2
	145,2	139,0	132,1	131,9

4.4 Fossile Energien

4.4.1 Minderung der Umweltbelastungen bei der Nutzung fossiler Energiequellen

a) Einführung

Umweltschutz war schon immer ein wichtiger Faktor bei Forschung und Entwicklung zum Einsatz fossiler Energieträger. In den letzten Jahren ist er sogar zum bestimmenden Entwicklungsziel geworden. Die bisher geförderten Techniken zielten in erster Linie auf die Begrenzung der gasförmigen Emissionen wie S02 oder NO_x, überwiegend durch nachgeschaltete Anlagen. Beispiele für diese Entwicklungsphase sind

- Rauchgasentschwefelungsanlagen einschließlich der Verfahren zur Verwendung des entstehenden Gipses,
- Katalysatoren zur Stickoxidminderung.

Aber auch in dieser Phase wurde schon erfolgreich versucht, durch Änderung der Technik Emissionen gar nicht erst entstehen zu lassen. Dies gelang mit der Entwicklung

- stickoxidarmer Stufenbrenner,
- stickoxidarmer Gasturbinenbrennkammern,
- besonders Schadstoff armer Wirbelschichtfeuerungen.

Überall dort wo es möglich ist, Umweltgifte gar nicht erst entstehen zu lassen, ist dies in aller Regel der bessere, auch wirtschaftlichere Weg. Die zirkulierende Wirbelschichtverbrennung, deren Entwicklung maßgeblich auf einer Förderung durch den BMFT beruht, wurde zu einem großen Erfolg für die umweltfreundliche Verbrennung von Kohle. Viele Anlagen wurden rund um die Welt nach diesem Prinzip gebaut.

Das Ziel eines integrierten Umweltschutzes bei der Gewinnung, Nutzung, Verwertung und Entsorgung fossiler Energieträger erfordert auch die Einbeziehung der festen Abfall- und Reststoffe sowie des Abwassers. Darüber hinaus müssen wegen des Klimaproblems die Emissionen von CO_2 in Zukunft erheblich verringert werden. Dies stellt die Techniken zur Nutzung fossiler Energien vor ganz neue, fundamentale Aufgaben, da dieses Gas immer bei der Verbrennung solcher Energieträger entsteht. Hauptansatzpunkt dafür ist in diesem Programmteil die Erhöhung der Wirkungsgrade und die Verbesserung der Verbrennungsprozesse. Da solche Techniken zumeist auch wirtschaftlich konkurrenzfähig mit herkömmlichen Verfahren sind, Wird darüber hinaus erwartet, daß sie langfristig weltweit im Rahmen von CO_2-Begrenzungsstrategien durchgesetzt werden können.

b) Weiteres Vorgehen

Die Strategie für das weitere Vorgehen hat drei Schwerpunkte, die miteinander verzahnt sind:

- Grundlagenforschung zur Verbrennung, um durch vertieftes Verständnis der dabei ablaufenden Vorgänge zu verbesserten Verfahren zu kommen,
- Konzentration auf die Weiterentwicklung des Gas/Dampfturbinenprozesses, der am raschesten Erfolge hinsichtlich umfangreicher Emissionsminderungen verspricht Das entsprechende Programm enthält vier Teile: Komponentenentwicklung, Prototypanlagen für Kraftwerke mit Kohledruckvergasung, Entwicklung der Druckwirbelschicht, Kohlestaub-Druckvergasung,
- Untersuchungen und erste Projekte zur Erschließung langfristig neuer Entwicklungslinien.

Grundlagenforschung zur Verbrennung

Fortschritte in der Lasermeßtechnik und die Verfügbarkeit großer Rechnerkapazitäten ermöglichen in jüngster Zeit die theoretische und experimentelle Durchdringung der elementaren Verbrennungsvorgänge. Dadurch sollte es möglich werden, von aus der Erfahrung gebildeten Richtwerten bei der ingenieurmäßigen Auslegung von Brennern und Brennräumen zu wissenschaftlichen Kriterien überzugehen und dadurch eine effizientere und schadstoffärmere Verbrennung zu erreichen. Unter den Vorhaben zur Verbrennungsforschung sind zwei große Verbundprojekte besonders hervorzuheben, nämlich Tecflam und Turboflam. Tecflam ist ein Verbundvorhaben, das sehr grundlagenorientiert in den kommenden Jahren in die Anwendung der Flammenforschung hineinwachsen soll. Die Bundesrepublik Deutschland bringt außerdem ihre Erfahrungen und

auch Finanzmittel in ein internationales Projekt zur Verbrennungsforschung ein, das im Rahmen der IEA abgewickelt wird

Kohlekraftwerke mit Gas/Dampfturbinenprozeß

Der Wirkungsgrad eines Kohlekraftwerks läßt sich entscheidend durch die Vorschaltung einer Gasturbine vor den üblichen Dampfturbinenprozeß erhöhen. Dies ist möglich, wenn die übliche atmosphärische Kohlestaubfeuerung durch eine druckbetriebene Wirbelschichtfeuerung oder eine Kohledruckvergasung ersetzt wird.

Aussichtsreichster Kandidat für einen solchen Kraftwerktyp ist das Kraftwerk mit integrierter Kohledruckvergasung. An diesem Konzept wird weltweit mit staatlicher Unterstützung gearbeitet. Insbesondere in den USA wird im Rahmen des Clean-Use-of-Coal-Programms auf weitere Prototypanlagen hingearbeitet Entwicklungs- und Planungsarbeiten an diesem Konzept werden auch in Japan sowie in mehreren europäischen Ländern (S, GB, NL, DK) durchgeführt In der Bundesrepublik Deutschland konzentrierten sich die Arbeiten - nach dem Fehlschlag des zu ehrgeizigen Prototypkraftwerks von 170 MW in den 70er Jahren - auf die notwendige Komponentenentwicklung in Zusammenarbeit von Hochschulen und Industrie.

In praktisch allen technischen Bereichen wurde die **Entwicklung von Komponenten** für ein Kombikraftwerk vorangetrieben. Die Weiterentwicklung von Kohlevergasern wurde ausschließlich auf ihren Einsatz im Kraftwerksbetrieb ausgerichtet. Großprojekte sind der Prenflo-Vergaser für Steinkohle und der Hochtemperatur-Winkler-Vergaser für Braunkohle.

Eine für einen hohen Wirkungsgrad bei einer integrierten Kohlevergasung wichtige Komponente ist der Abhitzekessel. Die Hochtemperaturgasentstaubung ist ein wichtiges Element sowohl für die Kohlvergasung als insbesondere auch für die Druckwirbelschicht, bei der immer noch Entwicklungselemente offen sind. Offen sind auch noch viele Fragen der Hochtemperaturgasreinigung, die über die Entstaubung hinausgehen.

Große Aufmerksamkeit wurde und wird der Hochtemperaturgastubine gewidmet Zum einen bestimmt die Höhe der Eingangstemperatur direkt den Wirkungsgrad, zum anderen muß durch Brenner- und Brennraumgestaltung die bei den hohen Temperaturen bevorzugt ablaufende Stickoxidbildung vermieden werden.

In einem drei große Verbundvorhaben (Turbotherm, Turbotec, Turboflam) umfassenden Komplex der AG-Turbo sollen auf breiter Basis die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen für die Gasturbine der Zukunft gelegt werden. In diesem zwar auf Anwendung gerichteten, aber noch weit vor kommerzieller Verwertung liegenden Entwicklungsbereich arbeiten konkurrierende Gasturbinenhersteller, die DLR und Hochschulen zusammen. Diese Arbeiten gründen auf der Überzeugung, daß über die Anwendung für GuD-Kraftwerke hinaus die Gasturbine für die Umwandlung fossiler Energieträger zunehmend wichtiger wird. Bei dem breit angelegten Gebiet der Hochtemperaturgasturbine wird eine Straffung der Arbeiten angestrebt.

Speziell für die druckbetriebene Wirbelschichtfeuerung, deren obere Rauchgastemperatur bei etwa 900° C begrenzt ist, ist eine Gasturbine für höhere Staubgehalte in Entwicklung.

Aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen des Komponentenprogramms soll die Entwicklung von **Prototypanlagen für Kraftwerke mit Kohledruckvergasung** weitergetrieben werden. Diese Kraftwerke erhöhen nicht nur den Wirkungsgrad um 10% - 15%, was für die CO_2 -Reduktion von großer Bedeutung ist, sondern sie kommen auch der Forderung nach umfassendem, integriertem,Umweltschutz entgegen: Neben der Begrenzung der gasförmigen Emissionen fallt verwertbare glasförmige Schlacke sowie Schwefel an, und die Abwassermengen sind vergleich weise gering und können durch Hochtemperaturentstaubung noch weiter verringert werden.

Für die Verwirklichung in einer Gesamtanlage ist ein Projekt der Stadtwerke Duisburg am aussichtsreichsten. Die bisherigen Überlegungen laufen auf ein 170 MW Heizkraftwerk hinaus. Dieses Projekt wurde auch in das Montanprogramm eingebracht Aufbauend auf standortunabhängigen Konzeptionen wird das Konzept zur Zeit von den Herstellern in Zusammenarbeit mit dem möglichen Betreiber konkretisiert Bei positivem Abschluß dieser Arbeiten würde sich im Jahr 1989 ein Basic-Engineering anschließen, das 1991 einen Bauentscheid ermöglichen könnte. Die kommerzielle Reife der Technik könnte Mitte der 90er Jahre demonstriert werden. Dies würde zeitlich mit der in der 2. Hälfte der 90er Jahre notwendigen Erneuerung des Kohlekraftwerkparks zusammenpassen, so daß sich entsprechende Marktchancen abzeichnen.

Neben dieser Linie wird in einer Pilotanlage das Kohleumwandlungskonzept der Vereinigten Elektrizitätswerke entwickelt, das auf einer Teilvergasung mit anschließender Verbrennung des Restkokses beruht.

Das überwiegend von der EG geförderte Projekt des MBG (Mannesmann/Bergbau- Förschung)-Verfahrens zielt auf den Einsatz der Kohlevergasung in kleineren Heizkraftwerken.

In einem deutsch-deutschen Gemeinschaftsprojekt wird die Eignung des Gaserzeugers des Kombinats Schwarze Pumpe für GuD-Kraftwerke untersucht.

Längerfristig sollen die skizzierten Entwickungenin den Bau einer größeren Prototypanlage für ein Kohlekraftwerk-2000 zusammenlaufen. Die finanziellen und technischen Ressourcen müßten in diesem Fall neu geordnet und auf eine solche Anlage konzentriert werden.

Bei der ersten Anlage mit **Druckwirbelschicht** im Heizkraftwerk der RWTH Aachen haben sich technische Probleme ergeben. Geplante Prototypanlagen ließen sich bisher nicht realisieren. Im Ausland sind jedoch drei Anlagen mit druckbetriebener Wirbel-Schicht im Bau. Wegen des großen Potentials dieser Technik soll in einer großen Versuchsanlage noch einmal ein Anlauf genommen werden, um die technischen Probleme in den Griff zu bekommen.

Zukünfige Entwicklungslinien

Langfristig relevante Entwicklungslinien, die unter dem Gesichtspunkt der CO_2- Begrenzung erheblich über die oben diskutierten Techniken hinausgehen und elektrische Wirkungsgrade von 50% anstreben, sind

- die Kohlestaubdruckverbrennung und
- der Zweifachdampfprozeß mit Kaliumturbine.

Beide Entwicklungslinien sind technisch sehr anspruchsvoll und werden mit großen Verbundprojekten angegangen. Bei der Kohlestaubdruckverbrennung sollen die Rauchgase direkt auf die Gasturbine gegeben werden. Dies erfordert die Entfernung schmelzflüssiger Asche und von Alkalidämpfen aus dem heißen Rauchgas. Technische Lösungen hierfür zeichnen sich erst in Umrissen ab. Der Zeitpunkt der technischen Reife dürfte in der 2 Hälfte der 90er Jahre oder später liegen.

4.4.2 Ressourcenerschließung

a) Konventionelle Kohlebergbautechnik

Die bergtechnische Forschung und Entwicklung ist ein politisch besonders wichtiger Teil der Kohleforschung. Mit ihr werden schon mittelfristig die für die Aufrechterhaltung des Bergbaus notwendigen Aufwendungen geringer sein als bei einer Stagnation der Technik. Darüber hinaus wäre bei einem Wegfall der technischen Entwicklung den Bergbauregionen ein nur schwer zu ersetzender Schub für wirtschaftliche Aktivität und Umstrukturierung genommen.

Unter maßgeblicher Mithilfe der BMFT-Förderung konnten bis Anfang der 80er Jahre Techniken für eine praktisch vollständige Mechanisierung des Bergbaus entwickelt werden. Deutsche Bergtechnik ist Spitzentechnik: Trotz der schwierigen Lagerstätten liegt die Förderung mit fast 51 pro Mannschicht an der Spitze in Europa 1970 lag diese Leistung noch bei 3,8 t pro Mannschicht. Die technischen Entwick-

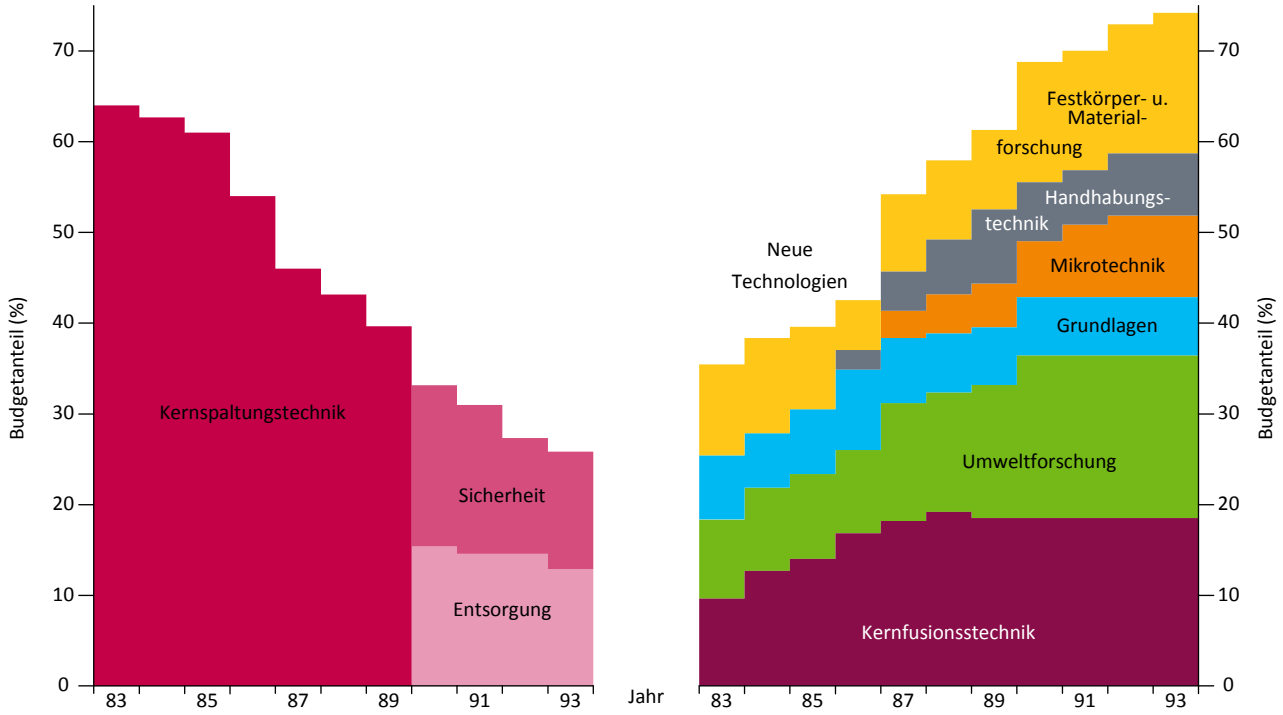


Abb. 8: Entwicklung der Arbeitsschwerpunkte im KFK

lungen, wie z.B. Vollschnittmaschinen, neuartiger Ausbau oder Mechanisierunginsteiler Lagerung, sind durch die enge Zusammenarbeit von Hersteller und Bergbau in aller Regel bei erfolgreichem Abschluß direkt in die Praxis umgesetzt worden. Durch die hohe technische Leistungsfähigkeit konnten die Förderkosten der heimischen Kohle in den letzten Jahren konstant gehalten werden.

Die großen maschinentechnischen Entwicklungen sind weitgehend abgeschlossen. Aufbauend auf planerischen und konzeptionellen Überlegungen, die unter dem Namen „Bergwerk der Zukunft" oder „Teilautomatisiertes Bergwerk" durchgeführt wurden, liegt der Schwerpunkt für die nächsten Jahre bei der möglichst weitgehenden Automatisierung. Voraussetzungen dafür sind automatisierbare Techniken, wie die Magnetbahn oder der Linearmotor, und Übertragungssysteme wie die Lichtwellenleiter für den Bergbau. Schwerpunkte der Forschungsvorhaben werden dementsprechend sein:

- Sensorentwicklung,
- kostenoptimales Grubengebäude,
- Transportleitsysteme,
- Magnetbahn.

Mit der Organisation dieser großen Verbundprojekte werden neben dem Bergbau, den Hochschulen und Herstellern auch bergbaufremde Forschungsinstitute und Unternehmen in die bergtechnische Entwicklung integriert. Davon wird eine notwendige Erweiterung der Know-how-Basis erwartet.

b) Unkonventioneller Bergbau

Ein großes deutsch-belgisches Projekt zur Untertagevergasung tiefliegender Steinkohle wurde abgeschlossen. Der erwartete Durchbruch zu großtechnisch verwertbaren Lösungen, wie sie in den USA und der UdSSR für flach gelagerte bitominöse Kohle vorliegen, konnte bisher nicht erreicht werden. Über eine Fortführung der Aktivität auf europäischer Ebene wird beraten.

Grundlagenforschungen zur Kohlestruktur soll Hinweise auf mögliche Wege zur untertägigen Umwandlung geben. Diese Arbeiten sowie erste Ansätze zur Erkundung von Möglichkeiten zur mikrobiellen Umwandlung sind der Grundlagenforschung zuzurechnen.

c) Erschließung unkonventioneller Erdöl- und Erdgaslagerstätten

Die bisherige Förderung hat eine Reihe interessanter Erfolge zu verzeichnen. So wurde in Teilbereichen der fortgeschrittenen Seismik (Absorptions- und Schwerewellenseismik) sowie bei den Auswerteverfahren eine wesentlich bessere Strukturerkennung möglich. Das chemische Fluten von Erdöllagerstätten mit CO_2, Polymeren und Tensiden wurde insbesondere für die salinaren Lagerstätten entwickelt. Erfolge konnten ebenfalls in der Geochemie erreicht werden, bis zur kommerziellen Verwertung von Beckenstudien.

Zur Weiterführung dieses Gebietes soll eine Strategie verfolgt werden, die technische Nischen besetzt, bei denen in der Bundesrepublik Deutschland besonders interessante Ansätze vorhanden sind. Dieses sind:

- quantitative Geologie (Beckenstudien),
- tertiäre Erdölförderung,
- Lithologieerkennung,
- Mehrphasentransport,
- Bohrtechnik.

Die Förderung dient nicht nur der Steigerung unserer wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit auf diesem für die Energieversorgung besonders wichtigen-Gebiet, sondern sie soll auch zur Weiterbildung des akademischen Nachwuchses dienen. Hierzu soll die Verbundforschung zwischen Hochschulen und Industrie in Zukunft verstärkt gefördert werden.

Weiterhin sollen zwei neue wissenschaftliche Felder aufgegriffen werden:

- mikrobiologische Erdölmobilisierung (MEOR),
- präkarbonisches Tiefengas.

Beide Wissenschaftsbereiche stecken noch in den Anfängen. Bei MEOR ist das Ziel, Mikroben zu finden, die durch ihre Ausscheidungen den Porenraum der Trägergesteine vergrößern (z.B. durch Säuerung) oder die Viskosität herabsetzen. Beim präkarbonischem Tiefengas wird von der Vorstellung ausgegangen, daß es Erdgaslagerstätten geben sollte, die erdgeschichtlich vor den heute ausgebeuteten Lagerstätten gebildet wurden und sich in tieferen geologischen Stockwerken befinden. Ein Verbundprojekt unter Koordinierung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ist in Vorbereitung.

4.4.3 Umwandlung fossiler Primärenergieträger

Die Umwandlung fossiler Primärenergieträger in umweltfreundliche, leicht handhabbare flüssige oder gasförmige Sekundärenergieträger ist Teil staatlicher Vorsorgepolitik. Die Entwicklungen, die Ende der 70er/Anfang der 80er Jahre eingeleitet wurden, waren technisch sehr erfolgreich. Weltweit spielt bei Kohleumwandlungsprozessen deutsche Technik eine wesentliche Rolle. Besonders hervorzuheben ist, daß über die Zusammenarbeit bei der Schwerölhydrierung eine enge kommerzielle Kooperation mit Venezuela eingeleitet wurde. Ebenso ist das mit BMFT-Hilfe entwickelte Schwerölhydrierverfahren erste Wahl bei der Vorbereitung des kanadischen OSLO-

Projektes zur Nutzung der dortigen Schweröllagerstätten.

Leider hat die weitere Entwicklung der Preise für fossile Energieträger sich auf die Marktchancen der geförderten Techniken negativ ausgewirkt, so daß es bei der Weiterführung des Programms in erster Linie darum geht, aus Vorsorgegründen den Stand der Technik zu erhalten. Die Gaserzeugung aus Kohle hat bei der Entwicklung der GuD-Technik einen Platz gefunden und wird dort weiterverfolgt. Bei der Kohleverflüssigung steht die gemeinsame Hydrierung von Kohle und Erdölrückständen an. Beim Pyrosolverfahren ist die Fortführung an das Engagement eines potentiellen Betreibers (wohl in Kanada) gebunden. Falls das nicht erreichbar ist, wird die Aktivität so bald wie möglich auslaufen. Wissenschaftlich-technisch interessant ist immer noch der Röhrenreaktor. Ein wesentlicher Spin-off der Kohlehydrierung wird möglicherweise die Beseitigung von Kunststoffabfällen oder Rückstandsölen sein. Bei Kohlehydrierung und Koprozessing soll ein gewisses Aktivitätsniveau gehalten werden. Die Technik ist zwar im Augenblick unwirtschaftlich, aber nicht ohne langfristige Aussichten, wie die Entwicklung in Kanada zeigt.

4.5 Klimabeeinflussung durch Energiesysteme, CO_2-Problem

Die Änderung des Klimas unserer Erde durch anthropogene Einflüsse sowie die damit, verbundenen Gefahren und Bedrohungen für unsere Zivilisation sind seit vielen Jahren Gegenstand der Forschung. Die Bedeutung, die dabei Energieerzeugung und Energienutzung spielen, ist besonders in den letzten fünfzehn Jahren in den Vordergrund getreten. Hierbei war es zu Anfang die Wärmeerzeugung und dann später die Emission von Schadgasen wie CO_2 oder CH4, die Anlaß zu besonderer Besorgnis gaben. Zu Beginn der Untersuchung war auch noch unklar, ob es zu Erwärmungen oder Abkühlungen kommen könnte oder ob sich die Effekte die Waage halten würden. Inzwischen besteht aber innerhalb der Wissenschaft Konsens darüber, daß es aller Voraussicht nach zu einer Erwärmung des Klimas kommen wird und daß nicht die Wärmeentwicklung bei der Energieumsetzung sondern die dabei freigesetzten Schadgase über den von ihnen erzeugten Treibhauseffekt die große. Gefahr darstellen.

Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ hat hierzu eine umfassende Bestandsaufnahme gemacht und das derzeitige Wissen über die Klimaproblematik in einem eindrucksvollen Zwischenbericht zusammengefaßt. Auf ihn wird ausdrücklich Bezug genommen. Die Enquete-Kommission hat damit weltweit Pionierarbeit geleistet und die Basis geschaffen, auf der jetzt weiter aufgebaut werden kann.

Die Enquete-Kommission empfiehlt, die Abgabe von klimarelevanten Gasen an die Atmosphäre in den nächsten Jahren weltweit erheblich zu senken. Die Energiesysteme, die daran wegen des CO_2-Ausstoßes in großem Umfang beteiligt sind, stehen damit vor einer grundsätzlich neuen Situation: Während die Anpassung an die Herausforderungen der beiden früheren Ölpreiskrisen in zeitlicher Hinsicht mit einer relativ großen Flexibilität durchgeführt werden konnten, ist dies bei einer möglichen Klimaveränderung insofern anders, als dann ein Problem gelöst werden muß, das sowohl auf der Zeitskala als auch in mengenmäßiger Hinsicht kaum Spielräume läßt. Die Anforderungen an die Mengen an CO_2, die eingespart werden müssen, und an die Zeitintervalle, in denen dies zu realisieren ist, sind so, daß für eine verantwortungsbewußte Vorsorgepolitik zügiges Handeln unumgänglich ist. Das Problem wird noch dadurch verschärft, daß es sich nicht um eine Aufgabe handelt, die von einer oder mehreren Nationen allein bewältigt werden kann, sondern daß ein weltweit abgestimmtes Vorgehen nötig ist. Hierbei sind jedoch aller Voraussicht nach weder die Interessenlagen der Länder ' kongruent, noch sind die möglichen Gegenmaßnahmen im dafür nötigen Umfang für alle in gleicher Weise annehmbar oder realisierbar.

In dieser Situation kommt denjenigen Ländern besondere Bedeutung zu, bei denen die energiebedingte CO_2-Erzeugung besonders hoch ist. Das sind in erster Linie die großen Energieverbraucher, dh. die Industrienationen einschließlich der UdSSR, sowie die Volksrepublik China und die bevölkerungsreichen Länder in Südost-Asien. Angesichts der Größe des Problems kann nicht abgewartet werden, bis weltweite Einigungsprozesse in Gang gekommen sind. Vielmehr muß eine so bedeutende Industrienation wie die Bundesrepublik Deutschland hier beispielhaft vorangehen, ohne dabei jedoch die internationalen Aspekte aus dem Auge zu verlieren, auf die auch der Weltwirtschaftsgipfel im Juli 1989 mit besonderem Nachdruck hingewiesen hat. Dazu muß als erster, wichtiger Schritt von Wissenschaft und Politik gemeinsam erarbeitet werden, um welche Mengen der CO_2-Ausstoß in der Bundesrepublik Deutschland bis zu welchen Zeitpunkten reduziert werden sollte. Die Toronto-Konferenz vom Sommer 1988 und Arbeiten bedeutender wissenschaftlicher Vereinigungen, auch in unserem Land, haben hierzu Anhaltspunkte gegeben, die in operationelle Ziele umzusetzen sind.

Die Aufgaben, die sich dann für Forschung und Entwicklung stellen, kann man wie folgt kennzeichnen:

1. Zur Erreichung von CO_2-Reduktionen gibt es keine einfache und eindeutige Strategie. Die ersten Diskussionen hierüber mit ihren auch politisch unterschiedlichen Ansätzen haben dies deutlich gezeigt. Um zielführend weiterzukommen, ist es deshalb

notwendig, so rasch wie möglich Rahmenbedingungen zu erarbeiten, die allen zukünftigen Strategieüberlegungen gemeinsam zugrunde gelegt werden können. Hierbei ist - wie vorher angeführt - davon auszugehen, daß die jetzige Situation sich von früheren Energiedebatten fundamental unterscheidet: Es müssen in vorgegebenen Zeiträumen feste Ziele erreicht werden, und dazu sind Strategien erforderlich, die in der Kürze der noch zur Verfügung stehenden Zeit in ihrer Umsetzung realistisch und machbar sind. Dabei muß selbstverständlich Freiraum bleiben, um innerhalb der Rahmenbedingungen politisch unterschiedliche Auffassungen und Alternativen für solche Strategien entwickeln zu können. Hierzu bedarf es eines umfassenden, aber koordinierten Engagements aller auf diesem Gebiet ausgewiesenen wissenschaftlichen Institutionen in der Bundesrepublik Deutschland. Wegen der Bedeutung dieser Aufgabe und wegen der daraus resultierenden möglichen Konsequenzen für alle Bürger unseres Landes, ist hierfür eine besonders umfassende und sorgfältige Arbeit nötig, deren Ergebnisse so transparent und nachvollziehbar sind, daß sie in politisches Handeln umgesetzt werden können.

2. Ausgangspunkt der Strategien muß eine einheitliche Datenbasis und eine einheitliche Bewertung der Potentiale aller uns heute für die Erreichung dieses Ziels zur Verfügung stehenden technischen Optionen sein. Die hierfür notwendigen Arbeiten müssen die erste Aufgabe für die Bearbeitung des Problems sein.

Im Rahmen dieses Programms sollen die finanziellen Möglichkeiten und die organisatorischen Rahmenbedingungen bereitgestellt werden, um diese beiden Aufgaben bearbeiten zu können. Es ist beabsichtigt, dabei eng mit der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages zusammenzuarbeiten. Das Vorgehen soll so angelegt werden, daß sich beide Arbeiten ergänzen und ein enger Informationsaustausch stattfindet. Weiterhin soll eine Wechselwirkung mit dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) und der World Commission on Environment and Development (WCED) angestrebt werden.

Neben der Erarbeitung von CO_2-Reduktionsträtegien sollen im Rahmen dieses Programms auch alle Techniken untersucht werden, die die Erzeugung von CO_2 vermindern oder vermeiden und die die Möglichkeiten bieten können, CO_2 zu beseitigen. Auch grundsätzlich neue Ansätze sind hierzu bereits in der Diskussion. Stichworte sind Null-Emissions-Energiesysteme, Verpressen von CO_2, CCO_2-Einlagerung in der Tiefsee, weltweite Aufforstungsprogramme. Inwieweit sich hier realistische Möglichkeiten ergeben, müssen weitere Forschungsarbeiten zeigen.

Wichtigster Ansatzpunkt für Forschung und Entwicklung bleibt deshalb, die heute für die Lösung des Problems verfügbaren Techniken und Systeme weiter zu entwickeln. Besondere Bedeutung kommt dabei den Techniken der rationellen Energieverwendung, den Steigerungen des Wirkungsgrades fossiler Energien und erneuerbaren Energiequellen sowie der Nutzung der Kernenergie zu. Die Kernenergie ist dabei die einzige derzeit für uns großtechnisch verfügbare Energiequelle, die keinerlei CO_2 emittiert und große Energiemengen zu kostengünstigen Bedingungen bereitstellen kann. Die entsprechenden Aktivitäten auf diesen Gebieten sind in den vorhergehenden Abschnitten ausführlich beschrieben worden. Weitere Möglichkeiten bestehen in Form von Substitutionen fossiler Energieträger untereinander (z. B. Erdgas für Kohle).

Wie bereits vorher angesprochen, wird es keine einfachen Lösungen geben, sondern es wird darauf ankommen, eine Mischung aller uns heute zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zu finden, die unter realistischen Annahmen und unter den Randbedingungen unseres Landes zu einer Strategie für die Reduktion der klimarelevanten Schadgase führt, die von einer breiten Mehrheit der Bevölkerung getragen wird.

Die Fördermittel für die Durchführung dieses Programmschwerpunkts sind aus haushaltstechnischen Gründen in den anderen Programmteilen enthalten.

5. Durchführung des Programms

5.1 Förderinstrumente

Die Förderung von Energieforschung und Energietechnik erstreckt sich über einen weiten Bereich, und zwar von Unternehmen der privaten Wirtschaft über Großforschungseinrichtungen bis zu Universitäten oder sonstigen Forschungsinstitutionen. Sie muß sich daher des gesamten Instrumentariums der Forschungsförderung bedienen. Die Schwerpunkte liegen bei folgenden Instrumenten:

- institutionelle Förderung von Forschungseinrichtungen,
- Förderung der Verbundforschung (zeitlich befristete gemeinsame Forschung von Unternehmen und Forschungseinrichtungen),
- direkte Projektförderung,
- indirekte Förderung,
- staatliche Risikobeteiligungen (in Sonderfällen).

Die **institutionelle Förderung** von Forschungseinrichtungen ermöglicht die Durchführung langfristiger und grundlagenorientierter komplexer Vorhaben, insbesondere solcher Projekte, die nur mit

hohem personellen und apparativen Aufwand zu realisieren sind (siehe 5.3).

Das Instrument der **Verbundforschung**, das bei anderen Forschungsgebieten wie z. B. der Biotechnologie, der Informationstechnik oder der Materialforschung erfolgreich verwendet wurde, soll auch bei der Energieforschung in weiter steigendem Maß eingesetzt werden. Dies gilt speziell in Bereichen, wo eine arbeitsteilige, übergreifende Bearbeitung komplexer, thematisch-funktionell zusammenhängender und nur langfristig zu lösender Problemstellungen angebracht ist. Ziel ist es, die vorhandenen Kapazitäten effizienter einzusetzen und bereits bei der Anlage der Forschungsvorhaben die Voraussetzung für einen fruchtbaren Technologietransfer zwischen allen Beteiligten in Forschung und Wirtschaft zu schaffen.

Auch die **direkte Projektförderung** wird weiterhin ein bedeutsames Instrument der Forschungsförderung bleiben. Direkte Projektförderung wird eingesetzt in den Fällen, in denen die technisch-wissenschaftlichen Risiken sehr hoch sind, der finanzielle Einsatz für die in Frage kommenden Unternehmen zu groß und der Planungshorizont zu lang ist, so daß der Markt in absehbarer Zeit die neuen technischen Entwicklungen nicht von selbst erbringen kann oder den Fällen, wo der wissenschaftliche Sachverstand vor allem an Hochschulen vorhanden ist. Zwar wird die Anzahl der Projekte in einigen Bereichen, bei denen eine gezielte Förderung einer konkreten Forschungs- und Entwicklungstätigkeit angemessen ist, zurückgehen, aber es gibt auch weiterhin noch Bereiche der Energieforschung, wo besondere Lösungen angestrebt werden müssen und andere Förderverfahren zu wenig zielgerichtet oder zu aufwendig wären.

Verbundforschung und direkte Projektforderung stellen zwei prinzipielle Förderinstrumente dar, die sich jedoch nicht gegenseitig ausschließen. Die direkte Projektförderung von Einzelprojekten innerhalb eines Gesamtrahmens der Verbundforschung ist eine mögliche und oft angestrebte Form der Forschungsforderung.

Indirekte Forschungsförderung ist bei der Energieforschung dort angebracht, wo es gilt, Hemmschwellen der Unternehmen im Bereich Forschung, Entwicklung und Innovation zu überwinden oder generell das Innovationspotential zu stärken.

Neben diesen Förderinstrumenten gibt es noch eine Reihe von Maßnahmen, die für Forschung und Entwicklung von neuen Energietechniken eingesetzt werden. Es handelt sich z. B. um:

- Zinsgünstige Darlehen und Kredite im Rahmen des ERP-Programms, betreut durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)
- Förderung der Auftragsforschung,
- Förderung von Forschungskooperationen,
- Förderung technologieorientierter Neugründungen,
- Förderung der Infrastruktur unter anderem durch Vorhalten der FhG-Forschungs- struktur, Vorhalten von Testfeldem und Prüflabors für erneuerbare Energiequellen und Techniken zur rationellen Energieverwendung,
- Förderung der Informationsbereitstellung und des Informationstransfers von Energietechniken wie z.B. die Bürgerinformation Neue Energietechniken (BINE).

Eine spezifische Form der Förderung stellt auch der Risikobeteiligungsvertrag dar. Risikobeteiligungsverträge werden in ihrer originären Form als begleitendes/ergänzen- des Instrument bei der Förderung von Großvorhaben (Demonstrationsvorhaben) zur Abdeckung von nicht oder nur schwer kalkulierbaren Betriebs- und Stillstandsrisiken eingesetzt. Voraussetzung ist eine eindeutige Abgrenzung der Verluste aus dem Betrieb einer Demonstrationsanlage (bislang nur im kerntechnischen Bereich).

5.2 Institutionelle Förderung

Mehr als 40% der Finanzierung erfolgt über **Großforschungseinrichtungen** (GFE), die damit eine besondere Bedeutung für die Erreichung der Ziele dieses Programms haben. Besondere Schwerpunkte bestehen bei der Kerntechnik, der kontrollierten Kernfusion, erneuerbaren Energiequellen und der Entwicklung von Energietechniken mit verminderten Umweltbelastungen. Für die Zukunft ist eine Verstärkung solartechnischer Aktivitäten beabsichtigt, um das große wissenschaftliche und technische Potential der GFE auch auf diesem für die Zukunft wichtigen Gebiet der Energieversorgung zu nutzen. Um hierzu diejenigen Themen auszusuchen, die für eine Bearbeitung durch solche Einrichtungen besonders geeignet sind, wurde vom BMFT 1988 ein ad-hoc- Ausschuß mit Experten aus Wissenschaft, Energie und GFE einberufen. Die abschließenden Empfehlungen stehen zwar noch aus; es zeichnen sich aber bereits wichtige Zwischenergebnisse ab, die bei der nachfolgenden Beschreibung der Arbeitsschwerpunkte der Zentren berücksichtigt worden sind. Forschungsstrategisch zielen die Arbeiten der GFE vor allem auf mittel- bis langfristige Aspekte, d.h. anwendungsbezogene Grundlagenforschung und Technikentwicklung im Vorfeld der industriellen Anwendung. Die für die Energieforschung wichtigen GFE haben in den letzten Jahren erhebliche Umstrukturierungen vollzogen, teilweise befinden sie sich auch noch im Umbruch. Diese Umstrukturierungen haben und stellen noch erhebliche Anforderungen an die

	1987	1995	2005	Steigerangs Faktor 1987-2005
OECD				
Öl	2364	2568	2721	1,15
Erdgas	1043	1149	1342	1,29
Feste Brennstoffe	1338	1512	1786	1,34
Kernenergie	446	559	642	1,44
Wasserkraf und andere	364	417	504	1,38
Gesamt	5555	6205	6995	1,26
Anteil	50,8%	47,3%	41,5%	
Planwirtschaftsländer				
Öl	953	1132	1352	1,42
Erdgas	879	1169	1922	2,19
Feste Brennstoffe	1469	1703	2186	1,49
Kernenergie	79	170	240	3,05
Wasserkraft und andere	129	151	106	1,69
Gesamt	3501	4325	5906	1,69
Anteil	32,1%	32,9%	35,0%	
Entwicklungsländer				
Öl	972	1273	1616	1,66
Erdgas	292	550	1002	3,44
Feste Brennstoffe	399	556	952	2,39
Kernenergie	27	31	39	1,42
Wasserkraft und andere	176	327	350	1,99
Gesamt	1866	2647	3959	2,12
Anteil	17,1%	20,2%	23,5%	
Welt gesamt				
Öl	4288	4973	5689	1,33
Erdgas	2214	2687	4462	1,93
Feste Brennstoffe	3205	3771	4924	1,54
Kernenergie	552	760	920	1,67
Wasserkraft und andere	662	806	1060	1,6
Gesamt	10921	13127	16857	1,54
Anteil	100 %	100 %	100 %	

*) Nichtmarktgängige Brennstoffe in Planwirtschafts- und Entwicklungsländern nicht einbezogen.

Abb. 9: Welt-Primärenergiebedarf (t SKE)

Flexibilität der beteiligten Mitarbeiter. Sie waren mit der Beendigung einer Reihe größerer, sehr erfolgreicher Arbeitsgebiete verbunden (siehe weitere Ausführungen). Dies alles wurde bei stagnierenden Stellenplänen und limitierten finanziellen Ressourcen vollzogen. Die betroffenen GFE haben damit die neuen Herausforderungen der 90iger Jahre voll angenommen, und es kann erwartet werden, daß sie ihnen mit dem gleichen Erfolg begegnen, wie in den drei Dekaden seit ihrer Gründung.

Der Schwerpunkt der kerntechnischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Großforschungseinrichtungen liegt beim **Kernforschungszentrum Karlsruhe**. Es arbeitet zusammen mit der Industrie an Techniken zur Sicherstellung der Entsorgung und an der Weiterentwicklung des Brutreaktorsystems. Bei der Fusionsforschung hat das Kernforschungszentrum einen großen Teil der technischen Entwicklungen für das nächste große internationale Fusionsexperiment übernommen. Dabei besteht eine enge Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching. Beide Forschungszentren haben dazu eine Entwicklungsgemeinschaft Kernfusion gegründet. Wichtige Beiträge liefert das Kernforschungszentrum auch für neue Verfahren für Müllverbrennungsanlagen mit erheblich reduzierter Umweltbelastung. Die Entwicklungen waren hier von sehr großem Erfolg und haben inzwischen weite Verbreitung gefunden. In welchem Umfang in den letzten Jahren im Zentrum Umstrukturierungen vorgenommen wurden, verdeutlicht die Abb. 8. Danach wird die Kernenergie von mehr als 60% Anteil Anfang der 80iger Jahre auf etwa 25 % im Zeitraum dieses Programms zurückgefahren werden; bei einem erheblichen Anwachsen an neuen Technologien und Themen der Umweltforschung.

Das **Forschungszentrum Jülich** hat über viele Jahre zusammen mit der Industrie die Entwicklung des Hochtemperaturreaktors vorangetrieben. Mit wachsender Überführung der Verantwortung für die Weiterentwicklung dieser Technik in die Industrie konnte sich das Zentrum auf neue Energietechniken umorientieren, wird aber die HTR- Entwicklung in Bereichen weiterverfolgen, die noch eines besonderen staatlichen Engagements bedürfen. Von besonderer Bedeutung sind Techniken und Energiesysteme mit sehr stark reduzierter Schadstoffemission einschließlich der Entwicklung von neuen Wasserstofftechniken sowie Brennstoffzellen. Im Rahmen dieses Programms ist auch vorgesehen, neue Kapazitäten zur Erforschung der Dünnschichttechnik für die Photovoltaik aufzubauen. Das Forschungszentrum ist auch am europäischen Fusionsprogramm beteiligt. Es betreibt dazu mit großem Erfolg das Tokamak-Experiment TEXTOR. Im Bereich fossiler Energieträger führt das Zentrum ein sehr interessantes Programm zur Exploration und Gewinnung fossiler Brennstoffe durch. Darüber hinaus beschäftigt es sich mit Fragen der Rauchgasreinigung, Energiealkoholen und Verbrennungsprozessen.

Die **Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung** in Neuherberg trägt im Rahmen des Programms zu zwei Gebieten bei: der Strahlenschutzforschung und der Endlagerung radioaktiver Abfalle. Zu letzterem betreibt sie unter anderem mit großem Aufwand und viel Erfolg das Salzbergwerk Asse.

Das **Max-Planck-Institut für Plasmaphysik** ist das größte Forschungsinstitut in der Bundesrepublik Deutschland auf dem Gebiet der Fusionsforschung. Sein besonderes Arbeitsgebiet im Rahmen des euro-

päischen Fusionsprogramms ist die Plasmaphysik. Es betreibt dazu den großen Tokamak ASDEX und den Stellerator Wendelstein VII-AS. Ein weiterer großer Tokamak, ASDEX-Upgrade ist im Bau. Das Institut ist auch Gastgeber der internationalen ITER- und NET-Studiengruppen.

Von der **Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt** (DLR) wird ausschließlich nichtnukleare Energieforschung betrieben. Schwerpunkte sind die Solarforschung (Mittel- und Hochtemperatursolarthermie zur Strom- und Prozeßwärmeerzeugung) und die Weiterentwicklung der Wasserstofftechnik (Herstellung und Nutzung). Weiterhin werden grundlegende Arbeiten zur Verbrennungstechnik sowie Systemanalysen zur Energiewirtschaft durchgeführt. Bei der Windenergie sind systemtechnische Forschungen und grundlegende Arbeiten vorgesehen. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang der Betrieb und die Arbeit des Ulrich-Hütter-Wind testzentrums auf der Schwäbischen Alb. Die DLR ist auch Mitstifter des Zentrums für Solarenergie und Wasserstofforschung (ZSW), zusammen mit Universitäten, Verbänden und Industriefirmen.

Das **Hahn-Meitner-Institut** (HMI) in Berlin arbeitet auf dem Gebiet der Photovoltaik. -Diese interessanten Forschungsarbeiten, besonders im Hinblick auf neue Materialien, sollen im Rahmen dieses Programms weiter ausgebaut werden.

Zusätzlich zu den Großforschungseinrichtungen arbeitet im Bereich der institutionellen Förderung des Bundes auch die **Fraunhofer-Gesellschaft** im Rahmen dieses Programms mit. Hauptbeteiligte sind die Institute für:

- Solare Energiesysteme,
- Bauphysik,
- Systemtechnik und Innovationsforschung,
- Holzforschung,
- Produktionstechnik und Automatisierung.

Schwerpunkte der Arbeiten sind die erneuerbaren Energiequellen und die rationelle Energieverwendung.

Für die Durchführung des Programms sind im Bereich der erneuerbaren Energiequellen auch **Landesinstitute** von Bedeutung, und zwar derzeit vor allem

- das Institut für Solare Energieversorgungstechnik e.V. an der Gesamthochschule Kassel,
- das Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstofforschung Baden-Württemberg in Stuttgart, sowie
- das Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal GmbH in Hannover und Hameln.

Die Förderung weiterer Institute auf Länderebene ist vorgesehen.

Um der wachsenden Bedeutung erneuerbarer Energien auch im Rahmen der institutionellen Förderung Rechnung zu tragen, haben sich **DLR, HMI, KFA** und **FhG** zu einem **Forschungsverbund Solarenergie** zusammengeschlossen. Damit sollen standortübergreifende Synergieeffekte erzielt werden und die Möglichkeiten, die Großforschung bietet, für diesen zukunftsträchtigen Forschungsbereich in neuer Form erschlossen werden. Die Beteiligten werden dazu eine eigene Geschäftsführung auf Vorstandebene einrichten, um der institutionen-übergreifenden Arbeit besonderes Gewicht zu geben und die notwendigen Durchgriffsmöglichkeiten zu schaffen. Über Fortschritte der Arbeit des Verbundes soll die Öffentlichkeit regelmäßig durch besondere Veranstaltungen unterrichtet werden.

5.3 Internationale Zusammenarbeit

Der Nutzen internationaler Zusammenarbeit im Bereich der Energieforschung und -technologie ist unbestritten. Die Gründe liegen nahe:

- Gerade in einem Bereich, wo es um Fortschritte geht und um kreatives Erarbeiten von Neuem, ist eine Befruchtung und Anregung über die Grenzen hinweg stets vorteilhaft.
- Durch Gemeinschaftsprojekte und Programme können die Lasten großer Forschungsvorhaben auf verschiedene Länder verteilt werden.
- Kooperation bereits in der Forschungsphase erleichtert die Marktdurchdringung in verschiedenen Ländern auf breiterer Basis.

Durch internationale Zusammenarbeit, d.h. durch Informationsaustausch, Arbeitsteilung in einzelnen Forschungsprojekten und auch im Austausch von Stellungnahmen und Bewertungen zu einzelnen Techniken wird eine rationellere Nutzung der verfügbaren Kenntnisse, Kapazitäten und finanziellen Mitteln ermöglicht.

Die mit der Energieerzeugung und Energienutzung einhergehenden grenzüberschreitenden Auswirkungen auf die Umwelt erfordern besonders im dichtbesiedelten Mitteleuropa, und zwar sowohl nach Westen wie nach Osten, eine enge Kooperation zur Überwachung der Immissionen und zur Durchführung von kurz- und langfristigen Maßnahmen zur Verhinderung und Minderung von Schäden. In diesem Zusammenhang trägt die internationale Zusammenarbeit bei der Energieforschung auch zu möglichst einheitlichen Meßverfahren und Standards bei.

Nach Gesichtspunkten der Zweckmäßigkeit, aber auch aufgrund historischer Entwicklungen hat sich

die internationale Zusammenarbeit auf verschiedenen Ebenen etabliert.

Alle Ebenen haben ihren Sinn, sowohl die bilaterale Ebene, bei der zwei Länder Forschung- und Entwicklungsprojekte gemeinsam vorantreiben, als auch die multilaterale Ebene, bei der mehrere Länder direkt kooperieren. Außerdem gibt es die Zusammenarbeit mit internationalen Einrichtungen. Von besonderer Bedeutung ist die Kooperation im Rahmen der Europäischen Gemeinschaften.

Die Kooperationen bilateral und mit bzw. über die Europäischen Gemeinschaften werden im Abschnitt 6 behandelt. Ihre besondere Rolle als Instrument der Forschungs- und Entwicklungsförderung steht außer Frage und tritt bei der vergleichenden Darstellung der Aktivitäten in Abschnitt 6 deutlich zutage.

Im folgenden werden schwerpunktmäßig die internationale Kooperationen dargestellt, die mit den folgenden Einrichtungen verbunden sind:

- Internationale Energieagentur (IEA) bei der OECD in Paris,
- Kernenergieagentur (NEA) der OECD,
- Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) der Vereinten Nationen in Wien.

Kennzeichen dieser Organisationen ist, daß

- für alle Länder eine offene Mitgliedschaft besteht, bei IEA und NEA allerdings unter der Voraussetzung der OECD-Mitgliedschaft;
- die Aktivitäten der Einrichtungen grundsätzlich in eigener Verantwortung unter freiwilliger Mitwirkung der Mitglieder durchgeführt werden;
- für die Mitglieder keine über Mitgliedsbeiträge hinausgehenden Zahlungsverpflichtungen bestehen.

5.3.1 Internationale Energieagentur (IEA) bei der OECD

Die Internationale Energieagentur wurde 1974 infolge der Washingtoner Energiekonferenz als Reaktion auf den ersten Ölpreisschock im Rahmen der OECD gegründet. Sie hat vornehmlich eine Intensivierung der Zusammenarbeit der ölverbrauchenden Industrieländer zum Ziel. Neben Vereinbarungen über Krisenbewältigung, Energieeinsparung und beschleunigte Entwicklung zusätzlicher Energiequellen (Kohle, Öl, Gas und Kernenergie) hat die IEA auch der breiten internationalen Zusammenarbeit in der Energieforschung neue Impulse gegeben.

Die einzelnen Vorhaben und Programme betreffen vor allem nichtnukleare Energien und rationelle Energieverwendung und werden aufgrund von Vereinbarungen interessierter Mitgliedstaaten meist unter der Federführung einer nationalen Stelle durchgeführt. Die IEA arbeitet nach den folgenden Kooperationsprinzipien:

- a la carte-Prinzip: Nur die interessierten Mitgliedsländer nehmen an einzeln Projekten teil; nichtinteressierte Länder können Kooperationsvorhaben anderer Länder nicht verhindern.
- Lead-Organisation-Prinzip: Die Ausführung des Projektes wird einer nationalen Stelle übertragen und nur in großen Zügen von internationalen Gremien gesteuert.

Das Programm der IEA umfaßt im Wesentlichen alle Bereiche der nichtnuklearen Energieentwicklung. Überschneidungen mit den Programmen der Europäischen Gemeinschaften werden durch enge Zusammenarbeit weitgehend ausgeschlossen. Über umfangreichen und den Umfang des nationalen Forschungsprogramms übersteigenden Aktivitäten der IEA wird den Mitgliedstaaten die Möglichkeit gegeben, ständig über Stand der Entwicklung von Techniken, die nicht selbst verfolgt werden, informiert sein.

5.3.2 Kernenergieagentur (NEA) der OECD

Im Rahmen der Aktivitäten der OECD verfolgt die Kernenergieagentur NEA das Ziel, vor allem Informationen auf ausgewählten Gebieten der Kerntechnik und der nuklearen Sicherheit sowie des Brennstoffkreislaufes zu erarbeiten und zu vermitteln sowie zur Koordination der Programme beizutragen.

Die Ergebnisse der Arbeit der Agentur bestehen in

- Informationsschriften, die regelmäßig aktualisiert werden,
- Informationsschriften zu aktuellen Themen, in der Regel Ergebnisse von Studien, Symposien, Umfragen und ad hoc-Untersuchungen.

Bemerkenswert ist, daß an der Arbeit von NEA auch Industrieländer der OECD teilnehmen, die nicht über ein eigenes Kernenergieprogramm verfügen und deren nationale Energiepolitik in einigen Fällen nicht pro nuklear ist.

5.3.3 Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO)

Die Schwerpunkte der Aufgaben der IAEO liegen bei der Anwendung von Sicherungsmaßnahmen zur friedlichen Nutzung der Kernenergie, der Fortentwicklung der Empfehlungen zum sicheren Transport radioaktiver Stoffe, IAEO-Safety Series No. 6 und bei der praktischen Hilfe für Entwicklungsländer in Fragen der Energieplanung. IAEO vermittelt für alle Mitgliedsländer einen weitgehenden Kenntnisaustausch, der sich nicht nur auf Reaktorsicherheit, die

Fortentwicklung von Techniken der Kernmaterialsicherung und die Nutzung der Kernenergie beschränkt, sondern auch alle anderen Energien mit einschließt. So können vielen nachfragenden Ländern, vor allem den Entwicklungsländern, Energieplanungsmodelle zur Verfügung gestellt werden, mit deren Hilfe auch längerfristige Energieplanungen unter Einschluß aller Energieträger durchgeführt werden können. Darüber hinaus befaßt sich die Agentur mit Fragen von weltweiter Bedeutung wie Bestrahlung von Lebensmitteln zur Sterilisation und Strahlenschutz bei nichtkerntechnischer Anwendung.

5.3.4 EUREKA

EUREKA geht auf eine von 17 europäischen Staaten und der Kommission der Europäischen Gemeinschaften ergriffene Initiative aus dem Jahr 1986 zurück. Ziel soll sein, Projekte ohne detaillierte, oktroierte Vorgaben allein durch Anstöße der kooperationswilligen Partner aus Industrie und Wissenschaft entstehen zu lassen. Für Durchführung erhalten sie dann die Zustimmung der Regierungen derjenigen ändern, aus denen die Partner kommen.

Damit ist eine Abgrenzung zu den nationalen- und den Forschungsvorhaben der Europäischen Gemeinschaften gegeben: EUREKA ist kein vorab inhaltlich festgelegtes Programm, sondern ein offener Rahmen für Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Programmausschreibungen fehlen hier also. Die Projektpartner klären in eigener Verantwortung Thema, Partner, Umfang, Regeln und Finanzierung der geplanten Zusammenarbeit selbst. Auf diese Weise können „weiße Flecken“ zwischen und in teilenden Programmen ausgefüllt werden. Dies erklärt die Spannweite der Projekte über nahezu das gesamte Spektrum anwendungsbezogener Forschung und Entwicklung d der entsprechenden wissenschaftlich-technischen Infrastruktur.

Mitte 1989 konnte festgestellt werden, daß im 4. Jahr des Bestehens EUREKA erstmals verstärkt auch von der mittelständischen Industrie in der Bundesrepublik Deutschland aufgenommen wurde. Von den 39 neu hinzugekommenen deutschen Projekten (bei allen inzwischen 19 EUREKA-Partnern sind dies 89) war die Hälfte den kleinen und mittleren Unternehmen zuzurechnen. Drei von den neuen deutschen Projekten gehören zum Bereich der Energieforschung; damit erhöhte sich die Zahl der Projekte der Energieforschung mit deutscher Beteiligung auf sechs. Insgesamt befanden sich Mitte 1989 14 Projekte in Arbeit.

Das Gesamtfinanzvolumen der 14 Projekte im Energiesektor betrug 1989 526 ECU, das entspricht etwa 1,09 Mrd. DM.

5.3.5 Bilaterale Zusammenarbeit

Neben der multilateralen Zusammenarbeit gibt es eine Vielzahl von bilateralen Verträgen für Kooperationen bei Forschung und Entwicklung im Energiebereich. Sie bestehen nicht nur mit den großen Industrienationen sondern auch mit kleineren Ländern sowohl innerhalb wie außerhalb Europas. Besonders hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auf Griechenland und Irland sowie auf Spanien und Portugal.

5.3.6 Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern

Mit zahlreichen Entwicklungsländern bestehen seit Jahren Kooperationsverträge, vorrangig auf dem Gebiet erneuerbarer Energien. Auf die Bedeutung, die dieser Zusammenarbeit im Rahmen des Programms zukommt, wurde mehrfach hingewiesen. Aufgrund der gesammelten Erfahrungen soll die Zusammenarbeit mit diesen Ländern jetzt zunehmend konzentriert werden auf die bisher erfolgreichsten Kooperationen in wenigen Ländern Asiens und Lateinamerikas sowie auf weltweite Tests neuer Techniken und neuer Systeme unter verschiedenen Klimabedingungen. Diese Vorhaben sollen den in der Bundesrepublik Deutschland erreichten technischen Stand demonstrieren, wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien dokumentieren und Verbreitungshemmnisse in den Partnerländern vermindern.

5.3.7 Deutsch-Deutsche Kooperation

Zunehmendes Gewicht wird im Rahmen des Programms der deutsch-deutschen Kooperation zukommen. Bisherige Grundlage der Zusammenarbeit ist das Abkommen für wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit von 1987. Schwerpunkte sind die Bereiche Reaktorsicherheit und Nutzung fossiler Energieträger. Bei beiden soll auf folgenden Gebieten zusammengearbeitet werden:

- Thermohydraulik/Festigkeit,
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren/Qualitätssicherung,
- Bruchmechanik/Festigkeit,
- Brennstabverhalten und Spaltstofffreisetzung,
- GuD-Kraftwerke mit integrierter Kohlevergasung,
- Rauchgasentschwefelung und -entstaubung,
- Reinigung von Rauchgasen bei Braunkohlefeuerung.

Auch für den Hochtemperaturreaktor werden interessante Einsatzmöglichkeiten gesehen.

6. Internationale Aspekte der Energieforschung - Energieforschung in anderen Industrieländern und den Europäischen Gemeinschaften

6.1 Überblick

Den offensichtlichen Vorteilen einer internationalen Zusammenarbeit stehen auch eine Reihe von Nachteilen, von Problemen und von Restriktionen gegenüber. Wie aus der Darstellung der Energiesituation in den verschiedenen Ländern hervorgeht, sind die Ausstattung mit Energieressourcen und die von der Industrie und Einwohnerstruktur geprägte Nachfrage nach den verschiedenen Energieträgern oder Energien durchaus unterschiedlich und kaum vergleichbar. Daraus folgen unterschiedliche Interessen, die nicht immer in gemeinsamen Projekten koordinierbar sind. Die Unterschiede in der Energiesituation der verschiedenen Länder finden auch ihren Niederschlag in bestimmten Indikatoren wie

- Importabhängigkeit,
- Energieintensität,
- spezifischer Energieverbrauch (bezogen auf wirtschaftliche Wertschöpfung, Bevölkerungszahl und ähnliches),
- Kapitalausstattung der Energiewirtschaft,
- Grad der Diversifizierung der Energieträger und
- Anpassungsbedarf an veränderte Umstände (Umwelt, wirtschaftliche Randbedingungen).

In Abschnitt 6.3 werden die staatlich getragenen Anstrengungen der verschiedenen Länderbudgets bei der Forschungsförderung dargestellt. **Für einen bewertenden Vergleich wären die genannten Indikatoren mit zu berücksichtigen. Das würde jedoch den Rahmen dieses Programms sprengen.**

6.2 Energiesituation im internationalen Vergleich

Ein Vergleich der Primärenergiestatistiken der verschiedenen Länder zeigt, daß neben landesspezifischen Entwicklungen konjunkturelle Einflüsse relativ stark durchschlagen. So sind deutliche Abnahmen des Primärenergieverbrauchs jeweils nach den Ölpreisschocks 1973/74 und 1978/79 festzustellen, die auf das hohe weltweite Energiepreisniveau zurückzuführen sind. Die seit Mitte der 80er Jahre geltenden niedrigen Energiepreise haben den bis dahin abnehmenden Primärenergieverbrauch in den meisten Ländern (vor allen Dingen Industrieländern) in eine Phase mit praktisch konstantem Verbrauch überführt.

Betrachtet man den Weltprimärenergiebedarf - entsprechend Abb. 9 - in vier verschiedenen Zonen, nämlich OECD, Planwirtschafts-Staaten, Entwicklungsländer und schließlich die Welt insgesamt (kumuliert), so ergibt ein Vergleich der Verbrauchsanteile dieser verschiedenen Gruppen, daß die OECD-Länder 1987 für sich allein mehr als 50% am gesamten Primärenergieverbrauch in Anspruch genommen haben, während die Entwicklungsländer, d.h. rund ¾ der Weltbevölkerung, nur 17% verbrauch haben. Internationale Studien deuten darauf hin, daß sich möglicherweise der Pro- Kopfverbrauch der Entwicklungsländer bis zum Jahre 2020 verdoppelt. Der Pro- Kopfverbrauch in den OECD-Staaten wird danach eher stagnieren. Dies beruht neben strukturellen Änderungen auch auf dem zunehmenden Einfluß von Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung.

Wie die Verläufe von Bruttosozialprodukt, Primärenergieverbrauch und Stromverbrauch für die Bundesrepublik Deutschland zeigen (Abb. 2), ist eine Stagnation im Bereich des Stromverbrauches bei uns derzeit nicht festzustellen. Vielmehr scheint es so, daß eine Abkopplung des Stromverbrauchs von der Entwicklung des Bruttosozialproduktes bisher nicht stattgefunden hat und auch auf absehbare Zeit nicht erkennbar ist. Ähnliche Tendenzen sind für die übrigen OECD-Länder zu beobachten und werden auch für zahlreiche andere Länder erwartet, so daß als Folge davon mit einem starken Anstieg der Strombedarfs auf der ganzen Welt gerechnet werden muß.

6.3 Energieforschung in anderen Industrieländern

6.3.1 Japan

Japan verfügt nur über sehr wenige heimische Energiequellen. Es ist damit zu einem hohen Grad von Energieimporten abhängig, und zwar fast ausschließlich von Erdöl. Energiepolitik und Energieforschungspolitik haben deshalb in Japan einen sehr hohen Stellenwert. Vorrangiges Ziel ist es, Versorgungsunsicherheiten soweit wie möglich zu reduzieren. Für die Forschungspolitik Japans bedeutet das, alle Alternativen zum Erdöl zu entwickeln, die eine Energieversorgung mit weniger Importabhängigkeit ermöglichen. Dazu gehören

- die Kernenergie mit Leichtwasserreaktoren und längerfristigem Übergang zu Brutreaktoren,
- die kontrollierte Kernfusion als Langfristoption,
- neue Techniken zur Nutzung fossiler Energieträger,
- die Nutzung erneuerbarer Energie, vor allem Sonnenenergie und Erdwärme.

Flankierend dazu wird ein umfangreiches Forschungsprogramm zur Entwicklung von Techniken für rationelle Energieverwendung durchgeführt, um

den Energiebedarf soweit wie möglich in Grenzen zu halten. Auch der Gedanke des Klima- und Umweltschutzes erhält in diesem Zusammenhang immer höheres Gewicht.

Entsprechend der Bedeutung, die Japan der Kernenergie als quasi heimischer Energiequelle zumißt, gehen fast 50 % der öffentlichen Forschungsmittel in dieses Gebiet. 1988 waren es, ohne Fusion, 2186 Mio. DM (Bundesrepublik Deutschland 791 Mio. DM ohne Fusion). Schwerpunkte sind der Aufbau eines geschlossenen Brennstoffkreislaufs mit eigener Wiederaufarbeitungsanlage (800 t pro Jahr) und Uran-Anreicherungsanlage (1500 Jahrestonnen) sowie der Bau des Schnellbrutreaktors Monju, der unserem SNR 300 entspricht. An zweiter Stelle rangiert mit ca. 37% die rationelle Energieverwendung, gefolgt von den fossilen Energieträgern mit ca. 8% und den erneuerbaren Energien mit knapp 5%.

Die nichtnukleare Energieforschung ist in den zwei großen Projekten „Sunshine“ und „Moonlight“ zusammengefaßt. Das Projekt „Sunshine“ wurde unmittelbar nach der ersten Ölkrise 1974 begonnen. Es umfaßt Ende der 80er Jahre Kohlevergasung und -Verflüssigung, Photovoltaik, Geothermik, Wasserstoff. Im Moonlight-Projekt werden die Vorhaben zur rationellen Energieverwertung zusammengeführt: Speichersysteme für elektrische Energie, Brennstoffzellen, Wärmepumpen, chemische Wärmespeicher, supraleitende Generatoren, keramische Gasturbinen.

6.3.2 Großbritannien

Großbritannien ist eines der wenigen großen Industrieländer mit einem Nettoexport an Energie. Es besitzt große Mengen an Erdöl, Erdgas und Kohle und hat schon in der Mitte der 50er Jahre mit dem Aufbau eines nationalen Kernenergieprogramms begonnen, so daß das Land heute über einen eigenen geschlossenen Brennstoffkreislauf verfügt. Entsprechend dieser Ausgangsposition hat die Entwicklung der heimischen Ressourcen einen hohen Stellenwert in der britischen Energiepolitik, die sich dabei weitgehend auf die Kräfte einer freien Marktwirtschaft abstützt. Wesentliches Element in diesem Kontext ist die Privatisierung der Energiewirtschaft. Nachdem zuletzt die Gaswirtschaft privatisiert wurde, ist für Anfang der 90er Jahre die Privatisierung der nicht-nuklearen Elektrizitätswirtschaft vorgesehen, um dann mit der Umstrukturierung der Kohle fortzufahren. Mit der Privatisierung einher geht eine deutliche Abnahme in den Haushaltsansätzen für staatliche Forschung und Entwicklung. Hierfür gibt es drei Gründe:

1. Bei der Brüterforschung sollen 1993/94 der Dounreay-Reaktor sowie 1997 die zugehörige Aufarbeitungsanlage nach erfolgreichem Betrieb abgeschaltet werden. Die staatliche Förderung soll danach auf 10 Mio Pfund begrenzt werden, da die Weiterentwicklung, als Folge der Privatisierung, auf die Elektrizitätswirtschaft übertragen werden soll. Hier sind jedoch noch Änderungen möglich.
2. Bei der Fusion wird die nationale Forschung zurückgefahren, ohne jedoch die JET- Verpflichtung anzutasten.
3. Und schließlich werden im nuklearen Sicherheitsprogramm eine Reihe von Forschungsvorhaben herausgelöst und an das Nuclear Installation Inspectorate, das zur Health and Safety Executive gehört, übergehen.

Die Entwicklung der Kernenergie einschließlich der Fusion hatte 1988 in Großbritannien mit ca. 69% den bei weitem größten Anteil an den öffentlichen Aufwendungen für Forschung und Entwicklung. Die jetzt eingeleiteten Entwicklungen lassen jedoch eine deutlich abnehmende Tendenz erwarten.

Bei der nichtnuklearen Energieforschung steht mit etwa 10% die rationelle Energieverwendung im Vordergrund. Schwergewicht wird dabei auf Information über bisher entwickelte Techniken und auf Demonstrationsvorhaben gelegt. Die erneuerbaren Energiequellen spielten 1988 mit einem Anteil von etwa 5 % an den Forschungsaufwendungen nur eine bescheidene Rolle. Es wird jedoch erwartet, daß die Industrie mit einem mehrfachen Betrag diese Technik in eigener Verantwortung weiterentwickelt, so daß mittelfristig eine Reduktion der öffentlichen Mittel auch in diesem Bereich vorgesehen ist.

6.3.3 Frankreich

Frankreich verfügt praktisch nur über geringe eigene, konventionelle Energiequellen vorwiegend in Form von Wasserkraft sowie etwas Kohle und Erdgas. Es besitzt aber eigene Uranvorkommen. Um die sehr hohe Importabhängigkeit zu reduzieren, hat das Land deshalb nach der ersten Ölkrise konsequent die Kernenergie ausgebaut mit dem langfristigen Ziel, bei der Stromerzeugung über den Einsatz von Brutreaktoren de facto energieautark zu werden. Aufgrund dieser sehr zielgerichteten und auf weitgehendem politischen Konsens beruhenden Politik konnte diese Energiequelle so ausgebaut werden, daß sie im Jahr 1988 über 7Ö % der Elektrizitätsversorgung und damit etwa 30 % des Primärenergiebedarfs bereitstellte. Da weitere 20% der Elektrizität durch Wasserkraft gewonnen werden, ist Frankreich dem Ziel der Importunabhängigkeit bei der Stromversorgung inzwischen sehr nahe gekommen.

Das Land verfügt über einen vollständig geschlossenen Kernbrennstoffkreislauf. Nuklearabfalle, die nicht der Wiederaufarbeitung zugeführt werden sollen, werden zur Zeit in Oberflächenlagern deponiert. An vier Stätten wird zur Einrichtung eines unterirdischen Labors und Lagers sondiert.

Frankreich hält an der Politik zunehmender Autonomie im Energiebereich fest. Die öffentlichen Aufwendungen für energiebezogene Forschung und Entwicklung bilden diese Politik ab: Während im Budget 1988 insgesamt 523 Mio. FF für Forschung und Entwicklung im Bereich rationelle Energieverwendung und erneuerbare Energie vorgesehen waren, gingen 3,5 Mrd. FF in die Kerntechnik und weitere 1,8 Mrd. FF in die Grundlagenforschung des Commissariat à l'Energie Atomique (CEA). Im Herbst 1989 hat die französische Regierung das CEA jedoch angewiesen, die Schwerpunktsetzungen seiner Forschungsaktivitäten zu überdenken und angesichts der jetzt absehbaren Stagnation im Zubau von Kernkraftwerken bzw. deren Ersatz durch neue Anlagen sein Forschungspotential für andere Industriebereiche als der Nuklearindustrie verfügbar zu machen.

Erneuerbare Energiequellen und Techniken zur Nutzung fossiler Primärenergien spielen im Vergleich zur Kernenergie nur eine untergeordnete Rolle.

Wachsende Bedeutung zeichnet sich für die rationelle Energieverwendung ab. Die Aufwendungen öffentlicher Mittel für Forschung und Entwicklung sind jedoch im Vergleich zu anderen großen Industrienationen bisher gering.

6.3.4 USA

Die USA erzeugen und verbrauchen mehr Energie als alle westlichen Industriestaaten zusammengenommen. Das Land verfugt praktisch über alle Energiequellen, die heute nutzbar sind, und hat darüber hinaus hohe Potentiale für erneuerbare Energien, besonders hinsichtlich Sonnen- und Windenergie. Aufgrund dieses breiten Spektrums an Möglichkeiten, wegen der Größe des Landes und wegen der unterschiedlichen Politiken der Teilstaaten hat das Energieforschungsprogramm der USA kein so ausgeprägtes, den besonderen Gegebenheiten des Landes entsprechendes Profil wie etwa in Japan oder in Frankreich. Hinzu kommt wegen der politischen Strukturen der USA, daß die Schwerpunktsetzungen in der Forschungspolitik weitaus häufiger wechseln als in anderen Industriestaaten. Generell läßt sich jedoch für die Energieforschung sagen, daß sie zu einer gesicherten Energieversorgung zu vernünftigen Kosten beitragen und alternative Energiequellen einschließlich Kohle erschließen soll.

Der Stellenwert, den die Energieforschung im Gesamtkontext der Energiepolitik der USA einnimmt, ist abhängig vom Preisniveau auf dem Energiemarkt. Dies macht es schwer für die USA, die Förderung von Projekten, die durch hohes Risiko und Langfristigkeit der Entwicklung gekennzeichnet sind und die für ein privates Engagement nur wenig Eignung aufweisen, über den notwendigen längeren Zeitraum hinweg durchzuhalten.

Obwohl auch in den USA die Kernenergie kontrovers diskutiert wird, hatte ihre Weiterentwicklung (einschl., Fusion) 1988 mit ca. 50% den größten Anteil an den Aufwendungen für öffentliche Forschung und Entwicklung. Für die Zukunft sind jedoch rückläufige Tendenzen zu beobachten. Ihr folgte mit ca. 22% der gesamte Bereich der Elektrizitätsversorgung. Beides zusammen zeigt, welch große Bedeutung dieser Sekundärenergieträger in den USA hat. Neben Kernenergie hat bei den Primärenergiequellen noch die Kohle mit 12 % besondere Bedeutung. Hier soll mit dem Clean Coal Technology Demonstration Programm neue und umweltfreundlichere Technik für die Nutzung der großen amerikanischen Kohlevorkommen entwickelt werden. Rationelle Energieverwendung (8%) und erneuerbare Energien (6%) haben derzeit einen relativ kleinen Anteil an den Gesamtaufwendungen, weil sie zu einem Teil bereits als anwendungsnahe Techniken angesehen werden und deshalb nach amerikanischen Mechanismen in stark zunehmendem Maße in die Verantwortung der Privatwirtschaft überführt werden.

6.3.5 UdSSR

Die Energiepolitik der UdSSR ist gekennzeichnet durch deutliche Autarkiebestrebungen, in erster Linie wohl bedingt durch die sich zuspitzende Devisenknappheit. Nach dem Fünfjahresplan 1986/1990 soll die Primärenergieproduktion im Jahresdurchschnitt um fast 4% wachsen. Dabei sind für die Erdgas- und Kohleforderung, vor allem aber auch für die Kernenergieerzeugung hohe Steigerungsraten vorgesehen. Obwohl die zivile sowjetische Nuklearindustrie die 1986 in sie gesetzten Erwartungen nicht erfüllen konnte und mit der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl einen enormen Rückschlag erhalten hat, liegt ein Schwerpunkt der Entwicklung weiterhin bei der Kernenergie einschließlich schneller Brutreaktoren.

Aber auch in der UdSSR bekommen wegen steigenden Umweltbewußtseins Fragen nach der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente sowie nach der Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle zunehmend Stellenwert. Die Sicherheit und Beherrschbarkeit der derzeit betriebenen Reaktoren werden in der Öffentlichkeit wesentlich kritischer beurteilt als in der Vergangenheit.

Große Bedeutung wird in der UdSSR langfristig der Kernfusion zugemessen. Wichtigste Vorhaben sind hier das Tokamak-Großexperiment T-15 und die Beteiligung am internationalen ITER-Projekt beim IPP in Garching.

Der Primärenergiebedarf betrug 1986 1910,4 Mio. t SKE (1985: 1879,5 Mio. t SKE). Von besonderem Gewicht ist dabei der Energieexport, wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich ist, die die Struktur der Primärenergien wiedergibt:

Feste Brennstoffe	25,2%	Wasserkraft	3,6%
Rohöl	42,7%	Sonstige	3,4%
Erdgas	38,1%	Importe	1,6%
Kernenergie	2,8%	Exporte	−17,4%
			100%

Die Elektrizitätsproduktion betrug 1985 1544 TWh, davon 167 TWh aus Kernenergie, die eine installierte Kapazität von 28,1 GW aufwies.

Über die Forschungsaufwendungen liegen keine belastbaren Statistiken vor. Da die Energieversorgung für die Sowjetunion im Hinblick auf die klimatischen Verhältnisse und die Industriestruktur (hoher Anteil Schwerindustrie und andere energieintensive Industrien) und wegen der relativ geringen Energieproduktivität von besonderer Wichtigkeit ist, kann davon ausgegangen werden, daß die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung hoch sind. Ob sie aber die Höhe der Aufwendungen der 12 EG- Länder mit etwa der gleichen Bevölkerungszahl erreicht, muß bezweifelt werden.

6.4 Energieforschung der Europäischen Gemeinschaften

Die europäischen Gemeinschaften (EG) haben von Anfang an in Form von EURATOM Forschung und Entwicklung zur friedlichen Nutzung der Kernenergie gefördert. Seit 1974 haben sie ihre Aktivitäten auch auf Bereiche der nichtnuklearen Energie ausgedehnt. Die EG verfügen über eigene Forschungseinrichtungen mit insgesamt über 2500 Mitarbeitern in den Forschungseinrichtungen in Ispra (Italien) und Petten (Niederlande), im Europäischen Institut für Transurane in Karlsruhe und im Zentralbüro für Kernmessungen in Geel (Belgien).

Im 2 EG-Forschungsrahmenprogramm 1987-1991 sind für 8 Forschungsaktionen etwa 5396 MECU[9]) vorgesehen. Wenn man aus dem vorigen Rahmenprogramm (1983-1987) übertragene Mittel einbezieht, kann man für die 5 Jahre bis zum Ende 1991 mit 6480 MECU für die gesamten F+E-Aktivitäten rechnen. (Allerdings dürfen 863 MECU davon erst nach 1991 verwendet werden.) Aus diesen gesamten Mitteln werden etwa 1752 MECU für die Energieforschung vorgesehen.

Für die Zeit 1987-1991 stehen 3 Schwerpunktthemen der Energieforschung im Mittelpunkt der Gemeinschaftsarbeiten:

a) Kernspaltung und nukleare Sicherheit (etwa 542 MECU),
b) Kernfusion (etwa 1000 MECU),
c) nichtnukleare Energie und rationelle Energienutzung (etwa 210 MECU).

Die von den EG geförderte Forschung wird normalerweise entweder in ihren eigenen Forschungseinrichtungen (GFS) oder in Forschungseinrichtungen bzw. der Industrie der Mitgliedsstaaten auf Kostenbeteiligungsbasis durchgeführt.

Außerhalb des Rahmenprogramms fördern die EG Projekte zur Entwicklung und Demonstration neuer Energietechniken. Obwohl die entsprechenden Demonstrations- und Entwicklungsprogramme 1989 auslaufen sollen, liegen für die wichtigsten Programmbereiche neue Kommissionsvorschläge vor.

Im Mittelpunkt steht das „Thermie"-Programm, das sparsame Nutzung, neue Energiequellen, saubere Kohlenutzung sowie die Erforschung und Erschließung von Öl- und Gasvorkommen umfaßt. Dabei setzt die EG-Kommission zwei Schwerpunkte: Sie will Innovationsprojekte fördern, die zeigen, welche neuen Techniken im Großmaßstab eingesetzt werden können. Und mit Transfer- und Verbreitungsprojekten sollen neue Verfahren nach erfolgreichem Abschluß unterstützt werden. Damit soll die Hemmschwelle zwischen der erfolgreichen Demonstration und dem Einsatz der neuen Techniken am Markt überwunden werden.

a) Forschungsbereich Kernspaltung, nukleare Sicherheit

Diese Forschung wird vorwiegend in der gemeinsamen Forschungsstelle durchgeführt (s. hierzu: Programm der GFS). Das jetzige Aktionsprogramm schließt die folgenden Themen ein:

- Reaktorsicherheitsforschung - insbesondere mit dem Zweck, den Folgen schwerer Unfälle vorzubeugen und sie zu begrenzen (Acddent Management),
- Bewirtschaftung und Lagerung radioaktiver Abfalle - einschließlich Bemühungen, einen europäischen Konsens über gemeinsame Lösungen zu erreichen. Untersuchungen werden u.a. in experimentellen Anlagen im Transurane-Institut fortgesetzt,
- Demonstration der Stillegung von Kernenergieanlagen,
- Weiterentwicklung der Methoden und Verfahren der Sicherheitsüberwachung,
- Grundlagenforschung der Aktiniden, vorwiegend im Institut für Transurane, Karlsruhe,
- TELEMAN: dieses neue Programm zur Entwicklung fernbedienter Handhabungssysteme wurde 1988 von der EG-Kommission für eine Entscheidung des Rates vorgelegt.

9 1 MECU = 1 Mio. ECU
1 ECU = 1 European currency unit (z.Zt. 2,12 DM)

Bei dem zweiten, dritten und dem letzten der Vorhaben handelt es sich um Fördermaßnahmen, bei denen Zuschüsse in Höhe von mindestens 50% angeboten werden.

b) Forschungsbereich kontrollierte Kernfusion

Auf der Basis des am 12. März 1985 vom Rat verabschiedeten Forschungs- und Ausbildungsprogramms auf dem Gebiet der kontrollierten Kernfusion 1985-1989 mit Erweiterung inzwischen bis zum Jahre 1992 wird der Entwicklung eines Demonstrationsreaktors der Tokamak-Reihe fortgeführt (JET-Projekt), das JET-Nachfolgeprojekt Next European Torus (NET) vorbereitet und alternative Konfigurationen mit Schwerpunkt Reversed Field Pinch und Stellarator untersucht. In den Jahren 1988-1992 sind für das Fusionsprogramm etwa 735 MECU vorgesehen. JET hat 1989 etwa 43% des Jahresbudgets des gesamten Fusionsprogramms benötigt.

Darüber hinaus sind folgende Themen vorgesehen:

- Plasmaphysik,
- Forschungsarbeiten zu Plasmen in geschlossener Konfiguration,
- Forschungsarbeiten über die Wechselwirkung Licht-Materie, Entwicklung von Hochleistungslasern,
- Entwicklung von Plasma-Aufheizmethoden,
- Verbesserung der Meßmethoden,
- Vorentwurf NET und ITER (Internationaler Thermonuklearer Testreaktor),
- Studie über die Durchführbarkeit von Fusion.

c) Forschungsbereich nichtnukleare Energie und rationelle Energieverwendung

Aufgrund des am 12. März 1985 vom EG-Rat verabschiedeten EG-Programms auf dem Gebiet der nichtnuklearen Energien wurde eine Ausschreibung des Demonstrationsprogramms für alternative Energien und rationelle Energieverwendung durchgeführt. Dafür sind im Zeitraum 1986-1990 545 Mio ECU vorgesehen worden. Sie haben zu einem Abschluß von mehr als 300 Verträgen geführt.

Das nunmehr beschlossene neue Förderprogramm „JOULE“ (Joint Opportunities for Unconventionei or Long Term Supply) wird von 1989-1992 laufen und setzt die Arbeit des vorigen Programms fort. Themen sind:

- Weiterentwicklung von Energie- und Umweltmodellen (6 MECU),
- Rationelle Energienutzung (35 MECU),
- Fossile Brennstoffe (34 MECU),
- erneuerbare Energie und Geothermie (47 MECU).

d) Programm der gemeinsamen Forschungsstelle GFS

Die GFS ist für die Durchführung der wichtigsten Teile des Kernenergieprogramms und auch für kleinere Teile der anderen EG-Forschungsschwerpunkte zuständig. Sie verfügte 1988 über ein Budget von 225 MECU (197 MECU im Jahre 1987). Die Arbeit der GFS ist in 5 Aktionsprogramme gegliedert:

a) Industrielle Techniken (einschließlich Kernmessungen, Kerndaten, Referenzmaterialien, Hochtemperaturwerkstoffe und Strukturen), 30,8 MECU 1987,
b) Kernfusion (einschließlich Reaktorstudien für NET, Technologie des Brutmantels, Strukturwerkstoffe, Sicherheitsstudien und Tritiumlabor), 18 MECU 1987,
c) Kernspaltung (einschließlich Reaktorsicherheit und Stahlbauteilen, Zuverlässigkeit und Risikobewertung, Entsorgung radioaktiver Abfälle, Sicherheitsüberwachung und Spaltstofflußkontrolle, Kernbrennstoff und Aktinidenforschung), 88,8 MECU 1987,
d) Umwelt (einschließlich Umweltschutz, Anwendungen von Fernerkundungstechnik und industrielle Risiken) 29,9 MECU 1987.

Zusätzlich zum Forschungsprogramm ist die GFS auch für den Betrieb des Hochflußreaktors (HFR) in Petten zuständig (20,5 MECU). An diesem Projekt sind die Bundesrepublik Deutschland und die Niederlande finanziell beteiligt.

Zwei neue Tätigkeiten werden im neuen Programm aufgenommen:

- Unterstützung der Kommissionsdienststellen (etwa 24 MECU pro Jahr),
- Dienstleistungen für Rechnung Dritter (etwa 26 MECU pro Jahr).

Anhang

Tabelle 1: Gesamtaufwendungen im Rahmen des Programms - Ist-Zahlen Energieforschung in Mio DM (1984-1989)

Aktivität der F+E-Leistungsplansystematik des Bundesministeriums für Forschung und Technologie	**1984**	**1985**	**1986**	**1987**	**1988**	**1989**
Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung von Kohle	31,6	40,9	42,7	49,3	37,7	28,5
Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung anderer fossiler Energieträger	36,5	12,6	28	22,9	22,2	21,8
Feuerungs- und Kraftwerkstechnik für den Kohleeinsatz	60,7	67,4	59,9	63,8	73,9	61,6
Kohleverflüssigung	81	61,5	67,2	58,4	25,2	14,6
Kohlevergasung	71,7	46,5	28,4	22,9	20,3	15,6
Übrige und Querschnittsaktivitäten fossile Energieträger	14,7	13,9	14,2	10,3	11,6	5,1
Summen ohne Großforschungseinrichtungen	296,2	242,8	240,4	227,6	190,9	147,2
Großforschungseinrichtungen	16,3	8,8	10,8	9,4	9,9	9,4
Summen des Förderschwerpunkts Kohle und andere fossile Energieträger	**312,5**	**251,6**	**251,2**	**237**	**200,8**	**156,6**
Photovoltaik	59,1	53,3	57,8	60,1	70,9	82,5
Windenergie	8,9	10,2	12,1	17,8	16	12,4
Nutzungssysteme für südliche Klimabedingungen	52,9	43,8	31,4	31,3	35,9	32,5
übrige Aktivitäten zu erneuerbaren Energien	14,9	13,3	2,8	4,9	3,3	12,1
Elektrizität und Fernwärme	18,4	12,8	10,4	8,7	11,6	9,7
Energiesparende Industrieverfahren	24,2	30,5	18,2	12,9	14	12,8
Energiespeicher	8,5	13,9	12,6	13,8	5,5	10,2
Wasserstoff	8,2	6,1	5,4	8,3	10	15,7
Rationelle Energieverwendung und Solarenergienutzung in Haushalt und Kleinverbrauch	22,4	13,8	12,8	16,2	19,2	21,1
Summen ohne Großforschungseinrichtungen	217,5	197,7	163,5	174	186,4	209
Großforschungseinrichtungen	21,3	23,5	25,8	22,4	24,5	25,9
Summen des Förderschwerpunkts Erneuerbare Energiequellen und rationelle Energieverwendung	**238,8**	**221,2**	**189,3**	**196,4**	**210,9**	**234,9**

	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Brutreaktoren (SBR) - SNR 300 einschl. zugehörige Forschung und Entwicklung	412,9	441,2	310,9	30,3	66,2	54,1
Brutreaktoren (SBR) - Weiterentwicklung	30,2	33,3	23,1	28,5	31,9	31,2
Brutreaktoren (SBR) - Brennstoffkreislauf	6,9	5,9	4,8	4,1	3,1	2,2
Hochtemperaturreaktoren (HTR) - THTR 300	282,6	242,2	2,6	2,2	1,2	0,1
Hochtemperaturreaktoren (HTR) - Weiterentwicklung	18,9	19,3	27,6	34,3	30,1	23,4
Übrige Reaktorentwicklung	6,8	5,7	0,7	0,2	1	0,4
Kernbrennstoffversorgung (ohne Urananreicherung)	7,8	6,6	24,5	6,2	2,1	1,2
Urananreicherung	29	19,3	7,8	9,8	9,2	0,4
Wiederaufarbeitung und Rückführung von Kernbrennstoffen; Spaltmaterialüberwachung	50,7	41,4	34,7	37,1	37,6	26,7
Behandlung und Konditionierung radioaktiver Abfälle	35,2	32,4	9,1	9,9	8,3	4,8
Endlagerung radioaktiver Abfalle	100,1	146,6	127	112,7	38,7	31
Beseitigung von Nuklearanlagen	6,7	3,9	5,2	15,4	14,2	23,6
Übrige und Querschnittsaktivitäten Entsorgung	3	1,8	1,4	1,4	0,8	1,1
Reaktorsicherheitsforschung - Leichtwasserreaktoren	84,4	77,3	49,5	50,5	41,9	33,9
Reaktorsicherheitsforschung - fortgeschrittene Reaktoren	5,4	5,6	5,2	5,4	5,1	14,6
Reaktorsicherheitsforschung - übrige und Querschnittsaktivitäten	55,2	60,2	67,1	68,2	80,6	78,4
Risikobeteiligung Kernenergie					50	142
Summen ohne Großforschungseinrichtungen	1135,8	1142,7	701,2	416,2	422	469,1
Großforschungseinrichtungen	443,2	411,8	376,2	343,5	348,5	323,7
Summen des Förderschwerpunkts Nukleare Energieforschung (einschl. Reaktorsicherheit)	**1579**	**1554,5**	**1077,4**	**759,7**	**770,5**	**792,8**
Förderschwerpunkt Kernfusionsforschung Großforschungseinrichtungen	157,8	167,4	198,2	194,9	194,8	192,4
Gesamtsumme ohne Großforschungseinrichtungen	1649,5	1583,2	1105,1	817,8	799,3	825,3
Gesamtsumme Großforschungseinrichtungen	638,6	611,5	611	570,2	577,7	551,4
Zusammen	**2288,1**	**2194,7**	**1716,1**	**1388**	**1377**	**1376,7**

Tab. 2: Planungszahlen Energieforschung 1990 - 1993

Aktivität der F+E-Leistungsplansystematik des Bundesministeriums für Forschung und Technologie	1990	1991	1992	1993
		Geltender Finanzplan		
Förderschwerpunkt:				
Kohle und andere fossile Energieträger				
- ohne Großforschungseinrichtungen	136,0	129,0	122,0	121,7
- Großforschungseinrichtungen	9,2	10,0	10,1	10,2
- Summe	145,2	139,0	132,1	131,9
Erneuerbare Energiequellen und rationelle Energieverwendung				
- ohne Großforschungseinrichtungen	265,0	267,0	275,0	283,0
- Großforschungseinrichtungen	29,3	28,0	30,0	32,0
- Summe	294,3	295,0	305,0	315,0
Nukleare Energieforschung (einschl. Reaktorsicherheit)				
- ohne Großforschungseinrichtungen	302,7*)	356,7	363,1	346,5
- Großforschungseinrichtungen	303,6	303,9	297,0	306,1
- Summe	606,3	660,6	660,1	652,6
Kernfusion (GFE)	195,8	198,9	198,3	206,8
- ohne Großforschungseinrichtungen	703,7	752,7	760,1	751,2
- Großforschungseinrichtungen	537,9	540,8	535,4	555,1
Zusammen	1.241,6	1.293,5	1.295,5	1.306,3

*) Zuzüglich bis zu 80 Mio. DM Erlöse aus Uranverkauf

Nachrichtlich EURATOM-Aufwendungen für Fusionsenergien in Mio. ECU

1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
149,1	151,8	147,1	164,6	155,3	209,4	217,8

4. Energieforschungsprogramm

1. Gesamtsituation

1.1 Politische Ausgangslage und Programmziele

Die UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992 und die 1. Vertrags Staatenkonferenz gemäß Klimarahmenkonvention in Berlin im Frühjahr 1995 haben eindringlich darauf hingewiesen, daß die ständig steigenden Emissionen von Treibhausgasen, die mit dem wachsenden Energieverbrauch verbunden sind, zu einer ernsten Bedrohung für das globale Klima werden können. Die Bundesregierung hat dieses Problem schon frühzeitig sehr ernst genommen und sich deshalb politisch verpflichtet, nach dem Verbot von FCKW auch die energiebedingten Emissionen des Treibhausgases Kohlendioxid (CO_2) nachhaltig zu verringern. Dies hat zuletzt der Bundeskanzler auf der Berlin-Konferenz unterstrichen, wo er erklärt hat, daß Deutschland an dem Ziel festhält, bis zum Jahr 2005 seinen CO_2-Ausstoß gegenüber 1990 um 25 % zu senken. Das Klimaproblem stellt nur einen Teilaspekt der gesamten Umweltauswirkungen dar, die durch den großen Bedarf an Energie in einer modernen Industriegesellschaft wie Deutschland entstehen. Hier sind Belastungsgrenzen absehbar, die auch Rückwirkungen auf die Sicherheit unserer Energieversorgung haben können.

Um diese Sicherheit langfristig zu gewährleisten und wirtschaftlich berechenbar zu halten, besteht deshalb die weitere Aufgabe, unsere Energieversorgung mit dem dauerhaften Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen in Einklang zu bringen. Dies ist teilweise mit weitreichenden Konsequenzen für viele Bereiche der Gesellschaft, der Wirtschaft und der Politik verbunden. Deshalb wäre ein breiter, parteien-übergreifender und langfristig angelegter Konsens besonders in der Energiepolitik erforderlich. Er wäre auch als Orientierung für ein ebenfalls langfristig angelegtes Technologieprogramm wünschenswert, um alle Kräfte in Forschung und Entwicklung in Deutschland zielgerichtet zusammenführen zu können. Dies war bisher leider nicht erreichbar, obwohl über den Stellenwert einer nachhaltigen CO_2-Reduzierung und die Gewährleistung einer sicheren, wirtschaftlich berechenbaren Energieversorgung politisch Einigkeit besteht.

In dieser Situation sieht es die Bundesregierung als notwendig an, in der Technologie-Entwicklung keinen Fadenriß eintreten zu lassen; d.h. nicht darauf zu warten, bis ein parteienübergreifender Konsens darüber gefunden wird, welche Energietechniken aus heutiger Sicht erforderlich, akzeptabel oder wünschbar wären, um das CO_2-Reduktionsziel zu erreichen. Sondern die Bundesregierung will vorurteilslos weiter daran arbeiten, daß alle diejenigen Technik-Optionen entwickelt und für die spätere Anwendung offen gehalten werden können, die nennenswert zur nachhaltigen Senkung der energiebedingten Umwelt- und Klimabelastungen und damit letztlich auch zu einer Schonung endlicher Energieressourcen beitragen können.

Es ist das erste Ziel dieses Programms, hierfür die notwendigen Voraussetzungen zu schaffen.

Bei der Verfolgung dieses Ziels ist zu beachten, daß Klima-Auswirkungen und Umweltprobleme nicht vor Staatsgrenzen halt machen, D.h. die zu entwickelnden neuen Techniken sollten auch zu Problemlösungen in anderen Ländern beitragen können und zudem den besonderen Anforderungen gerecht werden, die die Zukunft der Länder der Dritten Welt an uns stellt. Auch darauf haben die Konferenzen in Rio de Janeiro und Berlin mit ihren Forderungen nach einem verstärkten Technologietransfer hingewiesen. Der Bundeskanzler hat dazu ebenfalls in Berlin erklärt, daß Deutschland bereit ist, hierbei seinen Beitrag zu leisten.

In diesem Zusammenhang wird die am 27. März 1996 abgegebene Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Wirtschaft außerordentlich begrüßt, die spezifischen CO_2 Emissionen bis zum Jahr 2005 um 20% zu verringern, bezogen auf das Basisjahr 1990. Die Bundesregierung sieht dadurch ihre Auffassung bestätigt, daß der beschrittene Weg des eigenverantwortlichen Handelns der Wirtschaft ein unverzichtbarer Bestandteil für eine nachhaltige CO_2 Reduktion in Deutschland darstellt.

Die Entwicklung neuer Energietechniken hat über Klima- und Umweltaspekte hinaus auch eine allgemeine technologiepolitische Dimension: Die ihr zugrundeliegenden breitgefächerten Forschungsansätze erweitern nämlich die wissenschaftlich-technische Basis unseres Landes und ermöglichen dadurch die Herstellung neuer, hochinnovativer Produkte und Anlagen und damit die Schaffung neuer Arbeitsplätze. Dies betrifft nicht nur die energietechnische Industrie im engeren Sinne, sondern auch alle Branchen, die neue Produkte herstellen, mit denen Energie eingespart oder rationeller verwendet wird, oder mit denen regenerative Energien in einer breiten Palette von Anwendungen genutzt werden können.

Es ist deshalb das zweite Ziel des Programms, auf diesem Weg einen Beitrag zur Modernisierung unserer Volkswirtschaft und zur Sicherung des Technologie-Standorts Deutschland zu leisten, sowie die Exportchancen für einen wichtigen Zweig der deutschen Wirtschaft zu verbessern.

1.2 Technologiepolitische Schlußfolgerungen

Das Ziel, die Umwelt- und Klimabelastungen nachhaltig zu vermindern, ist im Prinzip mit einem unterschiedlichen Mix von Techniken denkbar, je nachdem welche Annahmen. Zielvorstellungen oder sonstige Überlegungen zugrunde gelegt werden. Dies bedeutet für die Forschungs- und Technologiepolitik, den Rahmen für die Förderung thematisch nicht zu eng zu ziehen, damit ein ausreichend breites Spektrum an Technik-Optionen bereitgestellt wird, um sowohl politische Gestaltungsspielräume für die Erreichung der genannten Ziele in Deutschland zu schaffen, als auch in der Lage zu sein, auf heute nicht absehbare Entwicklungen im Energiebereich technisch flexibel reagieren zu können.

Der Notwendigkeit eines breiten Forschungsansatzes stehen jedoch die Grenzen gegenüber, die der staatlichen Forschungsförderung sowohl finanziell als auch aus ordnungspolitischen Gründen gesetzt sind. Dies verlangt erstens eine sorgfältige Auswahl der zu fördernden Technologien und zweitens ein zunehmendes Engagement der deutschen Wirtschaft, um sowohl die Ressourcenbasis zu verbreitern, als auch die Verantwortung für die Durchführung einer wichtigen Zukunftsaufgabe auf die Schultern all derjenigen zu verteilen, die dafür mit in der Verantwortung stehen. Die Bundesregierung wird deshalb ihre Gespräche mit allen Beteiligten fortsetzen, um zu einer gemeinsamen, langfristig angelegten Strategie für Forschung und Entwicklung neuer Energietechniken im Sinne der Programmzielsetzungen zu kommen.

Der Auswahlprozeß für diejenigen Technologien, die prioritär in die weitere Forschungsförderung einbezogen werden sollen, erfolgte in mehreren Stufen. Ausgangspunkt waren die Ergebnisse mehrerer internationaler Konferenzen der Internationalen Energieagentur (IEA) in Paris und der Europäischen Union (EU) zu Themen wie nachhaltige Entwicklung und Energietechnik, zukünftige Techniken zur Energieeinsparung. CO_2-Reduktionstechniken oder Prioritätensetzung bei Energieforschung und -entwicklung (siehe Kasten).

Des weiteren wurden die Beiträge zahlreicher nationaler Statusseminare (siehe Übersicht Abschnitt 3) zu ausgewählten Techniken ausgewertet sowie die Aussagen mehrerer, breit angelegter Programmstudien wissenschaftlicher Institute in Deutschland herangezogen. Weitere wichtige Erkenntnisse lieferte der Innovationsdialog zur Energieforschung zwischen Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Bundesressorts, die von Mai 1994 bis Februar 1995 eine Einschätzung erarbeitet haben, welches Entwicklungspotential eine Reihe von Energietechniken kurz-, mittel- und langfristig für die Energieversorgung, die Energieeinsparung und die CO_2- Reduktion für Deutschland haben könnten.

Internationale Konferenzen und Studien zum Thema Klimaänderungen und Energietechnologien sowie zu Prioritätensetzungen bei Energieforschung

1. Technology Responses to Global Environmental Challenges, Kyoto, November 1991
2. Energy Technology Policy for Sustainable Development, Noordwijk, Dezember 1991
3. Next Generation Technologies for Efficient Energy End-Uses and Fuel Switching, Dortmund, April 1992
4. Comparative Analysis Methodologies of New Energy Technologies, Toronto, Oktober 1993
5. Development and Deployment of Technologies to Respond to Global Climate Change Concerns, Paris 1994
6. Energy Technologies to Reduce CO_2 Emissions in Europe: Prospects, Competition, Synergy, Petten 1994
7. Methods for Assessing the Formulation of an EU-Energy R&D Strategy, 1995
8. Energy Technologies for the 21.Century, IEA-Sudie, in Vorbereitung

Fügt man die so gewonnenen Ergebnisse zusammen, dann ergibt sich ein umfangreicher Katalog von Technologien, über deren Bedeutung z.B. für nachhaltige CO_2-Reduktionen ein weitgehender Konsens zwischen den Fachleuten festzustellen ist, und zwar sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene. Allerdings ist auch anzumerken, daß bei einigen Techniken deutlich unterschiedliche Einschätzungen hinsichtlich ihrer Akzeptanz oder ihrer kurz- bis mittelfristigen Wirksamkeit für eine reale CO_2-Reduktionspolitik bestehen. Das gilt z.B. für die Kernenergie, die Photovoltaik oder die Fusion. Kritische Einschätzungen über die Bedeutung von Techniken müssen in diesem Zusammenhang sicher ernst genommen werden. Dies darf aber nach Meinung der Bundesregierung nicht zu einer Einschränkung bei Forschung und Entwicklung führen, wenn die betroffenen Techniken ein großes Potential für CO_2-Reduktionen oder die Entlastung der Umwelt versprechen.

Eine weitere Eingrenzung der Forschungsförderung in Hinblick auf prioritäre Themen zur Minderung von CO_2-Emissionen erfolgte mit Hilfe von system-

analytischen Methoden. Dazu wurden unterschiedliche CO_2-ReduktionsStrategien daraufhin untersucht, welche Technologien sie verwenden, um die Zielmarke von 25 % zu erreichen, und welche davon bei möglichst vielen Strategien beteiligt sind; denn für diese Technologien wären die Chancen am größten, auch zum Einsatz zu kommen. Dabei wurde von teilweise politisch stark divergierenden Annahmen ausgegangen, um ein breites Meinungsspektrum zu berücksichtigen. Für diese Arbeit standen zum einen die Berichte der Enquete-Kommission zum Schutz der Erdatmosphäre des 12. Deutschen Bundestages und zum anderen das IKARUS-Projekt (**I**nstrumente für **K**limagas-**R**ed**u**ktions**s**trategien) zur Verfügung.

Zusätzlich zu den CO_2 Emissionen wurde mit IKARUS auch der Ausstoß anderer Schadgase wie SO_2, N_2O, NO_x oder CH_4 untersucht. Ihre Belastung der Umwelt soll ebenfalls durch neue Energietechniken soweit wie möglich reduziert werden. Dar- überhinaus ist der generelle Wirkungszusammenhang von Umweltbelastungen und Energieverbrauch von großer Bedeutung und ist deshalb auch Gegenstand der Prioritätenüberlegungen für die weitere Forschungsförderung.

Das Ergebnis der systemanalytischen Untersuchungen zeigt zusammengefaßt folgendes Bild: Mittelfristig, d.h. bis zum Zeitraum 2005-2010 haben für die Reduktion von CO_2-Emissionen diejenigen Techniken die größte Wirkung, die dazu beitragen, **Energieeinsparungen** bei der Stromerzeugung (inkl. Kraft-Wärme-Kopplung) mit fossilen Energiequellen, bei der Bereitstellung von Raumwärme, bei Industrie-

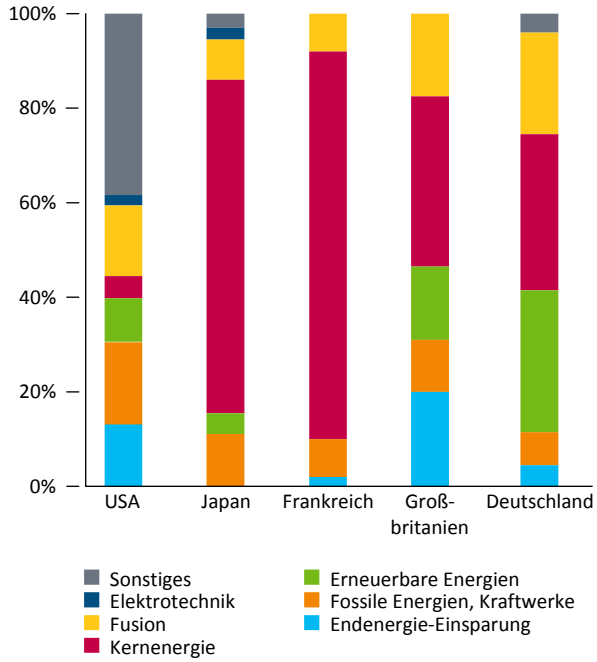


Abb. 1: Staatliche Forschungs- und Entwicklungs-Aufwendungen in anderen Industrienationen

verfahren und im Verkehrssektor zu erzielen. Von geringerer Wirkung sind energiesparende Verfahren im Kleinverbrauch und bei der Bereitstellung von Licht, Kraft und Telekommunikation im Haushaltsbereich. Von ähnlicher Bedeutung für nachhaltige CO_2-Reduktionen wie die Techniken zur Energieeinsparung ist auf der Seite der **Energiebereitstellung** die Kernenergie. Der Beitrag erneuerbarer Energien, soweit er nicht auf Wasserkraftnutzung oder Müllverbrennung beruht, hält sich in diesem kurz- bis mittelfristigen Zeitraum für die Energiebereitstellung in eher geringen Grenzen und stützt sich überwiegend auf Windkraft und auch auf Biomasse ab.

Sieht man die Situation jedoch längerfristig, etwa bis zu einem Zeitraum 2020- 2030, dann können zusätzlich auch erneuerbare Energien, vor allem in Form von Biomasse, Solarthermie oder Photovoltaik, von größerer Bedeutung werden, sowie neue Techniken für Sekundärenergien wie Wasserstoff und Brennstoffzellen. Ein Zeitpunkt für einen energiewirtschaftlich bedeutsamen Beitrag der kontrollierten Kernfusion ist derzeit nicht absehbar. Ihr kommt deshalb die Bedeutung einer sehr langfristigen Option für die Energieversorgung zu.

1.3 Weitere Forschungs- und Entwicklungsstrategie

Die Forschungs- und Entwicklungsstrategie muß beide Zeithorizonte - mittel- und langfristig - berücksichtigen, da das Jahr 2005, für das gegenwärtig die CO_2-Zielmarke formuliert wurde, nur eine Zwischenstation für eine dauerhafte Umwelt- und Klimaentlastung sein kann. Dementsprechend sind auch die Programmschwerpunkte gesetzt, wie sie in Abschnitt 3 ausführlich dargestellt werden. Dabei dient die Forschungsförderung der kurz- und mittelfristig wichtigen Techniken auch dazu, Zeit zu gewinnen für die Entwicklung der neuen Langfristoptionen im Bereich der erneuerbaren Energien und - sehr langfristig - der Kernfusion.

Dieser Strategieansatz kann nur dann Erfolg haben, wenn die neuen Technik-Optionen auch zeitgerecht eingesetzt werden. Hierbei spielen, wie die Analysen gezeigt haben, vor allem moderne **Kraftwerkstechniken** eine wichtige Rolle. Deshalb war es erforderlich, die bisherige **Förderstrategie auf diesem Gebiet zu überdenken** und die zukünftigen nationalen Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen sehr sorgfältig auf diejenigen Aufgaben auszurichten, die für eine nachhaltige Umstrukturierung des Kraftwerksparks essentiell sind. Aus diesem Grund wurde unter Beteiligung von Wissenschaft, Elektrizitätswirtschaft und herstellender Industrie ein entsprechender, umfangreicher Aufgabenkatalog erarbeitet. Er liegt dem Fachteil dieses Programms (3.11.1) zugrunde.

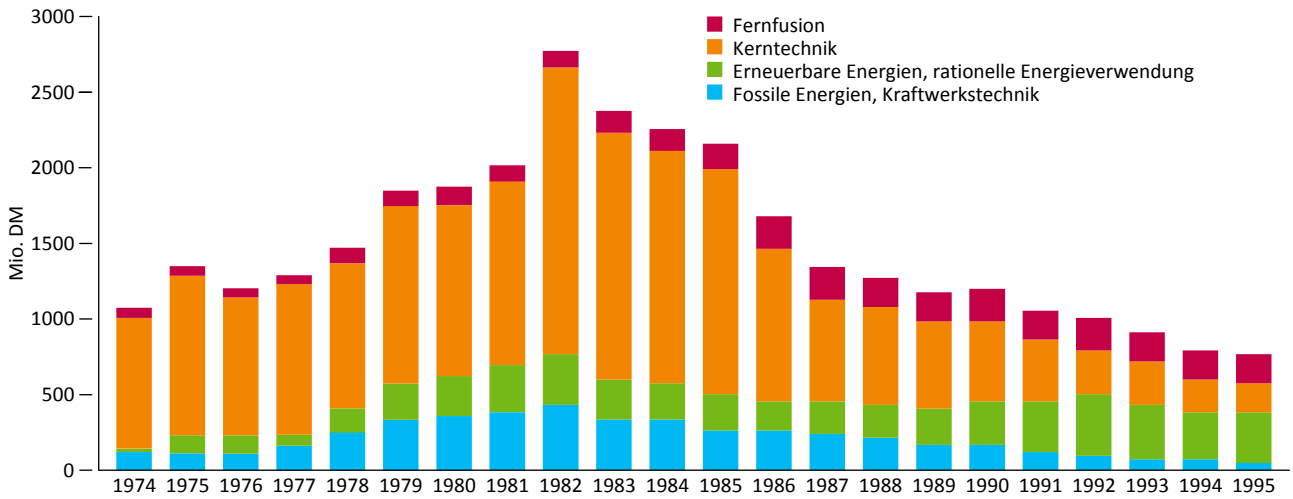


Abb. 2: Aufwendungen im Rahmen der Energieforschungsprogramme

Insgesamt sollen mit der weiteren Forschungsförderung vor allem **drei Ziele** verfolgt werden:

a) Die weitere Verbesserung der Energieeffizienz heutiger Technik wie z.B. das Dampfkraftwerk, um den Nachweis zu führen, daß schon kurzfristig eine deutliche Senkung der CO_2-Emissionen bei der öffentlichen Stromversorgung technisch machbar ist
b) Die Entwicklung von technologischen Zukunftskonzepten mit deutlich weiter gesteigerten Wirkungsgraden und der Nachweis ihrer Machbarkeit, so daß sie mittel- bis längerfristig als wirkungsvolle, nachhaltige CO_2-Reduktionsoptionen funktionsfähig zur Verfügung stehen
c) Die Durchführung eines Grundlagenforschungsprogramms, das die Arbeiten zur Erreichung der vorgenannten Ziele unterstützt und auch wissenschaftliche Erkenntnisse zum verbesserten Verständnis der gesamten Verbrennungsvorgänge und damit zu ihrer Optimierung liefert.

Bei der Realisierung dieser Möglichkeiten ist in erster Linie die deutsche Elektrizitätswirtschaft gefordert. Dazu gehört auch, daß die Elektrizitätswirtschaft sich an den erforderlichen Anstrengungen für Forschung und Entwicklung im Rahmen ihres Verantwortungsbereichs angemessen beteiligt, damit der vorliegende Aufgabenkatalog im notwendigen Umfang und als nationale, übergreifende Anstrengung für die Erreichung des CO_2-Reduktionsziels in einem entscheidenden Sektor in partnerschaftlicher Weise durchgeführt werden kann. Um dabei möglichst effizient zu sein, soll die Zusammenarbeit zwischen staatlicher und privatwirtschaftlicher Forschung und Entwicklung, auch unter Einschluß der herstellenden Industrie, durch eine ständiges Gesprächs- und Koordinierungsgremium in Zukunft weiter verbessert werden.

Moderne Kraftwerkstechnik ist auch Hochtechnologie mit Exportchancen auf einem ständig wachsenden Weltmarkt. Um hier möglichst effizient zu sein, ist eine gute Partnerschaft zwischen Forschungsförderung und privatwirtschaftlichen Aktivitäten der herstellenden Industrie von großer Bedeutung. Sie soll deshalb weiter ausgebaut und besser koordiniert werden.

Der in Bezug auf CO_2 Reduktionen nach der Kraftwerkstechnik besonders relevante Bereich der **Raumwärme soll mit einer neuen Förderstrategie** bearbeitet werden. Dazu soll zum ersten die solare Wärmeeinstrahlung verstärkt durch zwei Förderprogramme für aktive und passive Solarthermie technisch weiter erschlossen werden (s. „Erneuerbare Energien“ S. 11), und zum anderen sollen durch die neuen Förderkonzepte „energietechnische Optimierung zukünftiger Gebäude und -energetische Verbesserung der Gebäudesubstanz" sowohl die Technik der Niedrigenergiehäuser weiter vorangebracht werden, als auch der Altbaubereich daraufhin untersucht werden, wo noch technische Möglichkeiten für Energieeinsparungen bestehen, die bisher nicht durch Forschung und Entwicklung erschlossen worden sind. Flankiert wird diese Strategie durch ein besonderes Programm für die neuen Bundesländer, nämlich „energiegerechte Sanierung industriell errichteter Wohnbauten (der sog. „Plattenbauten“) in den neuen Bundesländern“ und neue Ansätze im Bereich der kommunalen Energieversorgung.

Für die **Techniken zur rationellen Energieanwendung in der Industrie, für die noch** weiterer Forschungsbedarf besteht, läßt sich kein einfaches, übersichtliches Bild zeichnen. Dies liegt vor allem daran, daß die verschiedenen Bereiche in technischer Hinsicht sehr heterogen sind und außerdem Fortschritte bei Effizienzverbesserungen oft erheblich von Entwicklungen in anderen Gebieten abhän-

gen, wie z.B. der Mikroelektronik, der Informatik oder den Materialwissenschaften. Die weitere Forschungsförderung soll deshalb diese Gebiete verstärkt mit einbeziehen und sich auf solche Themen konzentrieren, die entweder branchenübergreifenden- oder Querschnittscharakter haben, also grundlegende Lösungen für Probleme mit breiten Anwendungsmöglichkeiten liefern, oder die es erlauben, verschiedene Themen auf eine größere Aufgabe zu bündeln.

Eine entscheidende Frage, inwieweit es möglich wird, den **Energieverbrauch längerfristig deutlich zu senken**, ist die, ob es gelingt, bei auf absehbare Zeit weltweit niedrigen Energiepreisen a) die generelle **Energieproduktivität** in Deutschland in den kommenden Jahren deutlich zu erhöhen und b) alle Beteiligten am Energieverbrauch zu einer **haushaltenden Energieverwendung** zu bringen, d.h. im Sinne einer Definition durch den VDI, „den primärenergetisch bewerteten, kumulierten Energieaufwand der gesamten Kette von der Nachfrage nach Energiedienstleistungen über die Nutz- und Endenergiebereitstellung bis hin zur Primärenergiegewinnung unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Aspekte zu minimieren". Hierfür ist die Verfügbarkeit über eine breite Palette von modernen Energietechnologien eine notwendige Voraussetzung, und das Programm soll dazu entscheidende Beiträge liefern.

Technologien sind aber nicht allein ausschlaggebend für die Erreichung der artiger Vorstellungen. Hierzu sind auch das energiebewußte Handeln des Einzelnen und bewußte Verhaltensänderungen der Nutzer von Energiedienstleistungen weitere. notwendige Voraussetzungen. Dafür sind aber die Unterstützung vieler Felder der Politik und das Engagement von Wirtschaft und Privatverbrauchern unumgänglich. Um für die dazu notwendige, weitere politische Diskussion belastbare Informationen darüber zu liefern, wo besondere Potentiale für eine Erhöhung der Energieproduktivität, eine verbesserte, rationelle Energieanwendung und größere CO_2 Einsparmöglichkeiten liegen, sollen im Rahmen des Programms sowohl die relevante **Datenbasis** für Deutschland als auch die notwendige **Systemanalyse-Kapazität ausgebaut** werden.

Datenbasis und Systemanalyse-Kapazitäten bilden auch eine wichtige Grundlage, um die **Auswirkungen** von Energiegewinnung, -Umwandlung und -nutzung **auf die Umwelt** in ihrem gesamten Wirkungszusammenhang untersuchen zu können. Dies ist notwendig, weil im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung die beiden Ressourcen Energie und Umwelt - wegen ihrer teilweise engen Wechselbeziehungen - auf Dauer nicht getrennt betrachtet werden können. Deshalb sollen im Rahmen des Programms Beiträge erarbeitet werden, die es erlauben, **Instrumente für die Aufstellung von Ökobilanzen und die Analyse von Stoffströmen** zu erarbeiten, bei denen Energieflüsse eine wichtige Rolle spielen. Hierzu ist eine enge Abstimmung und Zusammenarbeit mit dem Umweltforschungsprogramm vorgesehen.

Die **Kernenergie** hat aus derzeitiger Sicht eines der größten Potentiale, um die CO_2-Emissionen in Deutschland nachhaltig zu senken. Ihre weitere Nutzung ist politisch umstritten. Die Bundesregierung ist jedoch der Meinung, daß diese, für die Menschheit praktisch neue, Energiequelle auch langfristig zum Energieversorgungs-Mix der Bundesrepublik beitragen soll. Praktisch alle anderen größeren Industrienationen der Welt verwenden ebenfalls die Kernenergie für ihre Energieversorgung. In Osteuropa und im asiatisch-pazifischen Raum wird zudem die Nutzung der Kernenergie weiter ausgebaut, oder es wird mit dem Aufbau eines entsprechenden Programms begonnen. Der Unfall von Tschernobyl hat aber gezeigt, daß die Sicherheit der Reaktoren anderer Länder auch unsere Sicherheit berührt. Wenn Deutschland deshalb in sicherheitstechnischer Hinsicht auf die internationale Entwicklung Einfluß nehmen will, dann muß es selbst auf diesem Gebiet mit an der Spitze stehen. Dazu ist es nicht nur nötig, eigene Kernreaktoren in vorbildlicher Weise zu betreiben, sondern auch zukünftig eine unabhängige Sicherheitsforschung zu fördern, die frei von kommerziellen Interessen ist.

Eine weitere wichtige Aufgabe für Forschung und Entwicklung stellt sich hinsichtlich der Sicherheit zukünftiger Reaktoren. Die Energiekonsensgespräche haben nämlich gezeigt, daß hier ein Schlüsselproblem vorliegt, für das die Technik eine Lösung finden muß. Sie muß so überzeugend sein, daß sie die Grundlage für einen breiten Konsens bilden kann.

Die Nutzung der Kernenergie kann nur dann eine langfristige Perspektive haben, wenn in ausreichendem Umfang der wissenschaftlich-technische Nachwuchs erhalten bleibt. Die Bundesregierung ist bereit, hierzu im Rahmen dieses Programms einen entsprechenden Beitrag in Form einer Nachwuchsförderung zu leisten, die auf den absehbaren Bedarf abgestimmt ist (ca. 150 junge Wissenschaftler in 10 Jahren). Sie knüpft daran aber die Erwartung, daß herstellende Industrie, Elektrizitätsversorger, Gutachterinstitutionen und Genehmigungsbehörden ihrerseits bereit sind, auch einen eigenen, adäquaten Beitrag zu leisten und die so ausgebildeten Fachkräfte später in entsprechende Stellungen aufzunehmen.

Die so angelegte Strategie zur Weiterentwicklung der Kernenergie wird durch eine anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung zur Langzeit-Sicherheit bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle und zum Strahlenschutz ergänzt.

Für die neuen Techniken für eine längerfristig erweiterte Nutzung **erneuerbarer Energien** zeichnen sich vor allem Einsatzchancen bei der Bereitstellung von Wärme (z.B. Solarthermie, Wärmepumpen, Biomasse) und Strom (z.B. Wind, Müllverbrennung, Biomasse, Photovoltaik) ab. Die Nutzung von Biomasse besitzt zudem noch Potentiale für die Herstellung neuer Treibstoffe.

Die **Solarthermie**, d.h. die Nutzung der Sonnenenergie für die Heizung von Gebäuden und die Bereitstellung von warmem Wasser, ist deshalb besonders interessant, weil für Heizung und Warmwasserbereitstellung weit überwiegend Öl und Gas genutzt werden und hier deshalb große Ein sparpotentiale sowohl für Importenergien als auch für CO_2 bestehen. Für Forschung und Entwicklung werden derzeit im Wesentlichen zwei Aufgaben gesehen, die mit zwei neuen Förderkonzepten bearbeitet werden sollen. Zum ersten besteht auch hier das Problem der Kostensenkung für die durch solarthermische Techniken erzeugte Wärme. Dazu dient das Programm „Solarthermie-2000“, das ursprünglich vorwiegend für die neuen Bundesländer konzipiert wurde. Es soll zukünftig auch für die anderen Bundesländer weiter geöffnet werden. Zum zweiten soll systematisch untersucht werden, wie bestehende und künftige Gebäude so ausgelegt werden können, daß sie die Sonnenenergie in optimaler Weise für die Erwärmung, Beleuchtung und Klimatisierung nutzen können. Dazu wurde das neue Förderkonzept „Solaroptimiertes Bauen“ entwickelt. Beide Konzeptionen sind auf 10 Jahre angelegt, beziehen besonders die Nachwuchsförderung ein und sollen auch Handwerk und Gewerbe an die neue Technik heranführen.

Die staatlich geförderte Entwicklung der **Windenergie** hat in Deutschland zu einem hohen Stand der Technik geführt, so daß ihre Förderung auf nur noch wenige Fragestellungen konzentriert werden kann.

Auch bei der **Photovoltaik** ist zwar ein hoher technischer Stand erreicht worden. Ein nennenswerter Anteil an der deutschen Stromversorgung ist jedoch heute noch nicht absehbar. Deshalb ist hier - nicht zuletzt auch wegen des Abwanderns eines größeren Teils der deutschen herstellenden Industrie ins außereuropäische Ausland - ein Umdenken bei der Förderstrategie nötig. Drei Dinge sind nach derzeitiger Sicht vordringlich erforderlich, um die Stromerzeugung aus Photovoltaik längerfristig als energiewirtschaftliche Option zur Verfügung stellen zu können: Erstem müssen die Kosten erheblich gesenkt werden. Das bedeutet vor allem Erhöhung des Wirkungsgrads sowie Verbesserungen in der System- und Fertigungstechnik. Zweitens muß systematisch untersucht werden, welche praktischen Probleme auftreten und wie dafür die Lösungen aussehen, wenn Photovoltaik in größerem Umfang in bestehende und neue Gebäude bei Dächern und Fassaden integriert wird. Und drittens muß der Weg des Transfers dieser Technik für dezentrale, netzunabhängige Energieversorgungssysteme, dort wo es sinnvoll ist, konsequent weitergegangen werden. Alle drei Aufgaben sollen im Rahmen dieses Programms mit dem neuen „Wegbereitungsprogramm Photovoltaik 2005“ bearbeitet werden; einem Förderkonzept, das auf einen Zeitraum von zehn Jahren (1996-2005) angelegt ist.

Außer der langfristigen Option als zusätzliche Energiequelle zur Deckung des allgemeinen Strombedarfs in Deutschland darf nicht außeracht gelassen werden, daß Photovoltaik auch heute schon eine wichtige Rolle für die Herstellung von Hochtechnologieprodukten spielt, bei denen entweder die Kosten für die Bereitstellung von Elektrizität keinen entscheidenden Faktor darstellen oder wo eine netzunabhängige Stromquelle bedeutende Vorteile bringt. Dabei handelt es sich zwar derzeit noch um Nischenmärkte, aber die jährlichen Zuwachsraten sind weltweit erfreulich groß. Es sind besonders kleine- und mittlere Unternehmen, die hier aktiv sind, und deshalb soll die Forschungsförderung für diesen Bereich durch das neue Förderkonzept „Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme“ verstärkt werden.

Dem Angebot des Bundeskanzlers auf der Berlin-Konferenz von 1995. den **Transfer neuer Energietechniken in die Länder der Dritten Welt** zu verbessern, um damit einen weiteren, wesentlichen Beitrag zum Abbau der weltweiten Umwelt- und Klimabelastungen zu leisten, soll im Rahmen des Programms besondere Aufmerksamkeit gegeben werden. Dabei stehen hinsichtlich des CO_2-Problems die erneuerbaren, regenerativen Energien im Vordergrund des Interesses. Die Analyse der bisherigen Anstrengungen auf diesem Gebiet führt leider - mit Ausnahme der Wasserkraft - zu eher ernüchternden Ergebnissen, so daß auch hier ein Umdenken bei der weiteren Förderstrategie notwendig ist. Deshalb sollen die bisher laufenden indirekt-spezifischen Förderprogramme Eldorado-Sonne und Eldorado-Wind beendet und durch ein Nachfolgeprogramm ersetzt werden, das erstens die unternehmerische Eigenverantwortung sowohl bei uns als auch in den Partnerländern mehr in den Vordergrund stellt und das zweitens eng zwischen BMZ und BMBF abgestimmt ist. Dazu soll vor allem unter Nutzung des KfW-Instrumentariums die bisherige Art der Projektförderung umgestellt werden auf die Verbesserung von Finanzkonditionen und die Übernahme von Ausfallbürgschaften. Weiterhin wurde eine enge Verzahnung zwischen Entwicklungs- und Technologiepolitik vereinbart. Sie soll zum einen dazu führen, daß in Zukunft den erneuerbaren Energien und den technischen Möglichkeiten, die deutsche Firmen u.a. aufgrund der bisherigen Forschungsförderung auf diesem Gebiet anbieten können, im Rahmen der Ko-

operationen mit Ländern der Dritten Welt oder in südlichen Klimazonen verstärkt Aufmerksamkeit gegeben wird. Zum anderen werden die Schwerpunkte für die Entwicklung neuer Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien zukünftig eng an den Erfahrungen der Entwicklungshilfepolitik ausgerichtet, um damit besser an die Bedürfnisse in den vorhergenannten Ländern angepaßt zu sein.

Die Forschungs- und Entwicklungsförderung bei **Biomasse** zielt vor allem auf die Optimierung der Gewinnungs- und Nutzungstechniken zum Zweck einer verbesserten Ausschöpfung der vorhandenen Kostensenkungspotentiale und auf ökologische Fragen ab.

In den achtziger Jahren waren flüssige Bioenergieträger (z.B. Treibstoffe aus Ethanol und Pflanzenölen) wichtige Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte. Die technischen Fragen bei der Gewinnung und dem Einsatz von Biotreibstoffen sind zwischenzeitlich weitgehend gelöst. Begünstigt durch Stützungsmaßnahmen steht der Biotreibstoff Rapsölmethylester (RME) an der Schwelle zur Markteinführung.

Gegenwärtig liegen die Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte bei der Wärme- und Stromgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen. Die Gründe hierfür sind die vergleichsweise günstige Wirtschaftlichkeit, die beachtlichen Nutzungs- und CO_2 Minderungspotentiale sowie die eindeutig positive Energiebilanz. Forschungsbedarf besteht hier weiterhin bei der Biobrennstoffbereitstellung (z.B. Anbau, Ernte-Logistik), den Nutzungstechniken (z. B. Verbesserung der Wirkungsgrade bei der Verbrennung und Gaserzeugung; der Co-Verbrennung/Gaserzeugung unterschiedlicher Biobrennstoffe; Normung der Brennstoffe und Standardisierung der Nutzungstechniken) sowie bei ökologischen Fragestellungen (Emissionen, Entsorgung von Rückständen).

Mit der kontrollierten **Kernfusion** besteht die Möglichkeit, für die Energieversorgung eine neue, bisher auf der Erde für friedliche Zwecke noch ungenutzte Energiequelle ohne CO_2-Emissionen zu erschließen. Der Zeitpunkt dafür ist aber derzeit noch nicht absehbar. Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet haben deshalb eine sehr langfristige Perspektive.

Deutschland gehört bei der Fusionsforschung wissenschaftlich zu den weltweit führenden Nationen. Diese Spitzenstellung soll durch den Bau des neuen Großexperiments Wendelstein VII-X in Greifswald/Mecklenburg-Vorpommern weiter ausgebaut werden. Wegen der Bedeutung des Experiments für die weitere Entwicklung dieses Forschungsgebietes ist es gelungen, eine 45%ige Beteiligung der EU an den Investitionskosten einzuwerben.

1.4 Rahmenbedingungen

Die finanziellen Gewichtungen der Programmschwerpunkte (siehe 5.1) entsprechen dem Bedarf, wie er gegenwärtig von der Bundesregierung für die öffentliche Forschungsforderung gesehen wird. Dabei sind insbesondere folgende Gesichtspunkte berücksichtigt worden: Erstens wurden im Rahmen der Vorläuferprogramme für viele Techniken bereits umfangreiche Vorleistungen erbracht, so daß in diesem

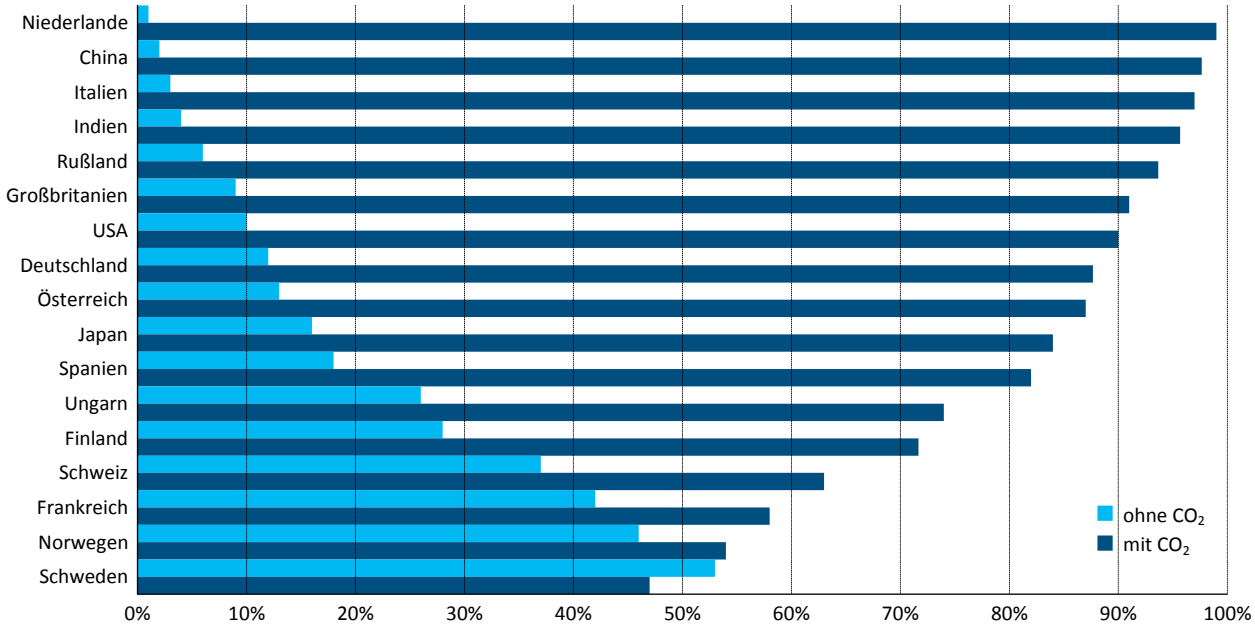


Abb. 3: Mix von CO_2-freier zu CO_2-belasteter Stromerzeugung in verschiedenen Ländern

Bereich jetzt mit einem geringeren Fördervolumen weiter gearbeitet werden kann. Zweitens besteht für Techniken mit kurz- und mittelfristig interessantem Anwendungspotential ein erhebliches Eigeninteresse der Wirtschaft. Drittens sind vor allem bei der Kraftwerkstechnik auch die Eigenverantwortung für eine angemessene Zukunftsvorsorge und die finanzielle Leistungsfähigkeit von Herstellern und Betreibern für die Höhe öffentlicher Forschungsförderungen zu berücksichtigen. Und viertens ist der spezifische Kostenaufwand für Forschung und Entwicklung bei verschiedenen Techniken unterschiedlich. Es wäre deshalb verfehlt, allein aus der Höhe der Fördermittel für eine Technik Rückschlüsse auf die Bedeutung ziehen zu wollen, die ihr von der Bundesregierung für die Erreichung der Zielsetzungen des Programms beigemessen wird.

Ein weiterer Gesichtspunkt, der ebenfalls einbezogen wurde, war die Zukunft der wissenschaftlich-technischen Infrastruktur in Deutschland: Es ist evident, daß auch während der Laufzeit dieses Programms ein wesentlicher Beitrag geleistet werden muß, um die wissenschaftlich-technischen Kapazitäten in den neuen Bundesländern weiter auszubauen, damit die Leistungsfähigkeit Deutschlands insgesamt weiter gestärkt wird.

Des weiteren muß berücksichtigt werden, daß es energie- und/oder CO_2-intensive Technikfelder gibt, wo die Entwicklung allein von kleinen- und mittleren Unternehmen getragen wird, wo die staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung also eine besondere, unterstützende Funktion hat.

Dies gilt auch für die Grundlagenforschung an den Hochschulen. Dort sollen nicht nur die Prinzipien für neue Problemlösungen gezielt erarbeitet werden, sondern es soll auch der wissenschaftliche Nachwuchs herangebildet werden, der dieses Wissen in die Praxis umsetzen kann.

Von gleicher Bedeutung ist die berufliche Bildung und Weiterbildung, denn die Nutzung neuer Energietechniken hängt oft auch davon ab, daß im Bereich des Handwerks und Gewerbes die bestehende Aufgeschlossenheit für technisch Neues durch entsprechende berufliche Qualifikation unterstützt wird. Es ist deshalb auch eine Aufgabe des Programms, hierfür Beiträge zu leisten.

Damit bei der Programmdurchführung möglichst große Synergie-Effekte entstehen, ist für geeignete Arbeitsstrukturen zu sorgen. Hierfür hat sich in der Vergangenheit das Instrument der Verbundforschung sehr bewährt, das deshalb auch in Zukunft ausgiebig genutzt werden soll. Darüber hinaus sollen mit der Erarbeitung von Leitprojekten neue Wege beschritten werden, um zu einem verbesserten, fachübergreifendenden Arbeiten zu kommen.

Von Bedeutung sind auch die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Bundesländer. Deshalb soll die Koordination von Bundes- und Länderforschung weiter ausgebaut werden.

Die enge Zusammenarbeit mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). die mit den Erträgen ihres Stiftungskapitals von über zwei Mrd DM Forschung und Entwicklung bei den nicht-nuklearen Energien fördert, soll fortgesetzt werden.

Es ist abschließend darauf hinzuweisen, daß für die in diesem Programm genannten finanziellen Planzahlen ein allgemeiner Vorbehalt bezüglich der im Rahmen der zukünftigen Haushaltsentwicklung zur Verfügung stehenden Mittel besteht und daß die Zielsetzungen und Aufgaben des Programms in

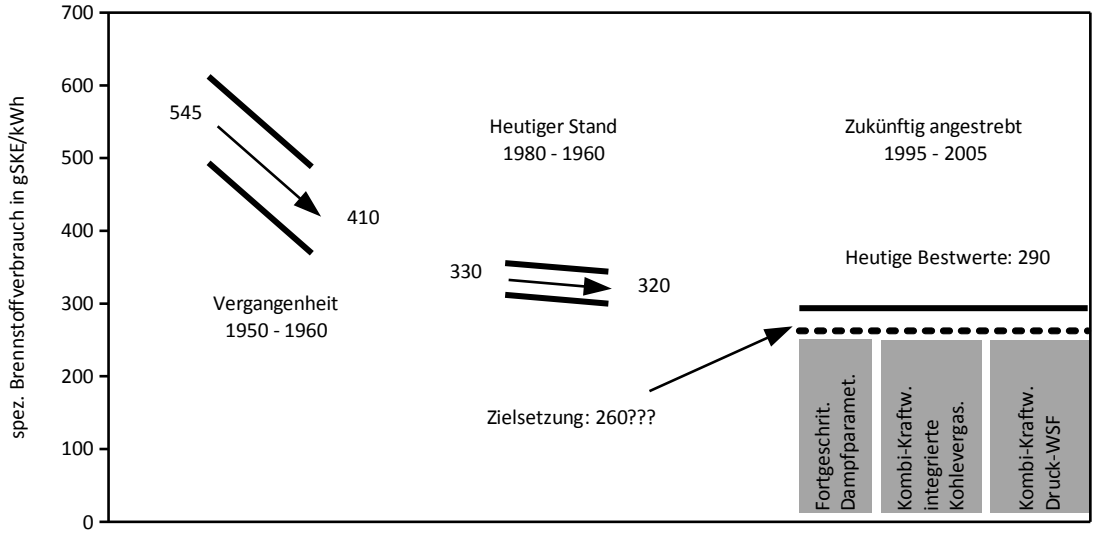


Abb. 4: Entwicklung der Brennstoffausnutzung bei Verbrennung von Steinkohle

Übereinstimmung stehen mit dem Beschluß des Ausschusses für Bildung. Wissenschaft. Forschung. Technologie und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages. Drucksache 13/4210 vom 25. März 1996.

1.5 Internationaler Vergleich

Auf **Abb. 1** sind die Strukturen der Energieforschungsprogramme anderer großer Industrienationen im Vergleich zu Deutschland dargestellt. Wie zu sehen ist, werden zwar überall die gleichen Technologiegebiete bearbeitet. Die Gewichtsetzung ist dabei jedoch sehr verschieden. Der Grund dafür liegt teilweise in der unterschiedlichen Ausstattung mit heimischen Energiequellen und teilweise in der unterschiedlichen Bewertungen der energiewirtschaftlichen Bedeutung von Energietechnologien etwa in Hinsicht auf die Sicherheit der nationalen Energieversorgung oder ihre Wirksamkeit für eine nachhaltige CO_2 und Umweltentlastung.

Teilweise sind aber auch Argumente ausschlaggebend, wie sie ebenfalls für die deutsche finanzielle Gewichtsetzung gelten, nämlich bereits bestehende lange Vorlaufzeiten bei der Förderung einzelner Technologiegebiete oder besondere industrielle und wissenschaftliche Strukturen.

2. Rückblick auf die bisherigen Programme und ihre Zielsetzungen

Die Schwerpunkte der staatlichen Energieforschung haben sich im Laufe der Zeit deutlich verändert (siehe **Abb. 2**). Dies hat seine Ursache vor allem in den unterschiedlichen Problemen, die mit den Programmen bearbeitet werden sollten.

Den Anfang markierte die erste Ölpreiskrise von 1973. Die Antwort von Forschung und Entwicklung auf diese Herausforderung bestand in konsequenten, breit angelegten Programmen zur Entwicklung neuer Energiequellen sowie Energieumwandlungs- und -nutzungssysteme. Vor allem die Kernenergie als die seinerzeit am schnellsten realisierbar erscheinende Alternative zum Erdöl, aber auch neue Techniken zur Kohlenutzung und der Einstieg in die erneuerbaren Energiequellen wurden gefördert. Es wurde also in erster Linie eine Energieangebotsstrategie gewählt, da diese am geeignetsten schien, um das Ziel „weg vom Öl“ so schnell wie möglich zu erreichen. Die Bundesrepublik Deutschland stand damit nicht allein; auch die übrigen Länder der damals gegründeten Internationalen Energieagentur (IEA) bei der OECD in Paris folgten diesem Weg. Im Vordergrund der dafür in Deutschland aufgelegten Programme, nämlich des vierten Atomprogramms 1973 und des Rahmenprogramms Energieforschung 1974. stand deshalb der Nachweis der technischen Machbarkeit neuer Systeme zur Energieerzeugung.

Die mit der Durchführung dieser Programme einhergehenden Diskussionen zeigten sehr bald die große Bedeutung, die neben den Energie-Bereitstellungstechniken auch der Effizienzsteigerung bei Umwandlung und Nutzung von Energie zukommt: Erst die Kombination von diversifizierter, gesicherter Versorgung mit effizienter Umwandlung und Nutzung von Energie stellte den Ansatz dar. der für eine umfassende, langfristig angelegte Strategie zur Verringerung der Ölabhängigkeit notwendig war. Das 1. Programm Energieforschung und Energietechnologien trug dem 1977 Rechnung, indem es der Fortführung der Angebotsstrategie einen umfassenden, systematischen Ansatz für Forschung und Entwicklung von Techniken zur Energieeinsparung und zur rationellen Energieverwendung zur Seite stellte. Mit fortschreitender Entwicklung gewannen Anfang der 80er Jahre zunehmend Fragen der Wirtschaftlichkeit und Fragen nach der Akzeptanz neuer Energietechniken, letztere vor allem aufgrund der wachsenden Kontroverse um die Nutzung der Kernenergie, an Bedeutung. Die Akzeptanzdebatte war eng mit Sicherheits- und Umweltaspekten verknüpft. Das 2. Programm Energieforschung und Energietechnologien nahm deshalb 1981 beide als weitere Schwerpunktthemen hinzu.

Das 3. Programm Energieforschung und Energietechnologien vom Februar 1990 hat dann Umwelt und Akzeptanzprobleme konsequent aufgegriffen und zu einem zentralen Thema gemacht. Es war damals das erste Energieforschungsprogramm innerhalb der IEA-Staaten, das bereits derart konzipiert wurde. Der Gedanke, daß nicht eventuelle Verknappungen von Ressourcen, sondern ihre uneingeschränkte Nutzbarkeit aus Umwelt- oder Akzeptanzgründen zu einem ernsthaften Problem für eine gesicherte Energieversorgung unter volkswirtschaftlich tragbaren Bedingungen werden könnte, war zu der Zeit erst in den Anfängen der Diskussion. Die seither eingetretenen Entwicklungen, vor allem im Hinblick auf das CO_2-Problem im Zusammenhang mit der Nutzung der fossilen Energiequellen, die nach wie vor die Energieversorgung dominieren, haben die damaligen Einschätzungen bestätigt Die Ausrichtung des 3. Programms Energieforschung und Energietechnologien hat sich also im nachhinein als richtig herausgestellt. Die erzielten Ergebnisse ermöglichen es jetzt, den eingeschlagenen Weg mit besser fundiertem Wissen konsequent im Sinne der neuen Forschungsstrategie dieses Programms weiterzugehen.

Zusätzlich zu den Ergebnissen der bisherigen Energieforschungsprogramme steht jetzt auch das gesamte technische Wissen zur Verfügung, das seit der ersten Ölpreiskrise in den **neuen Bundesländern**

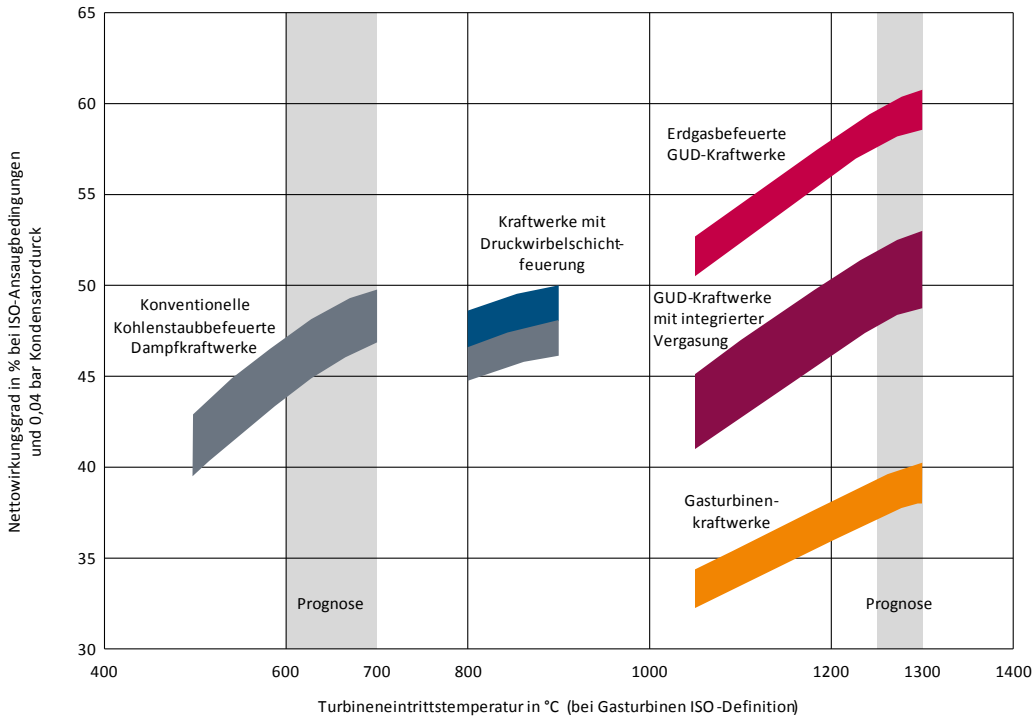


Abb. 5: Nettowirkungsgradverlauf bei Kraftwerken der 600-MW-Klasse

erarbeitet worden ist. Hierzu gehören Technologien wie die Kohle-Staubdruckvergasung, die Karbiderzeugung aus Braunkohle, Kohleverflüssigung und Brikettierung, natürliche Kältemittel, Geothermie, Kraftwerks- und Kerntechnik, Fernwärme oder Wärmepumpen.

Die Wiedervereinigung Deutschlands hat damit auch für die Energieforschung einen großen Gewinn gebracht und die technologische Basis unseres Landes zur Erreichung der Zielsetzungen dieses Programms erheblich verstärkt.

3. Programmschwerpunkte

Vorbemerkungen

Die im folgenden beschriebenen **Programmschwerpunkte stellen jeweils nur einen Rahmen dar**, der durch konkrete Einzelaktivitäten und Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auszufüllen ist.

Wie der Informationskasten zeigt, wurden zur Vorbereitung und Festlegung der im folgenden beschriebenen Aufgaben eine Reihe von Expertengesprächen, Statusseminaren und Arbeitstreffen durchgeführt. Dadurch sollte sichergestellt werden, daß die Auswahl der konkreten Forschungs- und Entwicklungs-Themen auf eine möglichst breite Wissensbasis gestellt werden konnte.

3.1 Reduzierung des Energiebedarfs

Für die Entwicklung von Techniken zur weiteren Reduzierung des Energiebedarfs und zur Senkung der Klimaschadgase soll sowohl bei der Energieumwandlung als auch bei der Endenergienutzung angesetzt werden. Dabei wird nicht nur auf die Erhöhung von Wirkungsgraden und auf Effizienzsteigerungen abgezielt, sondern es wird auch die Sonnenenergie für die Bereitstellung von Wärme (Solarthermie) mit- einbezogen, da sie längerfristig ebenfalls zur Senkung des Bedarfs an fossilen Energien durch Nutzung dezentraler Techniken im Gebäudebereich beitragen kann.

Energieeffizienz hat über die Senkung des Energiebedarfs hinaus auch eine wirtschaftspolitische Bedeutung, denn sie wird in zunehmendem Maß ein Qualitätsmerkmal industrieller Ausrüstungsgüter und Endprodukte, und sie ist damit wichtig für den Produktionsstandort Deutschland und den Wettbewerb auf internationalen Märkten.

3.1.1 Effizienzsteigerung bei Energieumwandlung und neue Sekundärenergien

Wie die unter Abschnitt 1 angesprochenen Analysen ausweisen, stellt die Energieumwandlung, und hier besonders die Kraftwerke, denjenigen Sektor in unserem Energiesystem dar, der für CO_2-Reduktionen in technischer Hinsicht besonders relevant ist. Der Grund dafür liegt im Mix der dafür genutzten Primär-

energien: Im Jahr 1995 bestand er zu ca. 63% aus fossilen Energien, zu ca. 29% aus Kernenergie, zu ca. 5% wurde die Wasserkraft und zu ca. 1% andere erneuerbare Energien eingesetzt. D.h. gut ein Drittel der Strom-Erzeugung erfolgte durch CO_2-freie Energien. Das entspricht einer jährlichen CO_2 Einsparung von ca. 160-170 Mio. t; eine beträchtliche Größe im Vergleich zur gesamten energiebedingten CO_2 Gesamtemission von 1004 Mio. t (Stand 1995). Im Mix von CO_2-freier zu CO_2-belasteter Energieproduktion nimmt Deutschland weltweit einen mittleren Platz ein, wie **Abb. 3** veranschaulicht.

Angesichts der Akzeptanzprobleme bei der Kernenergie, den begrenzten Ausbaumöglichkeiten für die Wasserkraft und den auch auf absehbare Zeit noch geringen Beiträgen erneuerbarer Energien werden Stein- u. Braunkohle sowie Erdgas noch lange die dominierenden Primärenergien für die deutsche Strom- und Fernwärmeerzeugung bleiben. Es besteht daher nach wie vor für die Energietechnologie-Politik die wichtige Aufgabe, dafür Sorge zu tragen, daß erstens die entsprechenden Techniken weiterentwickelt werden, um höchstmögliche Wirkungsgrade bei der Umwandlung fossiler Energien in Kraft- und Fernheizwerken zu erreichen, und daß zweitens die heute schon zur Verfügung stehenden Techniken mit hohem Wirkungsgrad schnellstmöglich zum Einsatz kommen. Letzteres liegt vor allem in der Verantwortung der deutschen Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU). Die Bundesregierung begrüßt deshalb die Erklärungen auch der EVU vom 27. März 1996 für eine Selbstverpflichtung zur Reduktion von CO_2 Emissionen, und sie wird mit großer Aufmerksamkeit ihre Umsetzung verfolgen.

Auch die Entwicklung der neuen Techniken kann nicht alleine Aufgabe der Bundesregierung sein. Hier kommt sowohl den EVU, als auch den deutschen Herstellern.

von Kraftwerksanlagen eine besondere Verantwortung zu, und zwar sowohl bei der Mitfinanzierung entsprechender Forschungs- und Entwicklungs-Vorhaben, als auch bei ihrer genauen Definition. Nur so kann die Entwicklung der neuen Techniken möglichst zielgerichtet betrieben und ihre schnellstmögliche Anwendung erreicht werden. D.h. die zukünftige Weiterentwicklung der fossilen Kraftwerkstechnik muß in möglichst weitgehender Synergie zwischen EVU, Herstellern und staatlicher Technologiepolitik erfolgen. Um dies zu gewährleisten, soll ein Gesprächs- und Koordinierungsgremium unter Einschluß aller Beteiligten eingerichtet werden.

Ein weiterer Aspekt darf an dieser Stelle nicht außeracht gelassen werden: Für die Stromversorgung z.B. der Länder der Dritten Welt oder in Mittel- und Osteuropa sind fossile Energien noch für lange Zeit die wichtigsten Quellen für eine ständig wachsende Stromerzeugung. Neue Techniken mit verbesserten Wirkungsgraden tragen deshalb nicht nur in Deutschland zur CO_2-Reduktion bei, sondern sie können auch weltweit helfen, den CO_2-Anstieg zu bremsen. Sie haben also eine Dimension, die weit über den heimischen Blickwinkel hinausgeht.

Die Forschungsförderung der Sekundärenergietechniken beschränkt sich in diesem Programm auf Fernwärme und - unter längerfristigen Gesichtspunkten - auf Wasserstoff. Eine solche Beschränkung in einem wichtigen Teil des Energiesystems wird dadurch möglich, daß die Entwicklung der klassischen Sekundärenergietechniken wie z.B. Stromtransport und -Verteilung von Wissenschaft und Wirtschaft mit eigenen Mitteln durchgeführt wird. Dies gilt auch für Öl- und Gastransporttechniken.

Die Forschungs- und Entwicklungs-Aufwendungen für diesen Programmschwerpunkt haben sich im Zeitraum von 1990 bis 1995 wie folgt entwickelt (Angaben in Mio DM):

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
BMBF-Projektförderung:						
Kraftwerkst./fossile Energie	58,8	40,7	38,1	30,6	27,5	25,8
Wasserstoff/Brennstoffzellen	18,1	23,2	20,8	23,2	28,4	21,2
Elektrische Speicher	7,2	4,4	2,4	1,2	2,2	2,4
Fernwärme	7,6	7,2	7,3	5,9	4,6	7,5
Großforschungszentren	11,0	8,2	14,6	20,4	18,6	12,5

Für die weitere Entwicklung ist folgende Planung vorgesehen (Angaben in Mio DM):

	1996	1997	1998	1999	2000
BMBF-Projektförderung:					
Kraftwerkst./fossile Energie	34,0	42,4	45,4	47,4	50,0
Wasserstoff/Brennstoffzellen	22,6	23,6	24,6	26,6	27,0
Elektrische Speicher	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0
Fernwärme	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Großforschungszentren	12,8	12,7	13,0	13,2	14,0

3.1.1.1 Kraftwerkstechnik, Verbrennungsforschung

a) Rückblick auf die Ergebnisse früherer Programme

Die Arbeiten zu diesem Forschungsschwerpunkt wurden bisher im Rahmen des Themas „Fossile Energien“ gefördert, das seit 1974 immer ein wichtiger Schwerpunkt der Energieforschungsprogramme gewesen ist. Dabei war das Aufgabenspektrum weitgespannt. Es reichte von der Exploration über Gewinnungs- und Abbaumethoden bis zur Kraftwerkstechnik und der Kohleverflüssigung bzw. Gaserzeugung aus Kohle. Davon wurden inzwischen

Tabelle 1: Statusseminare, Workshops, Fachgespräche 1992-1996

Termin	Ort	Thema (Auswahl)
		Kraftwerkstechnik
Mai 92	Bonn	Braunkohle-Kombikraftwerke mit Druckwirbelschicht
Dez 92	Köln	Statusseminar Hochtemperatur-Gasturbine
Jun 93	Köln	Werkstoffe für Kraftwerkstechnik
Nov 94	Bonn	Heißgasreinigung
Nov 94	Frechen	Braunkohlekraftwerstechnik
Jun 95	Bonn	Hochtemperatur-Gasturbinen
Nov 95	München	Verbrennungsforschung
Nov 95	Bonn	Neue Werkstoffe für Kraftwerke
		Fernwärme, energiesparende Industrieverfahren
Aug 92	Dinslaken	Femwärmesanierung Ost
Okt 92	Münster	Rationelle Energieverwendung in der Industrie
Mai 93	Rügen	Regionale Energiekonzepte
Okt 93	München	Statusseminar „Fernwärme“
Mrz 94	Karlsruhe	Absorptions-Wärmepumpen
Sep 94	Berlin	Energie- und C02-Minderungskonzepte
Feb 94	Bonn	Elektrolyse
Mrz 94	Essen	Mengenzähler bei Fernwärmemessungen
Jul 92	Sinzig	Erneuerbare Energien Brennstoffzellen
Nov 92	Kassel	PV-Fassadentechnik
Dez 92	Smzig	Wind-Strategiegespräch
Apr 93	Bad Breisig	PV-Statusseminar
Jul 93	Simonskall	kristalline Si-Dünnschichtzellen
Aug 93	Dresden	Expertenkolloquium Bioenergie
Jan 94	Glottertal	PV-Strategiegespräch
Apr 94	Stuttgart	Thermische Nutzung von Biomasse
Mai 94	Flau am See	Wind-Strategiegespräch
Okt 94	Schwein	Statusseminar Geothermie
Dez 94	Dresden	Energieerzeugung aus Miscanthus
Mai 95	Stuttgart	Logistik für Bioenergie
Mai 95	Cottbus	Solarenergietage
		Solarthermie, rationelle Energieverwendung
Feb 92	Jülich	Tageslichtnutzung
Mrz 92	Bad Honnef	Selektive Schichten in der Solartechnik
Mrz 93	Bonn	Energietechnische Optimierung der Solarapertur
Mai 93	München	Statusseminar Thermische Energiespeicherung
Mai 94	Dresden	Solaranterstützte Klimatisierung
Sep 94	Hannover	Solaroptimierte Gebäude mit minimalem Heizwärmebedarf
Nov 94	Dortmund	Lüftungsanlagen
Apr 95	Bonn	Workshop Fenster 2000
Okt 95	Bonn	Integrale Planung energieoptimierter Gebäude
Okt 95	Weimar	Energetische Sanierung von Plattenbauten in neuen Bundesländern
Dez 95	Essen	Stirlingmotoren
Jan 96	Karlsruhe	Entwässern und Trocknen
Mrz 96	Jülich	Effizienzverbesserungen zur Berechnung von Raumluftströmungen
		Kerntechnik
Jul 92	Köln	Sicherheitsforschung für WER
Okt 92	Stuttgart	Bruch- und Strukturmechanik
Okt 92	Erlangen	Fachinformation PKL
Mrz 93	Mannheim	UPTF-Fachtagung
Sep 93	Köln	Sicherheitsforschung für WER
Okt 93	Stuttgart	Bruch- und Strukturmechanik
Sep 94	Saarbrücken	akustische- und elektomagnetische Wellenausbreitung
Okt 94	Stuttgart	Bruch- und Strukturmechanilc
Okt 95	Stuttgart	MPA-Seminar zum Werkstoffverhalten

Tabelle 2: Brennstoffzellen für mobile und stationäre Anwendungen

Typ	Elektrolyt	Arbeits-temperatur	Besonderheiten	Anwendung	Stand Deutschland D	Stand International AL
AFC Alkaline Fuel Cell	wäßrige Kalilauge	60°-120° C	nur für reines H2 und 02 C02 empfindlich	Raumfahrt, Wehrtechnik	100 kW-Aggregate kommerziell verfügbar	siehe Deutschland
DMFC Direct Methanole Fuel Cell	protonenleitend Polymermembran	wie PEM	keine Reformierung notwendig, noch im Labor-Stadium	Fahrzeuge	Labormessungen an Elektroden	siehe Deutschland
PEMFC Proton Exchange Membrane Fuel Cell	protonenleitend Polymermembran	20°-120°C	hohe Leitungsdichte	Fahrzeuge, dezentrale Stromerzeugung	40 kW UBoot-Aggregat 1.0 kW Energ.Aut. Hs Fb Demo-Van Daimler-Benz	Ballard Kanada 120 kW Testbus Luft, H2, 30 kW stationär
PAFC Phosphoric Acid Fuell Cell	Phosphorsäure	160°-220° C	begrenzter Wirkungsgrad -Korrosions-Luftbetrieb möglich	dezentrale Stromerzeugung Probleme Kraft-Wärme-Kopplung	-	USA: 200 kW- Aggregate kommerziell verfügbar Demoprojekte um 1 MW (Japan)
MCFC Molten Carbonate Fuel Cell	geschmolzene Karbonate	600°-650°C	komplexe Prozeßführung Korrosionsprobleme interne Reformierung von H2/CO-Gemischen (Kohlegas)	zentrale und dezentrale Sondereinsätze, K-W-Kopplung	10-20 kW Probebetrieb	USA: 2 MW-Demokraft-werkin Santa Clara
SOFC Solid Oxide Fuel Cell	festes Zirkonoxid	850°- 1000°C	interne Reformierung Laborstadium-Keramiktechnologie H2/CO - Gemische (Kohlegas)	zentrale und dezentrale Sondereinsätze, K-W-Kopplung	1-2 kW-Stacks (Planartechnologie)	USA: 20-40 kW (Röhrentechnologie)

1) engl.: Fuel Cells (FC)

viele Aufgaben abgeschlossen, wie z.B. die Kohlebergbautechnik und die Verfahren zur Kohle Veredelung.

Die wesentlichen Ergebnisse der Forschungsforderung, die im Rahmen des Vorläuferprogramms erzielt wurden, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Technik der atmosphärischen zirkulierenden Wirbelschichtfeuerung für kleine und mittlere Kraft- und Heizkraftwerke hat erfolgreich Eingang in den Markt gefunden, sowohl im Inland als auch im Ausland.
- Durch neue wissenschaftlich-technische Lösungen, die gezielt gefördert wurden, konnten die Voraussetzungen für die Umsetzung der Großfeuerungsanlagen-Verordnung geschaffen werden. Es wurden geeignete Verfahren der Rauchgasentschwefelung und -entstickung für den großtechnischen Einsatz in Kraftwerken entwickelt. Gegenüber 1980 konnten dadurch die Emissionen aus Kraftwerken der alten Bundesländer bei SO; um mehr als 80% und bei NOx um über 70% reduziert werden.
- Mehrere Verfahren zur Kohlevergasung sind soweit ausgereift, daß sie bei Gas- und Dampfturbinenkraftwerken eingesetzt werden können. Erste Anlagen befinden sich bereits im Bau oder in Betrieb, die Wirkungsgrade von 43% bis 44% erreichen. Die Forschungsarbeiten konnten deshalb erfolgreich abgeschlossen werden.
- Im Rahmen der Verbundforschungsvorhaben „Hochtemperatur-Gasturbine“ und „Tecflam“ wurden durch umfangreiche Grundlagenforschungsarbeiten die Voraussetzungen dafür geschaffen, die Leistungsgröße und den Wirkungsgrad bei Turbomaschinen zu erhöhen sowie die Entstehung von Schadstoffen bereits bei der Verbrennung zu reduzieren.
- Die Verbesserung der einzelnen Kraftwerkskomponenten führte zu wesentlichen Wirkungsgradsteigerungen im Gesamtsystem.

b) Sachstand

Die fossile Kraftwerkstechnik hat im Laufe der Jahre große Fortschritte gemacht. Moderne kohlebefeuerte Dampfkraftwerke erreichen z.B. heute Wirkungsgra-

de von 43%. Das sind 30% mehr als noch vor 35 Jahren. Entsprechend hoch ist die Einsparung von Brennstoff bei gleicher Kraftwerksleistung und damit auch die Vermeidung umwelt- u. klimaschädlicher Emissionen. So wurde von 1960 bis 1995 der spezifische Brennstoffverbrauch z. B. in Steinkohlekraftwerken von 410 auf 290g Kohle/kWh gesenkt (siehe **Abb. 4**).

Weiterhin wurde auf der Grundlage von Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten der Grundlagenforschung, die zu einem großen Teil im Rahmen der Vorläuferprogramme gefördert wurden, die Effizienz von Gasturbinen aus deutscher Fertigung erheblich gesteigert und durch spezielle Auslegungen die Anwendungsmöglichkeiten auf den Bau moderner Gas-/Dampfturbinenkraftwerke (GuD-Technik) erweitert.

Insgesamt kann festgestellt werden, daß mit staatlicher Forschungsförderung die Grundlagen und ersten Entwicklungsschritte aller moderner Kraftwerkstechniken, insbesondere für die GuD-Technik mit integrierter Kohlevergasung, die zirkulierende Wirbelschichtfeuerung und die Druckwirbelschichtfeuerung, in Deutschland erarbeitet wurden.

So wird der erreichte Stand hinsichtlich der GuD-Kraftwerke mit integrierter Kohlevergasung durch das 1994 in Buggenum/Niederlande in Betrieb genommene Kraftwerk repräsentiert, das weitgehend auf deutscher Anlagen-Technik aufbaut. Im Rahmen eines EU-Thermie-Projekts wird in Puertollano/Spanien mit deutschen Anlagenbauern eine ähnliche Anlage verwirklicht. Die Druckwirbelschichttechnik wird derzeit in vier Anlagen weltweit erprobt.

Unter Einsatz aller heute verfügbaren Techniken wäre es möglich, die heutigen durchschnittlichen Wirkungsgrade für Kohlekraftwerke (35 % für

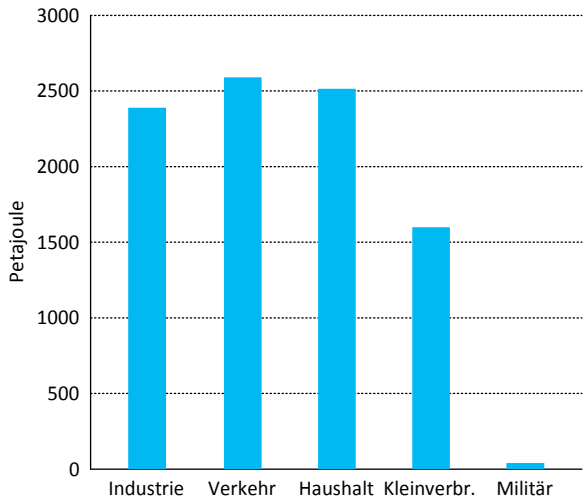


Abb. 6: Struktur des Endenergieverbrauchs 1994

Stein-, 33 % für Braunkohle) zusätzlich um absolut 7,5 bzw. 8 %-Punkte zu steigern. Dadurch könnten die CO_2-Emissionen im Kraftwerkssektor mit moderner Technik bereits um beinahe 19% gesenkt werden. Hochgerechnet auf die gesamte Bundesrepublik würde dies - bezogen auf das Jahr 1994 - eine CO_2 Reduktion um insgesamt ca. 3,5% bedeuten, also ein bedeutender Beitrag für das 25%-Reduktionsziel.

Vorstellbar wäre ein weiteres Potential für CO_2-Senkungen bei Steinkohle um ca. 11% und bei Braunkohle um ca. 7%. Grundlage für diese Einschätzung ist ein Bericht, der in Zusammenarbeit von BMBF, VDEW und VGB erarbeitet und 1994 unter dem Titel „Kohlekraftwerke der Zukunft: sauber und effizient" veröffentlicht wurde. Die nachfolgend skizzierten Forschungs- und Entwicklungs-Aufgaben beruhen weitgehend auf den Ergebnissen dieses Berichts. Weiterhin wurden die Empfehlungen eines Gesprächszirkels beim BMWi vom November 1994 (BMWi- Dokumentation 361) berücksichtigt.

c) Weiteres Vorgehen

Mit dem nachfolgend beschriebenen weiteren Vorgehen sollen vor allem drei Ziele erreicht werden:

1. Führung des Nachweises, daß bestehende Kraftwerke in energetischer Hinsicht unter Nutzung des bis jetzt entwickelten, neuesten Standes von Wissenschaft und Technik weiter optimiert werden können. Damit sollen technische Beispiele gegeben werden, um möglichst **kurzfristig** erste deutliche Schritte für eine nachhaltigen Senkung der CO_2 Emissionen aus öffentlichen Kraftwerken fordern zu können, wie sie in der Selbstverpflichtung der deutschen Elektrizitätswirtschaft 1995 und 1996 formuliert wurden.
2. Entwicklung von technologischen Zukunftskonzepten mit deutlich weiter gesteigerten Wirkungsgraden und Nachweis ihrer Machbarkeit, so daß sie **mittel- bis längerfristig** als wirkungsvolle, nachhaltige CO_2 Reduktionsoptionen funktionsfähig zur Verfügung stehen.
3. Durchführung eines Grundlagenforschungsprogramms, das die Arbeiten zur Erreichung der vorgenannten Ziele unterstützt und auch wissenschaftliche Erkenntnisse zum verbesserten Verständnis der gesamten Verbrennungsvorgänge und damit zu ihrer Optimierung liefert.

Die mit der Erreichung dieser Ziele verbundenen Aufgaben werden im folgenden kurz umrissen.

(1) Weiterentwicklung des Dampfkraftwerks

In absehbarer Zeit werden Dampfturbinen-Kraftwerke auf Kohlebasis auch weiterhin vorrangig zur Stromerzeugung beitragen. Obwohl es sich hierzunächst um eine konventionelle Technik handelt, be-

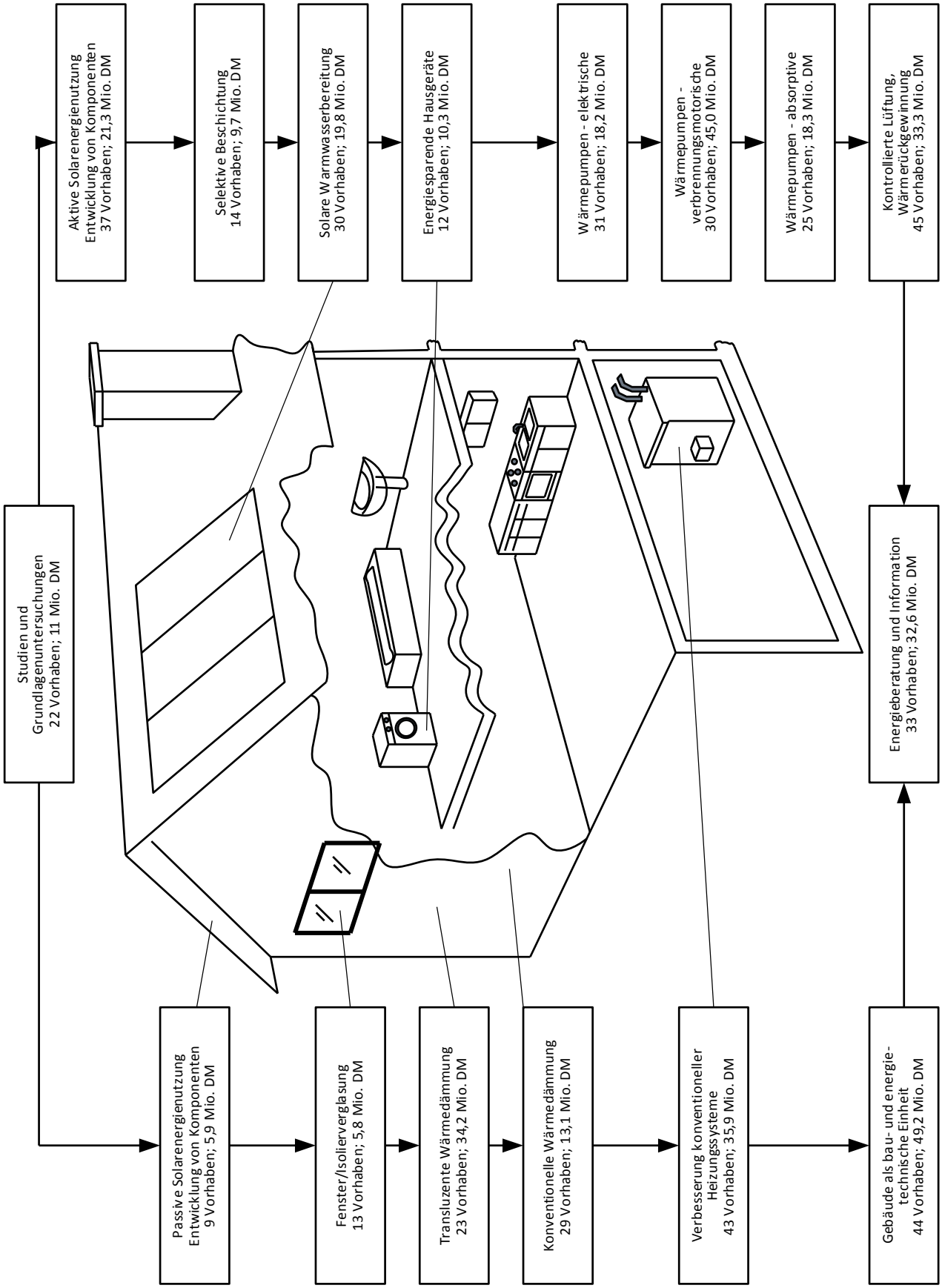


Abb. 7: Forschungsförderung im Gebäudebereich

steht dennoch erhebliches Entwicklungspotential. Bedingt z.B. durch die absehbaren Fortschritte in der Werkstofftechnik, wurden höhere Prozeßparameter und damit höhere Wirkungsgrade möglich. Für heutige Technik erreichbar sind Wirkungsgrade von 45 % bei Steinkohle- und 42 % bei Braunkohle-Kraftwerken. Technische Ansatzpunkte für eine weitere Entwicklung sind Fortschritte bei folgenden Komponenten zu sehen:

- Dampferzeuger
- Feuerungen und Brenner
- Dampfturbinen einschließlich Kondensator
- Korrosions- und erosionsfeste Materialien

(2) Weiterentwicklung des Kombikraftwerks

Das klassische Dampfkraftwerk stößt bei der weiteren Steigerung des Wirkungsgrades, selbst bei Nutzung neuer Werkstoffe, an natürliche Grenzen. Eine Möglichkeit, dennoch zu höheren Wirkungsgraden zu kommen, ist die kombinierte Gas-/Dampfturbinen-Technik. Damit kann das Energieangebot des eingesetzten Brennstoffs besser genutzt werden. Mit der Vorschaltung und Wärmekopplung zwischen Gas- und Dampfturbine wird die Wärme bei höherer Temperatur und höherem Druck genutzt. Der thermische Wirkungsgrad wächst erheblich. Durch den Einsatz der Brennstoffe Gas und Öl sind im Bestpunkt Wirkungsgrade von 55 % möglich, denkbar sind sogar bis zu 60 %. Wegen der Bedeutung der Kohle als derjenigen fossilen Primärenergie mit den langfristig größten geologischen Reserven, ist die Entwicklung der GuD-Technik für den Brennstoff Kohle von besonderem Interesse.

Dafür soll die technische Entwicklung vorwiegend auf folgenden Gebieten unterstützt werden:

- Kombikraftwerke mit integrierter Gaserzeugung aus Kohle

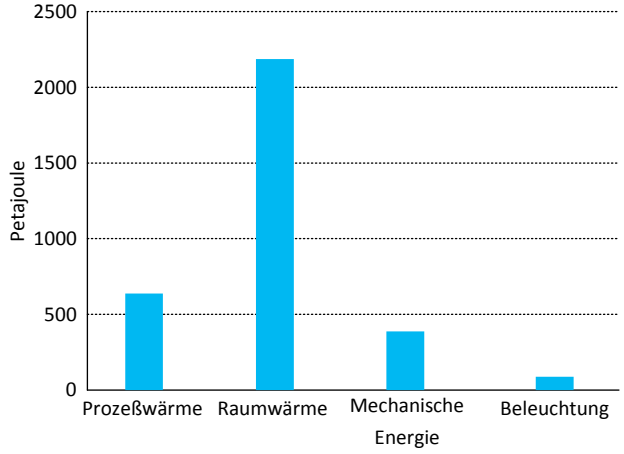


Abb. 8: Struktur des Endenergieverbrauchs für Haushalte und Kleinverbraucher (alte Bundesländer) 1992

- Kombikraftwerke mit Druckwirbelschichtfeuerung
- Druckkohlenstaubfeuerung
- Indirekte Feuerungssysteme
- Werkstoffe und Einzelkomponenten für Hochtemperaturgasturbinen

In **Abbildung 5** ist zusammengefaßt dargestellt, wie sich nach gegenwärtigem Kenntnisstand die Nettowirkungsgrade fossilgefeuerter Kraftwerke in Zukunft entwickeln könnten.

(3) Anwendungsorientierte Grundlagenforschung

Wie vorher dargelegt, sollen mit diesem Aufgabenbereich Erkenntnisse erarbeitet werden, die projekt- bzw. konzeptübergreifend die Ausgangsbasis schaffen, um Schlüsselprobleme künftiger Kraftwerkstechnik zu lösen. Nach derzeitigem Kenntnisstand bedürfen vor allem folgende Gebiete weiterer Anstrengungen im Bereich der Grundlagenforschung:

- Verbrennungsprozesse
- Grundlagenuntersuchungen zur Kohleumwandlung
- Materialforschung, um bei ausreichenden Lebensdauern höhere Prozeßtemperaturen zu erreichen und Korrosionen zu vermindern
- Heißgasreinigung
- Energieumwandlung in Strömungsmaschinen
- Neue Ansätze für Prozeßführung und Prozeßüberwachung.

Wie in der Sachstandsbeschreibung dargelegt, können und sollen die unter (1) bis (3) aufgeführten Forschungs- und Entwicklungs-Aufgaben nicht allein mit staatlichen Mitteln gefördert werden. Hier ist ein integrierter Ansatz aller Verantwortlichen unumgänglich, um ein weiteres zielgerichtetes Vorgehen zu gewährleisten. Ein denkbarer Ansatz, um dies zu erleichtern, ist die Durchführung eines Leitprojektes, etwa in Form eines kleineren Kohle-GuD-Kraftwerks mit technisch besonders ehrgeizigen Zielsetzungen, an dem sich Hersteller, EVU und die staatlichen Forschungsförderung gemeinsam beteiligen, um dadurch einen großen technischen Sprung zu deutüch höheren Wirkungsgraden zu erreichen; solche Sprünge sind aus heutiger Sicht notwendig, um in überschaubaren Zeiträumen eine wirklich nachhaltige CO_2-Reduktion in Deutschland zu realisieren.

3.1.1.2 Brennstoffzellen, Wasserstoff, elektrische Energiespeicher

a) Rückblick auf die Ergebnisse früherer Programme

Die Entwicklung von Brennstoffzellen und die Wasserstofftechnik wurden in früheren Programmen bei den emeuerbaren Energien eingegliedert. Im Zuge der zunehmenden Bedeutung, die diesen Techniken langfristig zukommen kann, wurden sie zu einem eigenen Programmteil zusammengefaßt.

Folgende wesentliche Aufgaben wurden durchgeführt:

- Größere Systemkomponenten zur Erzeugung, Speicherung und Anwendung von Wasserstoff-Techniken, wie z.B. Hochleistungselektrolyseure, wurden entwickelt
- Demonstration der Wasserstofftechnik in den beiden Großprojekten „Solar-Wasserstoff-Bayem" und ‚Hysolar" in Saudi-Arabien
- Zusammenfassung der Brennstoffzellenforschung in zwei Leitprojekte
- Beginn eines Flottenversuchs mit 62 Elektrofahrzeugen auf der Insel Rügen.

b) Sachstand und weiteres Vorgehen Brennstoffzellen

Brennstoffzellen (BZ) wandeln die Energie eines Brennstoffs (Wasserstoff, Erd-, Kohle-, Biogas u.a.) auf elektrochemischem Wege in Elektrizität um. Sie unterliegen nicht den Wirkungsgradbeschränkungen thermischer Kreisprozesse, wie sie z. B. in Dampfkraftwerken genutzt werden, und weisen theoretische Wirkungsgrade für die Stromerzeugung von 95 % auf (praktisch wurden bereits 60-70 % erreicht). Neben der hohen Effizienz der Energieumwandlung (CO_2-Reduktion!) verfügen die Brennstoffzellen auch über sehr geringe Schadstoffemissionen.

Obwohl das Prinzip der Brennstoffzelle seit langem bekannt ist, lassen erst die Entwicklungen der letzten Jahre die bisherigen technischen Probleme überwindbar erscheinen. Eine Einführung der Brennstoffzellen in die Energiewirtschaft in nennenswertem Umfang kann aber nur stattfinden, wenn es auch gelingt, die Herstellkosten auf ein konkurrenzfähiges Niveau zu drücken.

Einen Überblick über die verschiedenen Brennstoffzellentypen und ihre Anwendungsgebiete zeigt **Tabelle 2**.

Abgesehen von Spezialanwendungen für die Bereiche Weltraum (alkalische BZ) und Unterwassertransport (Proton-Exchange-Membrane) steht nur die vor allem in den USA und Japan entwickelte phosphorsaure Brennstoffzelle (PAFC) kurz vor der Markteinführung.

Die Forschungsförderung der Bundesregierung konzentriert sich zur Zeit vor allem auf zwei Leitprojekte, die in Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft durchgeführt werden:

- *Die Entwicklung der Festoxid-BZ-Technik (SOFC) für den Einsatz im Kraftwerksbereich, hier besonders im Leistungsbereich 0,2 bis 5 MW für Blockheizkraftwerke.*
  Hochtemperatur-Brennstoffzellen erlauben neben der reinen Stromerzeugung, z.B. in Kombination mit einer nachgeschalteten Gas- und Dampfturbinenanlage auch die Auskoppelung von hochwertigem Prozeßdampf. Die hohe Temperatur ermöglicht auch die sogenannte interne Reformierung. Dadurch sinkt der apparative Aufwand zur Brenngasaufbereitung, was einen erhöhten Systemwirkungsgrad zur Folge hat.

- *Die Entwicklung der Proton-Exchange-Membrane BZ (PEMFC) für den mobilen Bereich.*
  Aufgrund ihrer hohen Effizienz und der geringen Schadstoffemissionen könnte diese Niedertemperatur-BZ als Antriebsaggregat für PKWs den herkömmlichen Verbrennungsmotor zumindest in Teilbereichen ersetzen. Voraussetzung dafür ist jedoch eine deutliche Reduktion der Herstellkosten und - bei Einsatz des Brennstoffs Methanol - die Entwicklung geeigneter Reformatoren. Anders als bei batteriegetriebenen Elektrofahrzeugen gibt es beim BZ-Antrieb keine Anwendungseinschränkungen in Reichweite oder Ladezeit, da Methanol bei gleichem Tankvolumen gleiche Reichweiten wie Benzin erreicht und wie Benzin getankt werden kann.

Daneben wird auch die Entwicklung der Schmelzkarbonat-BZ (MCFQ gefördert. Diese Hochtemperatur-BZ bietet bei unterschiedlicher Konstruktion ähnliche Eigenschaften und Anwendungsgebiete wie die SOFC, weist aber einen deutlichen Entwicklungsvorsprung auf. Der erwartete Systemwirkungsgrad hegt etwas unter dem der SOFC, dafür ermöglicht die niedrigere Betriebstemperatur eine einfachere Gestaltung der Peripherie.

Wasserstoff

Das Interesse der Energieforschung an Wasserstoff ist zweifach: Zum einen kann dieses Gas als weiterer, umweltfreundlicher und gut transportierbarer Sekundärenergieträger verwendet werden und zum anderen kann er als Energiespeichermedium, z.B. für Elektrizität, dienen. Die Verbindung von Sonnenenergie als Primärenergiequelle und Wasserstoff als Sekundärenergieträger wäre darüber hinaus möglicherweise langfristig ein System, das die mangelnde Speicherfähigkeit von Solarstrom ausgleichen könnte, wenn Sonnenenergie eines Tages einen größeren Versorgungsanteil unseres Energiebedarfs übernehmen sollte.

Jede Wasserstofferzeugung über Elektrizität und Elektrolyse führt hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit zu dem Ergebnis, daß Wasserstoff pro Energieeinheit teurer sein muß als der zur Elektrolyse eingesetzte Strom. Das liegt zum einen an den Umwandlungsverlusten (heute 30%, ein Entwicklungsziel könnte bei unter 10% liegen) und zum anderen an den Kapitalkosten der Elektrolyse. Dies bedeutet, daß Elektrolyse-Wasserstoff nur dort eine wirtschaftliche Chance als Energieträger hat, wo Strom besonders kostengünstig zur Verfügung steht.

Die staatlich geförderten Forschungs- und Entwicklungs-Anstrengungen für Wasserstofftechnik sollen sich im Rahmen dieses Programms vor allem auf die Entwicklung von Systemkomponenten konzentrieren, die zur Erzeugung (z.B. Hochleistungselektrolyseure), Speicherung und Anwendung von Wasserstoff (z.B. Wasserstoffmotoren, katalytische Heiz- und Kühlsysteme) dienen. Die Fragen des Umgangs mit Wasserstoff, vor allem der Transport, können als soweit gelöst angesehen werden, daß kein größerer

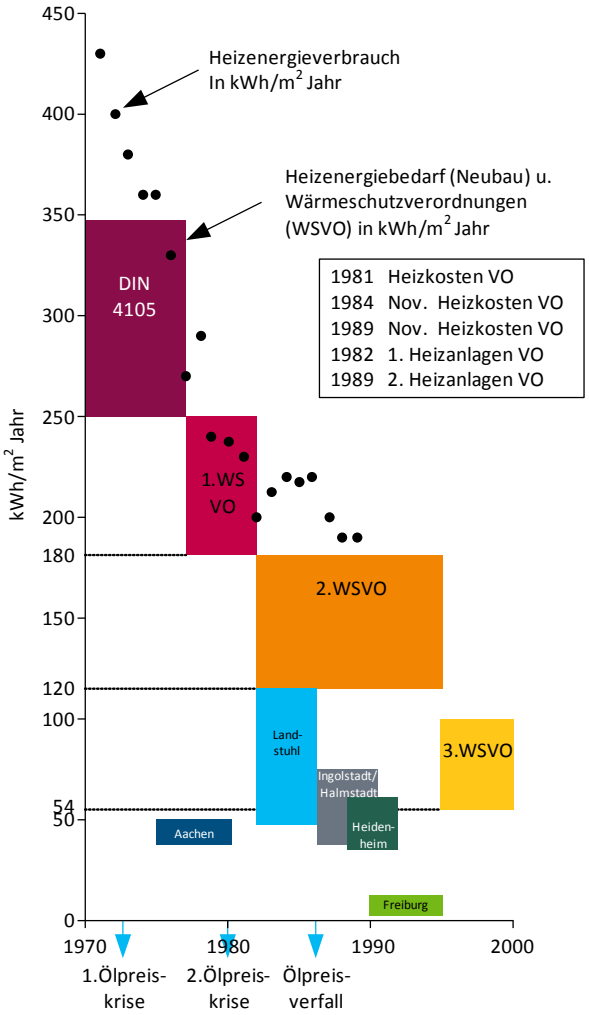


Abb. 9: Entwicklung des Raumwärmebedarfs in den alten Bundesländern

Forschungs- und Entwicklungs-Bedarf mehr für eine öffentliche Förderung besteht.

Ein Zeithorizont für einen großtechnischen Einsatz von Wasserstoff als Sekundärenergieträger für das deutsche Energiesystem läßt sich derzeit nicht angeben. Er muß aber wohl eher langfristig gesehen werden.

Elektrische Energiespeicher

Obwohl der Stand der elektrischen Energiespeichertechnik auf vielen Gebieten ausgereift und kommerziell verfügbar ist (z.B. Starterbatterien), stellt die Speicherung elektrischer Energie für besondere Anwendungsbereiche auch nach jahrzehntelanger Forschung ein noch nicht befriedigend gelöstes Problem dar. Die Notwendigkeit der Speicherung elektrischer Energie ist aber aktueller denn je, da z.B. für die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien mit stark fluktuierendem Charakter eine Speicherung von elektrischer Energie oft unumgänglich ist. Auch die Einführung von Elektro-Straßenfahrzeugen, die zu lokalen Emissionsminderungen führen sollen, setzt leistungsfähige und kostengünstige Speichersysteme voraus.

Gerade bei den beiden letztgenannten Bereichen, in denen ein echter Markt noch nicht besteht, ist vorerst noch eine staatliche Förderung von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig.

Inzwischen gilt es als gesichert, daß es „den“ elektrischen Energiespeicher nicht geben wird. Vielmehr werden zur Lösung der verschiedenen Speicheranforderungen unterschiedliche Speichersysteme entwickelt werden müssen. Der bisher klassische Weg zur Speicherung elektrischer Energie sind die elektrochemischen Systeme. Die bekannten Batterien auf Nickel/Metall-Hydrid- oder Lithium-Basis besitzen ein noch nicht ausgeschöpftes Entwicklungspotential. Um die zu speichernden Energiemengen zu erhöhen, können Anlagen, die nur von der Tankgröße abhängen, z.B. Redox-Systeme, Fortschritte bringen. Eine verbesserte Leistungsdynamik versprechen supraleitende Spulen und Hochleistungskondensatoren. Für die kurzfristige Bereitstellung elektrischer Energie zur Stabilisierung der europäischen Verbundnetze wird in einer Studie der Einsatz von supraleitenden elektrischen Energiespeichern (SMES) untersucht. Durch die Bereitstellung von elektrischer Leistung über Energiespeicher in Kombination mit Stromrichtern können Beeinträchtigungen empfindlicher Verbraucher durch Frequenz- und Spannungsschwankungen in elektrischen Netzen vermieden werden.

Von mehr allgemeiner Bedeutung sind weiterhin Maßnahmen für eine verbesserte Systemintegration elektrischer Energiespeicher. Für die Forschung ist

dabei die Dynamik von solchen Speichern und deren Verhalten im Gesamtsystem von Interesse.

Weiterhin für die Forschung bei elektrischen Energiespeichern interessant sind folgende Themen:

- Erhöhung des Energieinhalts elektrischer Speicher
- Steigerung des Wirkungsgrades und der Lebensdauer durch angepaßte, vom Speichertyp abhängige, intelligente Ladeverfahren, getackte Ladegeräte und verbesserte Überwachungseinheiten.

3.1.1.3 Fernwärme

a) Rückblick auf die Ergebnisse früherer Programme

Anders als bei der Stromerzeugung ist die öffentliche Forschungsförderung bei der Fern Wärmeversorgung zu beurteilen. Die entsprechenden, überwiegend kommunal strukturierten Versorgungsunternehmen sind nämlich finanziell nur begrenzt imstande, hier in ausreichendem Maß voranzugehen. Für Hersteller von Systemen und Komponenten existiert zwar teilweise reger Wettbewerb; die mittel- und langfristig unsichere Marktsituation erlaubt aber nur beschränkt, längerfristige Entwicklungen allein zu finanzieren. Die staatliche Forschungsförderung hat deshalb bei der Fernwärme auch die Aufgabe, Strukturdefizite in der Forschungslandschaft auszugleichen.

Folgende wesentliche Arbeiten wurden durchgeführt:

- Entwicklung und Erprobung kostengünstiger neuer Verlegemethode im Rahmen des Verbundvorhabens „Neuartige Wärme Verteilung bei Fernwärme“
- Entwicklung einer kompensationslosen Fernwärme-Rohrverlegung durch Selbstvorspannung
- Untersuchung von Zusätzen von Tensiden zur Senkung der Reibungswiderstände im Fernwärmerohr zur Steigerung des Wärmedurchsatzes bzw. Senkung des Pumpstromverbrauchs in vorhandenen Fernwärmesystemen
- Vorbereitende Planungsarbeiten zur Fernwärme-Sanierung-Ost in enger Abstimmung mit BMWI
- Förderung von 12 Energiekonzepten für Kommunen in den neuen Bundesländern
- Einsatz von Blockheizkraftwerken und Gaswärmepumpen in Nahwärmekonzepten
- Entwicklung mobiler Fernwärmekonzepte im Verbund mit schienengebundenen Mülltransporten und Müllheizkraftwerken
- Überarbeitung und Neugestaltung von Fernwärme-Hausübergabestationen.

b) Sachstand und weiteres Vorgehen

Das Forschungs- und Entwicklungs-Konzept für die Fernwärme wurde 1993 von der Fachwelt in einem öffentlichen Statusseminar bewertet und auf seine weitere Fortsetzung hin kritisch untersucht. Ausgangspunkt dafür war die energiewirtschaftliche Bedeutung der Fernwärme, die unter den verschiedenen Energieformen zur Raumwärme- und Brauchwasserversorgung sowie zur Bereitstellung von Prozeßwärme eine Sonderstellung einnimmt; denn sie eröffnet vielfältige Möglichkeiten der Einsparung von Primärenergie, die bei der konkurrierenden Wärmeversorgung mit Öl, Gas und Kohle so nicht gegeben sind: Fernwärme kann umweltfreundlich aus Abwärmequellen (z.B. Auskopplung aus industriellen Prozessen), aus Kraftwärme-Kopplung (Heizkraftwerke, Blockheizkraftwerke, Müllheizkraft',ver- ke, Kernkraftwerke) sowie aus solarthermischen und geothermischen Quellen bereitgestellt werden. Fernwärme hat überdies ihre stärkste Verbreitung in Ballungszentren und trägt hier durch Emissionsminderung maßgeblich zur Entlastung der Umwelt, etwa hinsichtlich von Smog-Gefahren, bei.

Als Ergebnis der Gespräche mit der Fachwelt wurde das **neue Förderkonzept Fernwärme-2000** formuliert. Es

- berücksichtigt, daß aufgrund früherer Förderungen einige Aufgaben als beendet betrachtet werden können,
- bezieht die vielfältigen Erfahrungen, die mit der Fernwärmenutzung in den neuen Bundesländern gesammelt wurden, ein und
- nimmt drei Aufgaben neu auf, die von der Fachwelt als besonders aussichtsreich angesehen werden.

Dadurch wurde eine Straffung möglich, so daß das neue Förderkonzept Fernwärme-2000 nur noch drei Schwerpunkte aufweist:

1. Begleitforschung für die Anwendung heutiger Technik bei bestehenden Systemen
   - Auswirkungen von Additiven zur Reibungsminderung
   - Analyse weiterer Möglichkeiten zur Sanierung der Fernwärmversorgung in den neuen Bundesländern
   - Neue Techniken zur beschleunigten Zielerreichung von Vorgaben der bisher erarbeiteten Energiekonzepte
2. Querschnittsthemen für mittelfristige Entwicklungen
   - Neuartige Wärmeverteilungssysteme
   - Verbesserte Anlagenausnutzung durch neue Methoden zur Betriebsoptimierung
   - Klima-Kälteerzeugung mit Fernwärme

3. Längerfristige, neue Möglichkeiten für die Fernwärme
   - Vakuum-superisolierte Fernwärmerohre
   - Solarwärme-Fernwärme-Verbünde
   - Optimierung der technischen Struktur von großen Fernwärmesystemen
   - Mobile Fernwärme, d.h. der Transport von Wärme mittels spezieller Schienenfahrzeuge.

3.1.2 Rationelle Energieanwendung und Einsparung fossiler Energien in den Endenergiesektoren

Durch die Aktivitäten im Bereich der Endenergienutzung wird letztlich der dominierende Teil des Gesamtbedarfs an Primärenergie bestimmt. Wie die **Abb. 6** zeigt, sind daran Industrie, Verkehr und Haushalte zu etwa gleichen Teilen beteiligt, gefolgt vom deutlich geringeren Kleinverbrauch (Handwerk, Gewerbe etc.). Jeder dieser Bereiche ist sehr heterogen aufgebaut, so daß eine große Zahl unterschiedlicher Techniken bei der Endenergienutzung zum Einsatz kommt Es ist daher schwer, ein übersichtliches Bild zu zeichnen, wie etwa bei der Stromerzeugung, zumal die verwendeten Energietechniken teilweise noch abhängig sind von Entwicklungen in anderen Gebieten, wie z.B. Informatik, Mikroelektronik, Thermodynamik, Materialforschung oder Biotechnologie.

Die Nutzung neuer Techniken zur rationellen Energieanwendung ist nicht nur technisch ausgesprochen diversitär, sondern sie ist auch noch abhängig von sehr vielen Entscheidungsträgem in Betrieben, Verwaltungen und privaten Haushalten. Deshalb ist die Diffusion von bereits vorhandenem Wissen und von neuen Techniken in die Praxis meist langsam, wodurch die vielfach großen Potentiale oft nur zögerlich erschlossen werden.

Der Schwerpunkt der Forschungsförderung wurde im Rahmen des Vorläuferprogramms auf die Bereiche Haushalt und Kleinverbrauch gelegt, wiederum mit einem besonderen Gewicht bei der Raumwärme. Dies entspricht zum einen der Bedeutung der Raumwärme hinsichtlich ihres Anteils von ca. 45 % an der Nutzenergie. Zum anderen war für die umfangreiche Förderung dieses Gebietes der Umstand wichtig, daß in sehr vielen Fällen die technische Entwicklung nur von kleinen und mittleren Unternehmen oder den Hochschulen getragen wird, also z.B. eine eigene, größere industrielle Forschungsinfrastruktur fehlt und deshalb der Einsatz staatlicher Fördermittel für

Tabelle 3: Einsatzgebiete von Wärmespeichern

Speichertechnik	Anwendung
1. Saisonale Wärmespeicherung von Niedertemperaturwärme (bis ca. 100°C):	Gebäudeklimatisierung
Aquifer	Hybridanlagen zum Heizen und Kühl⍰n von Ge-Hybrid
Erdsonden	Niedertemperaturspeicher für Solarthermie-20000
Erdbecken	Dezentrale Wärmespeicher für solarunterstützte Heizungssysteme,
Thermochemische Speicher	chemische Wärmepumpe
2. Kurzzeitspeicher in Heizungs- und Klimaanlagen (bis ca. 100°C):	Gebäudeklimatisierung, Speicher zur Spitzenentlastung
Kältespeicher	Solarunterstützte Warmwasser- und Heizungsanlagen
Warmwasser-Schichtenspeicher	Dezentraler Puffer in Nahwärmenetzen, Fassaden-Speicherkollektoren,
Latentwärmespeicher	Luftfeuchtung, solarunterstützte Kälteerzeugung
Sorptionsspeicher	Trocknungsanlagen
3. Kurzzeitspeicher von Prozeßwärme für höhere Temperaturen (bis ca. 1200°C):	Nutzung industrieller Abwärme und Hochtemperatur-Solarenergie
Latentwärmespeicher	Erzeugung von Nutzkälte und Prozeßwärme
Metallhydtidspeicher (MgH2)	Regenerator
Salzkeramik-Latentwärme	

Forschung und Entwicklung hier besonders geboten ist.

Der breite Ansatz, mit dem bisher speziell die Techniken zur rationellen Energieanwendung im Endenergiesektor „Haushalt“ gefördert wurden, geht aus **Abb. 7** hervor.

Wichtige Ergebnisse der bisherigen Förderung lassen sich wie folgt angeben:

- Für die am 1. Januar 1995 in Kraft getretene Wärmeschutzverordnung wurden wichtige technische Grundlagen erarbeitet
- Es konnte demonstriert werden, daß eine technisch einwandfreie energetische Sanierung von Plattenbauten in den neuen Bundesländern zu wirtschaftlichen Bedingungen im Prinzip möglich ist
- Technische Lösungen für die Modernisierung von Einrohrheizungen in Gebäuden der neuen Bundesländer wurden erarbeitet
- Die Einsetzbarkeit und der praktische Nutzen von Wärmelieferungskonzepten konnte nachgewiesen werden
- Wesentliche Fortschritte wurden bei neuen Techniken für energiesparende Tageslichtnutzung erreicht

Wichtige Industrietechniken konnten hinsichtlich der Forschungs- und Entwicklungs-Förderung weitgehend abgeschlossen werden, so z.B. Industrieöfen, Wärmetransformatoren oder Zerkleinerungsanlagen für Feststoffe.

Weiterhin von besonderer Bedeutung, vor allem für die Neuausrichtung der Forschungsförderung, waren zwei große Programmstudien. Die erste betrifft den Bausektor. Er wurde mit der Studie „Rationelle Energieverwendung am Bau“ des Instituts für Industrialisierung des Bauens in Hannover insgesamt analysiert und in Hinblick auf die weitere Notwendigkeit einer staatlichen Forschungsförderung neu bewertet. Mit einer zweiten Studie „Rationelle Energieverwendung in der Industrie“ des Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung der Fraunhofer Gesellschaft wurde ausgelotet, wo größere Potentiale für neue energiesparende Industrieverfahren liegen. Diese Studie wurde ergänzt durch die „Evaluierungsstudie Industrie“ der Firma Innotec in Berlin.

Die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung für diesen Programmschwerpunkt (ohne Verkehrstechniken, da in anderen Programmen der Bundesregierung veranschlagt) haben sich in den Jahren von 1990 bis 1995 wie folgt entwickelt (Angaben in Mio. DM):

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Haushalt und Kleinverbrauch	22,2	22,4	25,7	25,6	29,6	32,8
energiesp. Industrieverfahren	12,0	16,6	12,2	13,4	13,7	10,4
Thermische Energiespeicher	6,8	5,5	3,7	3,3	3,6	3,5

Für die weitere Entwicklung ist folgende Planung vorgesehen (Angaben in Mio. DM):

	1996	1997	1998	1999	2000
Solarthermie, Raumwärme für Gebäude	36,0	40,0	41,0	43,0	46,0
Thermische Energiespeicher	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Erhöhung der Energieproduktivität in der Industrie	11,8	11,0	11,0	11,0	11,0
Großforschungseinrichtungen	22,0	22,0	22,0	22,0	24,0

3.1.2.1 Solarthermie, Energieeinsparung bei Gebäuden im Haushalt und Kleinverbrauch

Wie die Struktur des Endenergieverbrauchs für die alten Bundesländer (**Abb. 8**) zeigt, ist in den Sektoren Haushalt und Kleinverbrauch die Bereitstellung von Raumwärme für die Gebäude die dominierende Größe. Sie erfolgt zu über 80% durch fossile Energieträger. Die Struktur für die neuen Bundesländer ist derzeit noch nicht im gleichen Detail bekannt. Die vorliegenden Daten weisen aber darauf hin, daß der Raumwärmeanteil prozentual deutlich höher liegt und ebenfalls weit überwiegend durch fossile Energien bereitgestellt wird.

Das bedeutet, daß Energieeinsparung bei der Raumwärme oder dortige Substitution der fossilen Energieträger durch z. B. emeuerbare Energien (Solarthermie) hochgradig CO_2-relevant sind. Ähnliches gilt für die Prozeßwärme. Beides zeigen auch die IKARUS-Analysen und die Arbeiten der Enquete-Kommission. Deshalb setzt die Forschungsförderung im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher in erster Linie an diesen Punkten an, und zwar für die Solarthermie mit den Förderkonzepten:

a) Solarthermie-2000 und
b) Solaroptimiertes Bauen;

und für die breite Palette der übrigen Techniken, die auch die Reduzierung des Stromverbrauchs - weil ebenfalls hochgradig CO_2-relevant - miteinbeziehen, durch die Förderbereiche:

c) Energietechnische Optimierung zukünftiger Gebäude
d) Energiegerechte Sanierung industriell errichteter Wohnbauten in den neuen Bundesländern
e) Energetische Verbesserung der Gebäudesubstanz
f) Kommunale Energieversorgungssysteme.

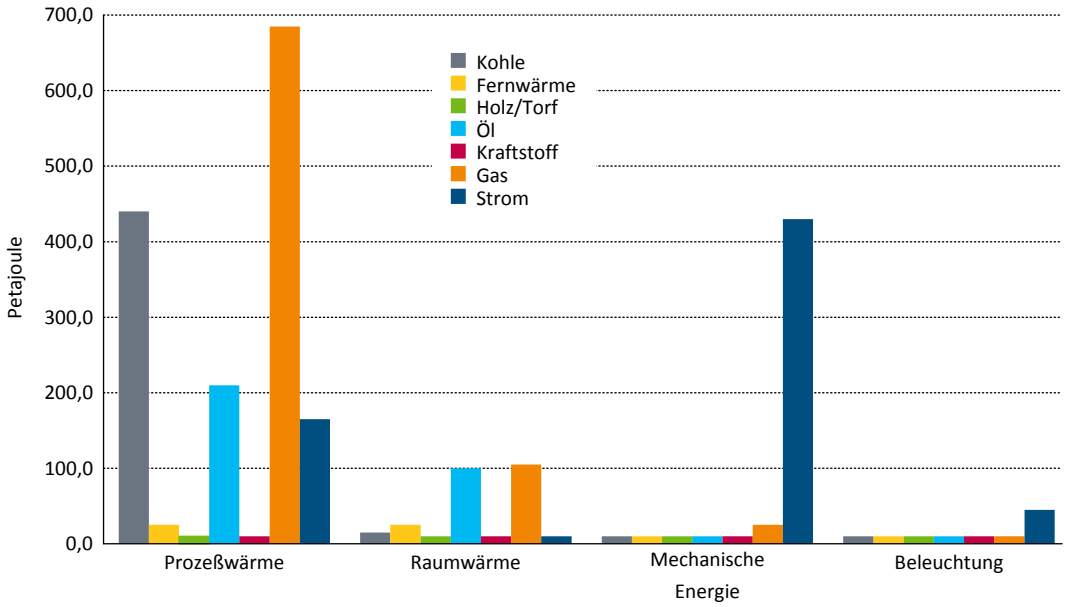


Abb. 10: Struktur der Endenergiebedarfsdeckung in der Industrie (alte Bundesländer 1993)

Die Förderbereiche werden ergänzt durch das wichtige Querschnittsthema 3.1.2.2 Techniken zur Speicherung von Wärme (auch für industrielle Prozesse).

Die neuen Förderkonzepte und Förderbereiche werden im Folgenden kurz beschrieben.

a) Solarthermie-2000

Mit diesem Förderkonzept sollen die Techniken für die Bereitstellung von solar erzeugter Niedertemperaturwärme (unter ca. 100°C) vorangebracht werden. Dazu wurde ein geschlossener, langfristig angelegter (1993-2003) Ansatz gewählt. Sein generelles Ziel ist die Schaffung geeigneter Vorbilder für die **aktive** thermische Nutzung der Solarenergie und die Weiterentwicklung der Systemtechnik auf einen Stand, der ihre praktische Anwendung zu einem normalen Vorgang werden läßt. Gleichzeitig soll eine deutliche Reduzierung der spezifischen Kosten von Solaranlagen für Niedertemperaturwärme erreicht und damit deren Wirtschaftlichkeit verbessert werden.

Das Programm ist so angelegt, daß installierendes Handwerk, planende Architekten, Fachingenieure, Hochschulen und Fachhochschulen Zusammenwirken, um die Technik der aktiven Solarthermie breitmöglichst in die Anwendung zu bringen. Es gliedert sich in drei Teilprogramme:

Teilprogramm 1: Langzeitverhalten von thermischen Solaranlagen im bundeseigenen Bereich

Im Rahmen dieses Vorhabens sollen an ausgewählten Solaranlagen des Zukunftsinvestitionsprogramms, die bereits in den Jahren 1978-1983 installiert wurden, Untersuchungen zum Betriebsverhalten und zu Alterungserscheinungen von bzw. an Komponenten und kompletten Systemen nach mehr als 10-jährigem praktischem Einsatz durchgeführt werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen dienen u. a. für die technische Auslegung der beiden anderen Teilprogramme. Durch die Einbeziehung dieser praktischen Erfahrungen soll die Langzeitbeständigkeit der neu zu errichtenden Solaranlagen und damit deren Wirtschaftlichkeit wesentlich verbessert werden.

Teilprogramm 2: Solarthermische Demonstrationsanlagen in öffentlichen Gebäuden

Dieses Teilprogramm beinhaltet die Errichtung von bis zu 100 mittelgroßen Demonstrationsanlagen (mindestens 100 m^2 Kollektorfläche) in öffentlichen Liegenschaften zur aktiven thermischen Nutzung der Sonnenenergie sowie deren meßtechnische Analyse bezüglich ihres Betriebsverhaltens und ihrer Wirtschaftlichkeit. *Dieses Teilprogramm ist in erster Linie auf die neuen Bundesländer ausgerichtet, soll aber mit Programmfortschritt für die anderen Bundesländer weiter geöffnet werden.*

Die Verlegung der Startphase in die neuen Bundesländer erfolgte deshalb, weil dort umfangreiche Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen an bestehenden öffentlichen Gebäuden anstehen, die es erlauben, die Integration solarer Komponenten bzw. Systeme nicht nur bei Neubauten entsprechend dem neuesten Erkenntnisstand zu planen und zu realisieren, sondern vor allem den Altbaubestand modellhaft anzusprechen, wo langfristig die größten Ein-

Tabelle 4: Energiesparende Industrieverfahren in der Eisen- und Stahlindustrie

Verfahren / Strategische Ziele	Trocknen	Wärme-rückge-winnung	Erzeugung von Eisen-schwamm	Konverter-abgas-systeme	Pelletieren, Sintern, Verkoken	Schmelzen	Industrie-öfen	Verformen, Schmieden, Walzen	Wind erhitzen	Schrott vorwärmen	Gas-plasmen	Nutzung von Ab-wärme	Mahlen, Zerkleinern
Ver-besserung (subsidiär) FKZ Zuwendung	03E5214B 10.920.866	03E5363A 4.138.740 03E8463A 240.000	03E4230A 2.678.398 03E5288 313.970	03E8226A 794.113 0328226B 286.778 03E4504A 1.574.000 03ET5219A 40.484.675	03E8238A 1.327.652 0328913B 1.134.637 0328913A 1.102.475 03E8391A 11.100.700	03E8443A 2.572.663 03E5212A 3.334.368 03E5135A 1.512.625	0329089B 516.172 03E8257 1.062.567 03E8334A 1.457.621 03E8273A 318.510 03E8343A 1.486.548		03E8524A 1.698.662 03E8008A 2.045.000	03E8530A 846.395 03E8531A 3.046.000		03E5154A 1.968.027	
T.-Summe	10.920.866	4.378.740	2.999.369	43.139.966	14.665.464	7.419.656	4.841.418	0	3.743.662	3.892.395	0	1.968.027	0
Anstoß-/ Impf-wirkung FKZ Zuwendung		03E5016A 1.660.760 03E8267A 1.033.458 03E8257A 1.169.722 03E8440A 180.315	03E5135A 1.512.625	03E8170A 516.456		03E8242A 1.190.894 0328816A 2.734.866 0328816B 903.509	0329089A 943.146 03E4079A 139.113 03E8360A 1.007.805 03E8393A3 719.144	03E5366A 2.850.000 03E5193A 672.900 03E8510A 620.257	03E8373A 428.894 03E5162A 653.485		NT 4296A 402.253	03E5123A 1.437.378 03E5156A 18.596.800 03E5155A 15.546.000	03E8523B 1.359.370
T.-Summe	0	4.044.255	1.512.625	516.456	0	3.925.760	2.809.209	4.143.157	1.082.379	0	0	34.575.178	1.359.370
Bereit-stellung von Grund-lagen FKZ Zuwendung	03E8307A 68.436 03E5241A 18.052 03E5214A 483.415	03E5048A 102.200 03E5149A 210.311	03E8291A 408.895		03E5110A 221.238	03E8609A 203.112 03E5252A 53.861 03E5288A 319.864	03E4079A 158.161 03E8227A 1.046.138 0329265B 150.749 3,27E+05 629.500			03E8530B 209.260	03E5182A 200.000		
T.-Summe	569.903	312.511	408.895	0	221.238	576.837	1.984.548	0	0	209.260	200.000	0	0
Summe	11.490.769	8.735.506	4.919.888	43.656.422	14.886.702	11.922.253	9.635.174	4.143.157	4.826.041	4.101.655	200.000	36.543.205	1.359.370

sparpotentiale für den Energieverbrauch und die CO_2-Emissionen zu finden sind. Der öffentliche Bereich wurde für die Förderung vorwiegend deswegen ausgewählt, weil er erfahrungsgemäß gute organisatorische und finanzielle Abwicklungsbedingungen über einen längeren Zeitraum bietet und weil er als Vorbild und Multiplikator für den Einsatz neuer, umweltfreundlicher Energietechniken für die Bürger besonders wirksam ist.

Da Anlagen zur Warmwasserbereitung und Heizung sowie Solaranlagen und deren Installation eine typische Domäne der mittelständischen Industrie und des Handwerks sind, werden mit diesen anwendungsnahen Forschungsarbeiten durch die Vermittlung von praktischem Anwendungswissen auch neue Märkte eröffnet und moderne, zukunftsorientierte Arbeitsplätze in kleinen und mittleren Unternehmen geschaffen.

Für die projektbegleitende wissenschaftliche Betreuung arbeiten neben der Zentralstelle für Solartechnik auch je eine Hochschule in den neuen Bundesländern, und zwar in Stralsund, Potsdam, Ilmenau, Chemnitz und Merseburg. Von letzteren werden auch die begleitenden Meßprogramme durchgeführt.

Teilprogramm 3: Solare Nahwärme

Das Konzept der solarunterstützten Nahwärmeversorgung von Siedlungsgebieten oder ausgedehnten Liegenschaften erfordert einen ganzheitlichen Ansatz bei der Planung der Wärmeerzeugung, -Speicherung, -Verteilung und -nutzung. Unter Verwendung von Ergebnissen aus den parallellaufenden Teilpro-

Tabelle 5: Energieeinsparende Industrieverfahren in der Nahrungs- und Genussmittelindustrie

Verfahren / Strategische Ziele	Vorbehandl. Reinigen	Mahlen/ Zerkleinerg. Brechen	Entwässern Trocknen	Eindampfen	Trennen Extrahierg. Aufschließen	Konservierung	Backen/ Rösten	Kühlen	Abwärmenutzung	Reststoffnutzung	Verpacken	Gesamtstudie
Verbesserung (subsidiär) FKZ Zuwendung			326.967 493.500	EG	EG	EG		0326958A 1.083.373				
T.-summe			493.500					1.083.373				
Anstoß-/ Impfwirkung FKZ Zuwendung		03E8525A 393.441	03E5374A 753.265 03E5216A 151.545		03E8525A*	0326909A 459.939				0328525B 800.000 0328525C 865.278 0328525D 120.000	0328812A 1.299.824	
T.-summe		393.411	904.810			459.939		1.083.373		1.785.278	1.299.824	
Bereitstellung von Grundlagen FKZ Zuwendung			03E8603A 1.109.753 0328603B 1.248.000,00				03E8401A 297.990		03E5253A 293.300		03E5029A 473.787	
T.-summe			2.357.753				297.990		293.300		473.787	
Summe		393.441	3.756.063			459.939	297.990		293.300	1.785.278	1.773.611	

grammen soll hier bei der Integration von Solarsystemen der Schritt vom Einzelgebäude zu lokalen Nah- Wärmenetzen vollzogen werden. Wesentliches Ziel ist es, durch saisonale Wärmespeicherung solare Deckungsraten von über 50% des Jahreswärmebedarfs für Heizung und Warmwasser des jeweiligen Versorgungsgebietes zu erreichen.

Unterschiedliche, aussichtsreiche Konzepte und Techniken der thermischen Wärmspeicherung und insbesondere von dachintegrierten Großkollektoren sollen in Pilot- und Demonstrationsanlagen mit Kollektorflächen erprobt werden, die eine starke Reduktion der spezifischen Investitionskosten und damit eine deutliche Verbesserung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses der Solaranlagen erreichbar werden lassen. Die Durchführung von Meßprogrammen an den Pilotanlagen und eine wissenschaftlich-technische Evaluierung der Anlagentechnik sind Bestandteil des Teilprogramms, flankiert durch begleitende Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten zur Optimierung der Kollektor- und Speichertechniken.

b) Solar optimiertes Bauen

Mit diesem Förderkonzept soll die passive Solarthermie weitergeführt werden, und zwar ebenfalls in einem geschlossenen Ansatz. Leitgedanke hierfür ist das solar optimierte Bauen.

Wie die **Abb. 9** am Beispiel der alten Bundesländer zeigt, ist der Stand der Technik inzwischen so weit fortgeschritten, daß die neue Wärmeschutzverordnung ab 1995 einen Raumwärme-Standard von nur noch 54-100 kWh/m^2 vorschreiben konnte. Die bisherigen Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten zu Niedrigenergiehäusern haben gezeigt, daß durchaus auch Werte unter 50 kWh/m^2 möglich sind.

Will man langfristig jedoch weiterkommen, d.h. den Verbrauch fossiler Heizenergie noch weiter senken, dann führt z.B. der Weg einer immer weiter verstärkten Wärmedämmung irgendwann an technisch und wirtschaftlich nicht mehr vertretbare Grenzen. D.h. es müssen neue Wege beschritten werden. Einer davon ist die verstärkte Nutzung der Sonnenenergie als zusätzliche Wärmequelle, in Kombination mit baulichem Wärmeschutz und angepaßten Heizungs- und Lüftungssystemen.

Tabelle 6: Energieeinsparende Industrieverfahren in der Grundstoffindustrie (Glas, Keramik)

Verfahren / Strategische Ziele	Rohstoff gewinnen	Mahlen/ Zerkleinern	Klassieren/ Sortieren	Entwässern/ Trocknen	Formen	Glasieren/ Dekorieren Beschichten	Brennen/ Sintern Schmelzen	Öfen	Material-vorwärmung	Nutzung von Abwärme	Reststoff nutzen	Abgase behandeln	Gesamtstudie
Verbesserung (subsidiär) FKZ Zuwendung		03E5246A 3.501.529	0326964B 627.127	03E8386A* 03E8529A 5.403.282 0326983 1.286.662	03E8386A* 03E8529A*	03E8386A* 03E8529A*	0326979 2.272.662	03E8386A* 5.780.738 03E8517A 82.123 03E8529A*		03E5158A 1.024.314 03E8450A*			
T.-summe		3.501.259		56.689.944			2.272.662	5.862.861		1.024.314			
Anstoß-/ Impfwirkung FKZ Zuwendung		03E8523D 3.522.150	03E5248A 985.000		0328801A 2.183.275 0328801B 1.652.574 0329067A 715.034	03E5259A 1.282.113 0328386B 895.449	03E8196A 1.239.319	03E5205A 4.377.521 03E8202A 583.379 03E8367A 510.088	03E8450A 784.991	03E5345A 153.891 03E5210A 214.700	03E8152A 1.084.727	0328152B 480.855	
T.-summe		3.522.150	985.000		4.550.883	2.177.562	1.239.319	5.470.988	784.991	368.591	1.084.727	480.855	
Bereitstellung von Grundlagen FKZ Zuwendung		03E8523E 368.246 0328523M 669.127 0328523N 943.995 326.977 753.235	0326964A 685.697	0326949A 592.462			03E5101A 229.500 0326944A 100.715				03E5036A 79.218		03E5083A 658.864 03E5085A 552.657 03E8601A 604.200
T.-summe		2.734.603	685.697	592.463			330.215				79.218		
Summe		9.758.012	2.297.824	7.282.406	4.550.883	2.177.562	3.842.196	11.333.849	784.991	1.392.945	1.163.945	480.855	1.785.721

Andere Ansätze zur Minimierung des Energiebedarfs vor allem im Gebäudebereich sollen mit dem Förderkonzept d) weiterverfolgt werden.

Analog zu Solarthermie-2000 soll auch mit diesem Förderkonzept eine größere Ausbildungskomponente verbunden sein, da es das erklärte Ziel des Förderkonzepts ist, Technik nicht nur weiterzuentwickeln, sondern vor allem in die praktische Anwendung zu bringen, um den Raumwärmebedarf längerfristig nachhaltig zu senken.

Das Konzept gliedert sich in drei Teilkonzepte:

Teilkonzept 1: Passive Solarsysteme und Komponenten

Dieses Teilkonzept befaßt sich schwerpunktmäßig mit der weiteren Entwicklung und Erprobung von Materialien und Systemen der transparenten Wärmedämmung (TWD) einschließlich ergänzender Komponenten, z.B. zur Regelung. Zu den TWD-Systemen gehört auch hocheffiziente Verglasung nach dem neuesten oder künftig möglichen Stand der Technik. Da TWD nicht nur vor massiven, wärmespeichernden Flächen (Trombe-Wand Prinzip) oder als Kollektorabdeckung verwendet wird, sondern gleichermaßen für Lichtöffnungen eingesetzt werden kann, sind Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten zur Tageslichtnutzung und Einsatz von holografischen Elementen hier ebenfalls sinnvoll einzuordnen.

Um die Flächenelemente, insbesondere Gebäudefassaden, einer entsprechenden Prüfung und Bewertung ihrer Tauglichkeit unterwerfen zu können, wurde zusammen mit der EU ein Forschungsvorhaben namens PASSYS durchgeführt, das den Außentest passiv-solarer Gebäudefassaden ermöglicht Eines der Hauptziele ist die Entwicklung von standardisierten Testverfahren für Gebäudefassaden. In Deutschland stehen an zwei Standorten, nämlich am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart sowie an der TU Cottbus, entsprechende Testeinrichtungen zu Verfügung.

Teilkonzept 2: Solarunterstützte Heizungs- und Lüftungssysteme

Konventionelle Heizungs- und Lüftungssysteme sind bereits heute (WSchVo 1995) an der Grenze ihrer technischen und wirtschaftlichen Einsatztauglichkeit angelangt. Bei weiter sinkendem Wärmeleistungsbedarf und zunehmenden Anforderungen an die Regelbarkeit und die Anlagentechnik, wenn Solargewinne genutzt werden sollen, ist ein Systemwechsel absehbar. Lüftungssysteme arbeiten erwiesenermaßen noch nicht energieeffizient genug; die Entwicklung von kombinierten Lüftungs/Heizungssystemen steckt noch im Anfangs Stadium, so daß in diesem Teilkonzept vor allem Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten im Vordergrund stehen. Die eigentliche technische Entwicklung soll in Form von Verbundprojekten erfolgen.

Ein weiterer, ganz wesentlicher Aspekt ist die Schaffung von praxistauglichen Planungsmitteln, da die eigentliche Integration der solaren Gewinnsysteme (passiv oder aktiv) in das Gebäude über die haustechnischen Anlagen erfolgt.

Teilkonzept 3: Solar optimiertes Gebäude mit minimalem Energiedarf

Dies ist der zentrale Teil des Konzepts. Geplant sind längerfristig bis zu 25 Prototyp-Gebäude als forschungsintensive Demonstrationsvorhaben, mit Konzentration auf Nicht-Wohngebäude. Die Abwicklung soll in enger Ankopplung an Hochschulen, die einschlägige Ingenieurstudiengänge anbieten, erfolgen, um eine möglichst verzögerungsfreie und verlustarme Einbringung des erworbenen Wissens in die Ausbildung der künftigen Generation von Architekten und Fachingenieuren zu erreichen. Den Hochschulen soll die Begleitforschung einschließlich der Evaluierung (Meß- und Auswerteprogramm) übertragen werden.

c) Energietechnische Optimierung zukünftiger Gebäude

Dieser Förderbereich ist im Zusammenhang mit dem solar-optimierten Bauen zu sehen, konzentriert sich aber jetzt auf den Wohnungsbau, ohne jedoch Nicht-Wohn-gebäude, die prototypischen Charakter mit größerem Anwendungspotential haben, grundsätzlich auszuschließen. Es betrachtet wie dort das Gebäude als einheitliches komplexes Energiesystem, hebt dabei aber den Aspekt der passiven Solartechnik nicht singulär hervor. Es sollen vielmehr alle Komponenten betrachtet werden, die für den Weg hin zu einem Gebäude mit minimalem Energiebedarf - deutlich unterhalb der gegenwärtigen Forderungen der Wärmeschutz Verordnung - relevant sind. Dabei sollen Systemzusammenhänge ebenso berücksichtigt werden wie Einzeltechniken. Es wird erwartet, daß mit der Förderung auch wichtige Beiträge für eine Fortschreibung der Wärmeschutzverordnung geliefert werden können.

In diesem Förderbereich sollen auch Themen bearbeitet werden, die mehr grundlegenden Querschnittscharakter haben wie Lebenszyklus-Untersuchungen, energetische Emtefaktoren und Stoffströme, soweit sie zu einer energetischen Gesamtoptimierung führen können.

d) Energiegerechte Sanierung industriell errichteter Wohnbauten in den neuen Bundesländern

Von den rund 7 Mio. Wohnungen in den fünf neuen Bundesländern befinden sich rund 2,35 Mio. Wohneinheiten (WE) in industriell errichteten Mehrfamilienhäusern aus den Jahren 1952-1990, davon in Beton-Plattenbauweise rund 1,5 Mio. WE.

Ausgehend von in den letzten Jahren mehr oder weniger systematisch geführten Untersuchungen ist festzustellen, daß diese industriell errichteten Wohngebäude durch vielfätige Mängel und Schäden charakterisiert sind. Der Energieverbrauch zentralbeheizter (Neubau-) Wohnungen liegt bei ca. 170-260 kWh/m^{2}a. im Extremfall bis 330 kWh/m^{2}a. Hauptgründe sind unzureichende Wärmedämmung und veraltete ineffiziente Installationstechnik. Hinzu kommen massive Bauschäden, insbesondere Betonkorrosion durch Karbonatisierung. Bewehrungskorrosion, undichte Außenwandfugen und mit alldem verbundene Durchfeuchtungen. Abgerundet wird dieses Bild durch punktuell vor allem im Gründungsbereich auftretende Alkalikieselsäureschäden.

Die allgemein anerkannte Notwendigkeit, zur Werterhaltung und -Verbesserung dieser immensen Bausubstanz etwas zu tun, und die Kenntnis der begrenzten eigenen personellen und finanziellen Möglichkeiten der Eigentümer (Kommunen, Wohnungsgesellschaften und -genossenschaften) veranlaßten die staatliche Forschungsförderung, diese Problematik in einer Zweiphasenstrategie anzugehen.

Phase I bestand in der Erarbeitung einer Grundlagenstudie, die im Januar 1993 veröffentlicht wurde. Die Ergebnisse liegen vor mit:

- einer umfassenden Darstellung des industriell errichteten Gebäudebestandes
- einer Beschreibung der Schadensbilder und Schadensprozesse
- der Ableitung einer an Baukonstruktion, Bauschäden und Energieverbrauch orientierten Gebäudetypologie
- der Bestimmung projektierter und realer Energieverbräuche der Gebäudegrundtypen, der Ermittlung der Energieeinsparpotentiale, der Untersu-

chung der konstruktiven Möglichkeiten einer energiegerechten Bauschadensanierung
- der Ableitung von Kosteneinsparpotentialen und Wirtschaftlichkeitsabschätzungen der energiegerechten Bauschadensanierung
- der Identifizierung des Forschungs- und Entwicklungsbedarfs bei kombinierter Schadensbeseitigung und Wärmeschutzverbesserung.

Phase II der Strategie hat die praktische Nachweisführung der vorher skizzierten Aussagen und Feststellungen zum Gegenstand. Dazu wurde der Projektverbund „Energiegerechte Sanierung industriell errichteter Wohnbauten in den neuen Bundesländern" initiiert. In diesem Rahmen werden Versuchs- und Demonstrationsbauvorhaben gefördert, die nach Gebäudetypen ausgesucht sind und einen möglichst hohen Multiplikationsfaktor haben. Diese Beispiellösungen für häufig auftretende Problembereiche sollen nicht nur Anregungen geben, sondern sie sollen durch ausführliche, begleitende Meßprogramme belastbare Daten liefern, auf die auch andere Lösungsansätze aufsetzen können. In Vordergrund stehen dabei folgende Aspekte:

- nachhaltige Bauschadensanierung, Wärmeschutz- und Lebensdauerverbesserung der Gebäudehüllkonstruktionen
- nachhaltige Verbesserung und Effizienzsteigerung der Heizungssysteme und der Warmwasserversorgung
- dadurch insgesamt Energieeinsparung, Umweltentlastung und spürbare Verringerung der Heizkostenbelastung breiter Bevölkerungsschichten.

Flankierend bzw. teilweise direkt zuzuordnen sind folgende Themen, die entweder bereits in konkreten Projekten bearbeitet werden oder deren Förderung geplant ist:

- Energiegerechte Bauschadensanierung Berlin-Marzahn, Wuhlestraße 9-13
- Exemplarische Umstellung von Einzelofenheizungen z. B. in Merseburg
- Elektronische Einzelraumtemperaturregelung einschließlich Heizkostenverteilung für fernwärmeversorgte Gebäude
- Einrohrheizungsumstellung mit Heizkostenverteilung und flankierenden Wärmedämmmaßnahmen
- Modernisierung von Heizung und Lüftung.

e) Energetische Verbesserung der Bausubstanz

Das größte Potential für die Energieeinsparung im Gebäudebereich liegt bei der bestehenden Gebäudesubstanz. Obwohl hierfür bereits viele Problemlösungen erarbeitet worden sind und erprobte Techniken bereitstehen, bleiben wegen der großen Zahl völlig unterschiedlicher Gebäude weitere Forschungs- und Entwicklungs-Aufgaben bestehen. Sie sollen zu einem eigenen Förderkonzept gebündelt werden und zu neuen Systemlösungen mit Modellcharakter für zahlreiche Typengebäude führen. Die Grundlagenstudie für Plattenbauten in den neuen Bundesländern und die inzwischen dort gemachten praktischen Erfahrungen sollen mit in die Arbeiten dieses Förderbereichs einfließen.

f) Kommunale Energieversorgungskonzepte

Die Optimierung kommunaler Energiekonzepte mit modernen planerischen Methoden, die auch die vielfatigen Forschungs- und Entwicklungs-Ergebnisse der Vergangenheit auf diesem Gebiet umfassend mit einbezieht, bleibt auch in Zukunft ein interessantes Gebiet, um im größeren Umfang Energie einzusparen. Die Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten sollen einen Schwerpunkt bei der Entwicklung von Software-Unterstützung, der Erweiterung der Datenbasis sowie bei Informationsaustausch und -Verbreitung haben.

Weiterhin soll die verstärkte Nutzung von Solartechniken für neue Siedlungskonzeptionen - etwa in Form solarer Optimierung von Stadtplanungen - in die Förderung einbezogen werden, wobei die weitere Entwicklung sog. Thermoinseln wegen ihres großen CO2-Einsparpotentials von besonderem Interesse ist. Auch die Entwicklung von Least-Cost-Planning-Systemen ist in diesem Zusammenhang interessant, soweit es hierfür angesichts des bisher erreichten Standes der Entwicklung noch einen weiteren öffentlichen Forschungsbedarf gibt.

3.1.2.2 Techniken zur Speicherung von Wärme

Die kurz- bis langfristige Wärmespeicherung hat für die Nutzung von Solarenergie und von industrieller Abwärme eine entscheidende Bedeutung. Denn beide könnten in weit größerem Umfang genutzt werden, wenn es gelänge, zeitlich versetzt bzw. unregelmäßig anfallende Wärme bis zur späteren Nutzung de facto zwischenzulagern. Dabei ist zu unterscheiden zwischen langzeitigen, saisonalen (z.B. Sommer-Winterausgleich) und Kurzzeitspeichern (siehe **Tabelle 3**).Obwohl die Entwicklung der dazu notwendigen Techniken seit langem intensiv durch staatliche Forschungs- und Entwicklungs-Mittel gefördert worden ist, gibt es immer noch keine vor allem wirtschaftlich wirklich befriedigenden Lösungen. Es sind auch keine grundsätzlich neue Ansätze oder Systeme zu erkennen.

Wegen der großen Bedeutung der Wärmespeichertechnik soll dennoch die Förderung fortgesetzt werden, und zwar teilweise innerhalb einer zielgerichtete Projektförderung wie z.B. bei Teilprogramm 3 von Solartheimie-2000 oder als Einzelentwicklung, wobei zum einen auf vorhandenen Kenntnissen aufgebaut und zum anderen im Rahmen der IEA weiterge-

Tabelle 7: Aufwendungen im Rahmen der Energie-Forschungsprogramm für erneuerbare Energien und rationelle Energieverwendung - Angaben in Mio. DM

Gesamtsumme= 4318,4 Mio. DM	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Photovoltailc	12,0	12,3	65,7	54,0	59,1	53,3	57,8	60,1	70,9	82,5	91,9	104,0	111,1	112,7	66,4	58,0
Windenergie	32,4	42,2	31,0	16,0	8,9	10,2	12,1	17,8	16,0	12,6	21,9	17,8	25,7	32,2	38,3	38,9
Technologien für südl. Klimabedingungen	51,4	58,5	61,7	58,4	52,9	43,8	31,4	31,3	35,8	32,4	34,1	42,4	35,7	34,0	26,0	23,5
übrige Aktivitäten zu emeuerbaren Energien	18,9	18,5	22,4	14,0	14,9	13,3	2,8	4,9	3,3	0,9	14,3	16,6	16,7	20,5	15,3	16,5
Solarthermie-Techniken	25,7	29,8	25,4	18,2	15,0	8,9	9,5	11,4	12,6	14,8	15,4	16,8	16,8	16,0	17,3	20,0
Biomasse (BML-Aufwendungen)	2,0	1,6	4,1	5,8	8,0	8,8	4,2	2,9	3,2	2,5	2,3	2,6	3,3	7,0	3,2	3,0
Energiespeicher	7,2	3,6	11,1	13,5	8,5	13,9	12,6	13,8	5,4	10,8	11,2	9,2	5,7	4,5	4,2	4,2
Brennstoffzellen/ W asserstoff	5,1	6,1	4,8	4,7	8,2	6,1	5,4	8,3	10,3	15,7	18,1	23,2	20,8	23,2	28,5	23,6
Biologische Energiegewinnung und Nutzung										1,3	8,5	16,0	25,1	6,0	5,2	
Rationelle Energieverwendung	83,5	98,6	67,0	58,9	41,2	34,2	19,4	12,6	26,5	28,4	29,2	30,1	28,8	28,9	33,4	30,0
Großforschungseinrichtungen	15,9	20,1	24,4	20,3	21,3	23,5	25,8	22,4	24,2	30,2	44,9	54,8	85,2	67,5	78,1	77,6
Summe	254,1	291,3	317,6	263,8	238,0	216,0	181,0	185,5	208,2	242,1	291,8	333,5	374,9	352,5	315,9	295,3

arbeitet werden soll, um möglichst viel Wissen in die Entwicklung einbeziehen zu können.

Im Fall der *längerfristigen saisonalen* Wärmespeicher sind folgende Schwerpunkte vorgesehen:

- Erdbeckenspeicher
- Aquifer- und Erdsondenspeicher
- Thermochemische Speicher, wie z. B. Zeolith/Wassersysteme.

Für die *Kurzzeitspeicher* haben vor allem die dynamischen Latentwärmespeicher ein sehr interessantes Potential. Weiterhin interessant sind thermochemische Speicher wie z. B. MgH_2-Speicher für Temperaturen zwischen 300° C und 500° C.

Eine dritte Art stellen die *Kurzzeit-Hochtemperatur-Wärmespeicher* im Temperaturbereich ab 600-700°C dar. Ihr Einsatzgebiet liegt vor allem bei industrieller Hochtemperatur-Prozeßwärme. Sie könnten aber auch für Solarkraftwerke Bedeutung erlangen.

Sollten sich zusätzlich zu diesen Entwicklungslinien grundsätzlich neue Ansätze mit größeren Potentialen abzeichnen, etwa durch entsprechende Entwicklungen in anderen Gebieten oder durch neue Erkenntnisse im Bereich der Grundlagenforschung, dann könnten sie ebenfalls in die Förderung einbezogen werden.

3.1.2.3 Erhöhung der Energieproduktivität im Industriesektor

Energiesparende Verfahren zur Erhöhung der Energieproduktivität im Industriesektor wurden im Rahmen der Vorläuferprogramme in erheblichem Umfang gefördert, so daß heute eine breite wissenschaftlich-technische Basis und ein umfangreicher Wissensstand vorhanden sind, auf denen aufgebaut werden kann.

Wie die **Tabellen 4-6** exemplarisch zeigen, wurde die Förderung nach drei strategischen Zielen ausgelegt, nämlich a) Bereitstellung von Grundlagen, b) Erzielung von Anstößen für praktische Entwicklungen, möglichst branchenübergreifend und Verbesserung bestehender Verfahren dort, wo es unter Beachtung des Subsidiaritätsgebotes möglich und nötig ist. Die Tabellen zeigen weiterhin, daß dabei thematisch selektiv vorgegangen wurde und eine Beschränkung auf das Notwendige stattfand. Anhand der Förderkennzahlen ist weiterhin ableitbar, daß einige Techniken den langen Weg vom Zustand der Grundlagenforschung bis an die Schwelle industrieller Reife und Anwendung geführt werden mußten, bis sie für den kommerziellen Einsatz bereit standen.

Aufgrund dieser breitangelegten, längeren Förderung konnten die Aufwendungen staatlicher Forschung- und Entwicklungs-Mittel mittlerweile zurückgeführt werden. Die weitere Förderung wird deshalb auf Themen konzentriert, die unter mittel- bis langfristigen Gesichtspunkten als strategisch

wichtig für eine erhöhte Energieproduktivität angesehen werden.

Dabei gibt es unter CO_2-Gesichtspunkten zwei besonders kritische Bereiche: die Prozeßwärme und die mechanische Energie. Wie **Abb. 10** exemplarisch für die alten Bundesländer zeigt, sind beide sehr elektrizitätsintensiv. Einsparungen an dieser Stelle entlasten also die Stromproduktion und sind damit - wie in Abschnitt 1 dargelegt- besonders CO_2-relevant. Desweiteren wird immer noch relativ viel Kohle und Öl eingesetzt. Beide sind ebenfalls mit hohen CO_2-Emissionsfaktoren verbunden, so daß Energieeinsparungen bzw. Substitutionen zu weniger CO_2-intensiven Prozessen wünschenswert sind.

Wie die Tabellen andeuten und auch in der Einleitung angesprochen wurde, sind die Techniken, die hinter diesen beiden Aufgabengebieten stehen, außerordentlich diversitär. Um dennoch zu einer Konzentration in der Vorgehens weise zu kommen, wird die weitere Förderung nicht mehr branchenspezifisch orientiert, sondern es erfolgt eine Konzentration auf:

- **technisch vergleichbare, branchenübergreifende Prozesse** (Unit Operation), die zwar von Anwendung zu Anwendung unterschiedlich ausgeprägt sind, die aber gleichen verfahrenstechnischen Prinzipien folgen, wie z.B. verstärkte Kreislaufführung von Materialien, Einsatz von Katalysatoren, konvektive oder Kontakttrocknung, Öfen, Destillieren/Rektifizieren, Zerkleinern, Stofftrennung mittels Zyklonen, Membranen oder Adsorption
- **Querschnittstechniken oder monofunktionale Energiewandler**, die in vielen Branchen genutzt werden (z.B, Kälte-, Drucklufterzeugung, Kompressoren, Pumpen, Wärmetauscher und Klimatisierung), Effizienzerfolge in diesen Technikbereichen haben in Verbindung mit Erst- oder Erneuerungsinvestitionen eine sehr große Breitenwirkung in mehreren Endenergiesektoren
- **Schnittstellen mit anderen, modernen Technikfeldern** wie z.B. neue Werkstoffe, Sensortechnik, Mikroelektronik, Lasertechnik, Plasmatechnik, physikalisch-chemische Verfahren
- **Simulationstechniken**, um zum einen hohe Investitionsaufwendungen für große Versuchsstände zu vermeiden und zum andern sehr komplexe technische Systemzusammenhänge untersuchen zu können, ehe man mit speziellen Technikentwicklungen beginnt
- **Systemanalytische Arbeiten** zur Auslotung und Erschließung neuer oder bestehender systemischer **Energieproduktivitätspotentiale** bei Industrieprozessen.

Die Förderstrategie wird dabei wieder den drei Schritten folgen, wie sie auf den folgenden Tableaus angedeutet und vorher kurz skizziert worden sind.

Zur weiteren Eingrenzung der Förderung auf im Sinne der Zielsetzungen dieses Programms besonders relevante Gebiete werden Technologiepotential-Studien zusammen von FhG-ISI und der KFA-Jülich durchgeführt

Von besonderem Interesse ist weiterhin die Biotechnologie: Durch gezielte Anwendung biologischer Prinzipien und Bausteine in ausgewählten technischen Prozessen kann die Biologie einen Beitrag zur Energieeffizienz in unterschiedlichen Bereichen leisten, z.B.:

- bei der Stoff Produktion mit Biokatalysatoren, z.B. Hydrogenasen. Die hohe Selektivität solcher Enzyme ermöglicht enantiomeren-reine Syntheseprodukte bei gleicher Durchsatzleistung und eine Verdopplung der Produktausbeute (bei 50/50% Razematen) bei sonst vergleichbaren Bedingungen
- bei der Miniaturisierung technischer Systeme unter Nutzung der Selbstassemblierung biologischer Moleküle
- durch Einsatz von Motorproteinen zur Kraft- und Bewegungsgenerierung im nano- und mikroskaligen Bereich.

Die Forschungs- und Entwicklungs-Förderung dieser Techniken erfolgt im Rahmen des Programms Biotechnologie.

Weiterhin von Bedeutung für die rationelle Energieverwendung auf vielen Gebieten ist die Supraleitung, deren Forschung und Entwicklung im Rahmen des Konzepts für neue Technologien durch das BMBF intensiv gefördert wird.

3.1.2.4 Verkehr

Der stark wachsende Verkehr stößt bereits heute an die Grenzen der Kapazität einiger Verkehrsträger, der Umweltverträglichkeit und der Finanzierbarkeit. Deshalb werden neue Ideen benötigt, um die Mobilität von Personen und Gütern in Zukunft umweltverträglicher gewährleisten zu können. Neben der Optimierung der einzelnen Verkehrssysteme spielt die Vernetzung der Systeme eine wichtige Rolle, um in Zukunft den Verkehr effizienter, umweltfreundlicher und sicherer zu gestalten. Wird die Effizienz, eines Verkehrssystems gesteigert, dann führt dies in der Regel auch zu einer Erhöhung der Energieproduktivität, etwa sowohl durch sparsamere Antriebstechniken als auch z.B. durch ein besseres Verkehrsmanagement.

Insgesamt werden die in diesem Abschnitt dargestellten Arbeiten auch Teil des neuen Mobilitätskonzepts der Bundesregierung sein.

a) Kraftfahrzeuge

Nachdem in den vergangenen 15 Jahren der spezifische Kraftstoffverbrauch der Kfz bereits um rund 25% gesenkt werden konnte, muß diese Entwicklung angesichts der zu erwartenden weiteren Zunahme des Pkw-Bestandes und des gesamten Straßenverkehrs fortgesetzt werden. Hier steht aber nicht die staatliche Forschungsförderung im Vordergrund, sondern es wird Aufgabe der Automobilindustrie sein, Wege zu finden, die eine weitere kontinuierliche Senkung des durchschnittlichen Verbrauchs der neu in den Verkehr kommenden Personenkraftwagen auf etwa 5 Liter pro 100 km bis zum Jahre 2005 erreichen. Die freiwillige Selbstverpflichtung der Automobilindustrie vom Februar 1995 geht diesbezüglich in die richtige Richtung.

Neben der Verbesserung heutiger, gängiger Technik ist es mittel- bis langfristig unerläßlich, auch neue, alternative Antriebsmittel verstärkt zu fördern. Jede der dazu diskutierten Möglichkeiten zeichnet sich durch spezifische Vorteile aus:

- Der Einsatz von Erdgas getriebenen Fahrzeugen, die in stadt- und gemeindenahen Zonen Verwendung finden, dürfte gerade wegen der geringen Abgasemissionen eine interessante Möglichkeit sein
- Für Fahrzeuge mit Elektromotor wird bereits an einheitlichen europäischen Typprüfbedingungen gearbeitet, um ihre breite Einführung auf diese Weise zu unterstützen
- Auch Alkoholkraftstoffe wie z.B. Methanol oder Ethanol zum Antrieb von Kraftfahrzeugen sind zukunftsfähig. Dies zeigt nicht zuletzt der Absatz dieser Fahrzeuge hi Gebieten, in denen solche Kraftstoffe preisgünstig aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden können (siehe 3.2.3)
- Langfristig bietet sich auch Wasserstoff als alternativer Kraftstoff an (siehe 3.1.1.2).

b) Verkehrssystemtechnik

Energiesparmaßnahmen im Straßenverkehr lassen sich nicht nur durch neue Fahrzeugkonzepte erreichen. Mittelbar können der Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs auch durch moderne Telematiksysteme in Form von Verkehrsleitsystemen, rechnergesteuerten Verkehrsbeeinflussungsanlagen und fahrzeuginternen Zielführungs- und Verkehrswarnsystemen reduziert werden.

Faßt man diese Überlegungen zu einer Gesamtstrategie zusammen, dann ergeben sich vor allem zwei übergeordnete Zielsetzungen, mit denen Energieeinsparungen erreicht werden könnten, nämlich durch

- Verflüssigung des Verkehrs und Vermeidung von Staus
- Verlagerung von Verkehr von der Straße auf energetisch günstigere Verkehrsträger.

Verflüssigung des Verkehrs und Vermeidung von Staus

Navigations- und Leitsysteme für den Kraftfahrer können helfen, Umwege zu vermeiden und die Suche nach dem Ziel zu verkürzen. Im Güterverkehr können durch ein gezieltes Flottenmanagement aufgrund neuer Informationstechnologien und Managementsysteme Leerfahrten vermieden und der Lieferverkehr in Städten und Belastungsräumen effektiver gestaltet werden.

Eine wichtige Rolle spielt dabei eine aktuelle Verkehrsinformation. Die bisherigen Verkehrsmeldungen im Rundfunk sind nicht hinreichend aktuell, um Staus auszuweichen und damit ihr weiteres Anwachsen zu verhindern. Mit der Entwicklung des neuen Verkehrsinformationssystem BEVEI soll eine aktuelle und zuverlässige Information über die Verkehrslage auf Fernstraßen erreicht werden.

Verkehrsverlagerung

Der öffentliche Verkehr stellt sich energetisch und ökologisch weitaus besser da als der Individualverkehr. Die Verlagerung von Individualverkehr auf öffentliche Verkehrsmittel setzt allerdings voraus, daß der öffentliche Verkehr leistungsfähiger und attraktiver wird, als er es heute ist. Dazu sollen im Nahverkehr Zugangshemmnisse mit der Entwicklung von Fahrgastinformationssystemen und bargeldloser Zahlungsweise weiter abgebaut werden. Außerdem sollen neue Betriebsleittechniken den öffentlichen Nahverkehr flexibler machen und das Angebot bedarfsgerechter gestalten.

Weiterhin werden für den Regionalverkehr neuartige Leichttriebwagen entwickelt, die wegen ihres höheren Beschleunigungsvermögens die Fahrzeiten verkürzen und dennoch wesentlich weniger Energie verbrauchen.

Im Güterverkehr soll der Fernverkehr mit Hilfe von Transportketten auf die Schiene und auf die Wasserstraßen verlagert werden. Hierfür werden Umschlagtechniken und Informationssysteme entwickelt.

c) Schienenverkehr

Neben dem Energieverbrauch im Straßenverkehr muß auch der Energiebedarf anderer Verkehrsträger gesenkt werden. Bereits jetzt verbraucht der ICE nach einer Untersuchung der Deutschen Bahn, um eine Person 100 km weit reisen zu lassen, durchschnittlich nur eine Energiemenge, die 2,5 Litern Benzin entspricht. Für die gleiche Leistung benötigte das bundesdeutsche Durchschnittsauto im Bezugsjahr 1991 etwa 10 Liter und ein Airbus A 320-200 - je nach innerdeutscher Flugstrecke - zwischen 6,7 und 10,5 Litern.

Die schon jetzt niedrigen Energieverbrauchswerte des ICE sollen bei den derzeit gebauten Nachfolgefahrzeugen, dem ICE 2, noch weiter gesenkt werden. Zum einen soll dies durch ein geringeres Gewicht erreicht werden, zum anderen durch eine leichtere Anpassung der Zuglänge an die Fahrgastnachfrage mit der Folge einer besseren Auslastung der Züge. Mit dem ICE 2 soll damit ab 1998 der mittlere Besetzungsgrad im gesamten ICE-System der Bahn von derzeit 47% auf etwa 55% steigen und der Energieverbrauch umgerechnet bei etwa 2,3 Litern Benzin pro 100 Personenkilometern liegen.

d) Schiffahrt

Die Antriebstechnik der See- und Binnenschiffe wurde in der Vergangenheit bereits im Hinblick auf eine Brennstoffminimierung so erfolgreich optimiert, daß eine weitere gravierende Reduzierung nicht zu erwarten ist. Gewisse Energieeinsparpotentiale sind allenfalls noch bei Binnenschiffen durch eine weitere Automatisierung des Schiffsbetriebs und im Bereich der Hydrodynamik auf flachem und extrem flachem Wasser vorhanden.

Energieeinsparungen können in der Schiffahrt, ähnlich wie im Straßenverkehr, durch den Einsatz von Telematiksystemen für das Schiffmanagement erwartet werden.

Die generelle Förderung moderner Schifftechnik einschließlich neuer Antriebstechniken wird ein Rahmen des Programmes Meerestechnik der Bundesregierung gefördert.

e) Luftverkehr

Wichtigste Ansatzpunkte für die Einsparung von Energie sind effizientere Techniken für die Triebwerke und die Fluggeräte sowie eine verbesserte Luftverkehrsführung.

Triebwerke

Von besonderem Interesse sind Hoch-Nebenstrom-Triebwerke mit optimierten Kerntriebwerken und gestuften Brennkammern. Dabei sind auch Fragen der Triebwerksmasse und des Volumens mit einzubeziehen. Unter anderem stehen folgende Arbeiten an:

- Schaffung von Entwurfsgrundlagen für schadstoffarme Brennkammern
- Reduzierung des Triebwerklärms
- Untersuchung zu hochwarmfesten Werkstoffen.

Fluggeräte

Im Bereich Verkehrs- und Transportflugzeuge hat sich bereits in den letzten Jahren eine Verschiebung von nur leistungssteigemden, Betriebskosten senkenden Entwicklungen hin zu umweltverträglichen bzw. -schonenden Techniken eingestellt. Es stehen daher Forschungsarbeiten für Treibstoffverbrauch senkende Maßnahmen im Vordergrund. Fragen der Luftfahrzeugsicherheit, des energiesparenden Werkstoffeinsatzes und der kostensenkenden Fertigungstechniken werden gleichfalls berücksichtigt.

Wesentliche Fortschritte sind zu erwarten aus:

- Untersuchungen zu widerstandsmindernden Techniken, wie dem jeweiligen Flugstand optimal angepaßten , Aktiven Flügel“ und der passiven und aktiven Strömungslaminarisierung
- interferenzarmer bzw. -günstiger Triebwerksintegration
- aeroelastischen Strukturanalysen -Realisierung des Flight-Management-Systems
- Komponentenentwicklung leichter, kostengünstig zu fertigender Primärstrukturbauteile in schadensverlaufoptimierter Verbundbauweise.

Luftverkehrsführung

Die steigende Bedeutung einer optimalen Verkehrsabwicklung aus wirtschaftlichen und umweltpolitischen Gründen verleiht diesem Themenkreis sehr hohe Priorität. Die Schwerpunkte der Arbeiten liegen in der Optimierung der Betriebsabläufe des Flugverkehrs.

Die vorher skizzierten Zielsetzungen, Aufgaben und Arbeiten sind Teil des Programmrahmens Luftfahrtforschung und -technologie 1995-1998 der Bundesregierung. Sie werden im hier vorliegenden Programm deshalb nochmal besonders aufgeführt, damit die staatliche Forschung und Entwicklung bei der Endenergienutzung im Bereich des Verkehrs als Gesamtbild deutlich wird.

3.2 Energieversorgung mit verringerter CO_2- und Umweltbelastung

3.2.1 Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energiequellen wie Wasserkraft, Müllverbrennung, Sonnenstrahlung, Wind, Biomasse,

Erd- und Umgebungswärme stellen die Energieversorgung auf eine breitere Grundlage, schonen endliche Energievorräte und vermindern die Belastung von Luft, Wasser und Boden.

In der Bundesrepublik Deutschland hatten erneuerbare Energiequellen 1994 einen Anteil von rd. 2% an der Primärenergieversorgung und knapp 5% an der öffentlichen Stromversorgung. Dabei handelte es sich weit überwiegend um die Nutzung der Wasserkraft, deren Potential aber zu gut drei Vierteln ausgeschöpft ist. Der Rest bestand zum größten Teil aus Müllverbrennung und Biomasse-Nutzung.

Der Anteil der Windenergie ist mit 0,3% an der öffentlichen Stromversorgung zwar prozentual noch gering, steigt aber insgesamt in stetiger Weise an. Von marginaler Bedeutung ist hingegen bisher der Beitrag der Photovoltaik für die Energieversorgung (1994 0,002% des deutschen Stromverbrauchs, mehr als 3000 netzgekoppelte Anlagen), da die Kosten für die Stromerzeugung derzeit noch viel zu hoch sind. Ihre wirtschaftlich interessanten Einsatzchancen liegen deshalb gegenwärtig vor allem bei der Nutzung für neue, innovative Produkte in sogenannten Nischenmärkten, bei denen die Kosten für die Strombereitstellung nicht der entscheidende Faktor sind.

Neu in die Förderung aufgenommen wurde während der Laufzeit des Vorläuferprogramms die Entwicklung von Techniken zur Nutzung der Geothermie-Potentiale im Norden der neuen Bundesländer.

Seit dem 1. Januar 1993 liegt die Verantwortung für die gesamte Forschungsförderung zu nachwachsenden Rohstoffen beim BML. Am 25. Oktober 1993 wurde die „Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe“ (FNR) in Güstrow als eingetragener Verein gegründet. Sie ist der Projektträger für vom BML geförderte Vorhaben. Diese organisatorische Maßnahme ist wesentliche Voraussetzung dafür, das mit der Gründung der FNR verfolgte Ziel einer besseren Koordinierung zwischen Landwirtschaft, Wirtschaft und Verwaltung erreichen zu können.

Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe betreut auch den 1991 vom damaligen BMFT vorgestellten Modellversuch „Wärme- und Stromgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen“. Die Auswertungsergebnisse der Phase I des Modellversuchs wurden in der Schriftenreihe der FNR veröffentlicht.

Für eine Gesamtbewertung der Beiträge erneuerbarer Energien ist zu beachten, daß die rein thermische Nutzung von Sonnenenergie, also aktive und passive Solarthermie, sowie die Nutzung von Biomasse derzeit in der Energiebilanz noch nicht explizit erfaßt werden. Dadurch wird der Anteil erneuerbarer Energiequellen systematisch unterbewertet. Aber selbst bei ihrer Berücksichtigung läßt sich derzeit leider nur feststellen: Auch nach gut 20 Jahren Förderung von Forschung und Entwicklung befinden sich diejenigen erneuerbaren Energien, die besonders häufig in der politischen Diskussion stehen, erst am Anfang ihrer Möglichkeiten. Die hohen Erwartungen, die sich in früheren Jahren mit ihnen verbunden hatten, haben sich also noch nicht erfüllt

Die Gründe hierfür liegen vor allem in der derzeit mangelhaften Wirtschaftlichkeit: Bei dem gegenwärtig reichlichen Energieangebot zu niedrigen Preisen sind die erneuerbaren Energiequellen nur selten konkurrenzfähig zu den preisgünstigeren konventionellen, jetzt im Gebrauch befindlichen Systemen; denn die Probleme vieler regenerativer Energien bestehen in den niedrigen Leistungs- und Energiedichten sowie in einigen Fällen - in ihrer oft nicht planbaren, zeitlich schwankenden Verfügbarkeit. Hieraus ergibt sich ein vergleichsweise hoher Rächen- und Materialbedarf sowie die Notwendigkeit, erneuerbare Energien entweder im Verbund mit anderen Systemen zu nutzen oder Speichereinrichtungen vorzusehen. Dies alles ist mit hohen Investitionskosten - pro kW installierter Leistung - verbunden.

Weiterhin darf - was die Markteinführung an geht - ein wesentlicher anderer Aspekt nicht vergessen werden: Jede Technik benötigt vom Zustand der Forschung und Entwicklung bis zur Eroberung eines wesentlichen Marktanteils einen längeren, charakteristischen Zeitraum. Für Techniken zur Nutzung fossiler Energien für die Stromerzeugung oder die Kernenergie betrug er mehr als 30 Jahre. Dies geschah jedoch vor dem Hintergrund eines ständig steigenden Energie- bzw. Elektrizitätsbedarfs. Erneuerbare Energiequellen treffen aber auf einen Energiemarkt, der schon seit längerem stagniert und für den in unserem Land auch längerfristig, angesichts der Bemühungen um sparsame und rationelle Energieverwendung, nur geringe Aussichten auf größeres Wachstum besteht Sie stehen deshalb in einem Verdrängungswettbewerb mit etablierten Techniken, wobei wirtschaftliche Gesichtspunkte meistens die entscheidenden Vorteile bringen. Es ist darum durchaus verständlich, daß die Diffusion der erneuerbaren Energien in den Markt bisher nicht so schnell erfolgte, wie es vielfach erwartet worden ist.

Dies gibt einerseits berechtigte Hoffnungen für die Größe der zukünftigen Marktanteile erneuerbarer Energien im Vergleich zu heute; andererseits mahnt es aber auch zur Vorsicht hinsichtlich überzogener Erwartungshaltungen, etwa hinsichtlich der Lösung des CO_2-Problems.

Die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung für die zukünftige Nutzung der erneuerbaren Energiequellen waren bisher beträchtlich (**Tabelle 7**): Seit 1974 wurden in der Bundesrepublik Deutsch-

land im Rahmen der Energieforschungsprogramme mehr als 3 Mrd. DM bereitgestellt Zusätzlich wurden von den übrigen 23 Staaten, die sich im Rahmen der Internationalen Energie-Agentur (IEA) bei der OECD in Paris zusammengeschlossen haben, insgesamt mehr als 20 Mrd. DM ausgegeben. Die Ergebnisse der entsprechenden Programme stehen unserem Land aufgrund zahlreicher Abkommen zu einem großen Teil ebenfalls zur Verfügung.

Wie die Statistiken der IEA ausweisen, gehört die Bundesrepublik Deutschland hinsichtlich der Höhe der Forschungsmittel für erneuerbare Energien international zu den führenden Nationen. In Europa hat unser Land eine deutliche Spitzenstellung. Mit ca. 23% des gesamten öffentlichen Forschungs- und Entwicklungsbudgets für Energieforschung geben wir anteilsmäßig weit mehr für erneuerbare Energiequellen aus als andere große Industrienationen (z.B. USA ca. 10% u. Japan ca. 4%, siehe Abschnitt 1).

Zusätzlich zur Forschungsförderung gibt es eine Reihe weiterer Maßnahmen, die vor allem die Markteinführung erneuerbarer Energien unterstützen sollen:

- das breit angelegte Programm der Bundesregierung zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien von 1994 bis 1998 mit einem Mittel Volumen von 110 Mio. DM
- zinsgünstige Kredite für die Nutzung erneuerbarer Energien im Rahmen des
- ERP-Sondervermögens
- Zusätzliche Fördermittel von Ländern und Gemeinden.

Ein ganz wichtiger Schritt zur Markteinführung erneuerbarer Energien war auch das neue Stromeinspeisungsgesetz, das am 1. Januar 1991 in Kraft trat.

Weiterhin sind die Programme der Europäischen Union zu berücksichtigen, und zwar vor allem JOULE, THERME, SAVE und ALTENER, die teilweise ebenfalls wichtige Anstoßfunktionen gehabt haben.

Im folgenden wird eine kurze, zusammenfassende Darstellung der Tätigkeiten des

Vorläuferprogramms gegeben:

- Demonstration der Anwendbarkeit der Photovoltaik in Deutschland u.a. im „Bund-Länder-1000-Dächer-Photovoltaik-Programm“ mit über 2000 Anlagen und einem begleitenden Meß- und Auswerteprogramm
- Ausbau der anwendungsorientierten Grundlagenforschung im Bereich der Solartechnik in den Großforschungseinrichtungen (im Rahmen des Forschungsverbundes Sonnenenergie)
- Weiterentwicklung der Techniken zur Herstellung kostengünstiger kristalliner Siliziumzellen mit hohen Wirkungsgraden
- Weiterentwicklung neuer Materialen und Herstellverfahren für Dünnschicht- Solarzellen aus amorphem Silizium und aus Verbindungshalbleitern
- Bereitstellung von Forschungs- und Entwicklungs-Ergebnissen für weitere Fortschritte bei der Markteinführung mono- und polykristalliner Siliziumzellen
- Sammlung weitreichender Erfahrungen im Demonstrations- und Erprobungsbetrieb von netzverbundenen und nichtnetzverbundenen photovoltaischen Energieversorgunganlagen u.a. in landwirtschaftlichen Betrieben und industriellen Anwendungen
- Durchführung des Breitentestprogramms „250 MW Wind“ und Auswertung der Betriebsergebnisse über das wissenschaftlich Meß- und Evaluierungsprogramm, wodurch die technische Marktreife von kleinen und mittleren Windanlagen erwiesen werden konnte
- Bau bzw. Vorbereitung von Windanlagen und -parks in den neuen Bundesländern
- Weiterführung der Hot Dry Rock-Technik zur Nutzung heißer Tiefengesteine im europäischen Verbund
- Intensivierung der internationalen Zusammenarbeit bei Forschung und Entwicklung auf den Gebieten Photovoltaik, Komponentenentwicklung und Solarthermie für die Stromerzeugung, insbesondere im Verbund mit Entwicklungsländern
- Durchführung der beiden Programme „ELDORADO-Wind“ und „ELDORADO- Sonne“ für Wind- und Solarenergie in Ländern der Dritten Welt
- Weiterentwicklung zur Energienutzung aus Biomasse und Abfallstoffen mittels fortgeschrittener Verbrennungstechniken (z. B. Wirbelschichtfeuerung). Techniken zur Ver- und Entgasung sowie zur Gewinnung und Nutzung von Deponiegas.

Die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung im Zeitraum von 1990 bis 1995 entwickelten sich für diesen Programmschwerpunkt wie folgt (Angaben in Mio. DM)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
BMBF-Projektförderung	170,6	196,7	214,2	205,3	151,2	137,0
BML-Bomasse	2,3	2,6	3,3	7,0	3,2	3,0
Großforschungszentren	44,9	54,8	85,2	67,5	78,1	77,6

Für die weitere Entwicklung ist folgende Planung vorgesehen (Angaben in Mio. DM):

Tabelle 8: Anwendungsbereiche für Photovoltaik-Technik

Bereich	Anwendungen
netzfern kommerzielles	Kommunikation (Relaisstationen, Sender),Kathodischer Korrosionsschutz (PipeliBrücken, usw.)
	Verkehr (Signale, Beleuchtung, Überwachung), Meßdaten-übertragung (Wetter-und Umweltmeßstationen)
netzfernes Wohnen	Dorfstromversorgung und Inselnetze, Einzelhaus-Anlagen, Wasserpumpen
Kleinanwendungen	Camping- und Freizeitmarkt,Batterie-Ladegeräte und Ventilatoren in Pkw, Hausnummern- und Gartenbeleuchtüng, Taschenrechner, Uhren, etc., Parkscheinautomaten
netzgekoppelt	Privathäuser, kommerzielle Gebäude, Netzstützung

	1996	1997	1998	1999	2000
BMBF-Projektförderung	81,6	80,0	80,0	80,0	80,0
Photovoltaik	43,0	39,0	37,0	37,0	37,0
Windenergie	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Geothermie u. andere	5,0	8,0	10,0	11,0	13,0
BML-Biomasse	24,0	18,0	17,0	17,0	17,0
Dritte Welt u. südliche Klimazonen	24,0	18,0	17,0	17,0	17,0
Großforschungszentren	60,8	63,3	65,0	66,7	70,0

3.2.1.1 Photovoltaik

a) Sachstand

Unter Photovoltaik (PV) wird die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom verstanden. Als Energiewandler dienen Solarzellen aus Halbleitermaterial. Es gibt eine Vielzahl von Zellenkonstruktionen, die aus verschiedenen Materialien und mit unterschiedlichen Verfahren hergestellt werden. Zahlreiche Varianten stehen am Markt zur Verfügung.

Forschung und Entwicklung für die Photovoltaik sind von 1975 bis 1995 mit rund 1,1 Mrd DM an Bundesmitteln gefördert worden. In dieser Zeit konnten die Kosten der Solarzellen etwa um den Faktor 20 gesenkt werden. Dadurch wurde es möglich, die Photovoltaik nicht nur für Spezialanwendungen, wie die Energieversorgung von Weltraumsatelliten, einzusetzen, sondern ihre Nutzung auf eine breite Palette terrestrischer Anwendungen auszudehnen. Sie hegen vornehmlich im Bereich kleiner Leistungen von Milliwatt bis zu einigen Kilowatt, vor allem dort, wo abseits des Stromnetzes relativ geringe Energiemengen bereitgestellt werden müssen und die spezifischen Energiekosten nicht die entscheidende Rolle spielen. Tabelle 8 gibt eine Übersicht über die Anwendungsgebiete.

Der weltweite Markt für die Photovoltaik bewegte sich zu Beginn dieses Programms in der Größenordnung von ca. 65 MW verkaufter Solarzellenleistung pro Jahr.

Die Stromerzeugungskosten für netzgekoppelte PV-Anlagen (ohne Batteriespeicher) belaufen sich derzeit in Deutschland auf ca. 2,00 DM/kWh. Sie hängen zwar stark von den gewählten Ansätzen für Abschreibung bzw. Lebensdauer der Komponenten ab, sind aber dennoch nach wie vor zu hoch, um diese Technik in großem Umfang für unsere öffentliche Stromversorgung einsetzen zu können. Deshalb konnte sie bisher auch noch keinen energiewirtschaftlich bedeutsamen Beitrag liefern (1994 0,001% der Stromerzeugung in Deutschland). Eine Kostensenkung auf wenigstens ein Viertel wird erforderlich sein, um im Vergleich zum heutigen Energiepreisniveau akzeptable Stromkosten von unter 0,50 DM/kWh zu erreichen. Die Anstrengungen, in diesen Kostenbereich vorzudringen, sind - auch international - sehr hoch.

Das Bund-Länder-1000-Dächer-PV-Programm hat in dieser Hinsicht wichtige Beiträge geliefert, und zwar nicht nur zur Entwicklung der PV-Module, sondern vor allem auch zur Weiterentwicklung der Systemtechnik. In diesem bundesweiten Breitentest wurde von Bund und Ländern im Zusammenwirken mit Elektrizitätsversorgungsunternehmen die Installation von rund 2100 netzgekoppelten, dachmontierten PV-Anlagen im Leistungsbereich von 1- 5 kW Spitzenleistung gefördert. Insgesamt sind im Zeitraum von 1991 bis 1994 rund 3000 netzgekoppelte PV-Anlagen mit einer installierten Leistung von ca. 9 MW zu den bestehenden Anlagen hinzugekommen, so daß Ende 1994 ca. 10 MW an PV-Leistung arbeiten konnten, die rund 8 Mio. kWh an elektrischem Strom produziert haben.

Das Programm hat dazu geführt, daß heute die Technik der netzgekoppelten Solarstromerzeugung auf Hausdächern technisch anwendungsreif zur Verfügung steht. Trotz der inzwischen gesunkenen Anlagenpreise sind jedoch für eine Massen-Verbreitung dieser Technik weitere erhebliche Kostensenkungen nötig.

Für Forschung und Entwicklung bleibt die Kostensenkung in der Photovoltaik deshalb eine zentrale Aufgabe, um die Anwendung der Solarstromerzeugung auszuweiten und langfristig auch die energiewirtschaftlichen Potentiale der Photovoltaik in größerem Umfang als bisher erschließen zu können.

Die Bemühungen um die Kostensenkung müssen einerseits bei der Solarzelle und den Modulen ansetzen. Beide haben heute einen Kostenanteil von rd. 50% an einer Photovoltaik-Anlage. Die Steigerung des Wirkungsgrades der Zellen und die damit verbundene Senkung der flächenbezogenen Kosten sind dabei ebenso von Bedeutung wie die Entwicklung kostengünstiger Fertigungsverfahren. Die Erfahrung hat gelehrt, daß die Lösung dieser Probleme eher langfristig zu sehen ist und auch noch eine Reihe von Anstrengungen im Bereich der Grundlagenforschung erforderlich machen wird.

Andererseits bietet auch die photovoltaische Systemtechnik noch bemerkenswerte Kostensenkungspotentiale bei der Systemkonzeption, den Komponenten und der Installationstechnik, die es auszuschöpfen gilt, und wofür dieses Programm ebenfalls einen Beitrag liefern soll.

Das 1000-Dächer-PV-Programm hat weiterhin die Erkenntnis gebracht, daß es für die Akzeptanz dieser Technik wichtig ist, auch baulich-architektonisch überzeugende Lösungen für die Integration der Photovoltaik in Gebäuden anzubieten und einen fehlerfreien, optimalen Betrieb sicherzustellen.

Der Einsatz der Photovoltaik in wenig bzw. nicht industrialisierten Ländern mit ungünstiger Stromversorgungsinfrastruktur hat sich stark ausgedehnt. Die Photovoltaik hat hier ihre technische Tauglichkeit gezeigt, und es zeichnen sich auf dem Gebiet der autarken Stromversorgung abgelegener Siedlungen. Inseln, einzelner Häuser sowie von Wasserversorgungsanlagen große künftige Märkte ab. Hier kommt vor allem der Kooperation mit Partnerländern und der Markterschließung große Bedeutung zu.

b) Weiteres Vorgehen

Der Handlungsbedarf, der sich aus dem unter a) dargestellten Sachstand für die Forschungsförderung ergibt, läßt sich in zwei Bereiche unterteilen:

- **Erstens** den Bereich des **energiewirtschaftlich relevanten Einsatzes** der Photovoltaik, vor allem in Verbindung mit dem Stromnetz der öffentlichen Versorgung, aber auch in dezentralen, netzunabhängigen Anlagen. Letztere haben auch als Exportprodukte für sonnenscheinreiche Länder der Dritten Welt eine große Bedeutung, und

- **zweitens** den Bereich der **photovoltaisch energieversorgten Geräte und Kleinsysteme**, die sich bereits als hochtechnologische Industrieprodukte interessante Nischenmärkte erobert haben, die auch für kleine und mittlere Unternehmen von Bedeutung sind. Dadurch wurden außerdem weite Teile der Bevölkerung in Kontakt mit der Photovoltaik gebracht. Das hat zu einer Popularität dieser neuen Technik beigetragen, die es zu nutzen gilt, um den Weg zu einer energetisch bedeutungsvollen Verwendung der Photovoltaik zu flankieren.

Beide Bereiche werden im folgenden näher dargelegt

I. Wegbereitungsprogramm Photovoltaik 2005

Der weitaus größere Forschungs- und Entwicklungsbedarf liegt im Bereich des energiewirtschaftlichen Einsatzes der Photovoltaik. Auf diesem Gebiet ist in Deutschland schon sehr viel erreicht worden. Es sind aber noch weitere Anstrengungen erforderlich, um Lösungen für Schlüsselprobleme zu erarbeiten, die aus heutiger Kenntnis Hemmnisfaktoren für eine breitere Nutzung der Photovoltaik darstellen. Die dazu erforderlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden in einem neuen **Wegbereitungsprogramm Photovoltaik 2005** zusammengefaßt. Wegen der Langfristigkeit der Aufgabe ist für dieses Programm eine auf zunächst zehn Jahre (bis 2005) angelegte Laufzeit vorgesehen.

Die FuE-Aktivitäten dieses Programms umfassen drei Teilgebiete mit sich ergänzenden Zielsetzungen:

1) Kostenreduktion bei Solarzellen durch Senkung der Fertigungskosten und Steigerung der Wirkungsgrade

Das bedeutet Forschungs- und Entwicklungs-Anstrengungen vor allem auf folgenden Gebieten:

- kristalline Silizium-Solarzelle
  - Weiterentwicklung von Silizium-Materialien und Solarzellen (zweite, fortgeschrittene Material- und Zellengeneration)
  - Gießen von Silizium-Scheiben
  - Vorbereitende Untersuchungen für eine Großproduktion von Zellen und Modulen der zweiten Generation (größer als 10 MW jährlich), Fertigungstechniken

Tabelle 9: Mögliche neue Anwendungsgebiete für PV-Geräte und PV-Kleinsysteme

- Verkehrsleit- und -warnsysteme, z.B.
  - Verkehrsleitsysteme und Datenübertragung per Funk
  - Funkgesteuerte Bedarfsverkehrszeichen
  - Wechselverkehrszeichen
  - Verkehrszeichenbeleuchtung
  - Stauwarneinrichtung
  - Baustellenampeln
  - Ampelanlage an Überlandstraße
  - Eiswarnanlagen
- Notbeleuchtungseinrichtungen und Notwarnsysteme, z.B.
  - Fluchtzeichenbeleuchtung an Lärmschutzwänden, Freilichtbühnen etc.
  - Fehlerfrühwarnsystem via Funktelefon
  - mobile Leuchten (Baustellen)
  - Sirenenanlagen (funkgesteuert)
  - Warnleuchten an exponierten Einrichtungen (Hochspannungsmast/Schornstein)
- Mobile netzferne Kommunikation, z.B.
  - Notrufsäulen (Basis C-Netz), z.B . im Gebirge, an Baggerseen
  - Telefonzelle/Bedarfstelefonzelle
  - Werbung (Beleuchtung)
- Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) kleiner Leistung, z.B.
  - Meßwerterfassungs- und Datenübertragungssysteme
  - Bordinstrumente bei Segelflugzeugen
  - Elektronische Fahrpläne im 7PNV
  - Haltestellen Kennzeichnungsbeleuchtung 7PNV
  - Portable Diktiergeräte
- Sonstige netzferne Einsatzgebiete, z.B.
  - dezentrale Wasseraufbereitung (Entkeimung, Reinigung) in kleinen Einheiten
  - dezentrale Abwasser-Entgiftung (Deponien)
  - dezentrale Aufbereitung metallkontaminierter Gewässer
  - Ladegeräte für Gartengeräte
  - Umwälzpumpen (Teich, Heizung)
  - Ladekoffer für Elektrowerkzeuge mit Batterien
  - Solarkühlgerät für Medikamententransport
- Solare Gebäudeeinrichtungen
  - Module mit integriertem Schutz- und Diagnosesystem
  - Solar geführte und gespeiste Rollos/Jalousien
  - Solar -gesteuerte Lamellenfenster

  - Senkung des Energieaufwandes bei der Fertigung.
- Entwicklung kristalliner Silizium-Dünnschichtzellen
- Weiterentwicklung von Dünnfilm-Solarzellen:
  - Amorph-Silizium-Zellen
  - Verbindungshalbleiter-Zellen
  - Tandemzellen aus mehreren übereinanderliegenden photovoltaisch aktiven Schichten.
- Neuartige Zellenkonzepte

2) Kostenreduktion, technische Optimierung und Abbau von weiteren Anwendungshemmnissen bei der Nutzung von Photovoltaikanlagen in unterschiedlichen Gebäudetypen

Wie die bisher vorliegenden Studien über eine zukünftige energiewirtschaftlich relevante Nutzung der Photovoltaik in Deutschland zeigen, kommen für den Photovoltaik-Einsatz Anlagen auf Freiflächen und für Gebäude in Frage, und zwar vor allem auf Dachflächen. Dies ist für dichtbesiedelte Gebiete in Deutschland eine attraktive Variante der Solarstromgewinnung.

Zur Verbilligung des photovoltaischen Solarstroms können neben den Kostenreduktionen bei Solarzellen auch eine Vielzahl kostensenkender Verbesserungen in der photovoltaischen Systemtechnik beitragen. Dies gilt sowohl für Photovoltaikanlagen auf Freiflächen als auch für Anlagen in Gebäuden. Letztere werfen jedoch noch eine Reihe spezieller energie- und bautechnischer sowie betrieblicher Fragen auf, die für einen energiewirtschaftlich bedeutenden Einsatz dieser Technik praktikable Lösungen erfordern. Daran soll in diesem Programmteil speziell die Kombination von Photovoltaik mit Gebäuden mit einem umfassenden und längerfristig angelegten Ansatz aufgegriffen werden.

Folgende Aufgaben stehen dabei im Vordergrund:

- Verbesserung der Systemauslegung (Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades)
- Vereinfachung und Standardisierung der Systeme (Senkung der Planungs- und Montagekosten) bis hin zur Serienfertigung von Komponenten (Senkung der Systemkosten)
- Erhöhung der Zuverlässigkeit der Komponenten (Erhöhung der Lebensdauer)
- bauliche und architektonisch vorbildliche Einbindung der Photovoltaik in Wohnhäuser, Gebäude und sonstige Baustrukturen
- Untersuchung der Auswirkungen von Photovoltaikanlagen auf das städtebauliche Erscheinungsbild
- Weiterentwicklung dachintegrierter und aufgeständerter Photovoltaikanlagen
- Photovoltaik an Gebäudefassaden
- Untersuchung von Netzrückwirkungen örtlich gehäufter Photovoltaikanlagen
- Service- und Betriebskonzepte zur Sicherstellung einer einwandfreien Anlagenfunktion
- Einbindung der Photovoltaik in Gesamt-Energiekonzepte und Energieeinsparmaßnahmen bei Gebäuden (Energiemanagement).

Diese Aufgaben sollen sowohl mit einzelnen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der Industrie und der Forschungseinrichtungen als auch mit Demonstrations- und Erprobungsprojekten erreicht werden, da letztere nach den bisherigen Erfahrungen die technische Entwicklung wesentlich mit beschleunigen können.

Eine wichtige Basis für diese Projekte stellen die Ergebnisse dar, die mit dem 1000- Dächer-Photovoltaik-Programm gewonnen worden sind. Sie sollen deshalb auch einer der Ausgangspunkte für eine Reihe gezielter Weiterentwicklungen und praktischer Erprobungen in der photovoltaischen Systemtechnik sein. Eine Fortsetzung bzw. Aufstockung des 1000-Dächer-Programms ist hierfür nicht erforderlich, da Photovoltaikanlagen auf Hausdächern von Ein- und Zweifamilienhäusern in ausreichender Zahl gefördert und untersucht wurden. Vielmehr soll künftig die Kombination von Photovoltaik mit verschiedenartigen Häusern und Gebäuden, die repräsentative Beispielstypen darstellen, und sonstigen Baustrukturen weiterentwickelt und in Demonstrationsvorhaben getestet werden.

Die Demonstration und Erprobung von PV-Anlagen soll in 4 Gebäudekategorien erfolgen:

- Wohnsiedlungen (auch in Zusammenhang mit kommunalen Energiekonzepten)
- unterschiedliche Typen von Gewerbegebäuden
- Hochbauten (wie z.B. Bürogebäude oder Geschäftszentren)
- Besondere Baustrukturen (wie z.B. Lärmschutzwände an Autobahnen).

Photovoltaik für dezentrale, netzunabhängige Energieversorgung

Ein längerfristig interessantes Einsatzgebiet für die Photovoltaik zeichnet sich dort ab, wo eine dezentrale Stromversorgung für Einzelversorger oder sehr kleine Netze erforderlich ist. Allerdings muß hierbei auch eine genügend große Sonneneinstrahlung vorausgesetzt werden, wie das vor allem in einigen Ländern der südlichen Klimazonen, aber auch teilweise in deutschen Gebirgsgegenden und in Südeuropa der Fall ist.

In diesem Programmteil sollen alle Arbeiten zusammengefaßt werden, die sich mit den Einsatzmöglichkeiten der PV-Technik für netzfeme und dezentrale Energieversorgungsaufgaben -innerhalb und außerhalb Deutschlands- beschäftigen, um die breite Nutzung der Photovoltaik auch auf diesem, für sie durchaus typischen Gebiet, zu unterstützen und ggfs, weitere Exportmärkte zu erschließen.

II. Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme

Die Photovoltaik wurde in den vergangenen Jahren für die Energieversorgung einer ganzen Reihe technischer Produkte und Kleinsysteme mit Erfolg eingesetzt, da sie wichtige Vorteile gegenüber konventionellen Energieversorgungssystemen bietet. Sie erhöht z.B. die Mobilität tragbarer Geräte, vergrößert den Freiheitsgrad bei der Aufstellung elektronischer Systeme und garantiert eine wartungsarme und sichere Versorgung. Dadurch wurde die Photovoltaik weiten Teilen der Bevölkerung als eine im Alltag durchaus praktische Energiequelle bekannt. Das BMBF hat die Entwicklung derartiger Hochtechnologieprodukte über viele Jahre in mehreren Vorhaben gefördert. Dabei haben sich die intensive Zusammenarbeit und der Innovationstransfer zwischen kreativen kleinen und mittleren Unternehmen und den Solarforschungsinstituten in besonderer Weise bewährt.

Die technologischen Möglichkeiten zur solar-elektrischen Versorgung von konventionellen und neuen Produkten und Systemen sind aber noch lange nicht alle erschlossen. Unter anderem zeichnen sich neue Anwendungen ab für die Feldmeßtechnik im Umweltbereich, für Sensoren in der Medizin, in der Bau- und Gebäudetechnik, im Freizeit- und Touristiksektor sowie bei der Aufbereitung von Trink-, Brauch- und Abwasser. Viele weitere Gebiete sind vorstellbar (**Tab. 9**). Um hier qualitativ hochwertige und wettbewerbsfähige photovoltaische Systeme zu entwickeln, die auch in großer Stückzahl produziert werden können, muß besonderer Augenmerk auf eine modular aufgebaute und standardisierte Energieauf-

bereitung und Regelung als Bindeglied zwischen Solarmodul und dem Verbraucher sowie auf ein an die Photovoltaik angepaßtes Gerätedesign gerichtet werden. Hier können die grundlegenden Untersuchungen der Solarforschungsinstitute den Entwicklern und späteren Vermarktem wertvolle Impulse geben. Damit bieten sich gerade für kreative kleine und mittlere Unternehmen besondere Chancen zur Herstellung neuer Hochtechnologieprodukte und damit die Schaffung neuer Arbeitsplätze. Es ist deshalb beabsichtigt, die Förderung der dezentralen, leitungslosen photovoltaischen Systeme zur Energieversorgung technischer Produkte und Einrichtungen durch das neue Förderkonzept **Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme** zu konzentrieren und zu verstärken.

3.2.1.2 Windenergie

a) Sachstand

Die Windenergie ist wie die Wasserkraft eine vorwiegend regionale, CO_2-freie Energieressource. Wie verschiedene Potentialabschätzungen zeigen, verfügt sie über erhebliche Ausbaupotentiale, die bis zu einigen Prozent der gegenwärtigen Stromerzeugung in Deutschland betragen können.

Allerdings zeigen die praktischen Erfahrungen beim Ausbau der Windenergie, daß es bei der Standortplanung und beim Netzanschluß erhebliche Probleme zu lösen gibt. Darüber hinaus gibt es auch für die regenerative Energiequelle Wind Akzeptanzschwierigkeiten, da die heutigen kommerziellen Anlagen bzw. Windparks aufgrund ihrer geometrischen Dimensionen mit Turmhöhen bis zu 50 m und 40 m Rotordurchmesser sowie der Schallemissionen je nach Interessenlage unterschiedlich bewertet werden. Da die Windenergie besonders in den windreichen deutschen Küstenländern ausgebaut wird, häufen sich dort die genannten Probleme.

Der bisher erreichte hohe Standard der Windnutzungstechnik und der damit mögliche Beginn eines nennenswerten Ausbaus der Windenergie wurde vor allem durch die Fördermaßnahmen von Bund und Ländern sowie durch das Stromeinspeisevergütungsgesetz weit voran gebracht. Dabei wird das Ziel verfolgt, durch breiteren Einsatz und weitere Entwicklung der Technik in einem absehbaren Zeitraum die Kosten für Strom aus Windenergieanlagen so zu senken, daß diese Energiequelle ihre volle Wettbewerbsfähigkeit mit eiprobten Stromerzeugungsanlagen erreicht. Die Aussichten dafür sind günstig, da die Entwicklung der Technik trotz des erreichten Standes noch nicht abgeschlossen ist Insbesondere werden die Möglichkeiten von Windenergieanlagen mit größeren Leistungen, d.h. mit Leistungen im MW-Bereich, mittelfristig günstig eingeschätzt. Um den gleichen technischen Stand wie bei mittelgroßen Anlagen zu erreichen, sind für Anlagen im Bereich um 1 MW und darüber weitere technische Entwicklungen erforderlich, die teilweise aufgrund der Größe der Bauteile in technisches Neuland vorstoßen. Nur wenn es gelingt, die Kosten dieser Großanlagen so zu senken, daß sie mit denen von Mittelklasseanlagen vergleichbar sind, haben diese Anlagen eine Zukunft

Große Anlagen haben gegenüber kleinen und mittelgroßen Anlagen den Vorteil, daß das begrenzte Standortpotential besser genutzt werden kann. Bisher wurden nur vereinzelt Prototypen von Großanlagen (1 MW Nennleistung und mehr), wie die im Herbst 1993 in Betrieb genommene 3 MW Zweiblatt-Anlage AEOLUS II bei Wilhelmshaven, gefördert und gebaut Dabei wurde vor allem der Nachweis der technischen Machbarkeit erbracht Derzeit werden vier weitere große Anlagen mit 1 MW Nennleistung bei vier verschiedenen Herstellern in Deutschland mit bzw. aufgrund vorangegangener Förderung des BMBF gebaut

b) Weiteres Vorgehen

Bei kleinen und mittelgroßen Anlagen ist der technische Entwicklungsstand schon weit fortgeschritten. Zumindest an windreichen Standorten ist unter den heutigen Rahmenbedingungen (Stromeinspeisegesetz) aus der Sicht des Betreibers bereits ein wirtschaftlicher Betrieb möglich. Weiterentwicklungen werden in der Regel inzwischen von den Herstellern selbst finanziert Dabei können sie auch in Zukunft insbesondere von den vielfältigen Ergebnissen des Meß- und Evaluierungsprogramms der Anlagen, die im Rahmen des „250 MW Wind"-Programms gefördert wurden, profitieren. Damit kann sich die Förderung von kleinen und mittleren Windkraftanlagen auf risikoreiche Entwicklungen mit überlegenem Wirtschaftlichkeitspotential beschränken, wie z.B. getriebelose Anlagen. Bei großen Windkraftanlagen wird sich die Forschungs- und Entwicklungs-Förderung zukünftig auf technische Lösungen zur Senkung der Stromerzeugungskosten konzentrieren. Dies könnte z.B. durch die Erhöhung der Lebensdauer, Verbesserung der technischen Zuverlässigkeit, Senkung der Anlagenkosten sowie durch eine optimale Integration in das Stromnetz erreicht werden.

Große Probleme dürften, wie bereits angesprochen, beim weiteren Ausbau der Windenergie bei Standort- und Genehmigungsfragen entstehen. Die staatliche Forschungs- und Entwicklungs-Förderung kann hier durch die Unterstützung flankierender wissenschaftlich/technischer Maßnahmen und Projekte, beispielsweise zur Verringerung der Schallemissionen von Windkraftanlagen, helfen. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang auch die Offshore-Windnutzung, für die noch eine Reihe grundlegender wissenschaftlich-technischer Fragen zu klären ist.

Darüber hinaus haben Vertreter der Windkraftanlagen-Hersteller und der Elektrizitätswirtschaft in zwei vom BMBF einberufenen Strategiegesprächen zur Weiterentwicklung der Windenergie ihre Absicht erklärt zukünftig die nicht anlagenspezifischen Probleme gemeinsam zu lösen. Hierzu zählen beispielsweise Netzrückwirkungen von Windkraftanlagen, Verbesserungen der Kenntnisse über Lastkollektive für Rotorblätter und Turm sowie ein verbesserter Blitzschutz. Die Aufgabe der staatlichen Forschungs- und Entwicklungs-Förderung wird sich dabei auf begleitende, grundlegende wissenschaftlich/technische Arbeiten beschränken.

3.2.1.3 Biomasse

In diesem Abschnitt sind die Arbeiten des BML zusammengefaßt, die für die energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und biogenen Rest- und Abfallstoffen durchgeführt werden. Dabei handelt es sich um anwendungsbezogene Grundlagen- und angewandte Forschung und Entwicklung. Reine Grundlagenforschung, z.B. für die Erzeugung von Wasserstoff, wird im Rahmen der Biotechnologie gefördert

a) Sachstand

Bei dem erneuerbaren Energieträger Biomasse liegt die Energie in chemisch gebundener Form vor. Aus diesem Grund ist bei der Biomasse die Energiespeicherung und Anpassung der Nutzenergiebereitstellung an den wechselnden Bedarf (Tag/ Nacht, Werktage/Feiertage, Winter/Sommer), verglichen mit anderen erneuerbaren Energien (z.B. der Sonnenenergie oder Windkraft), relativ problemlos. Hinzu kommt, daß, je nach Bedarf, die Biomasse als Energieträger in allen physikalischen Zustandsformen - z.B. als fester Brennstoff für die Wärme- und Stromgewinnung, als flüssiger Treibstoff zum Betrieb von Kraftfahrzeugen oder als Biogas - eingesetzt werden kann (siehe auch **Abb. 11**).

Als Ausgangsstoffe für die Energiegewinnung aus Biomasse kommen primär speziell angebaute Energiepflanzen, land- und forstwirtschaftliche Rest- und Abfallstoffe (z.B. Stroh, Holz aus Forsten und Verarbeitungsbetrieben, Gülle) und organische Stoffe aus Industrie/Gewerbe sowie der kommunalen Entsorgungswirtschaft in Frage.

Nach neueren Untersuchungen ließen sich durch nachwachsende Rohstoffe rd, 8 Prozent des Endenergieverbrauches in Deutschland abdecken, davon rd. die Hälfte aus speziell angebauten Energiepflanzen, wofür ca. 2 Mio Hektar, entsprechend rd. 12% der landwirtschaftlichen Nutzfläche, benötigt werden. Die andere Hälfte kann durch die energetische Nutzung von land- und forstwirtschaftlichen Rest- und Abfallstoffen bereitgestellt werden.

Ein Hauptbeweggrund für die Forschungs-, Entwicklungs- und Technologieförderung bei Biomasseanlagen ist die marktstimulierende Wirkung für einen späteren Praxiseinsatz entsprechender Anlagen. Durch den verstärkten Einsatz solcher Energieanlagen kann ein Beitrag zur Minderung der Klimaproblematik geleistet werden, indem fossile Energieträger durch CO_2-neutrale erneuerbare Energien substituiert werden. Hinzu kommt, daß das neue Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz neben der Vermeidung die energetische Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen zum Ziel hat.

Durch intensive Vorleistungen bei Forschung- und Entwicklung haben bei der Biomasse inzwischen einige Techniken die Praxisreife erreicht und kämen damit in den Markt eingeführt werden. Dies gilt vor allem für die Treibstofflinie und in Teilbereichen für die Wärme- und Stromgewinnung. Durch die Besserstellung der Rahmenbedingungen kann Rapsmethylester derzeit nahezu preisgleich zu Dieselkraftstoff angeboten werden. Die hier beginnende Marktdurchdringung spiegelt sich in der bundesweit kontinuierlich zunehmenden Anzahl von Rapsöltankstellen (1995 rd. 300).

b) Weiteres Vorgehen

Derzeit bestehende Forschungs- und Entwicklungsdefizite bei der energetischen Nutzung von Biomasse resultieren vor allem daraus, daß bis vor wenigen Jahren die Verwendung landwirtschaftlicher Produkte als Nahrungsmittel im Vordergrund stand. Um diese Defizite weitgehend zu beheben, sollen die vor wenigen Jahren begonnenen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsmaßnahmen auf aussichtsreiche und innovative Handlungsfelder konzentriert und intensiviert werden.

Schwerpunktthemen sind insbesondere:

1. Brennstoffbereitstellung (Anbau, Ernte, Aufbereitung und logistische Fragen)
- Weiterentwicklung umweltschonender Anbausysteme für spezielle Energiepflanzen
- Verbesserung der Erntetechnik, insbesondere für neue land- und forstwirtschaftliche Energiepflanzen (z.B. Ganzpflanzenernte, Miscanthus, schnellwachsende Hölzer)
- Aufbereitung und Konditionierung der Energiepflanzen und des Biobrennstoff- mix (z.B. Zerkleinern, Trocknen, Pressen, Pelletieren)
- Erarbeitung von Logistikkonzepten (z.B. Transport, Lagerung, Anlieferung)

2. Nutzungstechniken für Bioenergieträger
2.1 Optimierung der Verbrennung und Verstromung fester Biomasse
- Anpassung der Verbrennungstechnik an den Brennstoff, insbesondere bei Feuerungen für den

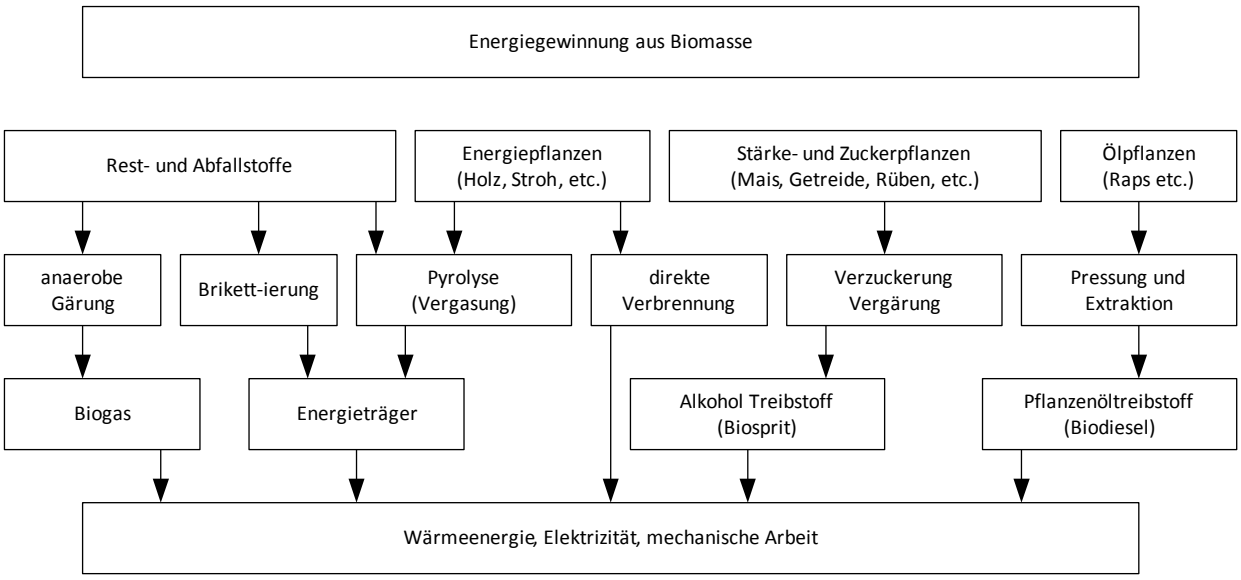


Abb. 11: Möglichkeiten der Energiegewinnung aus Biomasse

gleichzeitigen Einsatz unterschiedlicher Biomassen als sog. Biobrennstoffmix (z.B. Holz, Stroh, Landschaftspflegematerial, Energiepflanzen), Konditionierung des Brennstoffes in der Verbrennungsanlage
- Beschickung der Feuerungsanlagen, z.B. Anpassung der Beschickungsanlagen an den Brennstoff, Automatisierung der Brennstoffzuführung
- Aufgeladene Wirbelschichtfeuerungen

2.2 Vergasung und Verflüssigung (um. auch Pyrolyse) von Biomasse
- Bearbeitung von Fragen analog zu den ersten beiden Spiegelstrichen unter 2.1
- Reinigung und Aufbereitung des gewonnenen Gases
- Scaling up der Forschungs- und Entwicklungs-Ergebnisse in den Demonstrations- bzw. Praxisbereich
- Entwicklung von Konzeptplanungen für großtechnische Vergasungsanlagen

2.3 Bivalente Nutzung von fossilen und biogenen Brennstoffen
- Klärung offener Fragen bei der
- Ko-Verbrennung
- Ko-Vergasung

3. Systematische Evaluierung ökologischer Fragen und Durchführung ökologischer Begleituntersuchungen

Damit kann die Festlegung ökologischer Grenzwerte (z.B. Emissionen und Immissionen in Luft, auf landwirtschaftlichen Flächen und Entsorgung von Filterstäuben), die Normung von Biobrenn- und -treibstoffen und die Standardisierung von Verfahrenstechniken vorangebracht und die Sicherheit für Betreiber, Investoren und Kapitalgeber erhöht werden.

Bei den vorstehend aufgezeigten Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkten ist darauf zu achten, daß prioritär die Bereiche unterstützt werden, bei denen mittel- bis langfristig die praktische Umsetzung durch Forschung und Entwicklung wesentlich gefördert wird.

3.2.1.4 Geothermie und andere erneuerbare Energiequellen

Die Bundesrepublik Deutschland verfügt zwar nicht über so vorteilhafte Bedingungen zu Nutzung der Erdwärme, wie z.B. die USA, Japan, Island oder Italien. Aber bei sorgfältiger Standortwahl (d.h. Berücksichtigung günstiger geologischer Bedingungen, vorhandener Wärmeabnehmer, evtl. Mehrfachnutzung des Wassers als Trinkwasser oder in Thermalbädern) besteht auch in Deutschland für die Wärmebereitstellung ein interessantes, wirtschaftlich nutzbares Energiepotential. Bisherige Untersuchungen zeigen Möglichkeiten der Erdwärmenutzung im süddeutschen Molassebecken, dem Oberrheingraben und in den tiefliegenden Sedimenten Norddeutschlands.

Die Technik zur Nutzung hydrothermaler Tiefenwässer hat inzwischen einen anwendungsreifen Stand erreicht, der in mehreren geothermischen Heizkraftwerken demonstriert wurde. Letztes Beispiel für eine solche Anlage ist die mit Mitteln des BMBF erstellte Heizzentrale in Neustadt-Glewe, Mecklenburg-Vorpommern, die Ende 1994 ihren Betrieb auf genommen hat.

Weiterer Forschungsbedarf, der im Rahmen der laufenden Pilotprojekte und begleitender Forschungsvorhaben abgedeckt wird, besteht noch hinsichtlich auftretender Probleme der Korrosion und Inkrustation von Anlagenteilen sowie der Reinjektion des genutzten Wassers. Zur Minimierung des Risikos von Fehlbohrungen besteht weiterhin Bedarf an der Verbesserung der Erkundungsmethodik.

Die Nutzung der Erdwärme aus trockenem, heißen Tiefengestein (Hot-Dry-Rock) befindet sich vergleichsweise immer noch im Stadium der Anfangsentwicklung. Bei dieser Technik wird das aufzuheizende Wasser in ein Bohrloch eingebracht, das über ein künstlich geschaffenes Rißsystem mit einem zweiten Bohrloch in Verbindung steht. Beim Durchströmen des im tiefen Untergrund (z.B. 6000 m) heißen Gesteins nimmt das Wasser Wärme auf und steigt durch die zweite Bohrung wieder nach oben. Die Technik, die prinzipiell ein enormes Energiepotential erschließen könnte, wird zusammen mit anderen europäischen Partnern am Standort Soultz im Elsaß gefördert. Ob dort in Zukunft eine Hot-Dry-Rock-Pilotanlage erstellt wird, hängt von den Ergebnissen der laufenden Forschungsarbeiten und vom Engagement der EU und der Industrie auf diesem Sektor ab.

Andere Arten erneuerbarer Energien wie z.B. Wellen- oder Gezeitenenergie haben für Deutschland ein so geringes Potential, daß sie im Rahmen dieses Programms nicht gefördert werden.

Als derzeit größte erneuerbare Energiequelle hat die Wasserkraft für Deutschland eine besondere Bedeutung. Da die Techniken zu ihrer Nutzung weitgehend ausgereift sind und kommerziell zur Verfügung stehen, sind die Möglichkeiten für eine staatliche Forschungsförderung sehr begrenzt. Dies schließt jedoch nicht aus, daß neue Techniken mit hohem Innovationspotential prinzipiell förderungswürdig sein könnten, um das Potential dieser Energiequelle weiter zu erschließen.

3.2.1.5 Erneuerbare Energien für Länder der Dritten Welt und südliche Klimazonen

a) Sachstand

BMBF und BMZ arbeiten auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien unter Beteiligung der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) und der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) eng mit Ländern der Dritten Welt und in südlichen Klimazonen zusammen.

Dabei verfolgt das BMBF eine Strategie kontinuierlicher, wissenschaftlich-technischer Zusammenarbeit, bedarfsorientierter Technikentwicklung und Erprobung im jeweiligen Einsatzgebiet sowie Demonstration bis zur Schwelle der Marktreife mit ausgewählten technologischen Schwellenländern.

Von 1974 bis 1994 hat das BMBF für diesen Bereich rd. 750 Mio DM aufgewendet, vor allem für solarthermische Kraftwerke (Parabolrinnenanlagen, Solartürme, Aufwindkraftwerk und Dish-Stirling-Anlagen), Photovoltaik- und solarthermische Wasserpumpen, solare Meerwasserentsalzung und Brackwasseraufbereitung, solare Kocher, solare Trockner, solare Kühlung u.ä.. Desgleichen wurden Windanlagen in Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern entwickelt, erprobt und demonstriert. Das deutsch-spanische Zentrum für erneuerbare Energien in Almeria (Plataforma Solar de Almeria) und das Solar-Wasserstoff-Projekt HYSOLAR in Saudi-Arabien, desgleichen das deutsch-indonesische Vorhaben Renewable Energies Indonesia (REI Indonesien) haben sowohl wichtige Forschungs- als auch Demonstrationsaufgaben wahrgenommen.

Das BMZ fördert die Anwendung bereits entwickelter Technologien und deren Anpassung an die Bedürfnisse von Entwicklungsländern. Schwerpunkte bei den erneuerbaren Energien liegen insbesondere bei Windenergie, Sonnenenergie, Wasserkraft und Biomasse. Neben der Entwicklung, Anpassung und Verbreitung von technischen Geräten und Systemen liegt ein weiterer Aufgabenbereich der Entwicklungszusammenarbeit im Aufbau und der Stärkung von Trägerinstitutionen in Entwicklungsländern bezüglich Nutzung, Produktion, Verbreitung, Vermarktung und Wartung der Systeme.

Die Förderung geschieht vor allem durch die Entsendung oder Finanzierung von Beratern, Ausbildern, Sachverständigen, Gutachtern und sonstigen Fachkräften zur Aus- und Fortbildung einheimischer Fach- und Führungskräfte sowie durch Lieferung oder Finanzierung von Ausrüstung und Material für die Ausstattung der geförderten Einrichtungen.

Für Vorhaben im Bereich der erneuerbaren Energien hat das BMZ bisher knapp 3 Mrd. DM bereitgestellt, davon etwa 2,4 Mrd. DM für finanzielle Zusammenarbeit (insbesondere zur Stromerzeugung aus Wasserkraft) sowie weitere rund 0,6 Mrd. DM für 150 Projekte der Technischen Zusammenarbeit (Photovoltaik, Klein Wasserkraft, Biomasse und Biogas sowie kleine Windanlagen). Für Sofortmaßnahmen zur Umsetzung der Klimarahmenkonvention hat das BMZ darüber hinaus einen Betrag von 10 Mio. DM zur Verfügung gestellt, auch diese Mittel dienen jedoch nicht der Forschung.

Die Bundesregierung vertritt - ebenso wie andere bilaterale und multilaterale Geber, insbesondere die Weltbank - die Auffassung, daß die Entwicklung von marktfähigen Technologien die Aufgabe der Industrie ist. In Bezug auf erneuerbare Energietechnologie

hat sich herausgestellt, daß unter den technischen Geräten und Systemen einige schon heute wirtschaftlich vorteilhaft sein können, wie z.B. wind- getriebene Wasserpumpen, Biogasanlagen, solare Trockner für landwirtschaftliche Produkte, photovoltaisch betriebene Kleinsysteme, photovoltaisch betriebene Pumpsysteme und Kleinwasserkraftanlagen. In den Zahlen der Zusagen und Bewilligungen spiegelt sich wider, daß die Windenergie im Vergleich zur Sonnenenergie zunehmend wettbewerbsfähig geworden ist.

Um einen genaueren Überblick über die wirtschaftlichen Zukunftsperspektiven zu gewinnen, hat die GTZ im Auftrag des BMZ eine Studie über den Wettbewerb zwischen konventionellen und regenerativen Energiesystemen erstellt Die Studie kommt zu dem Ergebnis, daß die Wettbewerbsfähigkeit von Systemen zur Nutzung regenerativer Energiequellen in Entwicklungsländern derzeit eingeschränkt ist Die wichtigsten Argumente, warum sich in Entwicklungsländern die Märkte vieler Systeme für regenerative Energien ohne staatliche Unterstützung nur schwer entwickeln können, sind:

Technologie	1960 - 1990	%	1991 - 1995	%
- Solarenergie	224	55	10	8
- Windenergie	23	5	61	52
- Kleinwasserkraft	68	15	2	2
- Biomasse	115	25	23	19
- Sonstige (Trägerförderung, Ausbildung, etc.)	keine Angaben	-	22	19
Zwischensumme	450	100	117	100
Großwasserkraft	2 300	-	41	-
Zwischensumme	2 750		158	
Insgesamt				2 908

Tabelle 10: Zusagen und Bewilligungen des BMZ für die Nutzung erneuerbarer Energien (Angaben in Mio. DM)

a) Die zukünftigen Bemühungen zur Förderung von solchen Systemen in Entwicklungsländern müssen an den makro- und mikro-ökonomischen Rahmenbedingungen ansetzen, weil die Verbesserung der globalen Rahmenbedingungen allein nicht ausreichen dürfte, um Systeme zur Nutzung regenerativer Energiequellen einen wesentlichen Wettbewerbsvorteil gegenüber konventionellen Anlagen zu verschaffen: Die Preise für fossile Energien werden in den nächsten Jahren vermutlich nur mäßig steigen; ein umweltpolitischer Konsensus, von dem die regenerativen Energien massiv profitieren könnten, ist schwer durchzusetzen, während die Kostensenkungsmöglichkeiten nur bei einigen wenigen regenerativen Energien beträchtlich sind.
b) Große Benachteiligungen von regenerativen Energien entstehen in vielen Entwicklungsländern durch die Energiepreispolitik, die häufig die Verkaufspreise von Strom subventioniert Für erneuerbare Energiequellen hat dies zwei negative Konsequenzen: erstens besteht für den potentiellen Nutzer in netznahen Gebieten kein Anreiz, solche Techniken einzusetzen. Zweitens beschert die Preisadministrierung vielen Elektrizitätsgesellschaften einen chronischen Liquiditätsengpaß, der es ihnen nicht erlaubt, Investitionen in neue Techniken dieser Art durchzuführen, selbst, wenn sie dazu grundsätzlich bereit wären.
c) Praktisch alle regenerativen Energien haben den Geburtsfehler, daß die Investitionskosten im Vergleich zu den konventionellen Anlagen vergleichsweise hoch sind. Dadurch machen sich die außenwirtschaftlichen und handelspolitischen Hemmnisse in vielen Entwicklungsländern bei der Einfuhr von entsprechenden Systemen besonders stark bemerkbar. Zu den wichtigsten Hindernissen in diesem Bereich zählen die weitverbreiteten Devisenbeschränkungen und die hohen Zollabgaben bei der Einfuhr von Systemkomponenten.
d) Der genannte Geburtsfehler trägt auch dazu bei, daß sich eine allein auf Privatinitiative gestützte Verbreitung nur schleppend entwickeln kann.
e) Investitionen in regenerative Energie sind weiterhin auch deshalb riskant, weil es nur in wenigen Entwicklungsländern gefestigte Anbieterstrukturen gibt. Zu den wichtigsten Zukunftsaufgaben gehört deshalb der Aufbau der lokalen Distribution und Wartung von Systemen zur Nutzung regenerativer Energien.

Trotz der aufgezählten Schwierigkeiten stellt grundsätzlich fest, daß regenerative Energien in Entwicklungsländern eine beachtliche Chance haben. Allerdings sind bei den regenerativen Energien die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen so zu gestalten, daß die Wirtschaftlichkeit gegenüber der Verwendung fossiler Energien gegeben ist.

b) Weiteres Vorgehen

Die Bilanz der bisherigen Förderung erneuerbarer Energien in Ländern der Dritten Welt und in südlichen Klimazonen ist aus energiewirtschaftlicher Sicht - bis auf Wasserkraft und Biomasse - eher ernüchternd. Da diesen Energiequellen aber mittel- bis langfristig, nicht zuletzt aus Ressourcen- und Umweltgründen, eine wachsende Bedeutung zukommt, ist eine Neuausrichtung der Förderpolitik notwendig:

Das BMZ wird im Rahmen seiner Aufgaben die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien unter umweltverträglichen Bedingungen besondere Aufmerk-

samkeit widmen (vgl. das neue BMZ-Programm „Zukunftssicherung durch Klimaschutz"). Dabei wird für die Auswahl konkreter Technologien und ihrer Eignung für ein spezielles Partnerland auch der Sachverstand der deutschen Forschungs- und Entwicklungskapazitäten genutzt.

Das BMBF wird seine bisherige Politik zur Förderung von Demonstrationsanlagen für erneuerbare Energien in Entwicklungsländern neu ausrichten. Dazu wird nach dem Auslaufen der ELDORADO-Programme (Wind und Sonne) die künftige Förderung in diesem Bereich an folgenden Grundsätzen orientiert:

Förderung der Demonstration der Funktionsfähigkeit deutscher Anlagen in Ent- wicklungs- und Schwellenländern durch Verbesserung der Finanzierungskonditionen und Abmilderung des technisch-wirtschaftlichen Risikos von derartigen Demonstrationsprojekten mit Hilfe des KfW-Instrumentariums (z.B. Zinszuschüsse /Ausfallbürgschaften),

Gewährung von Zuschüssen für die Anpassung der in Betracht kommenden Technologien und Anlagenkonfigurationen an die besonderen geographischen, klimatischen und sonstigen Bedingungen des Partnerlandes, in dem die Einsatzfähigkeit der Anlage demonstriert werden soll,

Verzahnung der Demonstrationsprojekte mit flankierenden Maßnahmen des BMZ, um eine hohe Gewähr für die Nutzung der entwickelten Techniken zu erzielen. Dazu soll besonderer Augenmerk darauf gerichtet werden, die Erfahrungen des BMZ, der KfW und der GTZ in den Zuschnitt der Projekte einzubeziehen und alle entwicklungsländerrelevanten Aspekte zu berücksichtigen.

Die Schnittstelle zwischen den Aufgaben der beiden Ressorts (BMZ und BMBF) bildet die Marktreife der demonstrierten Technologien: Das BMBF wird im Rahmen seiner Möglichkeiten die für den Einsatz in Entwicklungsländern bestimmten Anlagen bis zur Marktreife fördern. Das BMZ wird den Einsatz der neuen Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien in Entwicklungsländern unterstützen und dabei insbesondere auch die vom BMBF geförderten Entwicklungen berücksichtigen.

Dabei sind insbesondere die folgenden drei Einsatzfelder von Interesse:

Mittel- und Hochtemperatur Solarthermie

Von ihrem Potential her sind die solarthermischen Mittel- und Hochtemperaturanlagen zur Stromerzeugung deshalb von besonderem Interesse, weil sie als Großanlagen mit über 100 MW zum Einsatz gebracht werden können. Bewährt haben sich bislang vor allem die Parabolrinnenanlagen, die in Kalifornien mit einer installierten Gesamtkapazität von 350 MW am Netz sind. Als Forschungsaufgabe stellt sich bei diesen Anlagen das Problem, den bisherigen Ölkreislauf durch einen Wasserkreislauf zu ersetzen. Vom BMBF wird in Zusammenarbeit mit der EU und Spanien auf der Plataforma Solar de Almeria in Spanien ein größeres Direktverdampfungsvorhaben gefördert, das den Nachweis erbringen soll, daß der Ölkreislauf durch einen Wasserkreislauf ersetzt werden kann.

Besonders intensiv wurde in der Vergangenheit die Entwicklung der sog. Solarturmkraftwerke unterstützt. Als bisher letztes Vorhaben für diese Technik wurde die Entwicklung eines luftgekühlten Receivers als das Kernstück einer Solarturmanlage gefördert. Es kommt nun darauf an, in einem geeigneten Land der südlichen Klimazone ein Demonstrationsvorhaben für Solarturm-Anlagen zu verwirklichen.

In den Zusammenhang der solarthermischen, stromerzeugenden Anlagen gehören auch die sog. Dish-Stirling-Anlagen, die nur über eine kleine Leistung verfügen und für dezentrale Anwendung gedacht sind, wobei sie mit der Photovoltaik konkurrieren müssen. Bislang wurden sechs Dish-Stirling-Anlagen gefördert Seit vielen Jahren werden auch solarthermische Anwendungen im Niedertemperaturbereich, vor allem Solarkollektoren und solarthermische Wasserpumpen gefördert. Die deutlichsten Fortschritte sind dabei im Bereich der Solarkollektoren erzielt worden, so daß sich breitere Einsatzmöglichkeiten abzeichnen. Eine für Länder der südlichen Klimazonen wichtige Entwicklung stellt die energiesparende solarthermische Trocknung und Fermentierung tropischer Produkte (Kaffee, Kakao, Fische, etc.) dar.

Photovoltaik

Die Photovoltaik ist trotz der derzeit noch relativ hohen Kosten des PV-Stroms von besonderem Interesse, da sie einen breiten, dezentralen Einsatz vor allem in Regionen ohne öffentliches Stromnetz erlaubt. Weitgehend durchgesetzt haben sich hierbei die PV-Wasserpumpen, von denen es bislang in der Welt rd. 18000 gibt, sowie Bojen, deren Einsatz auf etwa 10000 geschätzt wird. Darüber hinaus werden jährlich rd. 50000 Module für Fernseh-Umsetzerstationen bestellt, durch die abgelegene Gebiete mit Fernsehprogrammen versorgt werden können.

Auch bei Kühlgeräten (Kühlschränke, medizinische Kühltruhen) hat sich die Photovoltaik als geeignete Technik erwiesen, ebenso bei der Grundversorgung der ländlichen Bevölkerung mit Licht und dem Einsatz, von Strom für kleine Handwerksgeräte (sog. Solar Home Systems).

Windenergie

Neben den verschiedenen Solartechniken kommt der Windenergie eine zunehmende Bedeutung zu. Vor allem China und Indien haben sich in den letzten Jahren verstärkt an Windenergie interessiert gezeigt. Aber auch andere Entwicklungsländer sind gegenüber dieser Technik aufgeschlossen. Die Forschungs- und Entwicklungsaufgaben bestehen vor allem darin, die Windanlagen den sehr unterschiedlichen Klimabedingungen in Ländern der Dritten Welt und südlichen Klimazonen so anzupassen, daß sie billig und robust sind und weitgehend wartungsfrei auch extreme klimatische Wind- und Wetterbedingungen aushalten. Dabei wird angestrebt, Fertigung und Wartung der Komponenten von Windkraftanlagen zunehmend auch durch Fachkräfte in den Entwicklungsländern selbst vornehmen zu lassen.

3.2.1.6 Müll- und Abfallverbrennung

Der Anteil der Müllverbrennung an der Stromerzeugung betrug 1994 ca. 0,5%. Sie liegt damit hinter der Wasserkraft an zweite. Stelle unter den erneuerbaren Energien, die für die Elektrizitätsbereitstellung genutzt werden.

Die Probleme bei der Müllverbrennung liegen in energetischer Hinsicht derzeit vor allem bei den noch niedrigen elektrischen Wirkungsgraden. Der derzeitige Heizwert von Restmüll im Siedlungsbereich liegt bei 2,2 bis 3 MWh/t, wovon nach dem derzeitigen Stand der Technik nur ca. 22% in Strom umgewandelt werden können. Es ist deshalb das Ziel der Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten in Hinblick auf die energetische Nutzung von Müll, höhere elektrische Umwandlungsgrade zu erreichen, ohne dabei Verluste an ökologischer Attraktivität zu erleiden.

Bei der Abfallverbrennung geht es in technischer Hinsicht um die Mitverbrennung dieser Stoffe in Großfeuerungsanlagen, um ihre thermische Energie zu nutzen. Die Eignung der Abfälle als Brennstoffe zur Mitverbrennung richtet sich neben deren Zustand und Heizwert insbesondere nach dem Anteil an Begleitstoffen im Verhältnis zu denen des Kraftwerksbrennstoffs. Eines der größten Probleme besteht in der potentiellen Umweltbelastung durch die Reststoffe des Abfalls, was unter Umständen zu zusätzlichen Rauchgasreinigungsmaßnahmen und damit zu Kostensteigerungen führen kann.

Eine Reihe von grundlegenden Untersuchungen aus der Forschung zur Verbrennung fossiler Energien (siehe 3.1.1.1) sowie einige der diesbezüglichen technischen Entwicklungen kann auch auf die Müll- und Abfallverbrennung übertragen werden. Dies soll an ausgewählten Demonstrationsprojekten, zusammen mit dem Umweltforschungsprogramm der Bundesregierung, erprobt werden.

3.2.2 Kernenergie

Forschung und Entwicklung zur friedlichen Nutzung der Kernenergie sind ein sehr erfolgreicher Teil der Energieforschungsprogramme. Das bei Beginn der öffentlichen Forschungsförderung 1958 im Vordergrund stehende Ziel, nämlich in der Bundesrepublik Deutschland über eigenständige Technik zu verfügen, ist für den Leichtwasserreaktor einschließlich der dafür notwendigen Uran-Anreicherung erreicht. Dies gilt im Prinzip auch für den Hochtemperaturreaktor, die Brütertechnik und die Schließung des Uran-Plutonium-Kreislaufs.

Der hohe Stand der Kerntechnik in unserem Land ist das Ergebnis einer intensiven gemeinsamen Anstrengung von Wissenschaft, Wirtschaft und Staat. Sie hat dazu geführt, daß heute die Kernenergie mit knapp 30% neben der Kohle zur wichtigsten Quelle für die öffentliche Stromversorgung in der Bundesrepublik geworden ist. Die deutschen Kernkraftwerke stehen hinsichtlich ihrer zeitlichen Verfügbarkeit weltweit ganz vorne auf der Leistungsskala und demonstrieren damit den hohen Stand der Technik.

Aufgrund der umfangreichen Förderung in der Vergangenheit konnte die staatlich finanzierte Forschung und Entwicklung inzwischen deutlich zurückgenommen werden. Die verbleibenden Arbeiten konzentrieren sich auf Forschung zur Reaktorsicherheit sowie auf Fragen der Langzeitsicherheit von Endlagern für radioaktive Abfälle und den Strahlenschutz.

Die wesentlichen Ergebnisse der bisherigen Forschungsförderung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Untersuchungen zum thermohydraulischen Anlagenverhalten bei auslegungsüberschreitenden Störfällen an der Großversuchsanlage „UPTF“ in Mannheim haben weltweit einzigartige Verifikationsdaten und Grundlagen für die Bewertung von Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes geliefert.
- Die Eignung und Wirksamkeit von Systemfahrweisen und von unterschiedlichen Maßnahmen zum anlageninternen Notfallschutz wurden an dem Integralversuchs- stand PKL (Primärkreislauf) nachgewiesen.
- -Zur Wasserstoffproblematik bei schweren Reaktorstörfällen wurden wichtige Erkenntnisse zur Verteilung und -Verbrennung von Wasserstoff sowie den damit verbundenen Belastungen des Sicherheitsbehälters gewonnen. Auf deren Grundlage konnte die Reaktorsicherheitskommission ihre Empfehlung „Maßnahmen zur Risikominderung bei Freisetzung von Wasserstoff in den Sicherheitsbehälter nach auslegungsüberschreitenden Ereignissen“ abgeben.

- Die probabilistischen Sicherheitsanalysen für Druckwasserreaktoren, die abgeschlossen werden konnten, und die laufenden Untersuchungen für Siedewasserreaktoren führten zu anlagentechnischen Verbesserungen und zeigten zusätzliche Möglichkeiten zur Vermeidung von Stör- und Unfällen durch anlageninterne Notfallschutzmaßnahmen auf.
- -Die Untersuchungen zu äußeren Einwirkungen wie Gaswolkenexplosion, Erdbeben, Flugzeugabsturz konnten erfolgreich abgeschlossen werden. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse haben die Auslegungskriterien bestätigt.
- Die Forschung und Entwicklung zur sicheren Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen in tiefen geologischen Formationen wurden als Schwerpunkt der Aktivitäten im Bereich Entsorgungsforschung erfolgreich weitergeführt.
- Die bisherigen Ergebnisse der Arbeiten zur direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente haben gezeigt, daß diese Technik so gestaltet werden kann, daß sie den in Deutschland geltenden, strengen Sicherheitsanforderungen genügt. Die Simulation des Schachttransportes hat gezeigt, daß schwere Lager-Behälter (65t) bei der Schachtförderung sicher zu handhaben sind. Mit dem Ende 1995 auslaufenden, seit 1990 im ehemaligen Salzbergwerk Asse erfolgreich durchgeführten Großversuch mit elektrisch beheizten Behältern zur Auslegung eines Endlagers mit abgebrannten Brennelementen konnte das Projekt „Direkte Endlagerung“ planmäßig beendet werden. Die Ergebnisse waren technische Grundlage für die rechtliche Öffnung dieses Entsorgungsweges. Die dementsprechende Atomgesetz-Änderung wurde im Rahmen des Artikelgesetzes am 28. Juli 1994 verabschiedet.
- Im Ralimen der Arbeiten zur Langzeitsicherheit von Endlagern für radioaktive Abfälle haben detaillierte Berechnungen verschiedener Radionuklid-Ausbreitungsszenarien gezeigt, daß ein langzeitiger Abschluß von Schadstoffen von der Biosphäre technisch möglich und nachweisbar ist. Diese Ergebnisse trugen wesentlich dazu bei, daß eine entsprechende offizielle Feststellung durch die OECD - NEA, entsprechende Beratungsgremien von IAEO und KEG (heute KEU) getroffen werden konnte.
- Das in deutsch-schweizerischer Zusammenarbeit durchgeführte Forschungs-Projekt „Felslabor Grimsel“ wurde um vier Jahre verlängert. Das Ergebnis bisheriger geophysikalischer, geologischer, hydrogeologischer und felsmechanischer Untersuchungen zeigt, daß eine Endlagerung radioaktiver Abfälle in Granit grundsätzlich möglich ist Aus den Arbeiten resultieren gleichzeitig Konzepte und technische Verfahren zur näheren Untersuchung konkreter Standorte. Diese Arbeiten werden in Zukunft ergänzt durch die Kooperation mit Schweden im dortigen Felslabor Äspö.
- Zur Kernmaterialüberwachung eines Endlagers mit eingelagerten abgebrannten Brennelementen wurde gemeinsam mit BfS/IAEO und Euratom ein Konzept entwickelt Zur Langzeitüberwachung des Endlagers nach Schließung ist ein Satellit grundsätzlich geeignet.

Ein weiteres Gebiet, das während der Laufzeit des Programms zunehmend an Bedeutung gewonnen hat, ist der Rückbau kerntechnischer Versuchs- und Demonstrationsanlagen, zu dem die Bundesregierung aufgrund genehmigungsrechtlicher, vertraglicher und eigentumsbedingter Tatbestände zur Finanzierung bzw. zur Beteiligung verpflichtet ist. Als wesentliches Ergebnis der bisherigen Arbeiten kann auf die vollständige Beseitigung des Kernkraftwerks Niederaichbach bis zur „grünen Wiese“ hingewiesen werden. Die dafür durchgeführten Arbeiten haben wichtige Grundlagen für die Beseitigung von anderen Kernreaktoren geliefert

Die in Zukunft für dieses Gebiet notwendigen Arbeiten sind nur zu einem ganz geringen Teil Forschung und Entwicklung zuzuordnen. Sie sind deshalb nicht Gegenstand dieses Programms. Da sie aber ihre Ursache in den früheren Programmen haben und weil die damit verbundenen finanziellen Aufwendungen sehr erheblich sind, ist eine nähere Beschreibung der Aktivitäten im Anhang unter 5.2 enthalten. Diese Arbeiten tragen im übrigen auch zur Kompetenzerhaltung deutscher Fachleute im Bereich der Kerntechnik bei.

Außerdem konnten noch drei große Schwerpunkte früherer Programme abgeschlossen werden:

- Aufgrund der Einstellung des Baus der Wiederaufarbeitungsanlage in Wackersdorf durch die kernenergiebetreibenden Elektrizitätsversorgungsunternehmen wurden die entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit Schwerpunkt im ehemaligen Kernforschungszentrum Karlsruhe beendet.
- -Ebenfalls beendet wurden die Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für die Brütertechnik. Wesentlicher Auslöser für diese Entscheidung war die Einschätzung, daß nicht mehr erwartet werden konnte, daß das vom Land Nordrhein- Westfalen durchzuführende Genehmigungsverfahren für den schnellen Brüter SNR 300 in Kalkar mit Erfolg abgeschlossen werden konnte.
- -Die Hochtemperaturreaktorentwicklung wurde wegen der ebenfalls von Nordrhein-Westfalen zu vertretenden Situation am THTR 300 eingestellt. Verblieben sind grundlegende Sicherheitsforschungen in der KFA-Jülich, die aber auch Aspekte anderer Reaktorlinien miteinbeziehen.

Im Vergleich zu Kraftwerken, die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden, stellen Kernkraftwerke

eine relativ junge Technik dar. Deshalb besitzt die Kernenergie noch ein größeres Entwicklungspotential Dies betrifft nicht nur ihre energetische Effizienz oder die Verbesserung ihrer Wirtschaftlichkeit, sondern auch die Sicherheitseigenschaften zukünftiger Reaktorkonzepte, und zwar vor allem hinsichtlich einer verstärkten Nutzung passiver Sicherheitselemente und inhärenter Sicherheitseigenschaften. Die Energiekonsensgespräche haben gezeigt, daß hier ein für die langfristige Akzeptanz der Kernenergie wichtiger Bereich liegt Deshalb soll hier weiterhin Forschungs- und Entwicklungsaufwand betrieben werden. Der Beitrag der Bundesregierung zu dieser Aufgabe wird sich auf begleitende, interessen-ungebundene Sicherheitsforschung für diese Art zukünftiger Reaktorkonzepte konzentrieren.

Die weltweite Nutzung der Kernenergie und die grenzüberschreitenden Folgen eines Unfalls erfordern die Einhaltung höchstmöglicher Sicherheitsstandards für alle heute betriebenen Kernkraftwerke weltweit. Hierzu liefert die Reaktorsicherheitsforschung mit ihrer breiten internationalen Zusammenarbeit einen wichtigen Beitrag. Dabei ist, ausgehend von der engen Kooperation mit den westlichen Ländern, die Zusammenarbeit mit den Staaten Mittel- und Osteuropas von besonderem Interesse. Dieser Aspekt soll im Rahmen des Programms deshalb ebenfalls abgedeckt werden.

Eine wichtige Grundlage für die Ausrichtung dieses Programmanteils haben auch die Ergebnisse des BMFT-Arbeitskreises „Zukunft der Kernenergie“ von 1992 geliefert

Die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung im Zeitraum von 1990 bis 1995 entwickelten sich wie folgt (Angaben in Mio DM):

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
BMBF-Projektförderung:						
Reaktorsicherheit	99,9	101,2	85,3	83,3	65,5	59,9
Sicherheit der Entsorgung	155,4	136,1	48,2	31,4	21,9	18,1
Großforschungszentren	302,5	180,8	185,8	164,4	122,0	109,9

Für die weitere Entwicklung ist folgende Planung vorgesehen (Angaben in Mio DM):

	1996	1997	1998	1999	2000
BMBF-Projektförderung:					
Reaktorsicherheit	62,5	62,0	63,0	63,0	63,0
Sicherheit der Entsorgung	19,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Großforschungszentren	105,8	106,9	108,5	110,6	107,0

3.2.2.1 Reaktorsicherheitsforschung

a) Sachstand

Ziel dieses Programmteils ist es, die wissenschaftlich-technischen Grundlagen zur Bewertung der Sicherheit kerntechnischer Anlagen zu erweitern sowie Anstöße zur Verbesserung und Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik zu geben. Dabei haben solche Forschungsarbeiten höchste Priorität, deren Ergebnisse einen nennenswerten Beitrag zur Vermeidung von Stör- oder Unfällen erwarten lassen.

Gefördert werden zum einen die Weiterentwicklung von Methoden zur Bewertung der Sicherheitsreserven von Kernenergieanlagen, zum anderen vorausschauende Analysen (z.B. mit probabilistischen Methoden) zur Identifizierung von Schwachstellen und zum Auf spüren von Möglichkeiten zu deren Beseitigung. Für bestehende Anlagen wurde hierbei durch Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes (international als Accident Management bezeichnet) zusätzliches Sicherheitspotential zur Verhinderung von Kernschmelzunfällen und zur Eindämmung ihrer Auswirkungen erschlossen.

Für zukünftige Kernkraftwerke entwickelt die Industrie neuartige Reaktorkonzepte mit verstärktem Einsatz von passiven Sicherheitselementen und mit inhärenten Sicherheitseigenschaften. Damit werden zukünftig Phänomene und Ereignisabläufe auch äußerst unwahrscheinlich schwerer Störfälle in das Auslegungskonzept einbezogen. Die technischen Weiterentwicklungen der Auslegung und die Optimierung des Betriebsverhaltens sowie die Verwirklichung solcher neuen Reaktorkonzepte liegen in der Verantwortung der Industrie. Es ist jedoch absehbar, daß es dabei sicherheitstechnische Fragestellungen gibt, deren Beantwortung durch interessenunabhängige staatliche Sicherheitsforschung erfolgen sollte. Hierfür sollen im Rahmen des Programms entsprechende Arbeiten geleistet werden. Gleichzeitig ist damit beabsichtigt, objektive Bewertungsinstrumentarien bereitzustellen, mit denen der reale Sicherheitsgewinn von zukünftigen Reaktorkonzepten nachvollziehbar dargestellt und bewertet werden kann.

Zur Gewährleistung kerntechnischer Sicherheitsvorsorge muß ein Mindestumfang an nationaler Kompetenz bei den Forschungseinrichtungen und der Industrie zur Sicherstellung einer ausreichenden Technikfähigkeit auf diesem Gebiet erhalten bleiben. Aufgrund des Sicherheitsstandards deutscher Kernkraftwerke und der weltweit anerkannten Expertise in der Forschung zur Reaktorsicherheit hat die Bundesrepublik Deutschland wesentlich Einfluß auf die Formulierung von Zielen und Inhalten internationaler Sicherheitsstandards nehmen können.

Die Glaubwürdigkeit und das Gewicht fachlicher Expertise deutscher Sicherheitsfachleute und Wissenschaftler wird in internationalen Gremien auch künftig nur dann Bestand haben, wenn sie sich auf eigenständig erarbeitete Ergebnisse gründen, die den deutschen Fachleuten eine wissenschaftlich solide Grundlage für ihre Arbeit in bi- und multilateralen Gremien liefern.

Mit den bildungs- und forschungspolitischen Schwerpunkten 1995 hat der BMBF u.a. seine Bereitschaft erklärt, den qualifizierten Nachwuchs im Studienfach Kernenergie und Reaktortechnik zu fördern, um Kompetenz zu sichern. Damit soll der Gefahr eines gravierenden Mangels an qualifiziertem Nachwuchs auf dem Gebiet der Kerntechnik und eines damit einhergehenden einschneidenden Know-how- und Kompetenzverlustes entgegengewirkt werden. Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) hat den künftigen Bedarf an Akademikern auf der Basis von Auswertungen nationaler und internationaler Untersuchungen zur Beschäftigungssituation in der Kerntechnik sowie einer Abfrage ausgewählter Institutionen abgeschätzt Danach wird der Ersatzbedarf der Hersteller und Betreiber kerntechnischer Anlagen sowie der Forschungseinrichtungen, Gutachter und Behörden an promovierten Ingenieuren und Naturwissenschaftlern mit wissenschaftlichem Tätigkeitsfeld bei insgesamt etwa 150 Absolventen pro Jahrzehnt liegen.

Die Reaktorsicherheitsforschung wird auch weiterhin in enger Kooperation mit den westlichen, Kernenergie nutzenden Ländern erfolgen, um die begrenzten nationalen Kapazitäten gegenseitig zu ergänzen und die Informationsbasis zu verbreitern. Abstimmung und Konsens bei der Spezifikation und ggf. auch bei der Durchführung von Forschungsarbeiten sowie bei der Interpretation der Ergebnisse ist auch in der Zukunft unverzichtbar.

Neben der langjährigen Zusammenarbeit mit westlichen Staaten ist in den letzten Jahren die Kooperation mit den mittel- und osteuropäischen Staaten auf genommen worden. Die erfolgreich begonnenen Bemühungen, osteuropäische Fachleute mit den deutschen Bewertungsmethoden vertraut zu machen und die Analysewerkzeuge an die Reaktoren sowjetischer Bauart anzupassen, sollen fortgesetzt werden, so daß die ausländischen Fachleute selbst Sicherheitsanalysen für ihre Anlagen durchführen und die Wirksamkeit von Nachrüstmaßnahmen bewerten können,.

b) Weiteres Vorgehen

Die Themenfelder der Reaktorsicherheitsforschung umfassen im Prinzip sämtliche Bereiche der kerntechnischen Sicherheit heutiger Reaktoren sowie Beiträge zu sicherheitstechnischen Schlüsselfragen bei der Entwicklung zukünftiger, neuer Reaktorsysteme. Analytische Methoden und Verfahren zur Sicherheitsbewertung sind weiterzuentwickeln und durch geeignete experimentelle Untersuchungen zu verifizieren, wobei den Langzeiteinflüssen auf sicherheitstechnisch wichtige Komponenten und Systeme sowie der Bewertung des Sicherheitspotentials von an- lageninternen Notfallschutzmaßnahmen ein besonderes Interesse zukommt.

Transienten- und Unfallanalysen

Die zusätzliche Sicherheitsebene „Accident Management“ erfordert - über den Auslegungsbereich hinaus - detailliertere Kenntnisse des Anlagenverhaltens, um eindeutig sicherheitsgerichtete Maßnahmen zu ermöglichen.

Zur umfassenden Bewertung der Wirksamkeit dieser Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes ist die Entwicklung von Analysewerkzeugen zur realistischen Erfassung von Störfallabläufen erforderlich. Damit wird zugleich ein analytisches Prognoseinstrument zur Bewertung des komplexen Gesamtanlagenverhaltens unter Normal-, Störfall- und Unfallbedingungen bereitgestellt, das auch die Untersuchung der Wirksamkeit von Notfallprozeduren ermöglicht

Für innovative Reaktorkonzepte sind Untersuchungen zur Wirksamkeit ihres inhärenten Sicherheitspotentials erforderlich. Beispiele hierfür sind passive Systeme zur Kompensation von Kühlmittelleckagen, zur Abfuhr der Nachzerfallswärme oder zur Rückhaltung und Beherrschung von Kernschmelzen innerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters.

Komponentensicherheit

Ein großer Teil der Kernkraftwerke kommt bereits in die zweite Hälfte ihrer ursprünglich veranschlagten Lebensdauer, so daß immer starker Alterungseinflüsse, wie z.B. Korrosion oder Bestrahlung, und Betriebseinflüsse, wie z.B. Temperaturschichtungen in Rohrleitungen, an Bedeutung gewinnen. Für die Beurteilung der weiteren Sicherheit solcher Anlagen sind geeignete Bewertungsmethoden und zerstörungsfreie Verfahren zur Ermittlung von Werkstoff- und Beanspruchungszuständen zu entwickeln. Mit diesen Bewertungsverfahren soll auch erreicht werden, daß betriebsbedingte Werkstoff Veränderungen gezielt erfaßt werden können.

Voraussetzung hierfür ist die Erweiterung und vor allem auch die experimentelle Absicherung der werkstoffmechanischen Datenbasis für Komponenten, wobei insbesondere die Phänomene der dynamischen Belastung und der Alterung auch unter auslegungsüberschreitenden Bedingungen zu berücksichtigen sind.

Probabilistische Sicherheitsanalysen

Probabilistische Sicherheitsanalysen sind ein bewährtes Instrument zur Überprüfung von komplexen Systemen, die nach deterministischen Anforderungen ausgelegt worden sind.

So führten probabilistische Sicherheitsanalysen zu anlagentechnischen Verbesserungen in Druckwasserreaktoren und zeigten zusätzliche Möglichkeiten zur Vermeidung von Stör- und Unfällen durch anlageninterne Notfallschutzmaßnahmen auf.

Das verfügbare Instrumentarium zur Sicherheitsbewertung und zur systematischen Schwachstellenanalyse muß für die Anwendung auf neue Reaktorkonzepte mit erhöhten Sicherheitsanforderungen erweitert werden.

Mensch-Maschine-Wechselwirkung

Die probabilistischen Analysen unterstreichen die Bedeutung der Mensch-Maschine-Kommunikation für kerntechnische Anlagen. Es werden deshalb Untersuchungen zur besseren Bewertung der Zuverlässigkeit menschlicher Handlungen - auch in außergewöhnlichen Betriebssituationen - sowie Maßnahmen auf der technischen Seite einbezogen, die eine Verbesserung der Überwachungs- und Entscheidungshilfen ergeben.

Die moderne rechnergestützte Leittechnik bietet eine Reihe von Sicherheitsvorteilen, die dem Operateur frühzeitig Abweichungen der Betriebsparameter sicherheitstechnisch relevanter Komponenten anzeigen und ihm die schnelle und zuverlässige Diagnose des Anlagenzustandes jederzeit ermöglichen. Um diese Sicherheitsvorteile nutzen zu können, müssen Methoden zur Bewertung der Zuverlässigkeit digitaler Systeme im kerntechnischen Bereich entwickelt werden.

Die Frage der optimalen Funktionsverteilung in Mensch-Maschine-Systemen soll untersucht werden, um Probleme zu erkennen und zu beseitigen, die zur Auslösung von Störfällen oder deren Verschärfung führen könnten.

3.2.2.2 Langzeitsicherheit von Endlagern

a) Sachstand

Forschung und Entwicklung zur Entsorgung konzentrieren sich sowohl auf radioaktive Abfälle aus der Entsorgung von Kernkraftwerken als auch auf chemisch-toxische Abfälle aus der fossilen Verbrennung. Die Arbeiten tragen dazu bei, eine umweltfreundliche langzeitsichere Beseitigung dieser Abfälle aus der Biosphäre zu gewährleisten und so den Schutz von Mensch und Umwelt vor den Gefahren, die von solchen Abfällen ausgehen, sicherzustellen. Die Forschungs- und Entwicklungs-Ergebnisse können des weiteren die fachliche Grundlage bei der Erarbeitung oder Novellierung von Rechtsvorschriften bilden. Darüber hinaus erweitern und vertiefen sie den Wissensstand bei Gutachtern und Behörden und sind Informationen für die interessierte Öffentlichkeit.

In der Bundesrepublik fallen jährlich im Mittel etwa 500000 m3 schwermetallbelastete Filterstäube und Flugaschen als besonders überwachungsbedürftige Abfälle aus der fossilen Verbrennung und 3100 m' radioaktive Abfälle aus dem Betrieb von Kernkraftwerken an. Nach weltweiter Expertenmeinung ist die Verbringung dieser Abfälle in tiefe geologische Formationen der sicherste Weg, sie langzeitig von der Biosphäre fernzuhalten. Dabei stehen in Deutschland Salzformationen im Vordergrund.

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle liegt in der Verantwortung des Bundes, die der chemisch-toxischen Abfälle in der Verantwortung der Länder.

Die Zuständigkeit für die Forschung und Entwicklung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle ist auf Bundesebene durch eine Ressortvereinbarung geregelt. Danach ist BMU zuständig für die zur Errichtung bestimmter Endlager notwendige Forschung und Entwicklung. BMBF führt anwendungsorientierte Grundlagenforschung durch.

Aufgrund der zum Atomgesetz erlassenen Endlager-Vorausleistungsverordnung ist die für die Errichtung von Endlagern notwendige Forschung und Entwicklung durch die Abfallverursacher, hier also die EVU, zu refinanzieren.

b) Weiteres Vorgehen

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle ist eine Sicherheitsaufgabe, deren Lösung Bedeutung für viele kommende Generationen besitzt und deswegen eine besondere Herausforderung für die derzeitige Wissenschaft und Technik darstellt. Um langzeitlich einen bestmöglichen Schutz von Mensch und Umwelt zu gewährleisten, muß der in 30 Jahren intensiver Forschung erreichte Kenntnisstand daher durch weitere Forschung und Entwicklung ständig abgesichert, ergänzt und vertieft werden.

Vor diesem Hintergrund sollen vor allem folgende Forschungs- und Entwicklungs- Auf gaben bearbeitet werden:

- **Die Weiterentwicklung meßtechnischer, insbesondere zerstörungsfreier Methoden zur Standort-Charakterisierung und die Fortentwicklung der Verfahren zur Ergebnisauswertung**

Bei der Auswahl von Standorten für Endlager bzw. der Beurteilung bereits vorhandener, aus dem Gewinnungsbergbau stammender Hohlräume für eine Nachnutzung haben zerstörungsfreie geophysikalische Verfahren (Radar, Seismik, Ultraschall) eine besondere Bedeutung. Das Ziel einer verbesserten Identifizierbarkeit und Ortung von geologischen Diskontinuitäten (lösungsgefüllte Hohlräume, Auflockerungszonen, nichtsalinare Einlagerungen) erfordert sowohl die Weiterentwicklung der Meßtechnik wie auch der Auswerteverfahren, insbesondere der Mustererkennung.

– **Die weitere Aufklärung der physikalisch-chemischen Vorgänge beim potentiellen Schadstoff-Transport in die Biosphäre unter den Bedingungen eines Laugenzutritts zum Endlager**

Das vorliegende Instrumentarium zur Langzeitsicherheitsbewertung basiert wesentlich auf den Transportmodellen. Genauere Rechnungen erfordern eine detailliertere Aufklärung einzelner Teilphänomene. Zukünftig werden zum einen Immobilisierungen von radioaktiven Substanzen durch die Bildung unlöslicher Verbindungen aufgrund von Reaktionen mit dem Behältermaterial im Vordergrund stehen. Zum anderen geht es um die genauere Beschreibung der Bewegung des Grundwassers im Deckgebirge sowie das physikalisch-chemische Verhalten der im Grundwasser vorhandenen radioaktiven Substanzen. Deren potentielle Reaktionen mit der geologischen Formation sind Gegenstand weiterer Untersuchungen.

– **Die Weiterentwicklung der Rechenverfahren zur Bewertung der Langzeitsicherheit und die Validierung der Codes**

Die physikalisch-chemischen Erkenntnisse müssen mathematisch umgesetzt und in die Rechencodes integriert werden. Die Validierung der Codes, d.h. ihre Überprüfung auf Richtigkeit der Rechnungen, ist über die Zeiten, die durch eine Langzeitsicherheitsrechnung abzudecken sind (10000 Jahre) experimentell nicht durchführbar. Möglich sind zeitbegrenzte Teilvalidierungen entweder im Labor oder durch in-situ-Versuche sowie die nachfolgende Extrapolation der Ergebnisse. Für Phänomene, die einer solchen Teilvalidierung nicht zugänglich sind, spielen sog. natürliche Analoga in der Forschung eine zunehmend wichtige Rolle. So konnte z.B. durch chemische Analyse kleinster Fluideinschlüsse in Gorlebensalz festgestellt werden, daß der Bereich des Salzstocks, dem sie entnommen wurden, seit 250 Mio Jahren von Lösungszutritten unberührt ist.

– **Die weitere vorsorgliche Entwicklung nichtsalinarer geologischer Formationen, insbesondere im Hinblick auf den Schadstoff-Transport**

In der Bundesrepublik werden seit vielen Jahren vorsorglich auch nicht-salinare geologische Formationen auf ihre Eignung zur Endlagerung radioaktiver Abfälle untersucht. Dabei stehen granitische Formationen im Vordergrund. Nach langjähriger Beteiligung an experimentellen Arbeiten im Schweizer Felslabor am Grimselpaß ergänzt BMBF zukünftig diese Kooperation durch die Zusammenarbeit mit Schweden im dortigen Hard Rock Laboratory auf der Insel Äspö (vor Oskarsham). Hauptuntersuchungsgegenstand ist auch hier der Transport radioaktiver Substanzen in geklüftetem Fels. Die in Äspö anstehende geologische Formation unterscheidet sich von der am Grimsel durch eine stärkere Klüftung und Wasserführung.

Kernmaterialüberwachung

Bei der Direkten Endlagerung wird in ständiger Kooperation zwischen BfS, IAEO und EURATOM das bereits erarbeitete Kernmaterial- Überwachungskonzept schrittweise detailliert. Die Entwicklung von Komponenten eines integrierten Überwachungssystem ist ein Teil dieses Konzeptes. Hierzu gehören technische Instrumente zur Messung, Einschließung und Beobachtung des Kernmaterials.

Darüber hinaus wird angestrebt, die Miniaturisierung der Meßwerterfassungs- und Aufnahmetechnik weiterzuentwickeln, um die Mobilität der Inspektoren zu erhöhen. Im Zusammenhang damit steht das Bemühen um eine ständige Vereinfachung der Auswertetechnik, damit automatische Aufzeichnungen, die über lange Zeiträume gewonnen wurden, mit angemessenem Zeitaufwand ausgewertet werden können.

Die Frage der Nutzbarkeit von Satelliten zur Langzeitüberwachung geschlossener Endlager wird weiter bearbeitet.

3.2.2.3 Strahlenschutz

a) Sachstand

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) fördert im Rahmen seiner Zuständigkeit für das Atomgesetz, das Strahlenschutzvorsorgegesetz und die Strahlenschutzverordnung über Forschungsvorhaben umfangreiche Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor den schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlen. Ferner fördert das BMU zahlreiche Untersuchungen zur Beurteilung der biologischen Wirkung nichtionisierender Strahlung. Der Bereich der nichtionisierenden Strahlung hat in den vergangenen Jahren zunehmende Bedeutung erlangt. Zu diesem Bereich gehören u.a. die elektromagnetischen Felder und die

optische Strahlung, hier insbesondere UV-, Infrarot- und Laserstrahlung.

b) Weiteres Vorgehen

Gemeinsames Ziel aller Forschungsvorhaben ist die Weiterentwicklung bzw. Neuentwicklung von Maßnahmen oder Verfahren, um auf allen Gebieten des Strahlenschutzes den jeweils aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik berücksichtigen zu können. Dies geschieht durch gezielte Untersuchungen spezieller Fragestellungen, durch wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch auch auf internationaler Ebene und durch Nutzung externen Sachverstands im Rahmen der bestehenden Beratungsgremien.

Die Forschungsvorhaben decken ein breitgefächertes Gebiet ab und umfassen u.a. folgende Themenbereiche:

- **Analyse der natürlichen und zivilisatorischen Strahlenexposition**

  Die natürliche Strahlenexposition und vor allem die zivilisatorisch bedingte Veränderung der Strahlenexposition, wie z.B. als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl, müssen ständig beobachtet werden. Ziel dieser Untersuchungen ist dabei die frühzeitige Erkennung von Änderungen der Strahlenexposition, um im Vorfeld einer Gefährdung des Menschen rechtzeitig reagieren zu können. Ein besonderer Schwerpunkt dabei ist die Strahlenexposition der Bevölkerung sowie beruflich strahlenexponierter Personen durch die Inhalation von Radon.

- **Meßtechnik und Dosisermittlung**

  Durch leistungsfähige Dosismeßgeräte sowie ausreichend genaue Verfahren der Dosisermittlung muß sichergestellt werden, daß auch bei unterschiedlichsten Expositionen eine zuverlässige Dosisbestimmung bei geringem Aufwand möglich ist. In den Forschungsvorhaben werden deshalb bestehende Dosimeter auf besondere Anwendungsfälle hin erweitert und erprobt sowie neue Systeme entwickelt und ihre Anwendungsmöglichkeiten getestet. Daneben laufen Untersuchungen zur Ermittlung der Körperdosen bei externer und interner Strahlenexposition verschiedener Altersgruppen und unter besonderen beruflichen Bedingungen.

- **Somatische und genetische Wirkungen von Strahlenexpositionen**

  Im Rahmen weiterer Forschungsvorhaben werden biologische Effekte als Folge der Einwirkung ionisierender Strahlen auf den Menschen untersucht. Dabei sollen Aussagen hierzu einerseits über biologisch medizinische Untersuchungen bei unterschiedlichen Strahlenarten, Dosen und Dosisleistungen, andererseits über epidemiologische Erhebungen gewonnen werden mit dem Ziel der Ermittlung einer Dosis- Wirkungs-Beziehung. Ein Schwerpunkt dieser Vorhaben ist die Untersuchung des Lungenkrebsrisikos durch Radon.

- **Vorsorge für Störfälle und Unfälle**

  Ziel der Forschungsvorhaben ist es, etwaige Strahlenexpositionen der Bevölkerung und des Personals in kerntechnischen Unfallsituationen rasch in ihrem Umfang zu erfassen, geeignete Methoden, Verfahren, Maßnahmen und Geräte unter Berücksichtigung der Wirksamkeit, Durchführbarkeit, Planung und Optimierung von Notfallschutzmaßnahmen fortzuentwickeln und damit einen bestmöglichen Schutz vor Strahlenschäden nach kerntechnischen Unfällen planerisch zu sichern.

- **Strahlenrisiken durch Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierenden Strahlen**

  Die Forschungsvorhaben zielen in erster Linie auf Strahlenexpositionen durch medizinische Diagnosemethoden, da diese entscheidend zur zivilisatorischen Strahlenexposition der Bundesbürger beitragen. Hier kommt es vor allem darauf an, Nutzen und Risiken von Untersuchungsverfahren abzuwägen, nach Alternativverfahren zu suchen und die Qualitätssicherung zu verbessern.

- **Strahlenschutz bei Behandlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle**

  Hier geht es um Fragestellungen, die zunehmend in das Interesse der Öffentlichkeit getreten sind. Wissenschaftliche Untersuchungen sind erforderlich, um die administrativen Maßnahmen des BMU insbesondere bei der Zwischen- und Endlagerung radioaktiver Abfälle flankierend zu unterstützen.

- **Biologische Indikation, Pathogenese von Strahlenschäden einschließlich Diagnose und Therapie**

  Die Effektivität von Schutzmaßnahmen bis hin zu medizinischen Maßnahmen im Falle einer Überexposition ist ständig zu verbessern. Zu den notwendigen wissenschaftlichen Untersuchungen gehören deshalb auch die Entwicklung und Bewertung biologischer Indikatoren zur Ermittlung der Strahlenexposition, sowie Untersuchungen zur Entstehung von Strahlenschäden.

3.3 Langfristoption für die Energieversorgung: Kontrollierte Kernfusion

3.3.1 Überblick und Strategie

Mit der kontrollierten Kernfusion besteht die Möglichkeit, für die Energieversorgung eine neue, bisher auf der Erde für friedliche Zwecke noch ungenutzte Energiequelle zu erschließen. Der Zeitpunkt dafür ist derzeit noch nicht sicher absehbar. Experten schätzen, daß ein Fusionsreaktor nicht vor dem Jahr 2050 einsetzbar sein wird. Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet haben deshalb eine sehr langfristige Perspektive, welche die der übrigen Technologiebereiche innerhalb dieses Programms bei weitem übertrifft. Viele Arbeiten sind daher auch noch mehr im Bereich der Grundlagenforschung angesiedelt.

Bei der Kernfusion soll durch die Verschmelzung leichter Atomkerne die dabei frei werdende Fusionsenergie für die Nutzung in einem Kraftwerk gewonnen werden. Es handelt sich dabei um einen physikalischen Vorgang, der sich permanent auf der Sonne abspielt. Nach derzeitigen Erkenntnissen ist die erfolgversprechendste Reaktion die Fusion der Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium. Deuterium ist ein natürlicher Bestandteil des Wassers. Tritium soll während der Fusionsreaktion im Fusionsreaktor aus dem Element Lithium gewonnen werden, das auf der Erde in großen Mengen vorhanden ist.

Die Fusionsreaktion soll durch den magnetischen Einschluß des Plasmas (ionisierte Atome oder Moleküle und Elektronen) bei Temperaturen von etwa 100 Millionen Grad Celsius zum Zünden gebracht werden. Dabei ist es erforderlich, die Teilchen von der Reaktorwand fernzuhalten, da es kein Material gibt, das solchen Bedingungen standhalten könnte. Dies gelingt mit großen Magnetfeldern, die mit supraleitenden Spulen erzeugt werden.

Das anvisierte Ziel ist eine anspruchsvolle wissenschaftliche und technische Herausforderung, die nur in einer langfristig angelegten internationalen Zusammenarbeit bewältigt werden kann. Eine wesentliche Ursache für die langen Zeiträume, die zur Entwicklung eines Fusionsreaktors erforderlich sind, ist eine überaus komplexe Plasmaphysik, die theoretisch nur schwer beschreibbar ist und deshalb Schritt für Schritt experimentell erschlossen werden muß.

Fusionsforschung wird weltweit seit Mitte der 60er Jahre betrieben. Die anstehenden physikalischen Probleme erwiesen sich vielschichtiger als erwartet. In den letzten Jahren wurden erhebliche Finanzmittel zur Durchführung von großen Fusionsexperimenten investiert. Dies geschieht in internationaler Absprache und Koordinierung der Forschungsarbeiten. Die Ergebnisse lassen nunmehr verläßliche Aussagen darüber zu, daß die Fusionsenergie unter terrestrischen Verhältnissen als Energiequelle genutzt werden kann. Es werden jedoch noch weitere jahrzehntelange wissenschaftliche und technische Anstrengungen erforderlich sein, bis ein Reaktor in kommerzieller Größe verfügbar ist.

Die Fusionsforschung wird in Europa in einem gemeinsamen Programm im Rahmen von EURATOM verfolgt, dem sich die Schweiz angeschlossen hat. Das Programm wird von der EU-Kommission geleitet. 1995 wurden in Europa etwa 900 Mio DM für die Fusionsforschung aufgewendet. Die Zusammenarbeit der europäischen Fusionsforschung mit den vergleichbar großen Programmen in den USA und in Japan wird auf vertraglicher Basis im Rahmen der 1EA koordiniert. Dieser Zusammenarbeit wird auch Rußland beitreten.

In Deutschland konzentriert sich die Fusionsforschung auf drei Zentren: Das Max-Planck-Institut für Plasmaforschung (IPP) in Garching, das Forschungszentrum Karlsruhe (FZK) und das Forschungszentrum Jülich (KFA). Einen Schwerpunkt bildet die im Dezember 1982 gegründete Entwicklungsgemeinschaft Kernfusion zwischen IPP (Physik) und FZK (Technik). Kleinere Forschungsaktivitäten werden am Hahn-Meitner-Institut in Berlin und an verschiedenen Universitäten in Abstimmung mit den o. g. Zentren durchgeführt. Aufgrund des Baubeschlusses zu Wendelstein VII-X wird das IPP eine große Außenstelle in Greifswald einrichten.

Der nächste Schritt auf dem Weg zu einem Fusionsreaktor ist die Erzeugung und Aufrechterhaltung eines über längere Zeit brennenden Fusionsplasmas. Dazu hat von 1988 bis 1990 eine internationale Studiengruppe mit Experten aus Rußland, den USA, aus Japan und der EU beim IPP in Garching unter der Schirmherrschaft der IAEO einen Entwurf für einen International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) erarbeitet. Ende 1992 begann eine neue Phase der internationalen Zusammenarbeit mit der Entwicklung eines Ingenieur-Entwurfes für ITER, wozu Arbeitsgruppen in den USA, Europa (Standort IPP) und Japan tätig sind.

3.3.2 Tokamak-Anlagen

Der toroidale Einschluß des heißen Fusionsplasmas nach dem Tokamak-Prinzip bildet zur Zeit die Hauptlinie der Forschung. Das größte europäische Tokamak- Experiment ist der Joint European Toms (JET) in Culham, England. Grundlegende Erkenntnisse für dessen Auslegung wurden durch den Betrieb der deutschen Experimente ASDEX beim IPP und TEXTOR bei der KFA gewonnen.

Durch die umfangreichen wissenschaftlichen Ergebnisse des JET-Projektes wurden wesentliche Grund-

lagen für den nächsten größeren Schritt zur Entwicklung der Fusion geschaffen. Sie sollen ergänzt werden durch die ASDEX-upgrade Anlage beim IPP. Mit ihr sollen die Kenntnisse erarbeitet werden, die für die Auslegung des Divertors (Abscheider und Sammler der Verunreinigungen und des bei dem Prozeß entstehenden Heliums, der sog. Asche aus dem Plasma) für das nächste, in weltweiter Kooperation durchzuführende Großexperiment benötigt werden. Vordringlich sind vor allem Erkenntnisse über die Wechselwirkung zwischen Wand und Plasma, sowie über die thermische Belastung der Ersten Wand mit ihren Einbauten im Fall einer Disruption des Plasmas, d.h. wenn das Plasma unter bestimmten Bedingungen auf die Ringwand aufschlägt. Die Arbeiten hierzu wurden 1995 aufgenommen.

3.3.3 Stellaratoranlagen

Als Alternative zum Tokamak wird in Europa, USA und Japan das Stellaratorprinzip untersucht und weiterentwickelt. Im Gegensatz zum Tokamak, der prinzipiell nur mit kurzzeitigen Unterbrechungen gepulst arbeiten kann, ist der Stellarator in der Lage, kontinuierlich zu arbeiten. Im IPP wird seit einiger Zeit der modular aufgebaute Stellarator Wendelstein VII-AS mit normalleitenden Spulen betrieben.

Deutschland hat aufgrund der erfolgreichen Arbeiten des IPP weltweit eine wissenschaftliche Spitzenstellung bei der Stellaratorforschung erreicht Sie soll durch den Bau eines neuen Großexperiments Wendelstein VII-X in Greifswald ausgebaut werden. Das Land Mecklenburg-Vorpommern wird sich daran in erheblichem Umfang finanziell beteiligen. Weiterhin wird EURATOM im Rahmen der Vorzugsförderung 45% der Investitionskosten tragen. Dies unterstreicht sowohl die Qualität unserer Forschung auf diesem Gebiet, als auch die große Bedeutung, die die Wissenschaftler in Europa diesem Experiment beimessen.

3.3.4 Fusions-Technik

Das Technikprogramm zur Fusion zielt zur Zeit hauptsächlich auf den nächsten großen Entwicklungsschritt nach JET mit Fragen zur Entwicklung von Supraleitungsmagneten, Hochfrequenz-Zusatzheizungs-Systemen und Brutmantelvarianten. Es enthält zusätzlich Komponenten, die längerfristig angelegt sind: Materialentwicklungen und fusionsspezifische Sicherheits- und Umweltforschung. Auf deutscher Seite ist an diesem Programm im wesentlichen das Forschungszentrum Karlsruhe beteiligt, das rund ein Drittel des europäischen Technologieprogramms abdeckt.

Die finanziellen Aufwendungen im Zeitraum 1990 bis 1995 für Forschung und Entwicklung auf dem Sektor Fusion betrugen (in Mio DM) für IPP, KFA und FZK:

1990	1991	1992	1993	1994	1995
176,5	184,3	197,0	196,0	185,2	181,7

Für die Finanzierung der weiteren Arbeiten ist folgende Planung vorgesehen (Angaben in Mio. DM):

1996	1997	1998	1999	2000
171,4	201,2	214,0	211,7	215,2

3.4 Übergreifende Themen

3.4.1 Systemanalysen und Datenbanken

Ein verbesserter Kenntnisstand über unser Energiesystem erleichtert es, diejenigen Technikbereiche mit Forschung und Entwicklung gezielt anzusprechen, die für eine Strategie der nachhaltigen Energieeinsparung und/oder Klimagasreduktion besonders relevant sind. Dafür wurde im Rahmen des Vorläuferprogramms mit den Projekt IKARUS (Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien) und der Entwicklung das ECOLOG-Modell und das E3-Net die Basis gelegt, auf der jetzt auf gebaut werden soll.

Das Instrumentarium IKARUS besteht aus mehreren unterschiedlich großen Computermodellen, einer sehr umfangreichen Datenbank und computergestützten Hilfsmitteln, mit deren Hilfe alternative Handlungsabfolgen zur Reduktion von Klimagas-Emissionen aus unserem Energiesystem mit dem Zeithorizont bis zum Jahr 2020 simuliert und hinsichtlich der dafür benötigten Techniken und der damit verbundenen volkswirtschaftlichen Gesamtkosten bewertet werden können.

IKARUS ist auf größeren PC (486, 16 MB RAM, 500-1000 MB ROM) einsetzbar und steht für interessierte Anwenderkreise zur Verfügung.

Auftragnehmer des Projekts war das Forschungszentrum Jülich, dessen Programmgruppe STE die Modelle entwickelte. Die Programmgruppe TFF hat in Anlehnung an die entstehende umfangreiche Technik- und Emissionsdatensammlung Verifikationsfragen im Rahmen der Klimaschutzkonvention untersucht und führte die Administration des Gesamtprojekts durch. Den Aufbau der Datenbank übernahm das Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe. Die Datenbeschaffung leisteten folgende Institutionen mit etwa 50 Unterauftragnehmern: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) Berlin (zuständig für Primärenergie), Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung

(IER) der Universität Stuttgart (Umwandlungsbereich), Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der Technischen Universität München (Haushalte und Kleinverbraucher), Fraunhofer- Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) Karlsruhe (Industrie), TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz Köln (Verkehr) sowie die Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) der Gesellschaft für praktische Energiekunde München (Querschnittstechniken). Die makroökonomische Modellierung wurde von der Arbeitsgemeinschaft Energie- und Systemplanung (AGEP) der Universität Oldenburg übernommen.

Die Datenbank versorgt die Modelle, kann aber auch als eigenständiges Informationssystem genutzt werden. Für letztgenannte Anwendung steht ein komfortables Retrieval bereit, ausgestattet mit Sonderfunktionen, die z.B. Merkmalsvergleiche von Techniken gestatten. Ferner wird ein computer-gestütztes Werkzeug für Wirtschaftlichkeitsberechnungen angeschlossen. Die Datenbank ist im Wesentlichen in drei Teile gegliedert: Technikdatenbank, Rahmendatenbank und Datenbank für die Computer-Modelle. In der Technikdatenbank sind Technik-, Kosten- und Emissionsdaten von Einzel-Energietechniken gespeichert mit einer Kommentierung, die Herkunft und Qualität der Daten erkennen läßt. An Emissionen werden erfaßt: CO_2, CO, CH4, NMKW, S02, NOx, N20, FCKW und stratosphärischer Wasserdampf. Die Modelldatenbank enthält aggregierte Technik- und Rahmendaten für das Optimierungs- und Kettenmodell. Aus der Rahmendatenbank werden z. B. Nachfragern^ Bestandsdaten entnommen.

Im Mittelpunkt des Instrumentariums steht ein lineares Optimierungsmodell, das den Energiefluß der Bundesrepublik Deutschland in ca. 2000 aggregierten Energietechniken und deren Verbindungen ausgehend von der Nachfrage nach Energiedienstleistungen bis zur Bereitstellung von Primärenergie abbildet. Das Modell berechnet die optimalen Einsatzvolumina dieser Techniken bei gegebenen Randbedingungen, z.B. Vorgaben zu Gesamtemissionen und Höchst- oder Mindestkapazitäten der Techniken, in der Weise, daß die gesamtwirtschaftlichen Kosten des simulierten Energiesystems minimal werden. Flexibel kann der Nutzer mit Hilfe der Modelldatenbank Techniken austauschen oder die hier benötigten aggregierten Techniken mit Hilfe spezieller computergestützter Werkzeuge aus Einzeltechniken der Technikdatenbank erzeugen.

Das Kettenmodell benutzt die Energieflußstruktur des Optimierungsmodells. Dieser Energieflußstruktur folgend kann der Nutzer sich alternative Technikketten zusammensetzen und hinsichtlich Gesamtkosten und -emissionen vergleichen, die dieselbe Energiedienstleistung erbringen.

Das technische Optimierungsmodell ist über die Nachfrage nach Energiedienstleistungen und über die Investitionen in Energietechniken in volkswirtschaftliche Zusammenhänge eingebunden. Zur Wahrung der Konsistenz ist eine volkswirtschaftliche Modellierung notwendig, die mit einem dynamischen Input/Output- Modell und speziellen Modulen für Kapitalstock- und Energienachfragegrößen realisiert wird.

Viele Maßnahmen der Energieeinsparung und Emissionsminderung lassen sich nur an Einzeltechniken bis herab zu Technikkomponenten und deren Bestandsveränderungen festmachen. Daher werden für die Bereiche „Raumwärme“, „Strom/Fern wärme", „Industrie und Kleinverbraucher" sowie „Verkehr" eigene Simulationsmodelle eingerichtet, die für konstruierte Fälle in Detailuntersuchungen Emissions- und Kostendaten liefern und auch zur Erzeugung der aggregierten Techniken für das Optimierungs- und Kettenmodell eingesetzt werden können.

Die weitere Aufgabe besteht darin, zum einen die Computermodelle und die computergestützten Hilfsmittel aufgrund der mit der breiten Nutzung gemachten Erfahrungen weiterzuentwickeln und zum anderen die Datenbank auf dem jeweils neuesten Stand zu halten. Dazu ist geplant, in zweijährigem Abstand alle Datenbestände durchzusehen und sie nach neusten Erkenntnissen zu aktualisieren.

Da das große lineare Optimierungsmodell quasistatisch mit den Stützjahren 1989, 2005 und 2020 arbeitet, sind in der Datenbank die Bestände jeweils für diese Jahre abgelegt. Es ist vorgesehen, einen weiteren Datenbestand für das Jahr 1995 anzulegen, sobald die Basisdaten für dieses Jahr bekannt sind.

Weiterhin soll die intensive, breite Nutzung von IKARUS durch Beteiligungen an Seminaren und Workshops und durch Förderung von relevanten Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten unterstützt werden.

Als Ergänzung zu den zeitlich statischen Untersuchungen mit dem IKARUS-Optimierungsmodell sind - vom technischen Umfang her kleiner - das ECOLOG-Modell der Fachhochschule Zittau und das E3-Net des IER/Universität Stuttgart zu sehen. Sie arbeiten in zeitlicher Hinsicht dynamisch, erlauben es also, die zeitliche Entwicklung von Energiesystemen unter von außen vorgegebenen Randbedingungen zu verfolgen. Die Weiterentwicklung des E3-Net in Hinblick auf ein mit IKARUS integriertes Gesamtsystem ist vorgesehen.

Die vorstehend beschriebenen Modellansätze beziehen sich entweder auf das gesamte Energiesystem Deutschlands oder können auf Teilregionen an-

gewendet werden. Von langfristig großer Bedeutung sind außerdem systemanalytische Untersuchungen für eine optimale Energieversorgung von Kommunen, wobei besonders interdisziplinäre Projektansätze im Vordergrund stehen, die Stadtplaner, lokale Versorgungsunternehmen und Ingenieurbüros zusammenbringen.

Als weiteres interessantes Thema ist die Lebenszyklus-Analyse von Technologien anzusehen. Der zukünftige Forschungsbedarf hierfür muß allerdings noch ermittelt werden.

Informationsverbreitung, Innovationshemmnisse bei Energieeinsparung

Der sachgerechten Aufarbeitung und gezielten Verbreitung der Forschungs- und Entwicklungs-Ergebnisse wurde bereits im Rahmen des Vorläuferprogramms besondere Aufmerksamkeit geschenkt. So sind folgende Informationssysteme entstanden:

- **BINE:** Bürger Information Neue Energietechniken zur Information des interessierten Bürgers über die im Zuge der Energieforschung erzielten Ergebnisse
- **IZW:** Informationszentrum für Wärmepumpen und Kältetechnik, gedacht zur Unterstützung der Bekanntmachung und Einführung einer wichtigen energiesparenden und umweltfreundlichen Technik
- **KEV:** Informations-Datenbank über kommunale Energie (Versorgungs-) Konzepte für Stadtwerke, Ingenieur- und Planungsbüros sowie Energieversorgungsunternehmen
- **AIVC:** Air-Infiltration and Ventilation Center der IEA.. Deutscher Partner und Brückenkopf ist das Fachinstitut Gebäude Klima in Bietigheim-Bissingen, der wissenschaftliche Arm der überwiegend mittelständisch strukturierten Klimabranche
- **ZfS:** Zentralstelle für Solartechnik, gedacht als Anlauf- und Auskunftsstelle insbesondere für den öffentlichen Bereich (Bund, Länder und Kommunen) in allen Fragen der Solarthermie
- **ETDE:** Die IEA-Datenbank Energy-Technology-Data-Exchange beim Fachinformationszentrum Karlsruhe
- **Greentie:** IEA-Adressen-Datenbank über Hersteller von Techniken, die der Minderung von Treibhaus-Gasemissionen dienen und für Experten, die in dieser Angelegenheit beratend tätig werden können.
- **FNR:** Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.Y. hat als Aufgabe u.a. die Informationsvermittlung, Beratung und Koordination bei der Bioenergie. Zielgruppen sind: Energieproduzenten, -Verbraucher, Administrationen, Wissenschaft und interessierte Öffentlichkeit

Die Förderung der Informationsverbreitungssysteme soll auch im Rahmen dieses Programms fortgesetzt werden, wobei jedoch auch eine kritische Bestandsaufnahme vorgesehen ist und in einigen Fällen eine verstärkte finanzielle Beteiligung Dritter angestrebt wird.

Im Zuge der Neustrukturierung der EU-OPET's ist in Zukunft eine verstärkte Zusammenarbeit mit diesem europäischen Informations- und Technologieverbreitungssystem vorgesehen.

Weiter ist beabsichtigt, vermehrt Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten zu unterstützen, die sich mit grundlegenden Fragen zu Hemmnissen bei der Verbreitung und Nutzung neuer Techniken beschäftigten, besonders im Fall der Einsparung und rationellen Verwendung von Energie.

4. Durchführung des Programms

4.1 Förderinstrumente

Die Förderung von Energieforschung und Energietechnik erstreckt sich über einen weiten Bereich, und zwar von Unternehmen der privaten Wirtschaft über Großforschungseinrichtungen bis zu Universitäten oder sonstigen Forschungsinstitutionen. Sie bedient sich dementsprechend des gesamten Instrumentariums der Forschungsförderung.

Die Schwerpunkte liegen bei folgenden Instrumenten:

- institutionelle Förderung von Forschungseinrichtungen
- Förderung der Verbundforschung (zeitlich befristete gemeinsame Forschung von Unternehmen und Forschungseinrichtungen)
- direkte Projektförderung
- indirekte Forschungsförderung.

Die **institutionelle Förderung** von Forschungseinrichtungen ermöglicht die Durchführung langfristiger und grundlagenorientierter komplexer Vorhaben, insbesondere solcher Projekte, die nur mit hohem personellen und apparativen Aufwand zu realisieren sind (siehe 4.2).

Das Instrument der **Verbundforschung**, das bei anderen Forschungsgebieten wie z.B. der Biotechnologie, der Informationstechnik oder der Materialforschung erfolgreich verwendet wurde, soll auch bei der Energieforschung in weiter steigendem Maß eingesetzt werden. Dies gilt speziell in Bereichen, wo eine arbeitsteilige, übergreifende Bearbeitung komplexer, thematisch-funktionell zusammenhängender und nur langfristig zu lösender Problemstellungen angebracht ist Ziel ist es, die vorhandenen Kapazitä-

ten effizienter einzusetzen und bereits bei der Anlage der Forschungsvorhaben die Voraussetzung für einen fruchtbaren Technologietransfer zwischen allen Beteiligten in Forschung und Wirtschaft zu schaffen. Dabei soll - soweit dies sinnvoll machbar ist - zur Erzielung möglichst großer Synergie-Effekte von sogenannten **Leitprojekten** ausgegangen werden.

Auch die **direkte Projektförderung** wird weiterhin ein bedeutsames Instrument der Forschungsförderung bleiben. Direkte Projektförderung wird eingesetzt in den Fällen, in denen die technisch-wissenschaftlichen Risiken sehr hoch sind, der finanzielle Einsatz für die in Frage kommenden Unternehmen zu groß und der Planungshorizont zu lang ist, so daß der Markt in absehbarer Zeit die neuen technischen Entwicklungen nicht von selbst erbringen kann, oder in den Fällen, wo der wissenschaftliche Sachverstand vor allem an Hochschulen vorhanden ist. Zwar wird die Anzahl der Projekte in einigen Bereichen, bei denen die gezielte Förderung einer konkreten Forschungs- und Entwicklungstätigkeit angemessen ist, zurückgehen, aber es gibt auch weiterhin noch Bereiche der Energieforschung, wo besondere Lösungen angestrebt werden müssen und andere Förderverfahren als bei der direkten Projektförderung zu wenig zielgerichtet oder zu aufwendig wären.

Indirekte Forschungsförderung ist bei der Energieforschung dort angebracht, wo es gilt, Hemmschwellen der Unternehmen im Bereich Forschung, Entwicklung und Innovation zu überwinden oder generell das Innovationspotential zu stärken. Maßnahmen der indirekten Forschungsförderung, wie z.B. steuerliche Anreize, bilden vielfach die wichtige Brücke zwischen Erreichen der technischen Reife und der Markteinführung neuer Techniken.

Neben diesen Förderinstrumenten gibt es noch eine Reihe von Maßnahmen, die für Forschung und Entwicklung von neuen Energietechniken flankierend eingesetzt werden. Es handelt sich z. B. um:

- Zinsgünstige Darlehen und Kredite im Rahmen der ERP-Programme, betreut durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)
- Förderung der Auftragsforschung
- Förderung von Forschungskooperationen, Förderung technologieorientierter Neugründungen
- Förderung der Infrastruktur unter anderem durch Vorhalten der FhG-Forschungs- struktur, Vorhalten von Testfeldem und Prüflabors für emeuerbare Energiequellen und Techniken zur rationellen Energie Verwendung
- Förderung der Informationsbereitstellung und des Informationstransfers von Energietechniken wie z.B. die Bürgerinformation Neue Energietechniken (BINE).

4.2 Institutionelle Förderung

Etwas mehr als 40% der Förderung erfolgt über Großforschungseinrichtungen, die damit eine besondere Bedeutung für die Erreichung der Ziele dieses Programms haben. Besondere Schwerpunkte bestehen bei der Kerntechnik, der kontrollierten Kernfusion, bei den erneuerbaren Energiequellen und der Entwicklung von Energietechniken mit verminderten Umweltbelastungen.

Forschungsstrategisch zielen die Arbeiten der Großforschungseinrichtungen vor allem auf mittel- bis langfristige Aspekte, d.h. auf anwendungsbezogene Grundlagenforschung und Technikentwicklung im Vorfeld der industriellen Anwendung. Die für die Energieforschung wichtigen Großforschungseinrichtungen haben in den letzten Jahren erhebliche Umstrukturierungen vollzogen. Diese Umstrukturierung haben und stellen noch erhebliche Anforderungen an die Flexibilität der beteiligten Mitarbeiter. Sie waren mit der Beendigung einer Reihe größerer, sehr erfolgreicher Arbeitsgebiete verbunden. Dies alles wurde bei rückläufigen Stellenplänen und limitierten finanziellen Ressourcen vollzogen. Die betroffenen Großforschungseinrichtungen haben damit die neuen Herausforderungen voll angenommen, und es kann erwartet werden, daß sie ihnen mit dem gleichen Erfolg begegnen, wie in den vier Dekaden seit ihrer Gründung.

Energieforschung und die Entwicklung von Energietechniken haben seit jeher das Aufgabenspektrum des **Forschungszentrums Karlsruhe (FZK)** bestimmt. Im engen Zusammenwirken mit der Industrie hat das Zentrum in der Vergangenheit eine führende Rolle bei der kerntechnischen Entwicklung in Deutschland gespielt. Auch zukünftig wird die Energieforschung eine zentrale Aufgabe des Zentrums sein, jedoch hat sich das Spektrum der Anwendungsfelder kontinuierlich gewandelt Der Forschungsschwerpunkt Energie umfaßt heute mit rund 40% der gesamten Forschungskapazität die Arbeitsfelder nukleare Sicherheit und Entsorgung sowie Kernfusion.

Im engen Kontext zur Energieforschung steht der zweite Forschungsschwerpunkt Umwelt mit weiteren 30% der Forschungskapazität, der die Arbeitsfelder Klimaforschung und Entwicklung von Schadstoff- und abfallarmen Verfahren umfaßt In zunehmendem Umfang stellen begleitende systemanalytische Untersuchungen zu Energie- und Stoffströmen eine Klammer zwischen Energie- und Umwelttechniken sowie deren Auswirkungen auf Umwelt und Klima her. Der inhaltliche Ansatz, das Spannungsfeld von Technik und Umwelt durch neuartige und umweltschonende Energietechniken aufzulösen, ist dabei die Leitidee für die künftige Forschungsarbeit. Dementsprechend bemüht sich das

Zentrum, seine Arbeiten frühzeitig in gemeinsamen Leitprojekten in enger Kooperation mit der Industrie durchzuführen. Die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung (Betriebskosten einschl. Investitionen) beliefen sich wie folgt (Angaben in Mio. DM):

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Nukleare Sicherheit	64,0	78,7	69,9	64,5	55,7	57,7
Entsorgung	59,5	43,3	36,1	38,0	25,3	26,6
Fusion	81,0	92,8	95,6	91,0	87,2	90,3

Das **Forschungszentrum Jülich (KFA)** verfügt heute über ein breites Forschungs- und Entwicklungsprogramm, das fünf Schwerpunkte, nämlich Struktur der Materie und Materialforschung, Informationstechnik, Lebens Wissenschaft, Umweltvorsorgeforschung und Energieforschung umfaßt Im Energiebereich war über viele Jahren zusammen mit der Industrie die Entwicklung des Hochtemperaturreaktors vorangebracht worden. Nach der Beendigung dieser Entwicklungsarbeiten verblieben im kerntechnischen Bereich überwiegend Aktivitäten zur nuklearen und nichtnuklearen Sicherheitsforschung, vor allem die Verbesserung sicherheitstechnischer Eigenschaften hinsichtlich künftiger Genehmigungsverfahren unter Ausschöpfung der Erkenntnisse aus dem Betriebsverhalten laufender und stillgelegter Anlagen. Damit verbunden sind Arbeiten zur nuklearen Entsorgung insbesondere über den Weg der direkten Endlagerung.

Das Forschungszentrum ist auch am europäischen Fusionsprogramm beteiligt. Als Aufgabe werden vor allem Fragen der Plasma-Randschicht insbesondere durch den Einsatz des Torusexperiments TEXTOR untersucht Ferner werden in Zusammenarbeit mit EURATOM eine Reihe plasmaphysikalischer und fusionsreaktortechnischer Arbeiten durchgeführt. Der Forschungsschwerpunkt Energietechnik enthält Arbeiten, die zunehmend auf neue Energieumwandlungstechniken ausgerichtet sind, wie Brennstoffzellenentwicklung, elektrochemische Energiespeicherung und Photovoltaik. Im Bereich der fossilen Energien führt das Zentrum ein vielbeachtetes Programm zur Exploration und Gewinnung fossiler Brennstoffe einschließlich des Aufschlusses unkonventioneller Gas- und Öllagerstätten durch. Die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung entwickelten sich wie folgt (Angaben Forschungs- und Entwicklungs- Kosten in Mio. DM):

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Fossile Energien	9,0	9,6	6,6	6,6	6,6	5,6
Erneuerbare Energieumwandlung	17,0	19,8	20,6	23,1	31,3	46,1
Nukleare Sicherheit, Entsorgung	55,4	47,5	48,9	41,8	42,6	34,3
Fusion	60,0	52,5	51,0	47,6	45,4	46,3

Das **GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH** in Neuherberg trägt mit seinen Instituten für Tieflagerung, Strahlenschutz und Strahlenbiologie, sowie Teilen des Instituts für Epidemiologie im Rahmen des Programms zu zwei Gebieten bei, und zwar

- zur Umweltforschung, bei der es um die Bewertung physikalischer und chemischer Belastungen von Ökosystemen sowie die Entwicklung von Schutz- und Entsorgungskonzepten geht. Zu letzteren gehören auch Forschungsvorhaben zur Endlagerung radioaktiver und die untertägige Beseitigung chemisch-toxischer Abfälle.
- der Wirkungsforschung mit der Zielrichtung, Mechanismen von Schadwirkungen, d.h. auch von radioaktiver Strahlung für Umwelt und Gesundheit sowie Quantifizierung des Risikos zu erfassen.

Ein Schwerpunkt der Arbeiten in den letzten Jahren lag bei der Untersuchung der Belastung in den neuen Bundesländern, wobei den Auswirkungen des in der Vergangenheit dort betriebenen Uranabbaus (WISMUT AG) besondere Aufmerksamkeit gewidmet wird. Darüber hinaus gibt es auch Beteiligungen an Programmen in Rußland (Tschernobyl, Cheljabinsk).

Die Forschungsaufwendungen (Bundesanteile) entwickelten sich wie folgt (Angaben in Mio. DM):

1990	1991	1992	1993	1994	1995
52,8	45,9	41,4	41,8	41,6	42,0

Das **Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP),** ebenfalls eine von der Bundesregierung mit 90 % geförderte Großforschungseinrichtung, ist das größte Forschungsinstitut in der Bundesrepublik Deutschland auf dem Gebiet der Fusionsforschung. Sein besonderes Arbeitsgebiet im Rahmen des europäischen Fusionsprogramm ist die Plasmaphysik. Es hat dazu bis 1990 den Tokamak ASDEX betrieben, der von dem Nachfolgeprojekt ASDEX-Upgrade abgelöst wurde. Als andere Entwicklungslinie eines Fusionsreaktors wurde der Stellarator WENDELSTEIN VII-AS betrieben, dem nach 1995 der Bau eines weiterentwickelten Experiments WENDELSTEIN VII-X am Standort Greifswald folgen soll. Die Forschungsaufwendungen (Bundesanteil) entwickelten sich wie folgt (Angaben in Mio. DM):

1990	1991	1992	1993	1994	1995
85,9	84,0	89,6	88,0	89,5	95,3

Von der **Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR)** wird ausschließlich nichtnukleare-Energieforschung betrieben. Schwerpunkte sind die Solarforschung (neue solarthermische und solarchemische Prozesse, ferner Kraftwerks- und

Systemtechnik). Weiterhin werden grundlegende Arbeiten zur Verbrennungstechnik (Laserdiagnose, Flammeneigenschaften und -modelle) sowie zur rationellen und umweltfreundlichen Energieumwandlung (Heizungstechnik, kraftwerkstechnische Komponenten, Wasserstofftechnik, Brennstoffzellen) durchgeführt. Die Forschungsaufwendungen entwickelten sich wie folgt (Angaben in Mio. DM):

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Kraftwerkstechnik, Verbrennungsforschung	12,8	14,9	15,8	15,9	17,5	17,2
Erneuerbare Energien	28,6	29,0	32,5	31,5	34,6	29,2

Das **Hahn-Meitner-Institut (HMI)** in Berlin leistet im Bereich der Energieforschung vor allem Beiträge zur Photovoltaik. Wesentliche Teile der Forschungsarbeiten richten sich auf Prozesse und Materialien der Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische oder chemische Energie. Die Forschungsaufwendungen entwickelten sich wie folgt (Angaben in Mio. DM):

1990	1991	1992	1993	1994	1995
16,6	19,0	26,1	29,8	30,9	33,1

Das **GKSS-Forschungszentrum Geesthacht** hat im Rahmen des inzwischen beendeten Projekts zur Mehrphasen-Transporttechnik ebenfalls zum Programm beigetragen. Die Forschungsaufwendungen entwickelten sich wie folgt (Angaben in Mio. DM):

1990	1991	1992	1993	1994	1995
2,5	2,5	2,8	3,5	5,2	0,0

Zu erwähnen sind auch die Arbeiten des **Forschungszentrums Rossendorf** auf dem Gebiet der Reaktorsicherheitsforschung. Die Forschungsaufwendungen entwickelten sich wie folgt (Angaben in Mio. DM):

1990	1991	1992	1993	1994	1995
-	-	4,6	5,9	5,7	6,4

Zusätzlich zu den Großforschungseinrichtungen arbeitet im Bereich der institutionellen Forderung des Bundes auch die **Fraunhofer-Gesellschaft** im Rahmen dieses Programms an vielen Projekten mit. Hauptbeteiligte sind die Institute für Solare Energiesysteme, für Bauphysik, für Systemtechnik und Innovationsforschung, für Holzforschung sowie für Produktionstechnik und Automatisierung.

Um der wachsenden Bedeutung erneuerbarer Energien auch im Rahmen der institutionellen Förderung Rechnung zu tragen, haben sich 1990 DLR, HMI, KFA und FhG, später auch das Institut für Solare Energieversorgungstechnik an der Gesamthochschule Kassel und das Zentrum für Solarenergie und Wasserstoffnutzung in Stuttgart zu einem **Forschungsverbund Sonnenenergie** zusammengeschlossen, dem in den Folgejahren wichtige weitere Einrichtungen beigetreten sind. Über den Forschungsverbund Sonnenenergie sollen standortübergreifende Synergieeffekte erzielt und die Möglichkeiten, die Großforschung bietet, für diesen zukunftsträchtigen Forschungsbereich in neuer Form erschlossen werden. Über Fortschritte der Arbeit des Verbundes wird die Öffentlichkeit durch besondere Veranstaltungen und regelmäßig erscheinende Fachpublikationen unterrichtet.

4.3 Internationale Zusammenarbeit

Durch internationale Zusammenarbeit, d.h. durch Informationsaustausch, Arbeitsteilung in einzelnen Forschungsprojekten und auch im Austausch von Stellungnahmen und Bewertungen zu einzelnen Techniken wird eine rationellere Nutzung der verfügbaren Kenntnisse, Kapazitäten und finanziellen Mittel ermöglicht. Nach Gesichtspunkten der Zweckmäßigkeit, aber aucli aufgrund historischer Entwicklungen hat sie sich inzwischen auf verschiedenen Ebenen etabliert.

Dabei haben alle Ebenen ihren Sinn, und zwar sowohl die **bilaterale** Ebene, bei der zwei Länder Forschungs- und Entwicklungsprojekte gemeinsam vorantreiben, als auch die **multilaterale** Ebene, bei der mehrere Länder direkt kooperieren. Außerdem gibt es die Zusammenarbeit mit **internationalen** Einrichtungen. Von besonderer Bedeutung ist die Kooperation im Rahmen der Europäischen Union.

Die Kooperation mit bzw. über die Europäische Union werden im Abschnitt 4.4 behandelt. Ihre besondere Rolle als Instrument der Forschungs- und Entwicklungsförderung steht außer Frage und tritt bei der vergleichenden Darstellung der Aktivitäten in Abschnitt 4.4 deutlich zutage.

Im folgenden werden schwerpunktmäßig die internationalen Kooperationen dargestellt, die mit den folgenden Einrichtungen verbunden sind:

- Internationale Energieagentur (IEA) bei der OECD in Paris
- Kernenergieagentur (NEA) der OECD
- Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) der Vereinten Nationen in Wien.

Kennzeichen dieser Organisationen ist, daß

- für alle Länder eine offene Mitgliedschaft besteht, bei IEA und NEA allerdings unter der Voraussetzung der OECD-Mitgliedschaft
- die Aktivitäten der Einrichtungen grundsätzlich in eigener Verantwortung unter freiwilliger Mitwirkung der Mitglieder durchgeführt werden

für die Mitglieder keine über Mitgliedsbeiträge hinausgehenden Zahlungsverpflichtungen bestehen.

4.3.1 Internationale Energieagentur (IEA) bei der OECD

Die Internationale Energieagentur wurde 1974 infolge der Washingtoner Energiekonferenz als Reaktion auf die erste Ölpreiskrise in Anlehnung an die OECD gegründet. Sie hatte vornehmlich eine Intensivierung der Zusammenarbeit der ölverbrauchenden Industrieländer zum Ziel. Neben Vereinbarungen über Krisenbewältigung, Energieeinsparung und beschleunigte Entwicklung zusätzlicher Energiequellen (Kohle, Öl, Gas und Kernenergie) hat die IEA in zunehmendem Maße auch der breiten internationalen Zusammenarbeit in der Energieforschung neue Impulse gegeben. Sie öffnet sich inzwischen zunehmend auch der Kooperation mit Nicht-Mitgliedsländern.

Die einzelnen Vorhaben und Programme für Forschung und Entwicklung betreffen vor allem nichtnukleare Energien und rationelle Energieverwendung und werden aufgrund von Vereinbarungen interessierter Mitgliedstaaten meist unter der Federführung einer nationalen Stelle durchgeführt. Die IEA arbeitet nach den folgenden Kooperationsprinzipien:

- a la carte-Prinzip: Nur interessierte Mitgliedsländer nehmen an einzelnen Projekten teil; nichtinteressierte Länder können Kooperationsvorhaben anderer Länder nicht verhindern.
- Lead-Organisation-Prinzip: Die Ausführung des Projektes wird einer nationalen Stelle übertragen und nur in großen Zügen von internationalen Gremien gesteuert.

Überschneidungen mit den Programmen der Europäischen Union werden durch enge Zusammenarbeit weitgehend ausgeschlossen. Über die umfangreichen und den Umfang des nationalen Forschungsprogramms übersteigenden Aktivitäten der IEA wird den Mitgliedstaaten die Möglichkeit gegeben, ständig über den Stand der Entwicklung von Techniken, die nicht selbst verfolgt werden, informiert zu sein. Das von der IEA zu diesem Zweck angebotene Instrument sind vor allem die Implementing Agreements, die sich in den unterschiedlichsten Bereichen gut bewährt haben. Die Zusammenarbeit auf der Basis der Implementing Agreements steht in Einzelfällen auch Staaten offen, die nicht Mitglieder der IEA sind. Auch die Europäische Union ist an einer Reihe von Projekten beteiligt.

4.3.2 Kernenergieagentur (NEA) der OECD

Im Rahmen der Aktivitäten der OECD verfolgt die Kernenergieagentur NEA das Ziel, vor allem Informationen auf ausgewählten Gebieten der Kerntechnik und der nuklearen Sicherheit sowie des Brennstoffkreislaufes zu erarbeiten und zu vermitteln sowie zur Koordination der Programme beizutragen.

Die Ergebnisse der Arbeit der Agentur bestehen in

- Informationsschriften, die regelmäßig aktualisiert werden
- Informationsschriften zu aktuellen Themen, in der Regel Ergebnisse von Studien, Symposien, Umfragen und ad hoc-Untersuchungen.

Darüber hinaus werden, gestützt auf eine umfangreiche Datenbank, fachspezifische Daten gesammelt und verarbeitet und wichtige kerntechnische Computer-Codes für alle Mitglieder bereitgehalten.

Bemerkenswert ist, daß an der Arbeit von NEA auch Industrieländer der OECD teilnehmen, die nicht über ein eigenes Kernenergieprogramm verfügen.

4.3.3 Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO)

Die Schwerpunkte der Aufgaben der IAEO liegen bei der Anwendung von Sicherungsmaßnahmen zur friedlichen Nutzung der Kernenergie, der Fortentwicklung der Empfehlungen zum sicheren Transport radioaktiver Stoffe, IAEO-Safety Series No. 6, und bei der praktischen Hilfe für Entwicklungsländer in Fragen der Energieplanung. Die IAEO vermittelt für alle Mitgliedsländer einen weitgehenden Kenntnisaustausch, der sich nicht nur auf Reaktorsicherheit, die Fortentwicklung von Techniken der Kernmaterialsicherung und die Nutzung der Kernenergie beschränkt, sondern auch alle anderen Energien mit einschließt. So können vielen nachfragenden Ländern, vor allem den Entwicklungsländern, Energieplanungsmodelle zur Verfügung gestellt werden, mit deren Hilfe auch längerfristige Energieplanungen unter Einschluß aller Energieträger durchgeführt werden können Darüber hinaus befaßt sich die Agentur mit Fragen von weltweiter Bedeutung wie Bestrahlung von Lebensmitteln zur Sterilisation und Strahlenschutz bei nicht-kerntechnischer Anwendung.

4.3.4 EUREKA

EUREKA geht auf eine von 17 europäischen Staaten und der Kommission der Europäischen Union ergriffene Initiative aus dem Jahre 1985 zurück. Anfang

1995 beteiligten sich 22 Staaten und die EU, d. h. neben den EU-Staaten auch Norwegen, die Russische Föderation, Slowenien, die Schweiz, Türkei und Ungarn. Ziel soll es sein, Projekte ohne detaillierte Vorgaben allein durch Anstöße der kooperationswilligen Partner aus Industrie und Wissenschaft entstehen zu lassen. Für ihre Durchführung erhalten sie dann die Zustimmung der Regierungen derjenigen Ländern, aus denen die Partner kommen.

Damit ist eine Abgrenzung zu den nationalen und den Forschungsvorhaben der Europäischen Gemeinschaften gegeben: EUREKA ist kein vorab inhaltlich festgelegtes Programm, sondern ein offener Rahmen für Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Programmausschreibungen fehlen hier also. Die Projektpartner klären in eigener Verantwortung Thema, Partner, Umfang, Regeln und Finanzierung der geplanten Zusammenarbeit selbst. Auf diese Weise können „weiße Hecken" zwischen und in bestehenden Programmen ausgefüllt werden. Dies erklärt die Spannweite der Projekte über nahezu das gesamte Spektrum anwendungsbezogener Forschung und Entwicklung und der entsprechenden wissenschaftlich- technischen Infrastruktur.

4.4 Energieforschung der Europäischen Union

In Anbetracht der großen Bedeutung, die die Forschungsprogramme der Europäischen Union inzwischen für das nationale deutsche Energieforschungsprogramm haben, werden sie im folgenden näher beschrieben.

Ausgangspunkt ist das 4. Rahmenprogramm (1994-1998), das 1994 mit einem Budget von 13,1 Mrd. ECU verabschiedet wurde. Mit diesem Rahmenprogramm sollen alle Forschungsaktivitäten der Gemeinschaft in eine einheitliche rechtliche und organisatorische Form gebracht werden. So enthält es spezifische Programme in 15 Technologiebereichen, je ein Programm für internationale Wissenschaftskooperationen, für Verbreitung und Verwertung von Forschungsergebnissen und für Wissenschaftler-Stipendien sowie zwei Programme (nuklear und nichtnuklear) für die Gemeinsame Forschungsstelle (GFS). Die Energie-Forschung und Entwicklung ist dem Grundsatz nach subsidiär zu den nationalen Energie Forschungs- und Entwicklungs-Aktivitäten angelegt. Bei der Aufstellung der EU-Programme wird prinzipiell auf die nationalen Ansätze Rücksicht genommen.

Der Anteil der energiebezogenen spezifischen Programme ist bedeutend, wie sich aus den folgenden Budgetzahlen ergibt:

Forschungs- und Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte insgesamt:		rd. 11380 MECU
davon		
– Nichtnukleare Energien	1067	
– Sicherheit der kernspaltung	441	
– Kontrollierte Kernfusion	895	
ferner:		
Umwelt und Klima	907	

Die drei mit Fragen der Energieforschung befaßten Programme: Nicht-nukleare Energien, Sicherheit der Kernspaltung und kontrollierte Kernfusion mit 3310 MECU werden ergänzt durch das Programm der Gemeinsamen Forschungsstelle GFS, das in zunehmendem Maße Verbindung zu den anderen Programmen aufnehmen soll.

a) Forschungsbereich „Nicht-nukleare Energien"

Das spezifische Programm „Nicht-nukleare Energien" (1002 Mio ECU) gehört zusammen mit den Programmen „Informationstechnologien" (1932 Mio ECU) und „Industrielle und Werkstofftechnologien" (1707 Mio ECU) zu den drei größten Technologiebereichen der EU-Förderung.

Mit diesem spezifischen Programm wird die bisherige Förderung der Energietechniken einschließlich der Demonstration, wie sie seit 1990 bis zum 31. Dezember 1994 im ehemaligen THERMIE-Programm verfolgt wurde, fortgesetzt. Zugleich wird aber auch mit dem neuen spezifischen Programm eine stärkere Integration von Maßnahmen der Forschung und Entwicklung - entsprechend dem bisherigen JOULE-Programm - und denen der Demonstration (bisher THERMIE) vollzogen.

Angestrebt und bevorzugt werden **Forschungsvorhaben**, die auf europäischer Ebene mit großer Wahrscheinlichkeit eine Katalysatorrolle in strategisch wichtigen Bereichen übernehmen können. Dabei bildet der Umweltschutz ein übergeordnetes Entscheidungsmerkmal. In verstärktem Maße gewinnt der Gesichtspunkt an Bedeutung, daß Forschungsvorhaben zwischen den einzelnen EU-Ländem auch auf Entwicklungsländer, auf Osteuropa und auf die GUS angewandt werden können.

Die **Demonstrationsvorhaben** sind aufgrund ihrer größeren Marktnähe breiter gestreut: Sie stellen eine Verlängerung der Forschungs- und Entwicklungs-Tätigkeiten dar, die vom privaten oder öffentlichen Sektor auf Gemeinschaftsebene, aber auch in den Mitgliedsstaaten unternommen werden. Sie werden u. a. so ausgelegt, daß sie wirksam zur Verstärkung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie (insbesondere KMU) und zur wirtschaftlichen und sozialen Kohäsion beitragen.

Schwerpunkte des Programms

1. Rationelle Energieverwendung
   Energieeffizienz im Gebäudebereich und in der Industrie, Energiewirtschaft, Elektrizität und Wärme sowie Brennstoffzellen, Energieeinsparung, Transport und städtische Infrastruktur
2. Erneuerbare Energien
   Integration der erneuerbaren Energieformen, Solarenergienutzung durch photovoltaische Umwandlung, erneuerbare Energien in Gebäuden und Industrieunternehmen, Windenergie, Biomasse und Abfälle, Wasserkraft und geothermische Energie
3. Fossile Brennstoffe
   Saubere Techniken für feste fossile Brennstoffe, generelle Verbrennung, Kohlenwasserstoffe und neue Brennstoffe im Verkehr, Exploration und Förderung von Kohlenwasserstoffen
4. Direkte Aktionen der gemeinsamen Forschungsstelle
5. Maßnahmen zur wissenschaftlich-technischen Unterstützung der Gemeinschaftspolitiken (1994-1988) im Rahmen eines wettbewerbsorientierten Ansatzes

b) Forschungsbereich „Kernspaltung, nukleare Sicherheit“

Innerhalb des Rahmenprogramms von EURATOM wird das spezifische Programm für Forschung und Ausbildung im Bereich der nuklearen Sicherheit und Sicherheitsüberwachung (1994 bis 1998) mit 160 Mio ECU (ohne Anteil der GFS) unterstützt. Das Programm umfaßt F, E und D-Projekte in den folgenden Bereichen:

- Erforschung neuer Sicherheits- und Abfallentsorgungskonzepte (7 Mio ECU)
- Reaktorsicherheit bei schweren Unfällen (50 Mio ECU)
- Schließung des Brennstoffkreislaufs durch Vorhaben zur sicheren Endlagerung langlebiger Abfälle in geologischen Formationen und durch unterstützende Studien (40 Mio ECU)
- Verstehen, Messen und Minderung der Folgen ionisierender Strahlung, Verringerung der Unsicherheiten und Quantifizierung des Strahlenrisikos (45 Mio ECU)
- Entwicklung von Verfahren zum Rückbau kerntechnischer Anlagen (5 Mio ECU)
- Geschichtlich bedingte Verpflichtungen im Zusammenhang mit der Katastrophe von Tschernobyl und anderer Unfälle in Mittel- und Osteuropa und in der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (13 Mio ECU)

c) Forschungsbereich „Kontrollierte Kernfusion“

Auf der Basis des am 8. Dezember 1994 vom EU-Rat verabschiedeten spezifischen Forschungs- und Ausbildungsprogramms auf dem Gebiet der kontrollierten Kernfusion 1994-1998 werden die folgenden Aktivitäten entwickelt:

- Vorbereitungen des „Nächsten Schrittes“, die auf den mit der JET-Anlage gewonnenen Erfahrungen aufbauen.
- Konzeptverbesserungen, die in einen Demonstrationsreaktor, der signifikante Mengen Elektrizität liefern soll, einmünden. Dabei geht es um Weiterentwicklung in der Plasmaphysik ebenso wie in der Fusions-Technik; einbezogen werden verschiedene Konzepte der Kernfusion mit magnetischem Einschluß
- Langfristige Technik, die für den Bau und Betrieb eines stromerzeugenden Demonstrationsreaktors und eine spätere breite Nutzung der Fusionstechnologie erforderlich ist.

Für die Jahre 1994 bis 1998 sind 794 Mio. ECU (ohne Anteil der GFS) vorgesehen, davon fallen auf

- den auslaufenden Programmteil „Gemeinsames Unternehmen JET“: 23 - 32 %
- den Bereich „Nächster Schritt“: 40 - 46 %
- Konzeptverbesserungen: 22 - 25 %
- langfristige Technologieentwicklung: 5 - 7 %

d) Programm der Gemeinsamen Forschungsstelle GFS

Die GFS ist für die Durchführung der wichtigsten Teile des Kernenergieprogramms und auch für kleinere Teile der anderen EU-Forschungsschwerpunkte zuständig. Für den Zeitrahmen 1995-1998 werden insgesamt 300 Mio. ECU zur Verfügung stehen. Die Arbeit der GFS ist in 3 Aktionsprogramme gegliedert;

a) Kernfusion (einschließlich Reaktorstudien für den Nächsten Schritt, Technik des Brutmantels, Struktur Werkstoffe, Sicherheitsstudien und Tritiumlabor), 46 Mio. ECU
b) Kernspaltung (einschließlich Reaktorsicherheit und Stahlbauteile, Zuverlässigkeit und Risikobewertung, Entsorgung radioaktiver Abfälle, Sicherheitsüberwachung und Spaltstoffflußkontrolle, Kernbrennstoff und Aktinidenforschung), 238 Mio. ECU
c) Indirekte Maßnahmen (Zusammenarbeit mit Partnern aus den Mitgliedstaaten bei indirekten Aktionen der anderen spezifischen Programme), 16 Mio. ECU.

Zusätzlich zum Forschungsprogramm ist die GFS auch für den Betrieb des Hoch- flußreaktors (HER) in Petten zuständig.

e) Abstimmung mit dem EU-Programm

Die Abstimmung der nationalen Energieforschung mit den Programmen der Europäischen Union ist

von großer Bedeutung. Deshalb wurde bei der Aufstellung der EU-Programme von deutscher Seite aktiv mitgewirkt, um zu einer fruchtbaren Arbeitsteilung zu kommen. Um dies auch in der Praxis der Programmdurchführung beizubehalten, wird sichergestellt, daß bei der Auswahl der EU-Projekte alle nationalen Mitwirkungsmöglichkeiten voll ausgeschöpft werden, um zu einer sinnvollen Ergänzung der nationalen Vorhaben zu kommen und damit Überlappungen zu vermeiden.

5. Anhang

5.1 Gesamtaufwendungen im Rahmen des 3. Programms Energieforschung und Energietechnologien

Bisherige Gesamtaufwendungen des BMBF anhand der Leistungsplansystematik des Bundes (Angaben in Mio. DM)

Förderung des BMBF nach Leistungsplansystematik	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung von Kohle	31,5	24,7	14,9	11,3	0,8	
Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung anderer fossiler Energieträger	22,8	11,8	11,3	6,9	5	3
Feuerungs- und Kraftwerkstechnik für den Kohleeinsatz	58,8	40,7	38,1	30,6	27,5	22,8
Kohleverflüssigung	10,1	4	1,6	0,4	0,2	
Kohlevergasung	12,4	18,7	10,9	0,2	0,2	
Umwandlung fossiler Energieträger und Querschnittsaktivitäten	5,8	4,2	4,8	0,9	3,6	
Summen ohne Großforschungseinrichtungen (Projektförderung)	141,5	104,1	81,6	50,3	37,3	25,8
Großforschungseinrichtungen (institutioneile Förderung)	11	8,2	14,6	20,4	18,6	12,6
Summe des Förderschwerpunkts fossile Energien und Kraftwerkstechnik	152,5	112,3	96,2	70,7	55,9	38,4
Photovoltaik - Projektförderung	91,6	101	90,4	81,9	56,4	58
Photovoltaik - indirekt-spezifische Förderung	0,3	3	20,7	30,8	10	
Windenergie - Projektförderung	18,1	9,8	9,3	7,4	11	6,9
Windenergie - indirekt-spezifische Förderung	3,8	8	16,4	24,8	27,3	32
Nutzungssysteme für südliche Klimabedingungen	34,1	42,4	35,7	34	26	23,5
Biologische Energiegewinnung, -speicherung und -nutzung	8,5	16	25,1	6	5,2	
Biomasse (BML-Förderung)	2,3	2,6	3,3	7	3,2	3
Geothermie	5,6	6,6	5	4,6	5,7	3,7
Übrige und Querschnittsaktivitäten emeuerbare Energien	8,7	10	11,7	15,9	9,6	12,8
Sekundärenergiesysteme	21,6	17,1	13,4	10,4	10,4	7,5
Elektrochemische Verfahren und Wasserstoff, Elektro-Speicher	18,1	23,2	20,8	23,2	28,5	23,6
Energiesparende Industrieverfahren	12	16,6	12,2	13,4	13,7	10,4
Rationelle Energieverwendung und Solarenergienutzung in Haushalt und Kleinverbrauch, Wärmespeicher	22,2	22,4	25,7	25,6	29,8	32,8
Solarenergie - indirekt spezifische Förderung					1	3,5
Summen ohne Großforschungseinrichtungen (Projektförderung)	246,8	278,6	289,6	284,9	237,3	217,7
Großforschungseinrichtungen (institutioneile Förderung)	44,9	54,8	85,2	67,5	78,1	77,6
Summe des Förderschwerpunkts erneuerbare Energien und rationelle Energieverwendung	291,7	333,4	374,8	352,4	315,8	295,3

Bisherige Gesamtaufwendungen des BMBF anhand der Leistungsplansystematik des Bundes (Angaben in Mio. DM)

Förderung des BMBF nach Leistungsplansystematik	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung von Kohle	31,5	24,7	14,9	11,3	0,8	
Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung anderer fossiler Energieträger	22,8	11,8	11,3	6,9	5	3
Feuerungs- und Kraftwerkstechnik für den Kohleeinsatz	58,8	40,7	38,1	30,6	27,5	22,8
Kohleverflüssigung	10,1	4	1,6	0,4	0,2	
Kohlevergasung	12,4	18,7	10,9	0,2	0,2	
Umwandlung fossiler Energieträger und Querschnittsaktivitäten	5,8	4,2	4,8	0,9	3,6	
Summen ohne Großforschungseinrichtungen (Projektförderung)	141,5	104,1	81,6	50,3	37,3	25,8
Großforschungseinrichtungen (institutioneile Förderung)	11	8,2	14,6	20,4	18,6	12,6
Summe des Förderschwerpunkts fossile Energien und Kraftwerkstechnik	152,5	112,3	96,2	70,7	55,9	38,4
Photovoltaik - Projektförderung	91,6	101	90,4	81,9	56,4	58
Photovoltaik - indirekt-spezifische Förderung	0,3	3	20,7	30,8	10	
Windenergie - Projektförderung	18,1	9,8	9,3	7,4	11	6,9
Windenergie - indirekt-spezifische Förderung	3,8	8	16,4	24,8	27,3	32
Nutzungssysteme für südliche Klimabedingungen	34,1	42,4	35,7	34	26	23,5
Biologische Energiegewinnung, -speicherung und -nutzung	8,5	16	25,1	6	5,2	
Biomasse (BML-Förderung)	2,3	2,6	3,3	7	3,2	3
Geothermie	5,6	6,6	5	4,6	5,7	3,7
Übrige und Querschnittsaktivitäten emeuerbare Energien	8,7	10	11,7	15,9	9,6	12,8
Sekundärenergiesysteme	21,6	17,1	13,4	10,4	10,4	7,5
Elektrochemische Verfahren und Wasserstoff, Elektro-Speicher	18,1	23,2	20,8	23,2	28,5	23,6
Energiesparende Industrieverfahren	12	16,6	12,2	13,4	13,7	10,4
Rationelle Energieverwendung und Solarenergienutzung in Haushalt und Kleinverbrauch, Wärmespeicher	22,2	22,4	25,7	25,6	29,8	32,8
Solarenergie - indirekt spezifische Förderung					1	3,5
Summen ohne Großforschungseinrichtungen (Projektförderung)	246,8	278,6	289,6	284,9	237,3	217,7
Großforschungseinrichtungen (institutioneile Förderung)	44,9	54,8	85,2	67,5	78,1	77,6
Summe des Förderschwerpunkts erneuerbare Energien und rationelle Energieverwendung	291,7	333,4	374,8	352,4	315,8	295,3

	1996	1997	1998	1999	2000
I. Reduzierung des Energiebedarfs :					
Effizienzsteigerung bei Energieumwandlung, neue Sekundärenergien					
- Kraftwerkstechnik, Verbrennungsforschung	34	40,4	45,4	47,4	50
- Wasserstoff, elektrische Energiespeicher	25	26	28	30	31
- Fernwärme	9	9	9	9	9
- Großforschungseinrichtungen	12,8	12,7	13	13,2	14
Summe	**81,4**	**88,7**	**96**	**100,2**	**104**
Rationelle Energieanwendung, Einsparung fossiler Energien bei den Endenergiesektoren:					
- Solarthermie, Raumwärme für Gebäude	36	40	41	43	46
- Wärmespeicher	2	3	3	3	3
- Erhöhung der Energieproduktivität in der Industrie	11,8	11	11	11	12
- Großforschungseinrichtungen	22	22	22	22	24
Summe	**71,8**	**76**	**77**	**79**	**85**
Summe I. Förderschwerpunkt	**153,2**	**164,7**	**173**	**179,2**	**189**
II. Energieversorgung mit verringerter C02- und Umweltbelastung:					
Erneuerbare Energien					
- Photovoltaik	81,6	80	80	80	80
- Windenergie	43	39	37	37	37
- Biomasse	5	8	10	11	13
- Geothermie und andere emeuerbare Energien	5	5	5	5	5
- Techniken für Länder in südlichen Klimazonen	24	18	17	17	17
- Großforschung	60,8	63,3	65	66,7	70
Summe	**219,4**	**213,3**	**214**	**216,7**	**222**
Kernenergie innovative Reaktorkonzepte					
- Sicherheit von Leichtwasserreaktoren,	62,5	63	63	63	63
- Langzeitsicherheit der nuklearen Entsorgung	19	19	18	18	18
- Großforschungseinrichtungen	105,8	106,9	108,5	110,6	107
Summe	**187,3**	**188,9**	**189,5**	**191,6**	**188**
Summe II. Förderschwerpunkt	**406,7**	**402,2**	**403,5**	**408,3**	**410**
III. Langfristoptionen für die Energieversorgung					
Kontrollierte Kernfusion (mit Wendelstein VII-X)	171,4	201,2	214	211,7	215,2
Summe III. Förderschwerpunkt	**171,4**	**201,2**	**214**	**211,7**	**215,2**
IV. Übergreifende Themen					
Systemanalysen, Innovationshemmnisse für Energieeinsparung, Informationsverbreitung, Übrige- und Querschnittsthemen, Projektträger	18	18	18	18	20
Summe IV. Förderschwerpunkt	**18**	**18**	**18**	**18**	**20**
Gesamtsumme	**749,3**	**786,1**	**808,5**	**817,5**	**834,2**

5.2 Stillegung und Rückbau kerntechnischer Versuchs- und Demonstrationsanlagen

a) Ausgangslage

In der Bundesrepublik Deutschland befinden sich derzeit 20 kerntechnische Anlagen in unterschiedlichen Phasen der Stillegung. Es handelt sich um 17 Kernkraftwerksblöcke, überwiegend in der Leistungsgröße zwischen 15 MWe und 300 MWe, sowie drei Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufes. Davon werden im Geschäftsbereich des BMBF zur Zeit 10 große Rückbauprojekte mit einem Kostenvolumen von insgesamt ca. 5 Mrd. DM (ab 1994) betreut. Hinzu kommen eine Reihe kleinerer Vorhaben (z. B. heiße Zellen und Laboranlagen).

Die Erledigung der anstehenden Rückbauaufgaben hat im wesentlichen drei Ursachen:

- Seit Verkündung des ersten Atomprogramms der Bundesregierung im Jahr 1956 sind eine Reihe von kerntechnischen Anlagen und Versuchsreaktoren errichtet worden, die mittlerweile technisch veraltet sind und für die kein Forschungs- und Entwicklungs-Bedarf mehr besteht Die Notwendigkeit des BMBF zur Beteiligung an den Rückbaukosten basieren hier im wesentlichen aus vertraglichen und gesellschaftsrechtlichen Verpflichtungen.
- Nach Aufgabe der Projekte Schneller-Brüter (SNR-300), Hochtemperaturreaktor (THTR-300) und „Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf4 entfiel auch die Grundlage zum Betrieb der entsprechenden Pilotanlagen KNK II, AVR und WAK. Damit hatten diese Betriebe keine Möglichkeit mehr, die zu einem späteren Zeitpunkt benötigten Mittel für die Stillegung und den Rückbau selbst zu erwirtschaften. Dies führte im Ergebnis dazu, daß die Rückbauinvestitionen nunmehr um einige Jahrzehnte früher anfallen, als ursprünglich geplant war.
- Ein drittes wesentliches Element für das Entstehen nuklearer Altlasten sind behördliche Auflagen zur Sicherheit (z.B. Verfüllmaßnahmen im Salzbergwerk Asse). Ferner bestehen bei vielen Projekten atomrechtliche Auflagen zur Behandlung/Entsorgung von Kernbrennstoffen sowie zur Sicherung des Strahlenschutzes.

Zur Behandlung, Umarbeitung und Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen und aktivierten Materialien stehen in Deutschland und Europa nur wenige Anlagen zur Verfügung. Zur Erhöhung der Umweltverträglichkeit und der Wirtschaftlichkeit ist daher auch eine europäische Kooperation unerläßlich. Eine entsprechende Zusammenarbeit erfolgt in diesem Rahmen insbesondere mit Frankreich, Großbritannien und Belgien. Die Errichtung eigenständiger Anlagen zur Behandlung radioaktiver Reststoffe für diesen Zweck wäre in vielen Fällen weder finanzierbar noch fachlich vertretbar. Auch eine gemeinsame Nutzung von Anlagen der EVU's kann Kosten sparen.

Für die Finanzierung der weiteren Arbeiten ist folgende Planung vorgesehen (Angaben in Mio. DM):

1995	1996	1997	1998	1999
241.4	274,9	295,3	315,5	325,7

b) Kurzbeschreibung der einzelnen Maßnahmen/Projekte

1. Verfüllung der Südflanke der Schachtanlage Asse
Aufgrund der Instabilität mehrerer Hohlräume in der Asse, die noch aus der Zeit des Salzgewinnungsbetriebes stammen, droht ein Einbrechen der Südflanke.
Mögliche Konsequenz wäre ein Wasserzutritt zu den in der Asse gelagerten radioaktiven Abfällen. Dabei könnte zugleich die Gefahr entstehen, daß Radioaktivität in die Biosphäre freigesetzt wird. Um die Konvergenz der Hohlräume zu verhindern, wird die Südflanke der Asse nach Auflagen und Genehmigungen der Bergbehörde verfüllt. Dabei wird zugleich eine obertägige Salzhalde durch eine mittelständische Firma im Raum Hannover abgetragen. Die Maßnahme soll im Jahr 2009 abgeschlossen.

2. Kernkraftwerk Niederaichbach (KKN)
Am KKN wurde im Herbst 1995 der erste vollständige Rückbau bis zur grünen Wiese eines - wenn auch nur für kurze Zeit betriebenen Leistungsreaktors demonstriert. Aus dem Projekt wurden wichtige Kenntnisse für die in Zukunft notwendige Beseitigung größerer Kernkraftwerke gewonnen. Zur Minimierung der Strahlenbelastung des Personals und zur Steigerung der Umweltverträglichkeit wurden auch fernbediente Manipulatoren eingesetzt.

3. Kernkraftwerk Kalkar (SNR 300)
Das Projekt wurde 1991 eingestellt. Eigner des SNR 300 ist die internationale Schnell-Brüter-Kernkraftwerksgesellschaft. Der BMBF hat sich an der Finanzierung der Errichtung des Kernkraftwerkes beteiligt. Von daher besteht noch eine Restverpflichtung für den Geschäftsbereich des BMBF.

4. Hochtemperaturreaktor Hamm-Uentrop (THTR 300)
Eigner des THTR 300 ist die Hochtemperatur-Kernkraftwerk GmbH (HKG), die auch Betriebsgesellschaft und atomrechtliche Genehmigungsinhaberin ist.
Am 1. September 1989 wurde der Beschluß zur Stillegung der Anlage gef aßt nachdem die Landesregie-

	1996	1997	1998	1999	2000
I. Reduzierung des Energiebedarfs :					
Effizienzsteigerung bei Energieumwandlung, neue Sekundärenergien					
- Kraftwerkstechnik, Verbrennungsforschung	34	40,4	45,4	47,4	50
- Wasserstoff, elektrische Energiespeicher	25	26	28	30	31
- Fernwärme	9	9	9	9	9
- Großforschungseinrichtungen	12,8	12,7	13	13,2	14
Summe	**81,4**	**88,7**	**96**	**100,2**	**104**
Rationelle Energieanwendung, Einsparung fossiler Energien bei den Endenergiesektoren:					
- Solarthermie, Raumwärme für Gebäude	36	40	41	43	46
- Wärmespeicher	2	3	3	3	3
- Erhöhung der Energieproduktivität in der Industrie	11,8	11	11	11	12
- Großforschungseinrichtungen	22	22	22	22	24
Summe	**71,8**	**76**	**77**	**79**	**85**
Summe I. Förderschwerpunkt	**153,2**	**164,7**	**173**	**179,2**	**189**
II. Energieversorgung mit verringerter C02- und Umweltbelastung:					
Erneuerbare Energien					
- Photovoltaik	81,6	80	80	80	80
- Windenergie	43	39	37	37	37
- Biomasse	5	8	10	11	13
- Geothermie und andere emeuerbare Energien	5	5	5	5	5
- Techniken für Länder in südlichen Klimazonen -	24	18	17	17	17
Großforschung	60,8	63,3	65	66,7	70
Summe	**219,4**	**213,3**	**214**	**216,7**	**222**
Kernenergie innovative Reaktorkonzepte					
- Sicherheit von Leichtwasserreaktoren,	62,5	63	63	63	63
- Langzeitsicherheit der nuklearen Entsorgung	19	19	18	18	18
- Großforschungseinrichtungen	105,8	106,9	108,5	110,6	107
Summe	**187,3**	**188,9**	**189,5**	**191,6**	**188**
Summe II. Förderschwerpunkt	**406,7**	**402,2**	**403,5**	**408,3**	**410**
III. Langfristoptionen für die Energieversorgung					
Kontrollierte Kernfusion (mit Wendelstein VII-X)	171,4	201,2	214	211,7	215,2
Summe III. Förderschwerpunkt	**171,4**	**201,2**	**214**	**211,7**	**215,2**
IV. Übergreifende Themen					
Systemanalysen, Innovationshemmnisse für Energieeinsparung, Informationsverbreitung, Übrige- und Querschnittsthemen, Projektträger	18	18	18	18	20
Summe IV. Förderschwerpunkt	**18**	**18**	**18**	**18**	**20**
Gesamtsumme	**749,3**	**786,1**	**808,5**	**817,5**	**834,2**

rung NRW sich gegen eine Wiederinbetriebnahme ausgesprochen hatte.
Die Grundsätze der Abwicklung des Projekts wurden Ende 1989 in einem Rahmenvertrag zwischen BMFT, Nordrhein-Westfalen, dem Betreiber des THTR und seinen Gesellschaftern geregelt Zur Finanzierung wurde von den Vertragspartnern ein Fonds eingerichtet dessen Mittel vorzeitig verzehrt wurden. Über die weitere finanzielle Absicherung wird noch verhandelt.
Die Coreentladung des Reaktors wurde abgeschlossen und die Brennelemente in das Brennelement-Zwischenlager Ahaus transportiert.
Die Projektphase „Sicherer Einschluß" soll voraussichtlich bis zum Jahr 2020 zwecks Abklingen des Aktivitätsinventars des Reaktors dauern.

5. Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK)
Die WAK war als Pilotanlage zur Durchführung von Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten für die Errichtung und den Betrieb einer kommerziellen deutschen Wiederaufarbeitungsanlage von DWK/WAK errichtet worden. Die Betriebsführung liegt bei der WAK Betriebsgesellschaft, die zusammen mit FZK atomrechtlicher Genehmigungsinhaber ist.
Nach Aufgabe der Errichtung der Wiederaufarbeitungsanlage in Wackersdorf durch die EVU war der Weiterbetrieb der Pilotanlage WAK nicht mehr sinnvoll. Die Anlage ist deshalb seit Dezember 1991 außer Betrieb.
Zur Finanzierung des Rückbaus der WAK tragen die EVU ergänzend zu früheren Verträgen insgesamt 1 Mrd DM bei. Der BMBF und das Land Baden-Württemberg kommen für die verbleibenden Projektkosten auf. Ein wesentliches Element der Aufgaben ist die Verglasung von ca. 80 m3 hochradioaktivem flüssigen Abfall, der bei der WAK lagert.

6. Versuchsreaktor AVR
Eigner, Betreiber und Genehmigungsinhaber ist die AVR GmbH, ein Zusammenschluß kommunaler Energieversorgungsunternehmen. Die Verpflichtungen des Bundes resultieren aus Zusammenarbeits- und Überleitungsverträgen zwischen der AVR GmbH und dem Forschungszentrum Jülich im Dezember 1986 wurde die Stillstandsgenehmigung beantragt. Sie wurde 1994 erteilt. Die Planungen sehen vor, daß der AVR im Jahr 1999 die Projektphase „Sicheren Einschluß" erreicht haben wird.

7. Forschungsreaktor FR 2
Der Forschungsreaktor FR 2 auf dem Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe wurde nach zwanzig Jahren erfolgreichem Versuchsbetrieb 1981 abgeschaltet. Im Rahmen mehrerer Teilstillegungsgenehmigungen wird der Reaktor sei 1986 schrittweise demontiert, wobei der Druckbehälter im zentralen Reaktorgebäude in den sicheren Einschluß überführt wird. Die Anlage soll bis Ende 1996 soweit vereinfacht und zum Teil abgerissen sein, daß die Projektkosten deutlich gesenkt werden können.

8. Heißdampfreaktor Kahl (HDR)
Eigner und Genehmigungsinhaber ist das Forschungszentrum Karlsruhe, das auch den Betrieb durchführt. Von 1974 bis Ende 1992 wurde der HDR für Reaktorsicherheitsexperimente genutzt, danach mit der Stillegungsplanung begonnen. Der Gesamtrückbau zur grünen Wiese soll nach den Planungen bis zum Jahr 2001 abgeschlossen sein. Seit Dezember 1994 liegt die erste große Teilgenehmigung für den Abbau der maschinentechnischen Anlagen vor, so daß die Demontagearbeiten zügig auf genommen werden können.

9. Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage (KNK)
Die KNK diente als Versuchsanlage für Brutreaktoren und zur Durchführung von Forschungs- und Entwicklungs-Arbeiten der Natriumtechnik. Die Anlage wurde 1991 außer Betrieb genommen. Das Stillegungs- und Abbaukonzept sieht vor, alle Systeme bis auf Teile des Primärkreises abzubauen und sodann die Anlagen in den gesicherten Einschluß zu überführen. Das wird bis zum Ende 2000 angestrebt.

10. Mehrzweckforschungsreaktor (MZFR)
Der MZFR, ein schwer wassermoderierter Reaktor, wurde im Mai 1984 nach 12 Jahren Lastbetrieb abgeschaltet. Die Rückbaumaßnahmen wurden mit der Stillegung und Vereinfachung von Teilsystemen im Rahmen erster Genehmigungen und mit Vorbereitungsarbeiten zum Abbau hochaktiver Anlagenkomponenten begonnen. Ziel ist die vollständige Beseitigung der Anlage bis zur grünen Wiese bis etwa zum Jahr 2005.

11. Sonstige Anlagen
Die sonstigen Anlagen umfassen überwiegend radioaktive Laboranlagen und „heiße" Arbeitszellen. Hinzu kommen Abfallanlagen verschiedener Institute von Großforschungszentren, die Forschungsreaktoren FRG 1/Geesthacht, FRJ 1 (MERLIN)/ Jülich sowie Rückstände aus dem Pilotprojekt „Otto Hahn". Diese Anlagen unterliegen atomrechtlichen oder strahlenschutzrechtlichen Regelungen, die den Betreiber zum ordnungsgemäßen Rückbau oder zur Aufrechterhaltung des betriebsfähigen Zustandes verpflichten.

c) Ausblick, Prioritäten, Perspektiven

Bei der Strategie zur Bewältigung der Gesamtaufgabe steht die Gewährleistung der Sicherheit und Umweltverträglichkeit vor der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen. Gleichwohl kommt insbesondere auch der Wirtschaftlichkeit der Stillegungs- und Rückbaumaßnahmen eine sehr hohe Priorität zu. Hierbei sol-

len zunehmend marktwirtschaftliche Leistungen genutzt werden.

Die Gesamtkosten der Maßnahmen sind sehr wesentlich durch den Faktor Zeit bestimmt, der seinerseits im wesentlichen von zügigen atomrechtlichen Genehmigungen abhängt.

Hieraus folgen weitere Prioritäten:

- Bereits vorhandene und befristete Teil-Genehmigungen müssen für zügige Rückbauaktivitäten genutzt werden mit dem Ziel, die Langzeitkosten der Maßnahmen deutlich zu senken
- Die atomrechtlichen Verfahren sind - soweit möglich - zu straffen
- Die Notwendigkeit und Angemessenheit der Maßnahmen sowie des Stillstandsbetriebes einschließlich der Zeitpläne ist ständig - auch im Dialog mit den atomrechtlich zuständigen Behörden - zu überprüfen
- Zeitlich befristete Entsorgungsoptionen im nationalen und internationalen Raum sind zielgerichtet zu nutzen
- Kombinierte Nutzung von Anlagen zur Behandlung von radioaktiven Reststoffen zur Senkung der spezifischen Kosten ist anzustreben.

Darüber hinaus gibt es eine Reihe wesentlicher Elemente bei der Abwicklung des Programms, die nicht übersehen werden dürfen. Dies sind u. a.:

- Erhalt von kerntechnischem „know how“
- Der Wissenschaftsrat hatte u.a. auf die prekäre Situation der Fachausbildung in diesem Bereich nachdrücklich hingewiesen
- Beträge zu marktwirtschaftlichen Strukturen im Vorfeld eines international wachsenden Marktsegments „Rückbau kerntechnischer Anlagen“.

5. Energieforschungsprogramm

Vorwort

Energiegeschichte ist Technikgeschichte. Wir reden zwar vom Kohlezeitalter, vom Ölzeitalter und vom Solarzeitalter, aber diese historischen Perioden mit ihren tiefgreifenden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Umwälzungen wären undenkbar ohne die dazu gehörenden Technologien. Ohne die Erfindung der Dampfmaschine durch James Watt und die Entdeckung des Dynamos durch Werner von Siemens hätte es kein Kohlezeitalter gegeben. Ohne die Entwicklung des Ottomotors hätte es keinen Siegeszug des Mineralöls gegeben, das heute rd. 40 % des weltweiten Primärenergiebedarfs deckt. Und ohne die grundlegenden Entwicklungsarbeiten bei der Photovoltaik in den 50er Jahren gäbe es heute keine so großen Hoffnungen in ein künftiges Solarzeitalter.

Wer Energiegeschichte schreiben will, muss in Technologien investieren. Das ist in erster Linie eine Aufgabe der Wirtschaft. Die Bundesregierung unterstützt jedoch die Bemühungen der Wirtschaft durch gezielte Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien, und zwar auf breiter Front, von der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung bis zu Demonstrationsanlagen.

Mehr als 30 Jahre nach dem ersten Energieforschungsprogramm (1974) und fast 10 Jahre nach der letzten Fortschreibung (1996) legt die Bundesregierung das 5. Energieforschungsprogramm „Innovation und neue Energietechnologien“ vor. Das Programm ist unter der Federführung des BMWA gemeinsam mit dem BMU, dem BMVEL und dem BMBF entwickelt worden.

Drei strategische Grundlinien kennzeichnen das Programm:

1. Das Energieforschungsprogramm ist Teil der „Innovationsinitiative“ der Bundesregierung und ihrer Bemühungen um mehr Wettbewerbsfähigkeit, Wachstum und Beschäftigung in Deutschland. Auch im Energiebereich geht es darum, die Innovationsdynamik zu stärken. Wir müssen die anerkannte technologische Spitzenposition der deutschen Wirtschaft ausbauen und dafür sorgen, dass die modernen Energietechnologien schneller in den Markt gebracht werden.

2. Das Energieforschungsprogramm unterstützt die Energiepolitik der Bundesregierung. Es leistet insbesondere einen Beitrag, damit auch in Zukunft

   – ein ausgewogener Energiemix unter Einschluss von Stein- und Braunkohle in Deutschland erhalten bleibt,

   – deutliche Verbesserungen der Energieeffizienz möglich werden,

   – der Anteil der erneuerbaren Energien zur Primärenergiebedarfsdeckung ohne Verlust an Wirtschaftlichkeit erhöht werden kann und schließlich

   – die international zugesagten Fortschritte beim Klimaschutz zu den geringst möglichen Kosten erzielt werden.

3. Das Energieforschungsprogramm schafft gute Voraussetzungen, dass die deutsche Stromwirtschaft bei dem ab 2010 anstehenden Kraftwerkserneuerungsprogramm auf modernste Technik zurückgreifen kann. Wenn wir die Stromversorgung in Deutschland ohne zusätzliche Importe sichern wollen, müssen zwischen 2010 und 2025 Kraftwerke mit einer Kapazität von ca. 40 000 MW gebaut werden. Damit das möglich wird, hat das BMWA zusammen mit Wirtschaft und Wissenschaft das COORETEC-Konzept zu den künftigen Schwerpunkten bei Forschung und Entwicklung moderner Kraftwerkstechnologien entwickelt. Dort werden die technologischen Grundlagen für ein emissionsarmes und längerfristig emissionsfreies Kohlekraftwerk aufgezeigt. Dieses Konzept wird jetzt mit dem neuen Energieforschungsprogramm umgesetzt und leistet einen Beitrag, damit in Deutschland auf lange Sicht Strom sicher, wettbewerbsfähig, umweltverträglich und mit gesellschaftlicher Akzeptanz erzeugt werden kann.

Energieforschung ist kein Randthema der Energiepolitik. Energieforschung gehört zum Kern. Hier wird mitentschieden, wie wir morgen wirtschaften und leben wollen. Wer bei der Diskussion über die energiewirtschaftliche Zukunft Deutschlands mitreden will, findet in dem neuen Energieforschungsprogramm „Innovation und neue Energietechnologien“ die dazu notwendigen Daten und Fakten.

Wolfgang Clement

Bundesminister für Wirtschaft und Arbeit

Zusammenfassung

Eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung ist das Rückgrat jeder modernen Volkswirtschaft. Ohne eine leistungsfähige Energieversorgung ist es nicht möglich, Wachstum, Beschäftigung und Wohlstand zu sichern. Ohne Energie gibt es keine Entwicklung. Ohne Umgestaltung der Energieversorgung gibt es keine Fortschritte beim Klimaschutz.

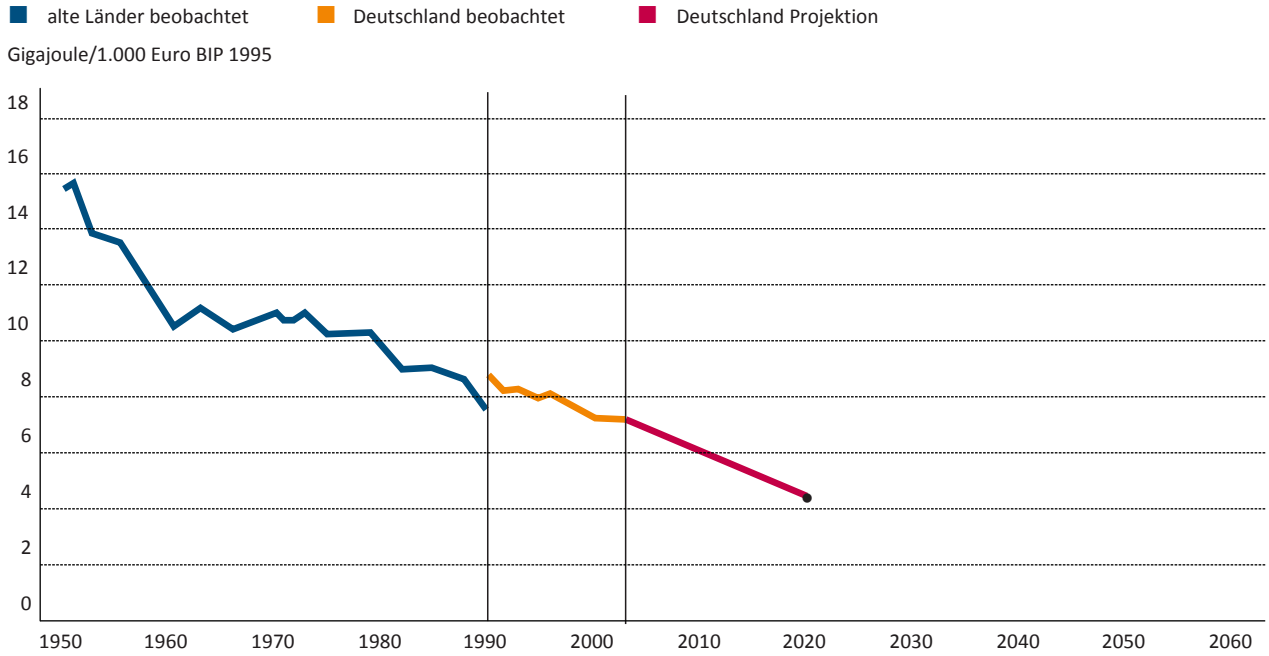


Abb.: Spezifischer Primärenergieverbrauch in Deutschland

Deutschland steht heute vor der Aufgabe, den Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung weiter voran zu treiben. Dieser Übergang setzt neben geeigneten energiepolitischen Rahmendaten vor.

allem Innovation und technischen Fortschritt voraus. Nur mit verbesserten und neuen Technologien wird es Deutschland gelingen, die energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu meistern.

Die zentrale Aufgabe der kommenden Jahre ist es, Innovationsprozesse zu beschleunigen und neue Technologien schneller in den Markt zu bringen. Das ist in erster Linie eine Aufgabe der Wirtschaft. Die Bundesregierung unterstützt diesen Prozess jedoch durch Förderung von Forschung und Entwicklung von Energietechnologien. Sie legt mit dem neuen Energieforschungsprogramm „Innovation und neue Energietechnologien“ die Grundlage für die Förderpolitik in den kommenden Jahren.

Das 5. Energieforschungsprogramm steht im Kontext der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie, des Klimaschutzprogramms sowie der „Agenda 2010“ der Bundesregierung und ihrer Strategie für mehr Wachstum und Beschäftigung in Deutschland. Es bildet auch einen wichtigen Input für die Initiative „Partner für Innovation“ von Bundesregierung, Wirtschaft, Wissenschaft und Gewerkschaften zur Stärkung der Innovationsdynamik. Insofern zielt die Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien auch darauf ab, einen Beitrag zu leisten, um die gute Position Deutschlands bei Erfindungen, Forschung, Entwicklung und Technik auszubauen, die Attraktivität des Standort Deutschlands für Investition und Produktion zu erhöhen, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft zu verbessern und dauerhaft zukunftsfähige Arbeitsplätze in Deutschland zu sichern.

Das Programm ist unter der Leitung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) entstanden. Das BMWA hat innerhalb der Bundesregierung die Federführung für die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik und das Energieforschungsprogramm. Das BMWA ist darüber hinaus zuständig für die projektorientierte Förderung von Forschung und Entwicklung auf den Gebieten der „nichtnuklearen Energien“ (ohne erneuerbare Energien), der „rationellen Energieumwandlung“ sowie für die „nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung“. Daneben gibt es im Rahmen des Energieforschungsprogramms individuelle Ressortzuständigkeiten: Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ist zuständig für die projektorientierte Förderung von Forschung und Entwicklung der „erneuerbaren Energien“, das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) für die Förderung von Forschung und Entwicklung der „Bioenergie“ und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die institutionelle Förderung der Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft im Forschungsbereich „Energie“ sowie für die Grundlagen- und Vorsorgeforschung einschließlich der Forschungsaktivitäten der Netzwerke „Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung“.

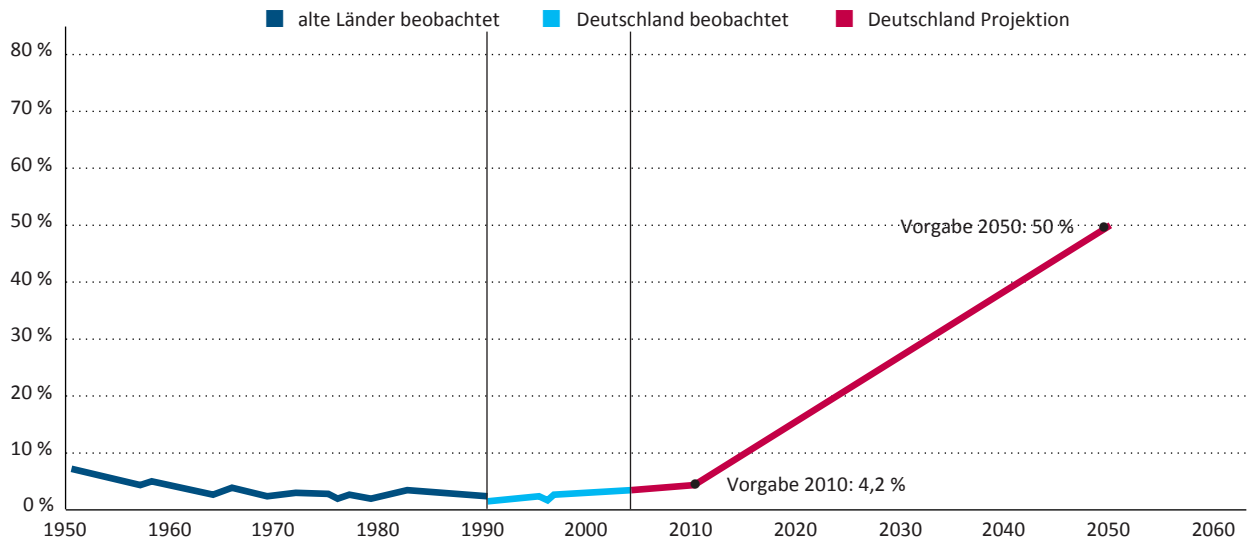


Abb.: Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch in Deutschland

Die Energieforschungspolitik der Bundesregierung kann auf einem soliden Fundament aufbauen. Deutschland verfügt über eine gute Grundlagenforschung, eine leistungsfähige wissenschaftlich-technische Infrastruktur sowie eine hervorragende industrielle Energieforschung, vor allem auf zukunftsträchtigen Feldern wie etwa der „modernen Kraftwerkstechnik“, der „Photovoltaik“ und der „Brennstoffzelle“. Das belegen die überdurchschnittliche Beteiligung deutscher Partner an dem EU-Forschungsrahmenprogramm sowie die guten, zum Teil exzellenten Bewertungen der Energieforschungsprogramme der Helmholtz-Zentren durch internationale Gutachter.

Die Bundesregierung hat die Förderung von Forschung und Entwicklung im Energiebereich an die neuen politischen Rahmendaten und Prioritäten angepasst. Die Schwerpunkte der künftigen Förderung liegen auf den Feldern „Energieeffizienz“ und „erneuerbare Energien“. Die Energieforschungspolitik folgt damit auch der von der Bundesregierung entwickelten Strategie für eine nachhaltige Entwicklung und leistet einen wichtigen Beitrag zum Schutz der Erdatmosphäre. Die Förderung von Forschung und Entwicklung im Energiebereich konzentriert sich insbesondere auf folgende Felder:

- Moderne Kraftwerkstechnologien auf Basis von Kohle und Gas (einschließlich CO_2-Abtrennung und CO_2-Speicherung),
- Photovoltaik und Windenergie im Offshore-Bereich,
- Brennstoffzellen und Wasserstoff als Sekundärenergieträger sowie Energiespeicher,
- Technologien und Verfahren für energieoptimiertes Bauen sowie
- Technologien zur energetischen Nutzung der Biomasse.

Daneben umfasst die Förderpolitik des Bundes auch die Bereiche energiesparender Technologien in der Industrie, im Gewerbe, im Handel und bei Dienstleistungen, weitere Bereiche der erneuerbaren Energietechnologien, wie Solarthermie, Geothermie und Wasserkraft, nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung, die Entwicklung der Kernfusion als Energiequelle sowie Systemanalyse und Informationsverbreitung.

Das Programm und seine Schwerpunkte sind gut abgestimmt mit den Forschungsaktivitäten der Industrie, den Forschungsarbeiten an Universitäten und wissenschaftlichen Instituten sowie der Energieforschung in der EU. Die Ausrichtung des Programms bezieht auch die internationalen Kooperationen mit unseren Partnerländern in der Internationalen Energieagentur (IEA) ein.

Die Fortschreibung des Energieforschungsprogramms fällt in eine Zeit der Konsolidierung öffentlicher Haushalte. Die übergeordneten Ziele der „Agenda 2010“ setzen auch den Rahmen für die Fördermaßnahmen im Bereich der Energieforschung. Um den großen politischen Herausforderungen des Übergangs zu einer nachhaltigen Energieversorgung.

Rechnung zu tragen, beabsichtigt die Bundesregierung jedoch, aus der Abschaffung der Eigenheimzulage frei werdende Mittel zusätzlich im Rahmen der „Innovationsinitiative“ bereit zu stellen, um die Förderpolitik zu verstetigen und neue Entwicklungen anstoßen zu können.

In Phasen knapper Haushalte werden an die Effizienz der Fördermaßnahmen naturgemäß besonders strenge Anforderungen gestellt. Die Bundesregie-

rung trägt diesem Anliegen vor allem Rechnung durch:

- Begrenzung der Förderung auf die Kernaufgaben staatlicher Forschungspolitik, d. h. Konzentration der Mittel auf besonders innovative Energietechnologien, die für die künftige Energieversorgung und den Standort Deutschland wichtig sind, aber von der Wirtschaft bei ihren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wegen der hohen Risiken nicht ausreichend beachtet werden können,
- Verbesserung der Kooperation zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik, um die Fördermaßnahmen noch gezielter auf die konkreten Bedürfnisse der Märkte und die gesamtwirtschaftlichen Erfordernisse abzustellen,
- Stärkung der Wettbewerbselemente, um die noch vorhandenen Optimierungsspielräume zu nutzen, neuen Ansätzen bzw. Technologieverbesserungen schneller zum Durchbruch zu verhelfen und die Leistungsfähigkeit der Energieforschung in Deutschland insgesamt zu verbessern sowie
- Optimierung der Arbeitsteilung und verbesserte Zusammenarbeit zwischen nationaler und europäischer Energieforschung mit dem Ziel Doppelarbeit zu vermeiden und Kräfte für Projekte mit klarer „Europäischer Dimension“ zu bündeln.

Die Bundesregierung wird für Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien in den Jahren 2005 bis 2008 rd. 1,7 Mrd. € zur Verfügung stellen. Damit werden zusätzliche Forschungsinvestitionen in der Wirtschaft, vor allem bei kleinen und mittleren Unternehmen, induziert. Die Schwerpunktverlagerung zu Gunsten der Bereiche „Energieeffizienz“ und „erneuerbare Energien“ wird auch in dem Forschungsbudget sichtbar. Gegenüber 1998, dem Jahr der ersten Regierungsbildung von SPD und Bündnis 90/Die Grünen, sollen die Mittel für „Energieeffizienz“ und „erneuerbare Energien“ bis 2008 um rd. 46% gesteigert werden. Dieser Zuwachs setzt bei einer Gesamtzunahme der Förderung um 9% erhebliche Umschichtungen aus den Bereichen „Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung“ und „Fusionsforschung“ voraus. Die Bundesregierung wird im Jahr 2006 innerhalb der programmorientierten Förderung der HGF eine Evaluierung ihrer Anstrengungen zur Fusion im Verhältnis von Aufwand und Wirkungen vornehmen und mit Blick auf die nächste Programmperiode der HGF entscheiden.

Die Bundesregierung unterstützt Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien auch außerhalb des Energieforschungsprogramms. Dabei geht es um Vorhaben in anderen Programmen, in denen die energiepolitischen Aspekte nachrangig sind (Mobilitätsforschung, Luftfahrtforschung, Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet des Bau- und Wohnungswesens u. a.). Projekte mit Bezügen zur Energieforschung gibt es auch in Forschungseinrichtungen des Bundes. Dort sind sie Teil der wissenschaftlich- technischen Infrastruktur oder dienen der Politikberatung der Ressorts. Alle diese Arbeiten sind nicht Gegenstand des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung, bilden aber ergänzende Grundlagen für die Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien in Deutschland.

	Ist-Zahlen		Planung	Trend
Bereich	1998	2003	2008	1998/ 2008
Energieeffizienz, erneuerbare Energien	178	207	259	+46%
Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung	85	53	55	−35%
Fusionsforschung	122	115	115	−6%
Sonstiges (z.B. Beseitigung kerntechn. Anlagen)	7	0	0	-
Summe	392	375	428	+9%

Förderung von Forschung und Entwicklung im Energieforschungsprogramm (in Mio. €)[10]

1. Einleitung

Die Energieversorgung, insbesondere die Stromversorgung, ist das Rückgrat jeder modernen Industrie-, Informations- und Dienstleistungsgesellschaft. Der Stellenwert der Energieversorgung für Wachstum und Wohlstand, aber auch die potenziellen Risiken der Energienutzung für Umwelt und Klima machen politische Entscheidungen über die Energiefrage zu strategischen Weichenstellungen für Wirtschaft und Gesellschaft.

Der Übergang zum 21. Jahrhundert ist durch ein sich rasch veränderndes geopolitisches, wirtschaftliches und technologisches Umfeld gekennzeichnet. Viele energiewirtschaftliche Erwartungen haben sich verändert. Durch die Globalisierung stellen sich auch viele wirtschaftspolitische Fragen neu. Immer deutlicher wird, in welchem Umfang Wachstum und Beschäftigung in Deutschland von Wettbewerbsfähigkeit und Innovationsdynamik abhängen. Schließlich hat der Klimaschutz in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen. Das Kyoto-Protokoll ist am 16. Februar 2005 in Kraft getreten. Obergrenzen für den Ausstoß von Treibhausgasen sind völkerrechtlich verbindlich. Programmatische Aussagen zur

10 Zahlen 2008 enthalten Mittel aus der Innovationsinitiative und stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament

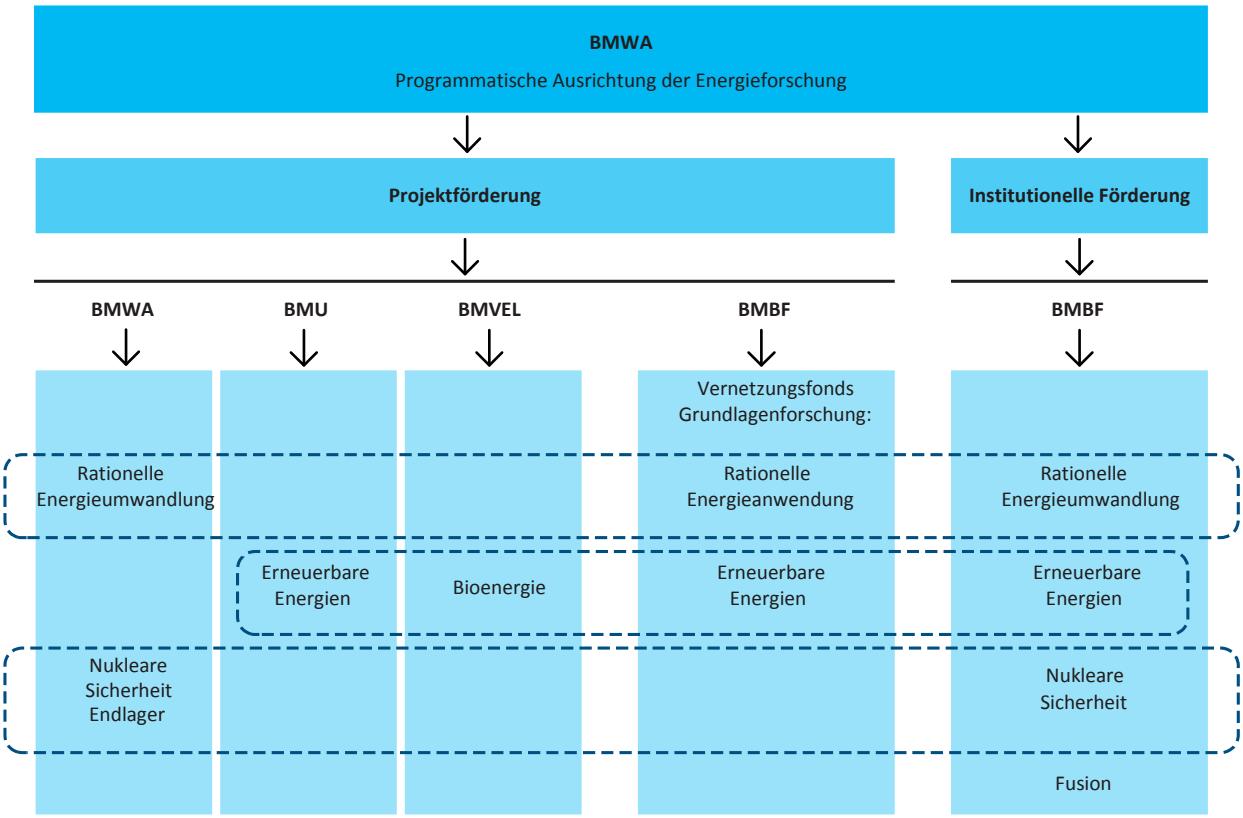


Abb.: Energieforschung der Bundesregierung

staatlichen Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien bedürfen daher einer sorgfältigen Analyse der Ausgangslage und der vor uns liegenden Herausforderungen.

Globaler Energieverbrauch

1.1 Ausgangslage

Ziel der Bundesregierung ist eine nachhaltige Energieversorgung, d. h. eine Energieversorgung, die stets eine zugleich sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Bereitstellung und Nutzung von Energie gewährleistet [1].

Die weltweite Energieversorgung entspricht heute nicht dem Leitbild der Nachhaltigkeit:

- Viele Menschen, vor allem in den Entwicklungs- und Schwellenländern, haben keinen Zugang zur Stromversorgung und bleiben damit von vielen grundlegenden Entwicklungsmöglichkeiten ausgeschlossen,
- den global zunehmenden Ansprüchen an die Energieversorgung stehen auf lange Sicht begrenzte Ressourcen vor allem an konventionellem Öl und Erdgas gegenüber,
- Wirtschaft und Verbraucher nutzen Energie vielfach nicht effizient genug,
- der Anteil der zukunftsfähigen erneuerbaren Energien (Wasser, Wind, Solarenergie, moderne Bioenergie u. a.) ist noch zu gering und
- die Umweltbelastungen, insbesondere durch die Emissionen der treibhausrelevanten Spurengase wie CO_2, CH_4 und andere, sind zu hoch.

Für die politische Bewertung wichtig ist eine Einsicht in die Dynamik der Entwicklung [2], Von 1970 bis 2000 ist der weltweite Energieverbrauch um 90% gestiegen. Die Internationale Energieagentur (IEA) erwartet in einer Trendfortschreibung bis 2030 einen weiteren Anstieg des Weltenergieverbrauchs um mehr als 60% (s. Grafik links). Ursache dafür ist vor allem der Anstieg der Weltbevölkerung. Heute (2003) leben rd. 6,3 Mrd. Menschen auf der Erde. Die Vereinten Nationen erwarten für 2030 eine Weltbevölkerung von über 8 Mrd. Menschen. Der von der IEA und anderen Institutionen prognostizierte deutliche Anstieg der weltweiten Energienachfrage wird auch mit dem wirtschaftlichen Nachholbedarf der Entwicklungs- und Schwellenländer begründet. Die große Differenz der Pro-Kopf Einkommen zwischen den gering entwickelten Ländern (2002: 430 $) und den Industrieländern (2002: 26 500 $) gibt diesem Argument besonderes Gewicht.

Die Hauptlast der globalen Energieversorgung tragen die fossilen Energieträger Kohle, Öl und Gas. Der

Anteil der fossilen Energieträger an der weltweiten Energiebedarfsdeckung liegt heute bei fast 9 0 %. An der starken Marktposition von Kohle, Öl und Gas wird sich auf absehbare Zeit nur wenig ändern. Das liegt vor allem an der gegenwärtig noch ausreichenden Verfügbarkeit von Kohle, Öl und Gas, deren Wettbewerbsfähigkeit sowie den praktischen Nutzungsvorteilen gegenüber den meisten der nichtfossilen Energieträger. Hinzu kommt die enge Einbindung der fossilen Energieträger in die über Jahrzehnte gewachsene, langlebige und kapitalintensive energie- wirtschaftliche Infrastruktur (Bergwerke, Förderanlagen, Pipelines, Kraftwerke, Leitungsnetze etc.), die grundsätzlich einen längeren Anpassungszeitraum an neue Versorgungsstrukturen notwendig macht.

Weltweit steigender Energieverbrauch und Dominanz der fossilen Energieträger bedeuten bei den heute zum Einsatz kommenden Energietechnologien in aller Regel steigende CO_2-Emissionen. Viele Abschätzungen erwarten unter Status-quo-Annahmen einen Anstieg der CO_2-Emissionen bis 2030 um 50-70%. Diese Erwartungen stehen im Gegensatz zu den Erfordernissen des Klimaschutzes, die treibhausrelevanten Spurengase bis 2050 drastisch zu vermindern. Das Ausmaß der Differenz zwischen Erwartungen und Notwendigkeiten illustriert in besonders eindrucksvoller Weise den Handlungsbedarf bei der Weiterentwicklung einer international abgestimmten Politik für eine nachhaltige Energieversorgung und bei der Entwicklung moderner, umwelt- und klimaverträglicher Energietechnologien.

Für Deutschland führt eine Analyse der Nachhaltigkeit der Energieversorgung zu einem günstigeren Bild [3]:

- Der Primärenergieverbrauch stagniert seit vielen Jahren und weist seit 1990 sogar einen rückläufigen Trend auf (s. Tabelle rechts),
- die grundlegende Erneuerung des Kraftwerksparks in den neuen Ländern hat die Wirkungsgrade in der Stromerzeugung beträchtlich verbessert und liefert damit eine gute technologische Basis für die anstehende Kraftwerksmodernisierung bei Kohle und Gas in den alten Ländern,
- der Beitrag der erneuerbaren Energien zur Primärenergiebedarfsdeckung ist gestiegen,
- die lokalen Schadstoffbelastungen durch die Emissionen von SO_2, NO_x, Stäuben und anderen Stoffen wurden deutlich vermindert und
- die energiebedingten klimawirksamen CO_2-Emissionen sind rückläufig und lagen in 2003 rd. 15 % unter dem Niveau des Jahres 1990.

Trotz dieser Erfolge verbleiben erhebliche Defizite bei der energiewirtschaftlichen Umstrukturierung. Das zeigt besonders deutlich der Vergleich der CO_2-Emissionen pro Kopf, bei denen Deutschland im internationalen Rahmen mit an der Spitze liegt. Die Bundesregierung strebt daher an, den Weg zu einer noch sichereren, wirtschaftlicheren und umweltverträglicheren Energieversorgung weiter voranzutreiben.

	1990 in PJ	1990 Anteil in %	2003 in PJ	2003 Anteil in %
Mineralöl	5 238	35,1	5 214	36,7
Naturgas	2 316	15,5	3 224	22,6
Steinkohle	2 306	15,5	1964	13,6
Braunkohle	3 201	21,5	1 638	11,4
Kernenergie	1 668	11,2	1 802	12,5
Erneuerbare Energien	163	1,1	448	3,1
Sonstige	24	0,1	44	0,1
Insgesamt	14 916	100,0	14 334	100,0

Primärenergieverbauch in Deutschland
Quelle: AG Energiebilanzen; zur Umrechnung in andere Energieeinheiten s. Anhang

Die Politik der Bundesregierung zielt darauf ab:

- einen ausgewogenen Energiemix aus fossilen und erneuerbaren Energien zur Sicherung der Energieversorgung Deutschlands zu gewährleisten,
- die gesamtwirtschaftliche Energieeffizienz weiter zu steigern und damit zugleich einen Beitrag
- zur Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft sowie zum Klimaschutz zu leisten,
- den Beitrag der erneuerbaren Energien zur Primärenergiebedarfsdeckung weiter zu erhöhen und sie so schnell wie möglich zur Wettbewerbsfähigkeit zu führen,
- den Verzicht auf die Kernenergie Schritt für Schritt und ohne Beeinträchtigung einer sicheren und wirtschaftlichen Stromversorgung zu ermöglichen sowie
- die Abgabe der energiebedingten CO_2-Emissionen und der anderen treibhausrelevanten Spurengase in die Atmosphäre im Rahmen der gegenwärtigen und künftigen internationalen Verpflichtungen so kostengünstig wie möglich zu vermindern.

Die Bundesregierung hat mit Blick auf den Klimaschutz zwei dieser Grundlinien durch politische Zielvorgaben herausgehoben. Sie beziehen sich auf die „Steigerung der Energieeffizienz“ und den „Ausbau der erneuerbaren Energien“. Beide Vorgaben sind auch Leitgrößen für die Energieforschungspolitik.

Energieeffizienz: Die Bundesregierung strebt in ihrer Strategie für eine nachhaltige Entwicklung eine Verdopplung der Energieproduktivität der deutschen Volkswirtschaft bis 2020 gegenüber 1990 an. Diese ehrgeizige Vorgabe entspricht einer durch-

schnittlichen Reduktion des spezifischen Primärenergieverbrauchs von 2,3% pro Jahr. Sie liegt damit deutlich über dem langfristigen Trend (von 1990 bis 2003 ist der spezifische Primärenergieverbrauch in Deutschland um 1,6% p. a. zurückgegangen, von 1950 bis 1990 in den alten Ländern um 1,7%p. a.). Konsequenterweise müssen Maßnahmen zur Verbesserung der Energieproduktivität auf der gesamten Wertschöpfungskette des Energiesystems ansetzen, bei der Gewinnung, beim Transport, bei der Umwandlung (hier insbesondere bei der Stromerzeugung) sowie bei der Energienutzung durch die Industrie, im Gewerbe, im Handel, bei Dienstleistungen, im Verkehr und bei den privaten Haushalten (s. Grafik unten).

Erneuerbare Energien: Die Bundesregierung hat sich in ihrer Strategie für eine nachhaltige Entwicklung das Ziel gesetzt, den Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch bis 2010 auf 4,2% zu erhöhen. Bis 2050 strebt die Bundesregierung einen weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien bis zu einem Anteil von 50 % an. 1990 betrug der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch rd. 1,6% (in den alten Ländern lag der Anteil, insbesondere durch die naturbedingt besseren Möglichkeiten des Zugriffs auf Wasserkraft, etwas höher).

Bis 2003 konnte der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch auf 3,1 % erhöht werden (s. Grafik unten).

Bei der angestrebten Steigerung der Energieproduktivität und dem angestrebten Ausbau der erneuerbaren Energien geht die Bundesregierung davon aus, dass diese Ziele im Einklang mit anderen Zielen einer nachhaltigen Entwicklung, vor allem Wachstum und Beschäftigung in Deutschland, realisiert werden können. Insgesamt sind auf beiden Gebieten zusätzliche Anstrengungen notwendig. Forschung und Entwicklung bilden dafür die zentrale Voraussetzung.

Literatur

[1] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland: Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung, Berlin

[2] IEA (2004): World Energy Outlook, Paris

[3] BMWA (2003): Energiedaten 2003, Berlin

[4] EU-Kommission (2003): European Energy and Transport Trends to 2030, Brüssel

1.2 Aufgaben und Ziele der Energieforschungspolitik

Wenn die Energieversorgung das „Rückgrat“ einer modernen Industrie-, Informations- und Dienstleistungsgesellschaft ist, dann sind die Energietechnologien die „Elemente dieses Rückgrates“. Ohne Bohrtürme, Bergwerke, Tagebaue, Kraftwerke, Windräder, Solarkollektoren, Motoren, Beleuchtungskörper, Anlagen zur Informationsverarbeitung (Computer, Telekommunikation) und andere Energietechnologien kann die Energieversorgung ihre Funktion, Dienstleistungen in Form von Wärme, Kraft, Licht und Information für Wirtschaft und Verbraucher bereitzustellen, nicht erfüllen.

Forschung und Entwicklung von Energietechnologien sind in erster Linie eine Aufgabe der Wirtschaft. Die Aufgabe des Staates ist die Schaffung von Rahmenbedingungen für Innovation und technischen Fortschritt. Diese Aufgabenverteilung resultiert aus unserem Verständnis von der generellen Überlegenheit marktwirtschaftlicher Prozesse. Die Wirtschaft hat die besseren Anreize für effektive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten: Sie ist der Hauptnutznießer der Forschungsergebnisse, sie kennt die Stärken und Schwächen der Technologien am besten, und sie muss in einem Wettbewerbsmarkt besonders „überlegt“ agieren.

Darüber hinaus gilt es zu beachten, dass es die Wirtschaft ist, die mitziehen muss, wenn neue Entwicklungen und Produkte auf den Markt gebracht werden sollen. Die Politik hat nicht die Kraft, auf Dauer gegen die Wirtschaft in den technologischen Selektionsprozess einzugreifen und dabei „Gewinner“ und „Verlierer“ zu bestimmen.

Jenseits dieser generellen Aufgabenverteilung gibt es einen spezifischen Bedarf für eine gezielte staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien. Dieser Bedarf ergibt sich aus den bekannten „Marktdefiziten“ bei Forschung und Entwicklung und ist im Energiebereich insbesondere begründet durch:

- die langen Zeithorizonte energietechnischer Entwicklungen von der „Erfindung“ bis zu einer kommerziellen Nutzung, die z. T. weit außerhalb der betriebswirtschaftlich üblichen Planungs- und Kalkulationsfristen liegen,
- die hohen Risiken von Forschung und Entwicklung ausgewählter Energietechnologien, die vom Markt nicht abgedeckt werden können sowie
- den strategischen Stellenwert des Faktors „Energie“ für Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft.

Die Bundesregierung verfolgt mit der Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien drei Ziele:

1. Die Förderung soll einen konkreten Beitrag zur Erfüllung der energie- und klimapolitischen Vorgaben leisten. Damit bekommen Technologien eine Priorität, die dazu beitragen, den Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung zu beschleunigen. Im Mittelpunkt stehen vor allem moderne und innovative Technologien, die in der Lage sind, die Versorgungssicherheit in Deutschland zu gewährleisten, die Energieeffizienz zu verbessern und den Anteil der erneuerbaren Energien an der Primärenergiebedarfsdeckung zu erhöhen.

2. Die Förderung soll durch Sicherung und Erweiterung der technologischen Optionen die Reaktionsfähigkeit und Flexibilität der Energieversorgung Deutschlands verbessern. Das gibt Wirtschaft und Verbrauchern die Möglichkeit, sich an neue Entwicklungen und Veränderungen der energiewirtschaftlichen Rahmendaten anzupassen. Damit leistet die Energieforschungspolitik einen wichtigen Beitrag zu einer gesamtwirtschaftlichen Risikovorsorge.

3. Die Förderung ist Bestandteil der Gesamtpolitik der Bundesregierung. Sie dient auch der Verfolgung anderer politischer Ziele, insbesondere den Zielen der Wachstums- und Beschäftigungspolitik, der Umwelt- und Klimaschutzpolitik und der Forschungspolitik.

Das 5. Energieforschungsprogramm steht im Kontext der „Agenda 2010“ der Bundesregierung und ihrer Strategie für mehr Wachstum und Beschäftigung in Deutschland. Die Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien zielt daher auch darauf ab, die Modernisierungs- und Anpassungsprozesse zu beschleunigen und die Attraktivität des Standorts Deutschland für Investition und Produktion zu verbessern.

1.3 Struktur und Leitlinien der Förderpolitik

Die Bundesregierung stützt sich bei der Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien auf zwei Instrumente:

- Die *Projektförderung*, d. h. die Förderung von zeitlich befristeten und inhaltlich definierten Forschungsvorhaben in Unternehmen, Forschungsinstituten und Universitäten, die eher anwendungs- und marktnah orientiert sind und deren erste praktische Anwendung demonstriert werden soll.
- Die *institutionelle Förderung*, die nicht auf einzelne Vorhaben zielt, sondern auf die Stärkung der Kompetenz der Forschungseinrichtungen und ihre langfristige strategische Ausrichtung in der Energieforschungslandschaft. Sie ist eher grundlagenorientiert angelegt und greift typischerweise Fragen auf, die wegen ihrer Komplexität, ihrer Größe und ihres Bedarfs von spezifischen Forschungsgeräten am Besten in den Großforschungszentren bearbeitet werden können.

Beide Instrumente ergänzen sich und werden oft gemeinsam genutzt. Zur Koordinierung gibt es zwischen den Ressorts standardisierte Abstimmungsprozeduren („Frühkoordinierung“) und speziell eingerichtete Beiräte (z. B. für Wasserstoff, Brennstoffzelle und für das Förderkonzept moderner Kraftwerkstechnologien „COORETEC“). Darüber hinaus gibt es Forschungsverbünde wie etwa den „Forschungsverbund Sonnenenergie“, den „Kompetenzverbund Kernenergie“ und die „AG Turbo“, in der die kompetenten Unternehmen und Institute auf dem Gebiet der Gas- und Dampfturbinen Zusammenarbeiten.

Der parallele Ansatz von Projektförderung und institutioneller Förderung sowie die damit verbundenen Abstimmungsprozesse haben sich bewährt.

Die Bundesregierung hat die Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien wie folgt geordnet (s. Grafik rechts):

- Das *BMWA* hat auf Grund seiner Gesamtverantwortung für die Wirtschafts-, Industrie- und Energiepolitik die Federführung für die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik und ist zuständig für das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung.

- Das *BMWA* ist weiter zuständig für die projektorientierte Förderung von Forschung und Entwicklung auf den Gebieten „nichtnukleare Energieforschung“ (ohne erneuerbare Energien), „rationelle Energieumwandlung“ sowie „nukleare Sicherheit und Endlager“. Diese Zuordnung liefert eine gute Grundlage für eine kohärente Politik der Bundesregierung in den Bereichen Kohle, Öl, Gas, Kernenergie, Strom sowie Energieeinsparung und rationelle Energieverwendung.

- Das *BMU* ist zuständig für die projektorientierte Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der „erneuerbaren Energien“ (mit Ausnahme der Bioenergie). Mit dieser Zuordnung ist die Koordinierung und Abstimmung von politischen Maßnahmen im Bereich Forschung/Entwicklung und Markteinführung der erneuerbaren Energien in einem Haus zusammengeführt.

- Das *BMVEL* ist zuständig für die projektorientierte Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Bioenergie. Diese Zuordnung ermöglicht eine besonders enge Verzahnung von Forschungspolitik und Landwirtschaftspolitik auf

dem Gebiet der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

- Das *BMBF* ist zuständig für die institutioneile Förderung der Forschungszentren der Helmholtz- Gemeinschaft im Forschungsbereich „Energie“ sowie für die Grundlagen- und Vorsorgeforschung einschließlich der Forschungsaktivitäten der Netzwerke „Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung“. Dies ermöglicht eine effektive Einbettung wesentlicher Teile der Energieforschung in die allgemeine Forschungspolitik. Von besonderem Gewicht ist die wirksame Vernetzung von Forschungsgebieten, die für Fortschritte im Bereich der Grundlagenforschung wichtig sind (Materialforschung, Nanotechnologie, Lasertechnologie, Mikrosystemtechnik, mathematische Modellierung).

Typische Beispiele sind Forschungsvorhaben im Bereich der Mobilitätsforschung, der Luftfahrtforschung, der Umweltforschung, der Forschung für das Bau- und Wohnungswesen sowie spezifische Vorhaben im Rahmen der individuellen Ressortverantwortung. Sie dienen vielfach der Politikberatung und sind wesentlicher Bestandteil der wissenschaftlich-technischen Infrastruktur, die die Bundesregierung bereithält, wie z. B. bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Diese Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte werden in dem Energieforschungsprogramm der Bundesregierung nicht behandelt.

Zur Festlegung der vorrangigen Forschungsfelder hat die Bundesregierung übergeordnete Leitlinien festgelegt. Sie zielen vor allem darauf ab, die Effizienz der Förderpolitik zu verbessern und einen möglichst hohen Mehrwert für den aus öffentlichen Mitteln bereitgestellten „Forschungs-Euro“ zu schaffen.

Folgende Überlegungen geben eine Orientierung:

- **Kontinuität:** Die Förderpolitik der Bundesregierung ist langfristig angelegt und gibt Wirtschaft und Wissenschaft Berechenbarkeit und Planungssicherheit für ihre eigenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.
- **Fokussierung:** Die Fördermittel werden in erster Linie auf besonders innovative, langfristig Erfolg versprechende Energietechnologien konzentriert, die für den Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung in Deutschland wichtig sind.
- **Flexibilität:** Fortschritte bei Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien sind nicht planbar. Die Bundesregierung trifft daher ausreichende Vorsorge, um gegebenenfalls Mittel an bestimmten strategischen Stellen neu zu konzentrieren, sobald dort Möglichkeiten für einen energiewirtschaftlichen Durchbruch zu einer nachhaltigen Energieversorgung erkennbar werden.
- **Kooperation:** Die Zusammenarbeit von Wirtschaft, Wissenschaft und staatlicher Förderpolitik ist von außerordentlicher Bedeutung für eine erfolgreiche Entwicklung und Markteinführung neuer Energietechnologien. Die Förderpolitik der Bundesregierung im Energiebereich wird gemeinsam mit Wirtschaft, Wissenschaft und den für die Bundesregierung tätigen Projektträgern, die die Projektförderung im Auftrag der Bundesregierung umsetzen, entwickelt und fortgeschrieben. Auch die entsprechenden Förderprogramme der EU sowie der Bundesländer werden bei der Ausrichtung der Förderpolitik der Bundesregierung beachtet.
- **Wettbewerb:** Die Energieforschung muss - so weit wie möglich - im Wettbewerb organisiert werden. Dadurch ist es am besten möglich, neue Ansätze und Technologieverbesserungen zum Durchbruch zu bringen und die Leistungsfähigkeit der Energieforschung insgesamt zu verbessern.
- **Qualitätssicherung:** Um den hohen Stand von Forschung und Entwicklung im Energiebereich in Deutschland zu sichern und auszubauen, bedarf es der regelmäßigen Evaluierung und kontinuierlichen Optimierung von Strukturen, Regelungen und Entscheidungsverfahren. Das 5. Energieforschungsprogramm „Innovation und neue Energietechnologien“ unterliegt diesem Evaluierungsprozess.

1.4 Internationale Zusammenarbeit

Alle Länder der Erde stehen heute vor der gleichen energiewirtschaftlichen Frage: Welche Technologien werden die Basis für den notwendigen Übergang zu einer weltweit nachhaltigen Energieversorgung bilden und welche Investitionen in Forschung und Entwicklung sind dazu notwendig?

Diese Ausgangslage und die Dringlichkeit der Umstrukturierung der weltweiten Energieversorgung im Interesse einer nachhaltigen Entwicklung und des Klimaschutzes legen eine internationale Zusammenarbeit bei Forschung und Entwicklung besonders nahe. Das gilt vor allem für eine Zusammenarbeit im Bereich der Grundlagenforschung und den vorwettbewerblichen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten.

Die internationale Kooperation bei Forschung und Entwicklung muss sich an die neuen Rahmendaten anpassen, die sich aus der Globalisierung und der Öffnung der Märkte ergeben. Zwei Trends sind dabei von besonderer Bedeutung:

- Energietechnologien werden heute für den Weltmarkt entwickelt. Durch den Abbau von Handelsschranken, die Liberalisierung des Kapitalver-

kehrs und die enormen Verbesserungen der Transportsysteme ist es möglich geworden, dass die gleichen Energietechnologien an nahezu jeder Stelle der Erde hergestellt werden können. Konsequenterweise drängen die Hersteller von Kraftwerken, Windkraftanlagen, Solarpaneelen, Feuerungsanlagen, Motoren, Elektrogeräten u. a. immer mehr zu den Standorten, wo diese Anlagen am kostengünstigsten hergestellt werden können.
- Den Veränderungen auf den Produktmärkten entspricht eine ständig wachsende Mobilität des technischen Wissens und der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der weltweit agierenden Industrie. Zu beobachten ist ein immer härterer Wettbewerb um die „Köpfe“ und das damit verbundene „technologische Know-how“.

Beide Entwicklungen sind eng miteinander verbunden. Gute Produktionsstandorte ziehen die mobilen Forschungskapazitäten an und gute Forschungsstandorte sind Grundlage für eine Ansiedlung von Produktionskapazitäten. Die Bundesregierung unter

stützt daher die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Energieforschung nicht nur um die Kooperationsmöglichkeiten für die deutsche Wirtschaft und Wissenschaft zu verbessern, sondern auch um Investitionsanreize zu Gunsten von Wachstum und Beschäftigung in Deutschland zu stärken.

Im Einzelnen sind folgende Gesichtspunkte wichtig:

- Forschung und Entwicklung brauchen den Austausch mit der wissenschaftlichen und technologischen Fachwelt im internationalen Rahmen, um Spitzenergebnisse zu erbringen und die Wettbewerbsfähigkeit von Wissenschaft und Wirtschaft zu erhalten.
- Sehr große Vorhaben erzwingen eine internationale Arbeitsteilung, um Entwicklungsrisiken zu minimieren und das Projekt insgesamt finanzierbar zu machen.
- Kooperation ist ein zentrales Instrument, um Doppelarbeit zu vermeiden und die eigenen Ressourcen möglichst effizient zu nutzen.
- Deutschland hat als starke Exportnation ein besonderes Interesse, an den technologischen Standards für Energietechnologien mitzuwirken.

Wesentliche Arbeitsgrundlage für internationale Kooperationen im Rahmen von Forschung und Entwicklung sind die bilateralen WTZ-Abkommen (wissenschaftlich-technologische Zusammenarbeit) im Zuständigkeitsbereich des BMBF. In Rahmenabkommen vereinbaren beide Regierungen z. B. die Finanzierung von Personalaustausch und Erleichterungen bei Zollformalitäten.

Die internationale Zusammenarbeit zwischen Deutschland und seinen Partnern konzentriert sich im Energiebereich auf drei unterschiedliche Ebenen: die Zusammenarbeit im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA), die Zusammenarbeit im Rahmen der Europäischen Union (EU) sowie die Zusam-

	Ist 2003	Soll 2004	Plandaten 2005	2006	2007	2008
BMWA						
Rationelle Energieumwandlung	65.958	78.496	71.244	70.994	70.994	70.994
Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung	24.125	25.500	23.605	23.480	23.480	23.480
BMU						
Erneuerbare Energien	67.798	60.083	80.394	83.366	88.366	93.366
BMVEL						
Bioenergie	5.422	5.117	10.000	10.000	10.000	10.000
BMBF						
Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft						
Rationelle Energieumwandlung	36.621	39.607	42.155	42.012	42.134	44.270
Erneuerbare Energien	24.396	26.442	28.267	28.307	28.613	30.271
Nukleare Sicherheitsforschung	29.260	31.178	31.147	31.133	31.126	31.022
Fusionsforschung	115.298	115.000	11 5.000	11 5.000	115.000	114.900
Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung	6.600	9.830	11.100	1 0.1 00	10.100	1 0.100
Summe	375.478	391.253	412.912	414.392	419.813	428.403

Abb.: Forschung und Entwicklung im Energieforschungsprogramm (Tsd. €)

Die in dem Energieforschungsprogramm angesetzten Finanzmittel stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament. Änderungen im Haushalt bzw. der Finanzplanung implizieren Änderungen in der Programmgestaltung.

menarbeit im Rahmen internationaler Kooperationsprojekte mit ausgewählten Ländern (die allerdings in aller Regel direkt oder indirekt in Verbindung zu Forschungsaktivitäten der IEA oder EU stehen).

Die Internationale Energieagentur hat seit ihrer Gründung 1974 organisatorische Strukturen für die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Energietechnologien bereitgestellt [1],

Dazu gehören:

- der Ausschuss für Energieforschung und Technologie (Committee on Energy Research and Technology- CERT), der die politische Zusammenarbeit der F&E-Aktivitäten der IEA-Mitgliedsländer koordiniert,
- die sog. „Working-Parties“, in denen der fachspezifische Meinungsaustausch stattfindet (zur Zeit gibt es vier Arbeitsgruppen: Fossile Energietechnologien, erneuerbare Energien, Endverbrauchstechnologien und Fusionsenergie), und
- die spezifischen Forschungsprogramme (Implementing Agreements), in denen die eigentliche Arbeit auf wissenschaftlich/industrieller Ebene geleistet wird. Deutschland ist zur Zeit an 20 der insgesamt 42 „Implementing Agreements“ beteiligt.

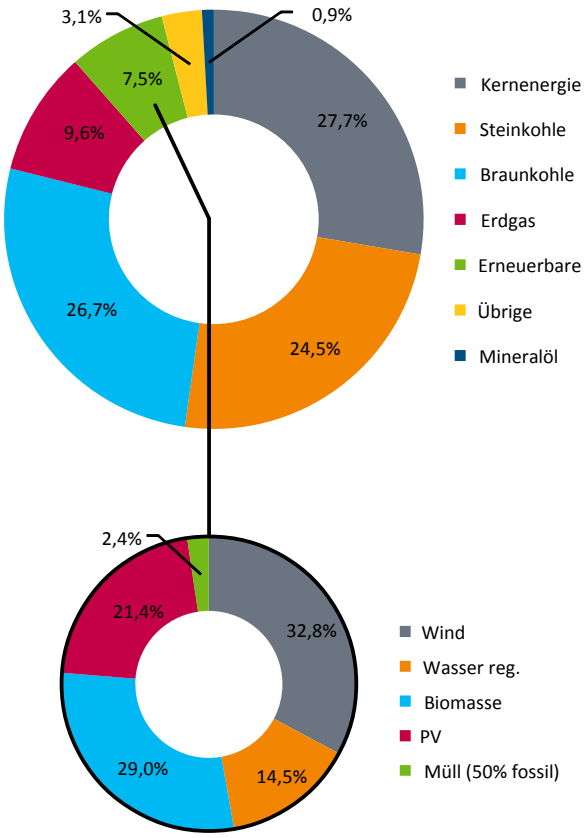


Abb.: Bruttostromerzeugung in Deutschland 2003

Die Bundesregierung betrachtet die Aktivitäten der IE Abei Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien als einen wichtigen Beitrag für den angestrebten Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung und wird die Arbeiten auf diesem Gebiet weiter unterstützen.

Die *Europäische Union* fördert Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien auf der Basis sog. Forschungsrahmenprogramme [2]. Grundlage für die aktuelle Förderpolitik der EU im Bereich der nicht-nuklearen Energieforschung ist das 6. Rahmenprogramm: „Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration als Beitrag zur Verwirklichung des Europäischen Forschungsraums und zur Innovation“ und das darin enthaltene Teilprogramm „Nachhaltige Energiesysteme“ (2002-2006).

Die strategischen Ziele der Europäischen Energieforschung sind die Reduzierung von Treibhausgasen und anderen Schadstoffen, die Sicherheit der Energieversorgung, der verstärkte Einsatz von erneuerbaren Energien sowie die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Europäischen Industrie. Dafür stehen für die gesamte Laufzeit des Programms 810 Mio. € zur Verfügung. Gefördert werden im Bereich „kurz- bis mittelfristiger Maßnahmen“ erneuerbare Energietechnologien, Energieeffizienztechnologien und alternative Kraftstoffe sowie in dem Bereich „mittel- bis langfristiger Maßnahmen“ die Brennstoffzelle, Wasserstoff, neue Konzepte für erneuerbare Energien sowie CO_2-Abtrennung und Speicherung.

Neben Fördermaßnahmen für nicht-nukleare Energietechnologien fördert die EU auch nukleare Energietechnologien auf der Basis des EURATOM- Vertrages. Hierfür stehen über den Zeitraum 2002-2006 rd. 1,23 Mrd. € zur Verfügung. Diese Mittel werden genutzt zur Forschung auf dem Gebiet der Kernfusion, der Entsorgung radioaktiver Abfälle, des Strahlenschutzes und für andere Vorhaben aus dem Bereich nuklearer Technologien.

Die Abstimmung der nationalen Energieforschung mit den Programmen der EU ist von großer Bedeutung. Deutschland hat sich an der Aufstellung der EU-Programme aktiv beteiligt und wirkt in den einschlägigen Programmkomitees an der Programmabwicklung mit, um eine stets optimale Arbeitsteilung zwischen nationaler Energieforschung und den EU-Programmen sicherzustellen. Dieses Engagement, die gute Betreuung der deutschen Antragsteller durch die von der Bundesregierung finanzierten Kontaktstellen und die - nicht zuletzt durch die staatliche Förderpolitik erreichte - hohe Qualität der deutschen Energieforschung haben dazu beigetragen, dass Deutschland in der ersten Ausschreibungsrunde des 6. EU-Forschungsrahmenprogramms (2002-2006) wieder eine herausragende Beteiligung erreichen konnte.

Die Bundesregierung wird die Arbeiten zur Umsetzung des sog. „Europäischen Forschungsraumes“ weiter unterstützen. Bei den Vorbereitungen an dem 7. EU-Forschungsrahmenprogramm (2006-2010) wird die Bundesregierung darauf dringen, die Kräfte noch stärker auf Projekte mit klarer „europäischer Dimension“ zu bündeln und wie in Deutschland Technologien und Strategien aus den Bereichen „Energieeffizienz“ und „erneuerbare Energien“ zu stärken und damit zu einer nachhaltigen Energieversorgung in Europa beizutragen.

Mit Blick auf internationale Kooperationsprojekte im Bereich der nicht-nuklearen Energieforschung sind zwei Vorhaben von aktueller Bedeutung:

- *Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF):* Auf Einladung des US-Energieministeriums (DOE) haben 13 Staaten und die EU-Kommission im Juni 2003 das CSLF gegründet mit dem Ziel, die Abtrenn- und Speichertechnologien von CO2 gemeinsam voranzubringen und deren weltweiten Einsatz auszuloten [3]. Deutschland ist mit Unterzeichnung der Charta durch das BMWA im Dezember 2003 beigetreten. Die Laufzeit ist zunächst auf 10 Jahre bis 2013 angelegt.
- *International Partnership for the HydrogenEconomy (IPHE):* Auf Initiative der US-Ministerien für Energie (DOE) und Verkehr (DOT) wurde diese Partnerschaft im November 2003 von 15 Staaten und der EU-Kommission gegründet [4]. Ziel ist die beschleunigte Entwicklung und Einführung der WasserstoffWirtschaft, insbesondere im Verkehrsbereich, um die Abhängigkeit von Erdölimporten zu verringern. Während das BMWA wegen seiner Zuständigkeit für Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet des Wasserstoffs bei den Ministertreffen vertreten ist, haben BMWA und BMVBW im Steuerungskomitee Sitz und Stimme. Im „Liason and Implementation Committee“ (LIC), das die technische Kooperation, insbesondere auch mit der Wirtschaft, organisieren soll, hat Deutschland gemeinsam mit Island den Vorsitz. In diesem wichtigen Komitee ist auch ein Bundesland (zunächst NRW) vertreten. Diese internationale Initiative zur Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft hat seine Entsprechung in gleich gerichteten Aktivitäten bei der IEA (IEA-Hydrogen Coordination Group) und der EU (EU-Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform).

Literatur

[1] IEA (2003): Implementing Agreements, Background and Framework, Paris

[2] EU (2002): Sechstes Rahmenprogramm der Europäischen Gemeinschaft im Bereich der Forschung, technologischen Entwicklung und Demonstration als Beitrag zur Verwirklichung des Europäischen Forschungsraumes und zur Innovation, Brüssel

[3] http://www.cslforum.org

[4] http://www.usae.org/iphe.htm

1.5 Finanzieller Rahmen

Die Bundesregierung hat 1974 zum ersten Mal ein Gesamtkonzept für die Energieforschung vorgelegt (Rahmenprogramm Energieforschung 1974-1977). Dieses Programm wurde mehrfach fortgeschrieben und den aktuellen Entwicklungen angepasst. Die letzte Fortschreibung stammt aus dem Jahr 1996 (4. Programm: Energieforschung und Energietechnologien).

Der Bund hat von 1974 bis 2003 beträchtliche finanzielle Beträge für die Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien zur Verfügung gestellt. Mit diesen Mitteln konnte nicht nur eine leistungsfähige Forschungsinfrastruktur aufgebaut werden, sie sind auch für den hohen Stand der Forschung auf dem Gebiet der Energietechnologien in Deutschland und für die beachtlichen Exporterfolge auf diesem Gebiet verantwortlich. Darüber hinaus wurden beachtliche Vorleistungen erbracht, die heute in vielen Technologiebereichen eine Weiterentwicklung mit geringen Fördervolumina zulassen, ohne dass dadurch der Erfolg der Förderpolitik in Frage gestellt wird.

Allerdings: Fortschritt hat einen Preis. Ohne beständige Investitionen in Forschung und Entwicklung wird man auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung nicht vorankommen. Stetigkeit und Kontinuität der Finanzausstattung sind von zentraler Bedeutung. Die Bundesregierung sieht dabei auch die Wirtschaft in der Verantwortung, einen angemessenen Beitrag für Forschung und Entwicklung zu leisten. Mit der 2004 ins Leben gerufenen „Innovationsinitiative“ hat die Bundesregierung eine neue Grundlage für partnerschaftliches Handeln auf diesem Feld geschaffen.

Im Rahmen des 5. Energieforschungsprogramms wird die Bundesregierung in den kommenden vier Jahren (2005-2008) rd. 1,7 Mrd. € für die Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien bereitstellen. Damit werden Forschungsinvestitionen in beachtlicher Höhe bei der Wirtschaft, vor allem bei kleinen und mittleren Unternehmen, induziert.

In dem 5. Energieforschungsprogramm „Innovation und neue Technologien“ setzt die Bundesregierung deutliche Akzente zu Gunsten der Bereiche „Energieeffizienz“ und „erneuerbare Energien“. Diese Schwerpunktverlagerung wird bei den Verschiebun-

gen in dem Forschungsbudget sichtbar (s. Tabelle unten).

2. Programmschwerpunkte

Die Bundesregierung verfolgt in ihrem 5. Energieforschungsprogramm eine Doppelstrategie: Die gezielte Förderung von ausgewählten „Schlüsseltechnologien“ mit individuell den jeweiligen politischen Vorgaben angemessenen Fördermitteln und eine „breitere Technologieförderung“ mit geringerem finanziellen Einsatz. Dieses parallele Vorgehen stellt sicher, dass neben den notwendigen Erfolgen in energie- wirtschaftlich herausgehobenen Technologiefeldern auch immer wieder neue Produkte, Verfahren und Entwicklungen in die Förderung einbezogen werden können.

Bei den Entscheidungen über „vorrangige“ und „nachrangige“ Förderbereiche hat die Bundesregierung eine Vielzahl von Informationen einbezogen.

Zu den wichtigsten gehören:

- Analysen und Bewertungen des 4. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung, wie etwa der Bericht der Evaluierungskommission „Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung“ aus 2000, die Ergebnisse der Evaluierung der Energieforschung in den Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft im Zuge der Einführung der programmorientierten Förderung in 2003 sowie die Bewertung ausgewählter Bereiche des nicht-nuklearen Teils des Energieforschungsprogramms durch den Projektträger Jülich (PtJ) in 2003.

- Empfehlungen und Stellungnahmen zur Weiterentwicklung der Energieforschung, hier insbesondere die Stellungnahme des Wissenschaftsrates zur Energieforschung 1999, die Ergebnisse der Beratungen der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung“ von 2001, die gemeinsame Erklärung von Wissenschaft und Wirtschaft zur Energieforschung vom 2. Oktober 2001, das Eckpunktepapier des „Forschungsverbunds Sonnenenergie“ für ein neues Energieforschungsprogramm der Bundesregierung vom März 2003, die Empfehlungen der Sachverständigen bei der öffentlichen Anhörung durch den Ausschuss für Bildung, Forschung und Technologiefolgenabschätzung des Deutschen Bundestages zu den „Prioritäten einer innovativen Energieforschung - Stand und Perspektiven“ am 11. Februar 2004 sowie die Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung vom November 2004.

Die folgenden Fachkapitel geben einen Überblick über die Förderaktivitäten der am Energieforschungsprogramm der Bundesregierung beteiligten Ressorts. Sie erläutern in systematischer Weise den energiewirtschaftlichen Stellenwert der einzelnen Technologien und informieren über den Stand der Forschung und die künftigen Förderschwerpunkte.

2.1 Energieforschung BMWA

2.1.1 Rationelle Energieumwandlung

2.1.1.1 Kraftwerkstechnik auf Basis Kohle und Gas

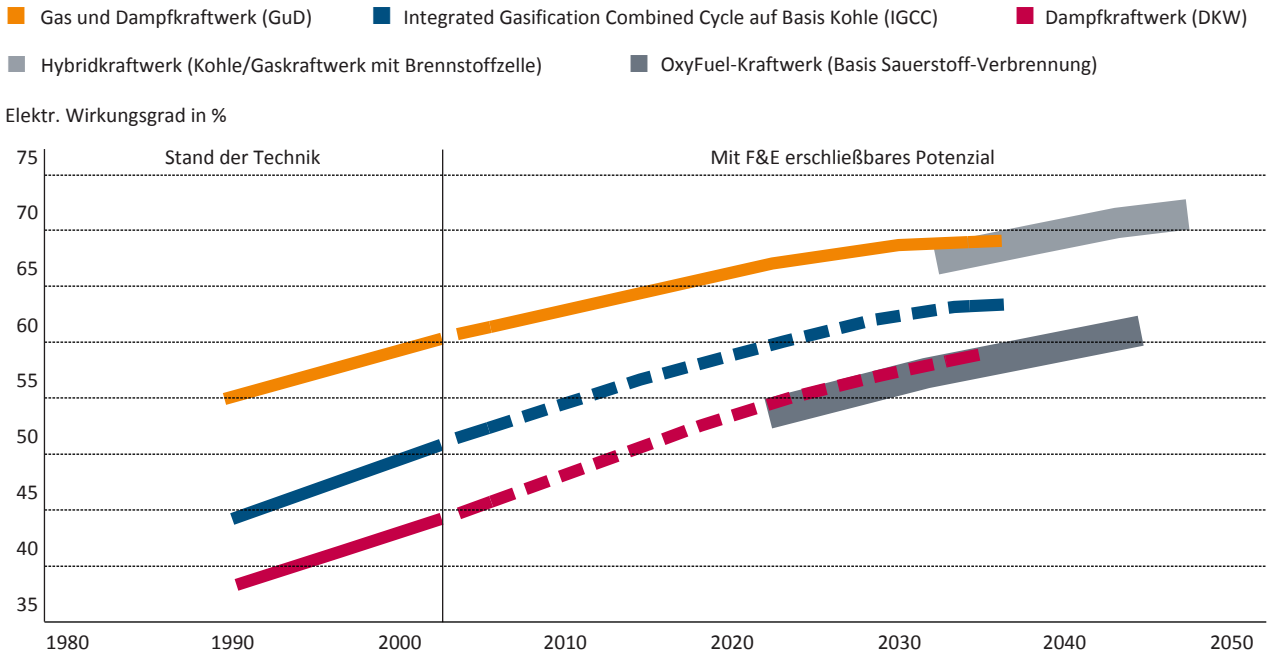
Eine moderne Industrie-, Informations- und Dienstleistungsgesellschaft ist ohne Strom nicht vorstellbar. Das macht den Bereich der Stromerzeugung zu einem wichtigen forschungspolitischen Bereich. Für erste strategische Überlegungen sind vor allem die Ausgangslage bei den heute zur Stromerzeugung eingesetzten Energieträgern sowie die längerfristigen Perspektiven der verschiedenen Stromerzeugungstechnologien wichtig.

Deutschland verfügt über eine differenzierte Struktur der Stromversorgung. Für das Jahr 2003 ergeben sich folgende Daten:

- Stein- und Braunkohle sind die wichtigsten Energieträger. Sie tragen mit rd. 51 % nach wie vor die Hauptlast bei der Stromerzeugung (Braunkohle 27%, Steinkohle 24%).
- Der Beitrag der Kernenergie ist tendenziell rückläufig und liegt gegenwärtig bei 28 %.
- Erdgas gewinnt an Bedeutung und trägt mit rd. 10 % zur Stromerzeugung bei.
- Erdöl spielt bei der Stromerzeugung praktisch keine Rolle.
- Der Anteil der erneuerbaren Energien liegt bei
- 8 %, wobei Wasser und Wind zur Zeit die mit Abstand wichtigsten erneuerbaren Energieträger bei der Stromerzeugung sind.

Die Struktur der Stromerzeugung Deutschlands wird sich in den kommenden Jahren stark verändern. Richtung und Dynamik werden vor allem bestimmt durch:

- die Liberalisierung des Strom- und Gasmarktes, die schon seit einiger Zeit ein stärkeres Engagement der Versorgungsunternehmen in Richtung auf Kostendisziplin und Wirtschaftlichkeit zeigt,
- die Vereinbarung der Bundesregierung mit den Energieversorgungsunternehmen vom 11. Juni 2001 zur geordneten Beendigung der Nutzung der Kernenergie, die bis spätestens 2025 einen Ersatz von rd. 20.000 MW notwendig macht,
- die Altersstruktur des gegenwärtigen Kraftwerksparks, die auf einen Ersatzbedarf



Wirkungsgradpotenziale ausgewählter Kraftwerkskonzepte

einschließlich des Ersatzes der Kernenergie von rd. 40.000 MW zwischen 2010 und 2020 hinweist,
- die Zielvorgabe der Bundesregierung, den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung bis 2010 auf mindestens 12,5 % bzw. bis 2020 auf 20 % zu steigern sowie
- die Regelungen des nationalen Allokationsplans zum Emissionshandel, der über den Beitrag der Stromwirtschaft zu der von der Bundesregierung angestrebten Verminderung der CO_2-Emissionen und der anderen treibhausrelevanten Spurengase entscheidet.

Wichtigste Aufgabe von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Kraftwerkstechnik ist es, dazu beizutragen, dass die Nutzung von Kohle und Gas zur Stromerzeugung mit den Anforderungen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit zur Deckung gebracht werden kann. Unter dieser Vorgabe verfolgt die Politik zwei sich ergänzende strategische Linien, die in sachgerechter Weise die Ergebnisse der projektorientierten Forschungsförderung des BMWA und die vom BMBF geförderte Grundlagenforschung zusammenführt:

- *Strategielinie 1 (Energieeffizienz):* Der Prozess der Stromerzeugung muss weiter verbessert werden, mit dem Ziel, Kohle und Gas so effizient wie möglich zu nutzen.
- *Strategielinie2 (CO2-Speicherung):* Das bei der Stromerzeugung entstehende CO_2 muss - soweit wirtschaftlich und ökologisch vertretbar - abgefangen und abgetrennt von der Atmosphäre sicher gespeichert werden.

Mit diesem parallelen Vorgehen setzt die Bundesregierung die Empfehlungen des mit Wirtschaft und Wissenschaft gemeinsam entwickelten COORETEC-Konzepts (**CO_2-Re**duktions-**Tec**hnologien) um, das wegen seines wegweisenden Charakters und seinen praktischen Vorschlägen zu den Förderprioritäten auch international Beachtung gefunden hat [1].

Die Verbesserung der Energieumwandlung stellt die konzeptionelle Fortsetzung der bisherigen Forschungsschwerpunkte dar. Seit 1985 konnten die Wirkungsgrade von Dampfkraftwerken um 20% verbessert werden. Bei Dampfkraftwerken auf Basis Steinkohle werden heute Wirkungsgrade von 47% erreicht. Die Wirkungsgrade von Gas- und Dampfkraftwerken liegen bei 58%, die von Braunkohlekraftwerken bei über 43%. Das weltweit modernste Braunkohlekraftwerk hat im Herbst 2002 in Niederaußem seinen Betrieb aufgenommen und erreicht einen Wirkungsgrad von 43,5%. Dieses neue Kraftwerk emittiert pro kWh 30% weniger CO_2 als die außer Dienst gehenden Altanlagen. Gleichzeitig ist bei der neuen Anlage die nahezu 100%-ige Entstaubung, 90%-ige Entschwefelung und 70%-ige Entstickung gelungen.

Die Bundesregierung will durch Förderung von Forschung und Entwicklung dazu beitragen, dass die Wirkungsgrade der gängigen Kraftwerkstypen bis 2020 um bis zu 20% gesteigert werden. Das würde ein Wirkungsgradniveau beim Dampfkraftwerk von ca. 55% und beim GuD-Kraftwerk von ca. 65% bedeuten. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es notwendig, die Prozessparameter Druck und Temperatur zu

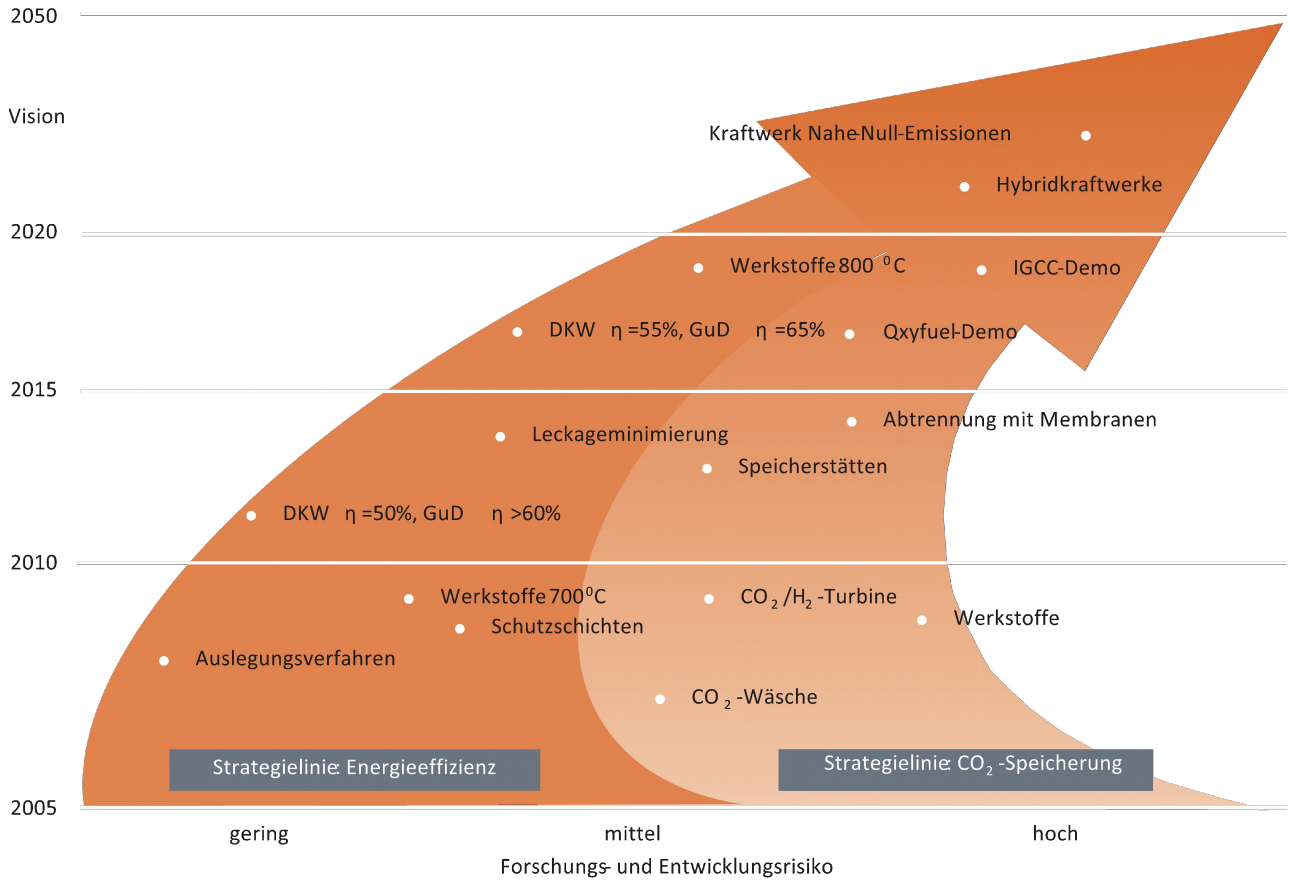


Abb.: Ausrichtung der Forschung im Bereich Kraftwerkstechnik

erhöhen und die Verluste über die gesamte Umwandlungskette zu vermindern (s. Grafik unten).

Im Einzelnen wird sich die Förderpolitik auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:

- Für das Dampfkraftwerk werden Werkstoffe benötigt, die Frischdampfzustände von über 700 °C und bis zu 400 bar Druck vertragen können. Für diese Bedingungen müssen neue Verbindungs- und Dichttechniken erforscht werden. Das Thema Dampfkorrosion bekommt bei derartigen Temperaturniveaus eine neue Dimension. Hier müssen neue Schutzschichten als Temperatur- und Korrosionsschutz entwickelt werden. Die angewandte Materialforschung stützt sich hierbei auf die durch das BMBF geförderte institutionelle Forschung bei den Großforschungseinrichtungen. Durch Verbesserung der Simulationswerkzeuge lassen sich die Entwicklungszyklen und -kosten deutlich senken. Dies trägt zur Senkung der Herstellungskosten bei. Die Akzeptanz der neuen Technologien hängt in starkem Maße davon ab, wie störanfällig die Technologie ist. Hier gibt es neue technische Herausforderungen im Bereich der Brennkammer. Die hohen Temperaturniveaus in der Brennkammer bewirken veränderte Entstehungsmechanismen der Stickoxidbildung und der Verschlackung. Dazu kommt die Anforderung, dass die Brennkammer ihre Eignung für unterschiedliche Kohlenqualitäten und -Zusammensetzungen nachweisen muss. Das erfordert grundlegende Untersuchungen zum Verständnis der Mineralentstehung, der Abbrandmechanismen sowie der Luft- und Brennstoffverteilung.
- Beim GuD-Kraftwerk kommt zusätzlicher Forschungsbedarf in den Bereichen Gasturbine, Verdichter, Lebensdauer und Betriebszyklen hinzu. Es gilt den Kühlluftbedarf mit neuen Kühlungskonzepten zu reduzieren. Die aerothermodynamischen Eigenschaften der Turbokomponenten sind zu verbessern. Auch hier bildet die institutioneile Forschung des BMBF die Basis für die durch das BMWA unterstützten Forschungsaktivitäten. Aufgrund stetig steigender Anforderungen hinsichtlich Flexibilität sind Wechselwirkungen von Wirkungsgrad, Lebensdauer, Emissionen, Lastwechsel, Lastzustand und Anfahrvorgängen zu untersuchen und in künftige Auslegungsprozeduren zu integrieren.

Analysen zeigen, dass eine Verbesserung der Wirkungsgrade der fossilen Kraftwerke alleine nicht ausreicht, um das Ziel einer sicheren Stromversorgung mit den vorgegebenen klimapolitischen Zielen in Übereinstimmung zu bringen. Die Bundesregie-

rung wird daher ihre Forschungsaktivitäten im Bereich „Kraftwerkstechnik“ auf die Technologien und Verfahren zur Abtrennung des CO_2 am Kraftwerk und seine sichere Speicherung erweitern.

Aus dem Bereich der chemischen Industrie sind Verfahren bekannt, die sich prinzipiell für eine CO_2- Abtrennung am Kraftwerk eignen. Diese Verfahren

besitzen aber Nachteile. Die Nachteile bestehen vor allem in Wirkungsgradeinbußen in der Größenordnung von 10 bis 15 %-Punkten und hohen Zusatzkosten, die die Stromgestehungskosten verdoppeln können. Die künftigen Forschungsaktivitäten zielen auf die Minderung dieser nachteiligen Nebeneffekte (s. Grafik links).

In COORETEC werden zwei Konzeptlinien bei der CO_2-Abtrennung verfolgt:

- Wenn das CO_2 am Rauchgasende abgefangen werden soll, bieten sich sogenannte Oxyfuelkonzepte an. Die Luft wird vor dem Kraftwerk in ihre Hauptbestandteile zerlegt und die Kohle mit reinem Sauerstoff verbrannt. Mit diesem Konzept lassen sich dann auch die Stickoxide im Abgas deutlich senken. Schlüsseltechnologien zielen auf kostengünstige Verfahren zur Luftzerlegung. Insbesondere spezielle Sauerstoffmembranen bieten das Potenzial für einen Technologiesprung und Möglichkeiten der Kostenreduktion.
- Eine andere Möglichkeit erschließt sich über die Kohlevergasung. Der Vergasungsprozess gestattet die Abtrennung des CO_2 bereits vor der Verbrennung. Anlagen mit integrierter Kohlevergasung befinden sich in der Erprobung (Europäische Demonstrationsanlagen in Puertollano, Spanien und Buggenum, Niederlande). Dieses Konzept würde im Übrigen eine zusätzliche Option für die Kraftstoffversorgung eröffnen, indem das Synthesegas zur Gewinnung synthetischer Treibstoffe genutzt werden kann. Langfristig wäre damit eine zumindest teilweise Befreiung des Verkehrssektors aus seiner nahezu vollständigen Abhängigkeit vom Erdöl denkbar. Die Fortentwicklung dieser Technologielinie mündet in sogenannte Hybridkraftwerke, in denen man die klassische Kraftwerkstechnik mit der neuen Brennstoffzellentechnologie verbindet. Diese Kombination erlaubt dann die praktisch emissionsfreie Erzeugung von Elektrizität (oder anderen Produkten) auf höchstem Wirkungsgradniveau. Für die Realisierung sind Gas-Trennmembranen für Sauerstoff, CO_2 und Wasserstoff erforderlich. Es sind neue Gasturbinen für Wasserstoff als Arbeitsfluid zu entwickeln. Heute sind die thermophysikali- schen Kenntnisse von Sauerstoff, CO_2 und Wasser als Arbeitsmedium noch unzureichend. Gesicherte Kenntnisse über das Werkstoffverhalten auf CO_2/ H_2O-Gemischen gibt es noch nicht.

Da Abtrenntechnologien von CO_2 nur Sinn in Verbindung mit geeigneten CO_2-Speichern machen, ist die enge Anbindung der Speicheruntersuchungen an die Kraftwerksforschung notwendig. Es fehlen zur Zeit insbesondere gesicherte geologische Daten zu Speicherkapazitäten und deren Langzeit-Sicherheit in Deutschland. Hier muss eine katasterartige Erfassung erfolgen. Der Einschluss des CO_2 und die Thermodynamik der Mineralbildung müssen besser verstanden werden, um Simulationen von Speicherszenarien und Sicherheitsanalysen realitätsnah gestalten zu können.

Literatur

[1] BMWA (2003): Bericht COORETEC der Arbeitsgruppen. BMWA Dokumentationsreihe Nr. 527, Berlin

2.1.1.2 Brennstoffzellen

Die grundlegenden Untersuchungen zur Brennstoffzelle liegen mehr als 150 Jahre zurück. Das Prinzip der Brennstoffzelle ist einfach. Bei der Verschmelzung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser wird in einem einzigen Prozessschritt elektrische Energie und Wärme gewonnen. Die heute üblichen Dampfprozesse benötigen zur Erzeugung elektrischer Energie im Gegensatz dazu mehrere hintereinander folgende Prozessschritte (Verbrennung der Primärenergie, Dampfturbine, Generator).

Daraus ergeben sich folgende grundsätzliche Vorteile für die Brennstoffzelle:

- hohe elektrische Wirkungsgrade durch die direkte Umwandlung der Kraftstoffe,
- Eignung zur Kraft-Wärme-Kopplung und damit hohe Ausnutzung der Primärenergie,
- potenziell schadstofffreier Betrieb.

Die Anwendungsmöglichkeiten der Brennstoffzelle erstrecken sich von der Stromversorgung von portablen Systemen über den Antrieb von Fahrzeugen bis zur dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung. Der portable Einsatz ist energiewirtschaftlich kaum relevant. Es werden jedoch bei der Marktdurchdringung dieser Systeme erhebliche Synergieeffekte für die Weiterentwicklung der Brennstoffzelle in den anderen Einsatzfeldern erwartet.

Brennstoffzellen werden entweder direkt mit Wasserstoff als Energieträger, der aus vielen Primärenergieträgern gewonnen werden kann, oder mit Erd- oder Biogas versorgt, das in einem vorherigen Reformierungsprozess in ein wasserstoffreiches Gas umgewandelt wird. Letzteres wird für die dezentrale

Stromerzeugung bevorzugt, während man für das Brennstoffzellenfahrzeug den direkten Einsatz von Wasserstoff favorisiert. Damit wird von der Brennstoffzelle ein nicht unerheblicher Beitrag zur Verringerung der Abhängigkeit des Verkehrs vom Erdöl erwartet. Bei der Kraft-Wärme-Kopplung können durch den Einsatz von Erd- oder Biogas bereits kurzfristig CO_2-Emissionen reduziert werden. Langfristig sollen durch die Verwendung von regenerativ gewonnenem Wasserstoff sowohl in der mobilen als auch in der stationären Anwendung der Brennstoffzelle die CO_2-Emissionen völlig vermieden werden. Die Brennstoffzelle gilt daher als Schlüsseltechnologie einer nachhaltigen Energieversorgung.

Trotz des breiten Verwendungspotenzials muss sich die Brennstoffzelle in allen Anwendungsfeldern gegen ausgereifte und lange am Markt etablierte Technologien wie Batterien, Verbrennungsmotoren und herkömmliche Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen durchsetzen. Strategische Überlegungen zu einer erfolgreichen Markteinführung müssen sich an folgenden Kostenzielen orientieren:

- portable Brennstoffzelle 1.500-2.500 €/kW,
- stationäre Brennstoffzelle 1.000-1.500 €/kW,
- mobile Brennstoffzelle 50-150 €/kW.

Die heutigen Kosten für Brennstoffzellen liegen noch um den Faktor 5 bis 50 höher. Es sind daher wesentliche Kostensenkungen erforderlich, die nicht allein durch Massenfertigung zu erreichen sind. Dieses bedarf vielmehr erheblicher F&E-Anstrengungen [1]. Vorrangige Ziele sind eine Verlängerung der Lebensdauer der Brennstoffzellen und eine deutliche Senkung der Systemkosten.

Die Entwicklung der Brennstoffzellentechnik wird derzeit weltweit intensiv vorangetrieben. Die Bundesregierung wird die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Brennstoffzellen auf die Technologiefelder und deren Anwendungsbereiche konzentrieren, bei denen aus heutiger Sicht die größten Chancen auf eine schnelle Marktumsetzung bestehen:

- im Hochtemperaturbereich die Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC) und die Oxidkeramik-Brennstoffzelle (SOFC) und
- im Niedertemperaturbereich die Polymer Elektrolyt Membran Brennstoffzelle (PEMFC) und als eine Variante der PEMFC die Direkt Methanol Brennstoffzelle (DMFC).

Die MCFC wird seit nahezu 15 Jahren in Deutschland für die stationäre Strom- und Wärmeerzeugung im Leistungsbereich von etwa 250 kWel entwickelt. Sie eignet sich aufgrund ihrer hohen Temperaturen insbesondere auch zur Nutzung von Erdgas, Kohleoder Biogas. Die MCFC gilt als der am weitesten fortgeschrittene Brennstoffzellentyp, dessen Marktreife in wenigen Jahren erreicht sein dürfte. Das von MTU CFC Solutions GmbH als Technologieführer der MCFC entwickelte Konzept des Hot Moduls (s. Abb. links) wurde zwischenzeitlich um eine eigene Zelltechnologie erweitert, so dass das Know-how für nahezu die gesamte Wertschöpfungskette in Deutschland vorhanden ist. Aus den in den letzten Jahren errichteten Demonstrationsanlagen werden wichtige Erkenntnisse über das Verhalten der Anlagen unter realistischen Betriebsbedingungen erwartet. Trotz aller technologischen Erfolge sind noch erhebliche Verbesserungen notwendig, die auch in Zukunft größere Anstrengungen in Forschung und Entwicklung erforderlich machen.

Die SOFC soll ebenfalls für die Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Der Entwicklungsstand der SOFC liegt gegenüber der MCFC um einige Jahre zurück. SOFC-Anlagen können sowohl mit röhrenförmigen Zellen (tubuläres Konzept) als auch mit flächigen Zellen (planares Konzept) aufgebaut werden.

Das Röhrenkonzept hat gegenüber dem planaren Konzept einen etwa zehnjährigen Entwicklungsvorsprung, was den Bau von Pilotanlagen und damit Tests zur Marktakzeptanz zulässt. Erste Demonstrationsanlagen mit Leistungen von 100 kWel (Siemens- Westinghouse) sind zwischenzeitlich realisiert. Druckbetriebene Anlagen in Kopplung mit einer Gasturbine zur Steigerung des elektrischen Wirkungsgrads stellen die nächsten Entwicklungsschritte dar.

Es wird erwartet, dass für das planare Konzept einfachere und kostengünstigere Herstellungsverfahren entwickelt werden können. Auch sollten sich kompaktere Bauformen mit höheren Leistungsdichten realisieren lassen. An der Entwicklung dieses Konzepts arbeiten im Wesentlichen Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft (HGF) und Institute der Fraunhofer Gesellschaft (FhG). Die SOFC soll als kleinere Einheit bis 5 kW auch für die Bordstrom-Energiebereitstellung (Auxiliary Power Unit-APU) von Fahrzeugen Anwendung finden.

Als Ersatz für den Verbrennungsmotor eignet sich die PEMFC aufgrund ihrer einfachen Betriebsführung sowie der daraus resultierenden schnellen Startmöglichkeit in hervorragender Weise. Im Vergleich zum batteriebetriebenen Elektrofahrzeug verfügt ein Brennstoffzellenfahrzeug über eine befriedigende Reichweite. Diese günstigen Eigenschaften veranlassten nahezu alle Automobilhersteller, die Entwicklung dieser Technologie mit erheblichem Aufwand voranzutreiben. Mittlerweile sind viele Versuchsfahrzeuge, z. B. von DaimlerChrysler (NECAR), mit bereits erheblichen Fahrleistungen im Testbetrieb. Parallel dazu wird die PEMFC für den Einsatz in Bussen entwickelt. Auch hier sind schon

mehrere Prototypen der Firma DaimlerChrysler, z. B. in dem CUTE-Projekt der Europäischen Union, ferner von MAN und Neoplan im Versuchsbetrieb. Die Markteinführung von Brennstoffzellenfahrzeugen wird allerdings, vor allem wegen notwendiger Kostensenkungen, nicht vor 2010 erwartet.

Die PEMFC wird aufgrund ihrer hohen Dynamik und der Möglichkeit des schnellen Starts bei Raumtemperatur auch für die dezentrale Strom- und Wärmeerzeugung in Gebäuden entwickelt. Nahezu alle deutschen Firmen des Heizungsanlagenbaus betreiben diese Entwicklung. Die Anlagen liegen im Leistungsbereich von 1 bis 12 kWei. Mittlerweile ist eine Vielzahl von Anlagen in Deutschland und weltweit im Probebetrieb. Ein endgültiger Marktdurchbruch wird durch die noch zu hohen Kosten und technologische Defizite der Anlagen behindert. Zur Überwindung dieser Defizite besteht erheblicher Forschungsund Entwicklungsbedarf. Insbesondere aufgrund der niedrigen Arbeitstemperatur ist die PEMFC und die DMFC für den portablen Bereich geeignet und soll dort die Akkumulatoren ersetzen. Erste Systeme sind mittlerweile am Markt erhältlich.

Auf dem Gebiet der Brennstoffzelle stehen folgende Forschungsschwerpunkte im Mittelpunkt:

- Bei der **MCFC** liegt der F&E-Bedarf weiterhin bei den Materialien, um Standzeiten zu verlängern und Herstellkosten zu senken. Das Zelldesign ermöglicht prinzipiell vereinfachte Herstellprozesse, die noch zu entwickeln und zu erproben sind. Weitere Entwicklungsschwerpunkte sind:
  - innovative Herstellverfahren für Zellkomponenten,
  - hochtemperatur- und korrosionsbeständige Metallwerkstoffe und Beschichtungen, Systemvereinfachung,
  - Subsysteme - wie Inverter, Gasaufbereitung, Pumpen, Gebläse etc.
- Die F&E-Arbeiten bei der **SOFC** konzentrieren sich auf neue Werkstoffe und Designs sowie verbesserte Herstellungsverfahren zur Kostensenkung bei der nächsten Brennstoffzellengeneration. Die F&E-Auf- gaben und Ansatzpunkte sind wie folgt:
  - Weiterentwicklung des tubulären als auch planaren Konzepts,
  - Optimierung der internen Reformierung, Kostengünstige Isolationsmaterialien und Wärmetauscher,
  - Optimale Kopplung der SOFC mit der Gasturbine.
- Die Schwerpunkte des F&E-Bedarfs für **PEMFC** konzentrieren sich generell auf die Weiterentwicklung heute verfügbarer und die Entwicklung neuer, zukunftsweisender Technologien. Konkrete Entwicklungsziele bzw. Ansätze sind:
  - Membranmaterialien mit höherer Haltbarkeit und Temperaturverträglichkeit,
  - Katalysatormaterialien mit höheren Umsatzraten, erhöhter CO-Toleranz,
  - Materialien für Bipolarplatten mit der Möglichkeit einer kostengünstigen Massenfertigung,
  - Zellkonzepte mit höher integrierter Funktionalität der Komponenten,
  - Kompaktreformer mit katalytischer Verbrennung, schnellem bzw. effizientem Kaltstart,
  - bessere Integration bzw. Effizienzerhöhung des Reformersystems.

Darüber hinaus gibt es die folgenden übergreifenden Aspekte:

- Brennstoffaufarbeitung (Entschwefelung, Reinigung etc.),
- Vorbereitung zum Aufbau einer Brennstoffinfrastruktur insbesondere für den mobilen und portablen Bereich,
- Modellierung, Invertertechnologien, Recyclingkonzepte,
- Auswertung von Demonstrationsmaßnahmen, Entwicklungen zur Erstellung von Normen, vorbereitende Maßnahmen zur Aus- und Weiterbildung.

Literatur

[1] BMWA(2000): Forschungs-und Entwicklungsbedarf im Bereich Brennstoffzelle, interne Dokumentation

2.1.1.3 Speichertechnologien und Wasserstoff

Die wirtschaftlichen Aktivitäten der Stromwirtschaft unterliegen bei den heutigen Bedingungen einer zentralen Begrenzung: das Angebot an elektrischer Energie muss zu jeder Zeit der Nachfrage angepasst werden. Das ergibt sich daraus, dass es bis heute keine wirtschaftlich darstellbare Technologie zur Langzeitspeicherung von elektrischer Energie gibt. So müssen die Versorgungsunternehmen zur jederzeitigen Deckung der relativ stabilen Nachfrage entsprechende Reservekapazitäten bereitstellen oder in großflächiger Form Einfluss auf die Nachfrage nehmen.

Das grundsätzliche Problem der Speicherung von Strom ist in den letzten Jahren durch zwei gegenläufige Entwicklungen verschärft worden:

- Einerseits zwingt der zunehmende Kostendruck durch die Liberalisierung der Märkte die Unternehmen zum Abbau von Reservekapazitäten.
- Andererseits erfordert der starke Anstieg der unregelmäßig anfallenden Stromerzeugung durch Windkraft zusätzliche Reservekapazitäten.

Beide Entwicklungen rücken die Fragen nach Möglichkeiten und Grenzen der Speicherung elektrischer Energie, des Einsatzes neuer geeigneter Technologi-

en und der dazu notwendigen F&E-Strategien in den Mittelpunkt des Interesses.

Speichertechnologien spielen auch im Verkehrssektor eine Rolle. Der Individualverkehr ist heute fast ausschließlich vom fossilen Energieträger Erdöl abhängig. Seit Beginn der Motorisierung des Verkehrs hat es immer wieder Bestrebungen gegeben, die elektrische Energie für das Kraftfahrzeug zu erschließen. Bis auf Anwendungsnischen konnten hierbei keine wesentlichen Fortschritte erzielt werden. Nach wie vor ist es jedoch Ziel der Energieforschungspolitik, einen Beitrag zu leisten, dass auch die Energieversorgung für den Verkehrssektor auf eine breitere Basis gestellt werden kann (siehe hierzu auch Kapitel 2.1.11 und 2.1.1.2).

Die technologischen und wirtschaftlichen Anforderungen an elektrische Speicher sind für die Stromwirtschaft und den mobilen Bereich sehr unterschiedlich. Während für den Einsatz in Elektrofahrzeugen hohe spezifische Speicherkapazitäten bezogen auf Gewicht und Volumen gefordert werden, spielt dies in der stationären Anwendung der Stromwirtschaft eine untergeordnete Rolle. Andererseits müssen hier die Investitions- und Betriebskosten für einen wirtschaftlichen Einsatz wesentlich geringer als im mobilen Bereich sein.

Generell wird bei der Speicherung elektrischer Energie zwischen der Kurzzeitspeicherung (Leistungsspeicher) und der Langzeitspeicherung (Energiespeicher) unterschieden. Bei den Leistungsspeichern ergibt sich bzgl. des Stands von Wissenschaft und Technik folgendes Bild:

- Pumpspeicher und Druckluftspeicher sind Stand der Technik und werden vielfach eingesetzt.
- Schwungradspeicher sind entwickelt und dürften in absehbarer Zeit ggf. mit verlustfreier supraleitender Lagerung die Wirtschaftlichkeit erreichen.
- Die Einsetzbarkeit der Supraleitenden Magnetischen Energie-Speicher (SMES) scheitert immer noch an Problemen bei der Herstellung der Supraleiter.
- Sogenannte Supercaps haben eine geringe Speicherkapazität, können aber schnell ge- und entladen werden, so dass sie für sehr kurze Speichervorgänge genutzt werden, z. B. in Hybrid-Fahrzeugen zur teilweisen Bremsenergie-Rückgewinnung.

Energiespeicher basieren im Wesentlichen auf elektrochemischen Verfahren und haben folgenden Entwicklungsstand:

- Bleibatterien und Systeme auf Nickel-Basis gelten als technisch weitestgehend ausgereift, haben aber technologisch bedingte Nachteile (z. B. geringe Kapazität).
- Speicher mit Lithium-Elektroden haben wegen ihrer sehr hohen spezifischen Speicherkapazitäten Vorteile gegenüber traditionellen Batterien und bieten sich beispielsweise für den Einsatz in Hybrid-Fahrzeugen an; sie befinden sich in der Entwicklungsphase.
- Andere Systeme (z. B. Zink-Luft-System oder Redox-Verfahren) sind für Nischenanwendungen in der Entwicklung, energiewirtschaftlich aber von geringerer Bedeutung.

In den letzten Jahrzehnten wurden erhebliche Mittel in die Entwicklung verkehrstauglicher Speichertechnologien investiert. Die Anforderungen hinsichtlich Platzbedarf, Gewicht, Reichweite und Wirtschaftlichkeit konnten im Vergleich zum Verbrennungsmotor von keiner dieser Technologien erreicht werden. Lediglich bei Hybridfahrzeugen und in Anwendungsnischen (Kleinstfahrzeuge, Flottenverkehr) sind Entwicklungen vielversprechend, die einen zunehmenden Einsatz elektrischer Energie in diesem Marktsegment erwarten lassen (z. B. Zink- Luft-System).

Bzgl. künftiger F&E-Maßnahmen im Bereich Speichertechnologien ist folgende Situation zu berücksichtigen. Viele Technologien, wie z. B. Pumpspeicher, sind entwickelt und am Markt etabliert, so dass eine öffentliche Förderung für deren Weiterentwicklung nicht gerechtfertigt ist. Andere Technologien (Batterien in der Stromversorgung, Supraleitende Magnetische Energie-Speicher (SMES)) konnten sich aus wirtschaftlichen Gründen nicht durchsetzen. Bei diesen Technologien sind z. Z. auch keine neuen technischen Ansätze oder Ergebnisse der Grundlagenforschung erkennbar, die vielversprechend sind und die bei entsprechender Weiterentwicklung einen entscheidenden Durchbruch erwarten ließen.

Die Bundesregierung wird daher bei den Speichertechnologien folgende Schwerpunkte setzen:

- Die sich jetzt in der Entwicklung befindenden Systeme für Nischenanwendungen im Verkehr werden bis zu einem gewissen Reifegrad weiterverfolgt.
- Grundlagenentwicklungen werden sorgfältig beobachtet. Mit Blick auf neue Ergebnisse der Materialforschung, Verfahrenstechnik und anderer Disziplinen, die vielversprechende neue Technologien zur Speicherung elektrischer Energie erwarten lassen, wird Vorsorge für eine schnelle Reaktion zur Weiterentwicklung getroffen, um diese Ansätze möglichst rasch verwerten zu können.
- Die Möglichkeiten und Grenzen einer notwendigen bzw. technisch sinnvollen Integration von Speichertechnologien in Stromnetze, v. a. unter Berücksichtigung der Einspeisung von regenerativen Energien (z. B. Offshore-Windparks), werden

im Rahmen von Studien und mit Blick auf den künftigen F&E- Bedarf geprüft.

Wasserstoff ist ein u. a. in der petrochemischen Industrie intensiv genutzter Rohstoff und damit ein kommerzielles Produkt. Heute wird er in überwiegendem Anteil durch die Reformierung von Erdgas gewonnen. Obwohl der Wasserstoff in der Energiewirtschaft heute noch keine Rolle spielt, wird er - neben dem Strom - als idealer Sekundärenergieträger der Zukunft eingestuft. Außerdem wird der Wasserstoff auch als ernstzunehmende Alternative zu herkömmlichen Kraftstoffen für den Verkehr diskutiert. Diese Einschätzung des Wasserstoffs resultiert aus den folgenden grundsätzlich vorteilhaften Eigenschaften:

- Wasserstoff lässt sich aus vielen Primärenergieträgem herstellen,
- er kann relativ einfach gespeichert werden und
- seine Umwandlung in Nutzenergie setzt nahezu keine Schadstoffe frei.

Die Klimaverträglichkeit des Sekundärenergieträgers Wasserstoff wird allerdings ausschließlich durch den Primärenergieträger bestimmt, aus dem er erzeugt wird. CO2-Neutralität ist nur bei Gewinnung aus erneuerbaren Energien gegeben. Dies ist wirtschaftlich nur langfristig und für einen Teilmarkt darstellbar. Für eine Übergangsphase ist die Gewinnung von Wasserstoff aus Erdgas und Kohle bei gleichzeitiger Abtrennung und Speicherung des CO2 denkbar. Hierzu werden in dem Bereich Kraftwerkstechnik Forschungsarbeiten unterstützt (siehe 2.1.1.1).

Neben der Frage einer CO2-freien Herstellung von Wasserstoff ist die Speicherung von Wasserstoff vor allem für den Verkehrseinsatz noch nicht befriedigend gelöst. U. a. werden folgende Technologien eingesetzt bzw. diskutiert:

- Drucktanks und Metallhydride zur Speicherung gasförmigen Wasserstoffs. Sie sind Stand der Technik, werden aber weiterentwickelt (z. B. Verdoppelung des Druckes von 350 auf 700 bar).
- Speichersysteme für flüssigen Wasserstoff sind entwickelt und bereits im Einsatz. Es werden daher ausschließlich Detailentwicklungen zu erwarten sein.
- Die hohen Erwartungen hinsichtlich einer wirtschaftlich interessanten Speicherkapazität von Kohlenstoff konnten bisher nicht bestätigt werden.

Wasserstoff als ernstzunehmender Sekundärenergieträger kann sich nur dann durchsetzen, wenn es gelingt, die Kosten für die erneuerbaren Energien

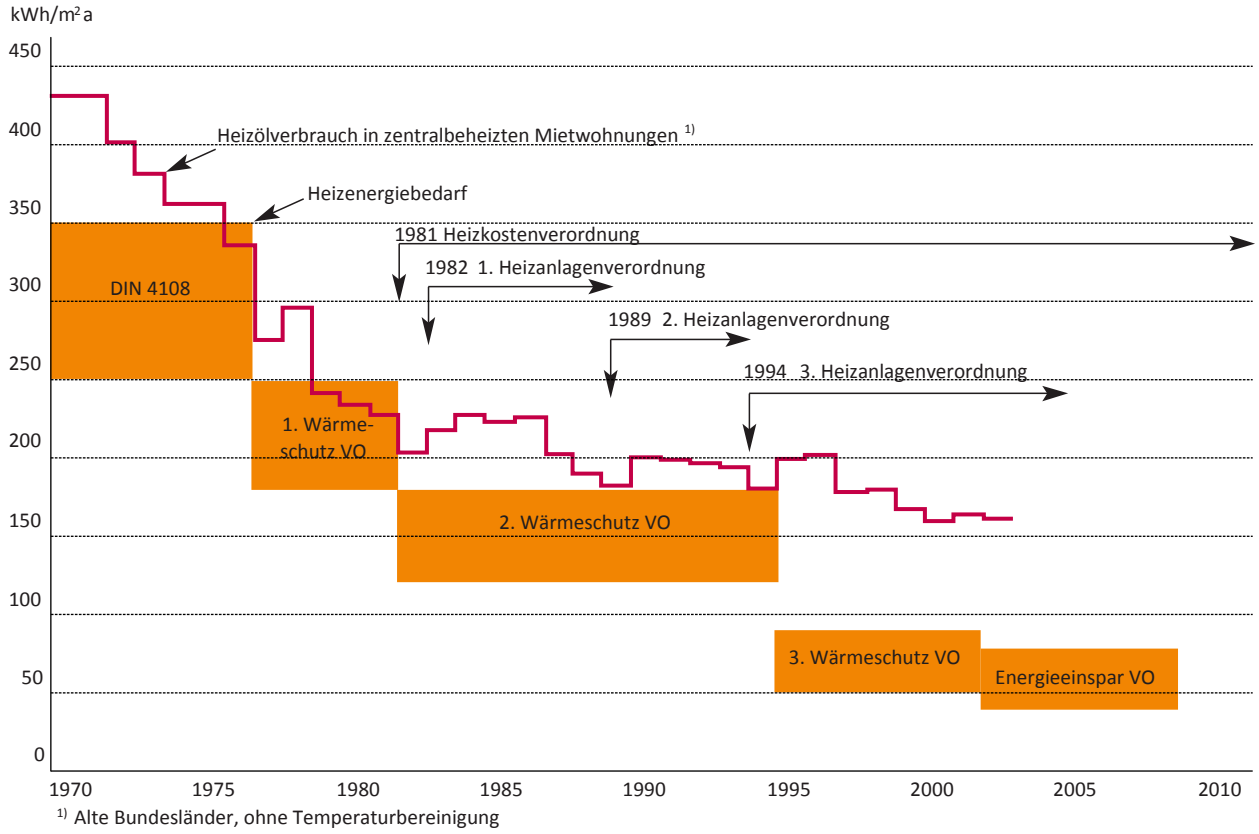


Abb.: Spezifischer Heizenergieverbrauch von Mietwohnungen
1) Alte Bundesländer, ohne Temperaturbereinigung

entscheidend zu reduzieren. Die diesbezüglichen F&E-Maßnahmen werden in den entsprechenden Kapiteln zu den erneuerbaren Energien beschrieben (2.2,2.3 und 2.4.1.1). Die Technologien zur elektrolytischen Herstellung des Wasserstoffs sind vorhanden und können bei neuen Erkenntnissen aus der Material- und Grundlagenforschung in Detailentwicklungen verbessert werden.

Neue technologische Ansätze zu einer wirtschaftlichen Speicherung des Wasserstoffs sind z. Z. nicht erkennbar. Dennoch wird im Rahmen des Programms Vorsorge für eine schnelle Reaktion auf vielversprechende Erkenntnisse der Grundlagenforschung getroffen. Dies betrifft v. a. neueste Entwicklungen aus der Materialforschung zur Verbesserung der Wirkungsgrade und Zuverlässigkeiten bei der Wasserelektrolyse. Auch bzgl. der Speicherung von Wasserstoff sind die

Entwicklungen in der Grundlagenforschung sorgfältig zu beobachten, um ggf. eine industrielle Entwicklung möglichst zügig auf greif en zu können.

Zu den F&E-Maßnahmen bzgl. der Nutzung des Wasserstoffs wird auf die entsprechenden Kapitel wie z. B. zur Entwicklung der Turbinentechnologie (2.1.1.1) bzw. Brennstoffzelle (2.1.1.2) verwiesen.

Literatur

[1] BMWA (2004): Forschungsbedarf in der Wasserstoff-Energietechnologie, Bericht des Strategiekreises „Wasserstoff“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit

2.1.1.4 Energieoptimiertes Bauen

Mehr als ein Drittel des Endenergieverbrauchs Deutschlands entfällt auf private Haushalte und wird dort vor allem zur Raumwärme (einschließlich Trinkwassererwärmung) genutzt. Die privaten Haushalte sind damit - vor den Sektoren Verkehr und Industrie - der größte einzelne Verbrauchsbereich. Weit über 80 % der in diesem Segment eingesetzten Energie besteht aus fossilen Energieträgern, insbesondere importiertem Erdöl und Erdgas (s. Tabelle unten).

Die Höhe des Energiebedarfs für Raumwärme wird in erster Linie durch die Zahl der Wohnungen und den Umfang der zu beheizenden Wohnfläche bestimmt. Deutschland verfügt bei rd. 83 Mio. Einwohnern über ca. 39 Mio. Haushalte und ca. 3,3 Mrd. m2 Wohnfläche. Für energiepolitische Überlegungen sind weitere Daten wichtig. Dazu gehören insbesondere die Altersstruktur und die durchschnittliche Lebensdauer des Gebäudebestandes.

	Gesamtverbrauch (PJ)	Raumwärme (PJ)	Energieanteill Raumwärme (in %)
Gas	1061	950	42
Öl	908	834	37
Strom	511	115	5
Fernwärme	162	141	6
Sonstige	286	217	10
Summe	2835	2257	100

Endenergieverbrauch der privaten Haushalte 2003

Fast 90 % der Gebäudesubstanz Deutschlands ist vor 1990 erbaut worden. Diese sehr spezifische Altersstruktur ergibt sich aus der langen Lebenszeit von Gebäuden. Wohngebäude haben eine Lebensdauer von über 100 Jahren mit einem Renovierungszyklus von ca. 30 - 60 Jahren. Innerhalb dieser Fristen werden in aller Regel energierelevante Gebäudeteile wie Fenster, Außenwände und Dächer, aber auch die Heizungsanlagen mindestens einmal renoviert oder ersetzt. Im Zuge dieser Sanierung können abhängig vom Baujahr, Gebäudetyp und Zustand des Gebäudes Energieeinsparungen von 50 bis 80 erzielt werden. Ansatzpunkte sind insbesondere die Wärmeverluste durch ungenügend gedämmte Außenwände, Dachflächen und Bodenflächen, veraltete Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlagen sowie alte Fensterkonstruktionen, die zu schlechten Energiekennziffern dieser Gebäude beitragen (s. Abb. unten).

Diese Zusammenhänge machen deutlich, dass die energiegerechte Sanierung älterer Gebäude eine Schlüsselrolle bei der Modernisierung der Energieversorgung Deutschlands spielt. Im Gebäudebereich liegen große technische und zum Teil auch wirtschaftlich zu erschließende Energieeinsparpotentiale [1J. Durch rationelle Energieverwendung, effiziente Versorgungssysteme und Nutzung der Solarenergie kann man den Bedarf nach fossiler Energie - ohne Komfortverlust - deutlich zurückführen. Das belegen die großen Erfolge, die in den letzten Jahren bei der Reduktion des Wärmebedarfs im Gebäudebereich erzielt worden sind. So hat sich etwa der spezifische

Heizölverbrauch in zentral beheizten Mietwohnungen seit 1970 von ursprünglich über 400 kWh/m2a bis Ende der 90‘er Jahre auf Werte um 200 kWh/m2a halbiert. Heute liegt er bei etwa 170 kWh/m2a (s. Grafik unten).

Der Trend zur Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs im Gebäudebereich wird sich fortsetzen. Ursache sind die vielfältigen Möglichkeiten für noch sehr viel weitergehende Energieeinsparungen. Sie reichen von sog. Passivhäusern mit einem Heiz- Wärmebedarf von weniger als 15 kWh/m2a bis hin zu experimentellen energieautarken Solarhäusern, die

die gesamte im Gebäude benötigte Energie - thermisch und elektrisch - aus der auf die Gebäudehülle eingestrahlten Sonnenenergie beziehen. Allerdings steigen dabei Aufwand und Kosten überproportional. Künftige Anstrengungen müssen sich daher vor allem darauf konzentrieren, technisch und insbesondere wirtschaftlich akzeptablere Lösungen für diese zukunftsfähigen Modelle zu finden.

Die Bundesregierung hat durch die in 2002 in Kraft getretene Energieeinsparverordnung (EnEV) neue Akzente für die Energieeinsparung im Gebäudebereich gesetzt. Zentrale Elemente der EnEV sind:

- Anhebung des Anforderungsniveaus für den Neubau um durchschnittlich 30 % gegenüber dem in der bisherigen Wärmeschutzverordnung gültigen Standard,
- Übergang von der Begrenzung des Jahresheizwärmebedarfs auf den jährlichen Primärenergiebedarf sowie
- verschärfte energetische Anforderungen für den Gebäudebestand bei bestimmten baulichen und anlagentechnischen Änderungen sowie unmittelbar wirkende Verpflichtungen zur Nachrüstung von Gebäuden und Anlagen.

Die Bundesregierung hat diese Neuordnung des ordnungsrechtlichen Regelwerkes im Gebäudebereich über Jahre durch eine gezielte Förderung von Forschung und Entwicklung begleitet und damit die Verschärfung der Standards vorbereitet bzw. überhaupt erst möglich gemacht. Hervorzuheben sind insbesondere die Fortschritte auf folgenden Gebieten:

- Verstärkter Wärmeschutz für alle Gebäudeumfassungsflächen, hocheffiziente Fenster- und Fassadentechnik unter Einbeziehung von Tageslicht- und Solarenergienutzung,

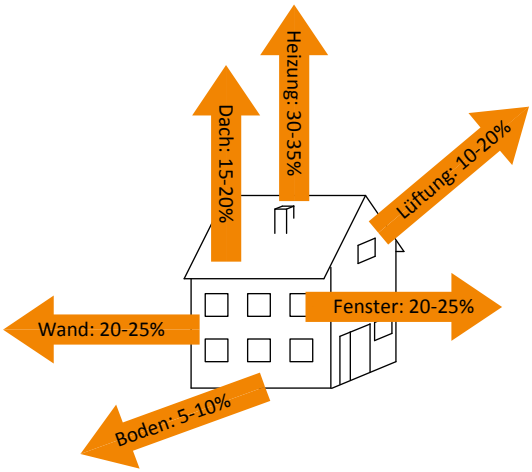


Abb.: Typische Wärmeverluste eines Einfamilienhauses (Baujahr vor 1984)

- energieeffiziente Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlagen, auch in der Kombination mit der Gewinnung von Umweltenergie, stromsparende Beleuchtungstechnik,
- Nah- und Fernwärmesysteme mit verbesserter Technik und Betriebsführung unter Nutzung von Abwärme und Umweltenergiequellen,
- EDV-gestützte Planungshilfsmittel und deren Einführung in die Praxis.

Die Bundesregierung wird diese Linie fortsetzen und ihre F&E-Politik im Gebäudebereich künftig noch stärker an einem Leitbild für das „Gebäude der Zukunft“ ausrichten. Aus heutiger Sicht sind zukunftsfähige Gebäude architektonisch anspruchsvolle Bauwerke mit hohem Nutzerkomfort, minimalem Primärenergiebedarf, optimierter Technikausstattung, sinnvoller Integration in größere Energieversorgungssysteme sowie insgesamt wirtschaftlicher Energiebedarfsdeckung. Um diesem Leitbild näher zu kommen, verfolgt die Bundesregierung bei ihrer Forschungspolitik eine Parallelstrategie zur energetischen Optimierung auf den Gebieten des Neubaus und der Substanzverbesserung:

- Beim Neubau ist es Ziel, den Primärenergiebedarf, d. h. den Energiebedarf, der für Beheizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung sowie Hilfsenergien (z. B. Antriebe für Pumpen und Ventilatoren) notwendig ist, gegenüber dem heutigen Stand der Technik nochmals zu halbieren. Das Fernziel sind Nullemissionshäuser.
- Bei der Gebäudesubstanz geht es um weitere grundlegende Verbesserung der Möglichkeiten einer konsequenten und nachhaltigen energetischen Sanierung.
- Die künftige Förderpolitik wird sich auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:
- Umsetzung der Ergebnisse von Forschung und Entwicklung in Demonstrationsprojekten mit dem Ziel, die verschiedenen Elemente auf ihre Effizienz, Praxistauglichkeit und künftige Marktfähigkeit zu prüfen sowie die Übertragung der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse in die Aus- und Weiterbildung von Fachplanern, Architekten und Handwerkern.
- Fortsetzung der F&E-Arbeiten bei Erfolg versprechenden Materialien, Komponenten und Systemen der Baukonstruktion und der technischen Gebäudeausrüstung. Dazu gehören die weitere energetische Verbesserung der baulichen Hülle (z. B. hocheffiziente Wärmedämmungen mit Vakuum-Elementen) auch in Verbindung mit Solarenergienutzung über Fassaden und Fenster (z.B. schaltbare und selbst regelnde Verglasungen, Licht lenkende Strukturen zur optimalen Tageslichtnutzung) sowie innovative Konzepte der Wärmeerzeugung und -Verteilung (Niedrig-Exergie-Systeme mit großflächigen Wärmetau-

schern zum Heizen und Kühlen, dezentrale Heizungspumpen, fortgeschrittene Wärmepumpentechnik, passive und hybride Systeme zur Luftkonditionierung).
- Weiterentwicklung der netzgebundenen Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden mit Nah - und Fernwärme aus gekoppelter Strom- und Wärmeerzeugung (auch: Modellversuche mit Brennstoffzellen), aus industrieller Abwärme, Umweltenergie und Biomasse. Damit verbunden sind auch die Modernisierung und Anpassung älterer Netze sowie die Erprobung neuartiger Strukturen (z. B. mobile Fernwärme, Fernkälte).
- Entwicklung und Erprobung aussichtsreicher Techniken der kurz- und längerfristigen Wärme- und Kältespeicherung für die Beheizung und Klimatisierung (z. B. thermische Untergrundspeicher, Latentwärmespeicher und thermochemische Speicherverfahren).
- Optimierung der zugehörigen Mess-, Steuer- und Regelungstechnik für den effizienten Betrieb der Anlagen unter Nutzung moderner Kommunikationstechniken. Dazu gehört die Weiterentwicklung von Methoden und Instrumenten zur energetischen Optimierung des „Gesamtsystems Gebäude“ in der Planungsphase, bei der Inbetriebnahme und in der Betriebsführung.
- Übertragung der Techniken und Methoden auf die Anwendung bei der Altbausanierung (z. B. standardisierte bauliche Lösungen, angepasste Haustechnik, spezielle Baustoffe).

Literatur

[1] BINE (2002): Energieeffiziente Wohngebäude - Einfamilienhäuser mit Zukunft; Bonn, Karlsruhe

2.1.1.5 Energieeffizienz in der Industrie, im Gewerbe, im Handel und bei Dienstleistungen

Technik spielt bei der Optimierung des Energieeinsatzes eine wichtige Rolle. Mit der Wahl der Technik wird entschieden, wieviel Primär- bzw. Endenergie notwendig ist, um die bei den Produktionsprozessen geforderten Energiedienstleistungen (Wärme, Kraft, Licht und Information) bereitzustellen [1], Wenn man sich mit Überlegungen zur generellen Verbesserung der Energieeffizienz in Deutschland befassen will, muss man das Augenmerk vor allem auf die Technologien richten, die in der Industrie, bzw. im Gewerbe, Handel und Dienstleistungsbereich eingesetzt werden.

Das belegen die folgenden Strukturmerkmale:

- Der Energieverbrauch in der Industrie („Verarbeitendes Gewerbe und übriger Bergbau“) lag 2003 bei rd. 2.300 PJ und betrug damit 25 % des gesamten Endenergieverbrauchs. Zu den größten Energieverbrauchern gehören die Metallerzeugung, die Grundstoffchemie und die Verarbeitung von Steinen u. Erden, die mehr als 40 % des Energieverbrauchs der Industrie auf sich vereinigen. Je 1/3 des Endenergieverbrauchs der Industrie entfallen auf Strom und Gas. Der Rest des Energiebedarfs wird durch Heizöl, Kohle und sonstige Energieträger gedeckt.
- Der Energieverbrauch des Sektors „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ betrug rd. 1.500 PJ. Das entspricht 16% des gesamten Endenergieverbrauchs. In diesem Sektor spielen Strom und Gas die zentrale Rolle. Sie decken zusammen rd. 65 % des gesamten Endenergiebedarfs. Der Beitrag des Heizöls liegt bei etwa 20 %.

Durch moderne Technologien - aber auch durch Änderungen der Produktpalette und durch den Strukturwandel - ist es in den letzten Jahren gelungen, den spezifischen Energieverbrauch in der Wirtschaft deutlich zu vermindern. Das zeigt exemplarisch die Entwicklung in der Industrie (s. Grafik links). Hier konnte der spezifische Brennstoffbedarf in den letzten 10 Jahren um mehr als 30 % vermindert werden. Der spezifische Stromverbrauch in der Industrie ist dagegen nahezu konstant geblieben. Ursache für diese „Sonderentwicklung“ ist der zunehmende Einsatz von Informationstechnologien, die weitergehende Automatisierung und oft auch eine Substitution von Brennstoffen durch Strom („Strom als Modernisierungsenergie“).

Die Optimierung des Energieeinsatzes ist für die Wirtschaft eine Daueraufgabe. Ihr Interesse und ihre Verpflichtungen sind:

- die Energiekostenbelastung zu senken und damit die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft zu stärken sowie
- den Verbrauch natürlicher Ressourcen und die damit verbundenen Umweltbelastungen, insbesondere durch die Emission von treibhausrelevanten Spurengasen, zu vermindern.

Aufgabe der Energieforschungspolitik ist es, diese Bemühungen der Wirtschaft zu flankieren und F&E in den Fällen zu unterstützen, in denen die Wirtschaft wegen langer Vorlaufzeiten oder hoher technischer bzw. wirtschaftlicher Risiken nicht selbst in dem erforderlichen Umfang investieren kann.

Die Förderung von Forschung und Entwicklung durch die Bundesregierung zur Verbesserung der Energieproduktivität in der Industrie, im Gewerbe, im Handel und bei Dienstleistungen konzentrierten sich in den letzten Jahren auf:

- Thermoprozessanlagen, Trockner, Prozessgasnutzung,

- Querschnittstechnologien wie Kältetechnik, Drucklufterzeugung, Ventilatoren, Pumpen und Trennverfahren,
- Einsatzmöglichkeiten neuer Werkstoffe, Sensortechnik, Mikroelektronik und Lasertechnologien sowie
- moderne Simulationstechnologien zur Vermeidung hoher Aufwendungen für Versuchsstände und zur Optimierung der Prozessführung.

Die Bundesregierung wird auch künftig die Forschung und Entwicklung moderner Energieeffizienztechnologien fördern. Neben energiepolitischen Überlegungen sind auch die ökonomischen Aspekte zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit und zur Sicherung von Wachstum und Beschäftigung in Deutschland und Europa wichtig. Zielgruppen für die Forschungspolitik sind vor allem mittelständische Unternehmen, die mit aussichtsreichen High-Tech Entwicklungen zur Modernisierung der Energieversorgung beitragen können.

Die künftige Förderpolitik wird sich auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:

- innovative Entwicklungen für Thermoprozesse (neuartige Brennertechnik, effizientere Prozessgasnutzung),
- Innovationen bei der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik zur Optimierung von Prozessen und Fertigungsverfahren,
- neue Technologien zur Reduktion des Energieeinsatzes bei mechanischen, thermischen und physikalisch-chemischen Trennverfahren,
- neue Technologien zur Bereitstellung von Kälte auf der Basis FCKW-freier und besonders energieeffizienter Systeme,
- Entwicklung neuer Technologien zur rationellen Stromnutzung (vor allem: hocheffiziente Elektromotoren, Optimierung der Wärme/Kälteerzeugung mit Strom),
- Optimierung der Energieflüsse durch neue Technologien zum verstärkten Recycling energieintensiver Produkte.
- Effizientere Techniken zur Nutzung industrieller Abwärme (neuartige Wärmetauscher, Hochtemperaturwärmepumpe, Wärmespeicher).

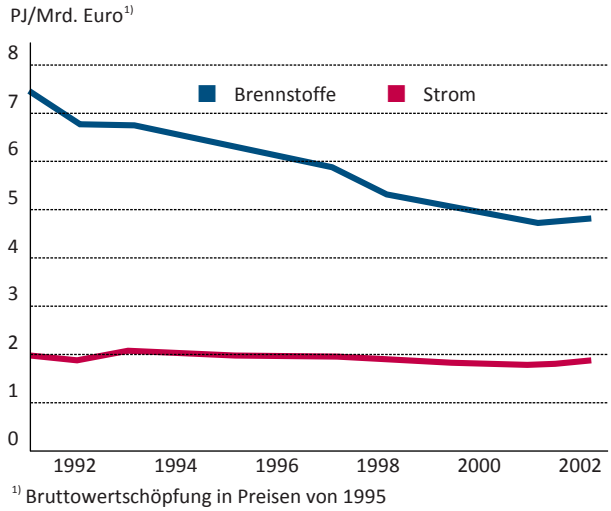


Abb.: Spezifischer Energieverbrauch in der Industrie

Literatur

1. Jochem, E. (2004): Steps towards a sustainable development-A White Book for R&D of energy efficient technologies, Zürich

2.1.1.6 Systemanalyse und Informationsverbreitung

Die Bundesregierung fördert Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien auf breiter Front. Die begrenzten Fördermittel erzwingen aber immer wieder Entscheidungen über prioritäre und nachrangige Förderbereiche. Diese Entscheidungen müssen, soweit es geht, auf der Basis von Daten, Fakten, wissenschaftlichen Analysen und Risikoüberlegungen getroffen werden. Dazu leistet die Systemanalyse einen wichtigen Beitrag.

Anfang der 90er Jahre hat das damalige Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) systemanalytische Arbeiten zur Weiterentwicklung der Energieforschungspolitik initiiert. Mit dem Projekt „IKARUS“ (**I**nstrumente-**K**lim**a**gas-**R**ed**u**ktions-**S**trategien) sollten die Grundlagen für eine Neuausrichtung der Politik in Richtung auf einen verstärkten Schutz der Erdatmosphäre geschaffen werden [1].

Die Bundesregierung wird auch künftig systemanalytische Untersuchungen zur Anpassung und Optimierung ihrer Förderpolitik nutzen. Im Mittelpunkt der künftigen Aktivitäten auf diesem Feld wird das Projekt „EduaR&D“ (**E**nergie-**D**aten **u**nd **A**nalyse **R&D**) stehen. Bei diesem Vorhaben geht es darum, neue wissenschaftliche Ansätze zu nutzen, um:

- aussichtsreiche Technologiefelder oder Einzeltechnologien zu identifizieren,
- ihren möglichen Beitrag zu einer sicheren, wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Energieversorgung in Deutschland zu bewerten und
- auf dieser Basis Hinweise für Förderempfehlungen zu geben.

Im Rahmen des Projektes „EduaR&D“ wird die Bundesregierung systemanalytische Forschungsvorhaben fördern, die sich auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:

- Konzepte und Erklärungsansätze aus der Innovations- und Diffusionsforschung und deren Über-

tragung bzw. Anwendung auf Energietechnologien,
- methodische Ansätze zur Beurteilung technisch-ökonomischer Entwicklungspotenziale innovativer Energietechniken,
- vergleichende Bewertungsmethoden und Schlussfolgerungen für die Entwicklung von Förderstrategien.

Zu den Aufgaben der Energieforschungspolitik gehört auch die Verbreitung der Ergebnisse von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben und deren Umsetzung in die Praxis. Dazu ist ein gezielter Wissenstransfer von den Forschern und Entwicklern zu den Multiplikatoren und Nutzern von Forschungsergebnissen unabdingbar. Informationsverbreitung ist das Bindeglied zwischen Forschung und praktischer Anwendung. Voraussetzung für eine gezielte Informationsverbreitung ist eine sachgerechte Aufarbeitung der F&E-Ergebnisse, so dass dem potenziellen Anwender wissenschaftlich-technische Informationen zeitnah, kompakt und leicht zugänglich sind.

Die Bundesregierung unterstützt die Ergebnisaufarbeitung und gezielte Informationsverbreitung im Energiebereich vor allem durch den BINE Informationsdienst [2]. BINE ist der zentrale, bundesweite Informationsvermittler für Ergebnisse der Energieforschung des Bundes auf den Gebieten Energieeinspartechniken und erneuerbare Energien. Wissenschaftlich-technische Fachinformationen werden der mittelständischen Wirtschaft, beruflichen Experten, privaten Investoren und der allgemeinen Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Aktuelle Informationen aus Forschung und Technik werden durch die BINE- Fachredaktion recherchiert, zielgruppenorientiert aufbereitet und in verschiedenen Inforeihen publiziert. Die BINE-Publikationen werden im Internet systematisch mit weiteren Informationen und Angeboten vernetzt und durch das BINE-Expertentelefon ergänzt.

Die Bundesregierung wird die Förderung der Informationsverbreitung durch BINE fortsetzen und die Möglichkeiten einer Weiterentwicklung nutzen. Dabei geht es insbesondere um:

- Ausbau des bestehenden Informationsangebots durch Integration aller Medien,
- Einbeziehung anderer Institutionen, Verbände und Publikationsorgane der relevanten Branchen; Verbesserung der Multiplikatorwirkung,
- Unterstützung des internationalen Informationstransfers sowie
- Nutzung neuer Verbreitungswege (z. B. Integration in E-Learning-Tools) und neuer Formate wie Video-Stream- und Audio-Files.

Literatur

[1] Markewitz, P,, Stein, G. (2003): Das IKARUS-Projekt: Energietechnische Perspektiven für Deutschland, Jülich

[2] http://www.bine.info

2.1.1.7 Haushaltsmittel

Die Bereitstellung der Fördermittel im Bereich „Rationelle Energieumwandlung“ spiegelt die forschungspolitischen Prioritäten wieder. Im Jahr 2003 wurden für die einzelnen Technologiefelder folgende Mittel bereit gestellt: Kraftwerkstechnologien 8,0 Mio. €, Brennstoffzellen 27,6 Mio. €, Speichertechnologien/ Wasserstoff 4,6 Mio. €, energieoptimiertes Bauen 14,4 Mio. €, Energieeffizienz in der Wirtschaft 5,9 Mio. € sowie Systemanalyse und Informationsverbreitung 5,9 Mio. € (einschließlich der Kosten für den Projektträger).

Für den Zeitraum 2005-2008 sind für die projektorientierte Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet „Rationelle Energieumwandlung“ Mittel in Höhe von rd. 284 Mio. € vorgesehen. Diese Mittel sollen für Einzelprojekte, Verbundvorhaben und für eine Verstärkung der Verbindung von Grundlagenforschung und anwendungsnaher Forschung sowie für erste Demonstrationsvorhaben genutzt werden.

Ist 2003	Soll 2004	Plandaten 2005	2006	2007	2008
65.958	78.496	71.244	70.994	70.994	70.994

Förderung von Forschung und Entwicklung im Energieforschungsprogramm (in Mio. €)[11]

2.1.2 Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung

Die Bundesregierung und die Energieversorgungsunternehmen haben sich am 11.06.2000 auf eine Regelung zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung zur gewerblichen Stromerzeugung in Deutschland verständigt. Dem entspricht die Novelle des Atomgesetzes. Dabei wurde die Freiheit der Forschung auf dem Gebiet der Kerntechnik, insbesondere der Sicherheit, nicht eingeschränkt. Unter diesen Aspekten bleiben zentrale Programmpunkte in der nuklearen Energieforschung der Bundesregierung die Gewährleistung der Sicherheit der Kernkraftwerke für die verbleibenden Betriebszeiten sowie Planung und Bau von nationalen Zwischen- und Endlagern für radioaktive Abfälle.

11 Zahlen 2008 enthalten Mittel aus der Innovationsinitiative; sie stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament.

Auch unter Ausstiegsbedingungen müssen für den Betrieb und die Entsorgung von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren höchste Sicherheitsanforderungen auf dem jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik gelten. International wird der Stand von Wissenschaft und Technik unter maßgeblicher Mitwirkung deutscher Wissenschaftler ständig vorangetrieben. Die Einwirkungsmöglichkeiten Deutschlands auf die Sicherheitskultur kerntechnischer Anlagen weltweit müssen durch gezielte Fortführung der internationalen Kooperationen mit westlichen und östlichen Partnern langfristig erhalten bleiben. Die dafür erforderliche sicherheitstechnische Kompetenz kann nur auf der Basis einer eigenen, von Industrie- und Verbandsinteressen unabhängigen Forschung erhalten werden. Daher ist es ein Gebot staatlicher Verantwortung und Vorsorge, dass die Bundesregierung auch in Zukunft eine intensive Forschung auf den Gebieten der Reaktor- und Endlagersicherheit fördert. Selbst Staaten, die keine Reaktoren (mehr) haben, fördern die Forschung in diesem Bereich, um die internationale Entwicklung selbst beurteilen zu können. Die Verantwortung der Anlagenbetreiber für die Schadensvorsorge und die insoweit erforderlichen Untersuchungen bleiben davon unberührt.

Die Förderschwerpunkte „Reaktorsicherheitsforschung“ und „Endlagerforschung“ wurden im Jahr 2000 durch die Evaluierungskommission „Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung“ des BMWA neu bewertet und im Jahr 2003 durch den Kompetenzverbund Kerntechnik für den Themenbereich Reaktorsicherheitsforschung bis 2006 fortgeschrieben. Die Kommission hat vor dem Hintergrund gekürzter Finanzmittel und unter Berücksichtigung der Erhaltung der forschungspolitischen Funktionsfähigkeit und der Sicherung des Know-hows Empfehlungen zur fachlichen Prioritätensetzung und zur Zusammenarbeit der Forschungseinrichtungen erarbeitet. Mit deren Umsetzung wird eine abgestimmte und effiziente Fortführung der Forschungsarbeiten zur Reaktorsicherheit zur Erhaltung der deutschen kerntechnischen Sicherheitskompetenz in den betreffenden Forschungseinrichtungen ermöglicht.

Das BMWA unterstützt die Bewahrung kerntechnischer Kompetenz weiterhin in seiner Initiative „Kompetenzerhalt Kerntechnik“, durch die Forschungsvorhaben junger Wissenschaftler zu aktuellen Fragestellungen der kerntechnischen Sicherheit gefördert werden. Durch die Gründung des „Kompetenzverbunds Kerntechnik” im Jahr 2000 wurde sichergestellt, dass die deutschen Forschungseinrichtungen im Bereich Reaktorsicherheits- und Endlagerforschung möglichst effizient Zusammenarbeiten.

2.1.2.1 Reaktorsicherheitsforschung

Die intensive Förderung der Reaktorsicherheitsforschung durch die Bundesregierung in den letzten Jahrzehnten hat entscheidend dazu beigetragen, dass deutsche Reaktoren zu den sichersten der Welt gehören. Die Förderung der Reaktorsicherheitsforschung konzentriert sich heute auf die in Deutschland noch betriebenen Reaktortypen. Für deren restliche Betriebszeit müssen die wissenschaftlich-technischen Grundlagen der Sicherheitsbewertung der Anlagen entsprechend dem fortschreitenden Stand von Wissenschaft und Technik weiterentwickelt werden. In den zurückliegenden Jahren haben solche Forschungsarbeiten wichtige Ergebnisse und damit Anstöße für eine ständige Verbesserung der Sicherheitstechnik erbracht.

Auch die künftigen Arbeiten müssen alle sicherheitsrelevanten Fragestellungen in Betrieb befindlicher Kernkraftwerke beinhalten:

- Alterung von Komponenten und Materialien.
- Realistische Beschreibung der Abläufe im Reaktorkern und in den Kühlkreisläufen bei Stör- und Unfällen.
- Integrität des Sicherheitsbehälters als letzte Barriere gegen den Austritt radioaktiver Stoffe in die Umgebung.
- Probabilistische Methoden zur Verbesserung der Werkzeuge für die Identifizierung von Schwachstellen in Anlagenauslegung und Prozessführung; Verringerung der bestehenden Bewertungsunsicherheiten.

2.1.2.2 Endlagerforschung

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle ist eine Sicherheitsaufgabe, deren Lösung für viele kommende Generationen Bedeutung besitzt und deswegen eine besondere Herausforderung für die derzeitige Wissenschaft und Technik darstellt. Um langzeitlich einen bestmöglichen Schutz von Mensch und Umwelt zu gewährleisten, muss der erreichte Kenntnisstand daher durch weitere Forschung und Entwicklung ständig abgesichert, ergänzt und vertieft werden:

- Untersuchung der Eigenschaften des geologischen Systems als der wichtigsten Langzeitbarriere.
- Verbesserung von Instrumentarien für die Sicherheitsbewertung von Endlagern.
- Nachweis der Langzeitsicherheit des Multi-Barrieren-Konzepts.
- Verminderung oder Vermeidung radioaktiver Abfälle, insbesondere von langlebigen Nukliden, z. B. mittels Partitioning (gezielte Abtrennung) und Transmutation (Umwandlung in kurzlebige Nuklide durch Bestrahlung mit Neutronen); Verbesserung der Methoden der Abfallcharakterisierung.

– Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung und Anpassung an die Bedingungen der direkten Endlagerung.

2.1.2.3 Kompetenzerhaltung und internationale Kooperation

In der Reaktorsicherheits- und Endlagerforschung werden modernste analytische und experimentelle Verfahren entwickelt und angewandt. Die Ergebnisse stehen allen mit Fragen der nuklearen Sicherheit befassten Institutionen zur Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik (anwendungsorientierte Grundlagenforschung) zur Verfügung. Die Arbeiten stellen hohe Ansprüche an die Kreativität der Forscher, erfordern eine wissenschaftlich kritische Arbeitsweise und technische Anwendbarkeit der Ergebnisse.

Die Effektivität der deutschen Forschung wird erhöht, indem intensiv die Möglichkeiten der internationalen Zusammenarbeit und des wissenschaftlichen Austausches genutzt werden. So werden deutsche Forschungsstellen ausdrücklich darin unterstützt, sich an den Ausschreibungen der Europäischen Union zu beteiligen und sich in Konsortien einzubringen, in denen wechselseitige Nutzung der wissenschaftlichen Erkenntnisse, eine die Projekte überdauernde Zusammenarbeit und Integration sowie schließlich die führende Rolle Europas in Fragen der kerntechnischen Sicherheit angestrebt werden. Dies gilt insbesondere auch für die intensive themenspezifische Zusammenarbeit zur Erhöhung der Sicherheit von Kernkraftwerken sowjetischer Bauart.

Der Gefahr eines gravierenden Mangels an qualifiziertem Nachwuchs auf dem Gebiet der Kerntechnik und eines damit einhergehenden einschneidenden Know-how- und Kompetenzverlustes bei deutschen Behörden, Gutachtern und in Forschungseinrichtungen muss entgegengewirkt werden. Daher wird die Initiative „Kompetenzerhalt Kerntechnik (KEK)“ des BMWA fortgeführt. Mit diesem Angebot zu anspruchsvoller Forschungsfähigkeit wird jungen diplomierten Ingenieuren und Naturwissenschaftlern die Gelegenheit gegeben, sich durch Mitarbeit in Vorhaben der projektgeförderten Reaktorsicherheitsforschung weiter zu qualifizieren.

Durch intensive Mitwirkung deutscher Fachleute in internationalen Institutionen wie der Internationalen Atom-Energie-Organisation (IAEO), der Nuklear-Energie-Agentur (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) sowie der Europäischen Union (EU) nimmt Deutschland heute auf die internationalen Sicherheitsdiskussionen zur Kerntechnik als kompetenter Partner gestaltenden Einfluss.

Den OECD-Projekten gemeinsam ist das Interesse vieler Länder an der Lösung einer gemeinsam erkannten sicherheitstechnischen Fragestellung und an der effizienten, gemeinsamen Nutzung der international noch verfügbaren experimentellen Ressourcen durch gemeinsame Finanzierung der erforderlichen Arbeiten.

Die Projekte erbringen einen hohen wissenschaftlichen Mehrwert. Experten aus verschiedenen Ländern diskutieren gemeinsam bis in technische Details die Planung der Projekte, beeinflussen zielgerichtet deren Durchführung und interpretieren die Ergebnisse in ihren sicherheitstechnischen Auswirkungen.

2.1.2.4 Haushaltsmittel

Für den Forschungsbereich „Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung“ sind für den Zeitraum 2005 -2008 Mittel in Höhe von rd. 94 Mio. € vorgesehen.

Ist 2003	Soll 2004	Plandaten 2005	2006	2007	2008
24.125	25.500	23.605	23.480	23.480	23.480

BMWA-Projektförderung „Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung“ (in Tsd. €)

Literatur

[1] Bericht der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) berufenen Arbeitsgruppe (Evaluierungskommission) (2000): Nukleare Sicher- heits- und Endlagerforschung in Deutschland

[2] Kompetenzverbund Kerntechnik (2003): Themen der nuklearen Sicherheits- und Endlagerforschung in Deutschland 2002-2006, Reaktorsicherheitsforschung

2.2 Energieforschung BMU

Erneuerbare Energien wie Solarenergie, Windkraft, Geothermie, Biomasse und Wasserkraft sind nahezu unerschöpfliche und umweltschonende Energiequellen und stellen deshalb eine der großen Optionen für eine zukunftsfähige Energieversorgung dar. Ihre beginnende breite Nutzung zur Stromversorgung und zur Wärmebereitstellung leistet bereits jetzt einen wichtigen Beitrag zur Ressourcenschonung, insbesondere dem Klimaschutz, aber auch zur Stärkung des Innovationsstandortes Deutschland.

Die Bundesregierung hat sich mit ihrer Politik für eine zukunftsfähige Energieversorgung darauf verständigt, den Anteil der erneuerbaren Energien bis

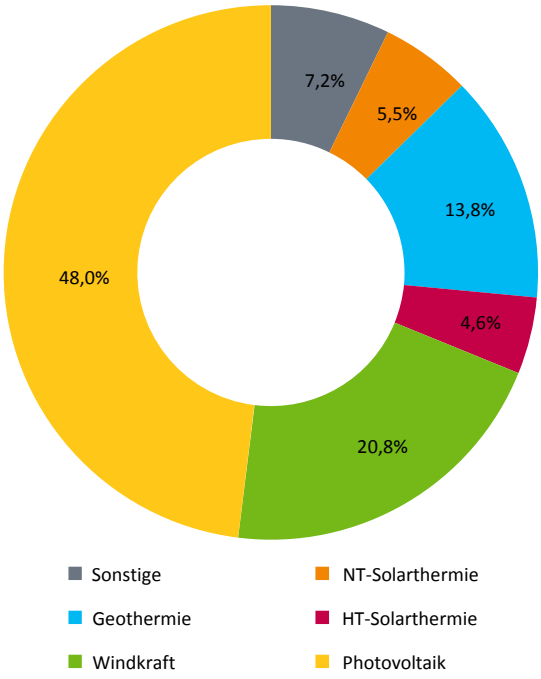


Abb.: Verteilung der Fördermittel für die Energieforschung des BMU im Durchschnitt der Jahre 2001- 2004

2010 auf mindestens 12,5% an der Stromerzeugung und 4,2 % am Primärenergieverbrauch zu erhöhen. Mittel- und langfristige Ziele der Bundesregierung sind 20% Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung bis 2020 und 50 % Anteil am Primärenergieverbrauch 2050 [1,2], Derzeit haben erneuerbare Energien einen Anteil von rund 8 % an der Stromerzeugung und gut 3 % am Primärenergieverbrauch [3].

	Beitrag der erneuerbaren Energien[12] (PJ)	Anteil der erneuerbaren Energien (%)
Stromerzeugung	205,1	7,9
Wärmeerzeugung	219,0	4,1
Kraftstoffe	24,2	0,9
Primärenergieverbauch	448,3	3,1

Beitrag der erneuerbaren Energien zur Energiebereitstellung im Jahr 2003

Für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sind derzeit (2003) vor allem die Wasserkraft mit 44 % und die Windenergie mit 40 % Anteil von großer Bedeutung. Bei der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien stellt die Biomasse mit 93 % den Hauptanteil.

Durch die Nutzung der erneuerbaren Energien wurden 2003 rund 53 Mio. Tonnen CO_2 eingespart. Dieser wichtige Beitrag zum Klimaschutz ist den günstigen politischen Rahmenbedingungen zu verdanken. Zu nennen sind insbesondere das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das im Zusammenhang mit der ökologischen Steuerreform stehende Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien sowie die jahrelange intensive Forschungsförderung.

Die Schwerpunkte der Forschungsförderung lagen und liegen auch künftig in den Technologiebereichen mit hohem Ausbau- und Innovationspotenzial: der Photovoltaik und der Windkraft, insbesondere im Wind-Offshore-Bereich. Daneben fördert das BMU die Forschung zur Hochtemperatur-Solarthermie, zur Niedertemperatur-Solarthermie, zur Geothermie und zur Wasserkraft (s. Grafik unten). Die Bioenergieforschung erfolgt in der Zuständigkeit des BMVEL (vgl. Kapitel 2.3).

An dieser Schwerpunktsetzung wird sich die Forschungsförderung des BMU auch in den kommenden Jahren orientieren, wobei in begrenztem Umfang auch Mittel für die Erforschung neuer, besonders innovativer Lösungen zur Nutzung erneuerbarer Energien eingesetzt werden sollen.

Zentrales Ziel der Forschungsförderung ist es, die Kosten der erneuerbaren Energien weiter zu senken und so die Ausgangsbedingungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien zu verbessern. Um dieses übergeordnete Ziel zu erreichen, müssen zum einen die Wirkungsgrade von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien weiter gesteigert werden.

Zum anderen geht es darum, den Produktionsprozess effizienter und damit kostengünstiger zu gestalten. Schließlich muss in verschiedenen Bereichen die Lebensdauer von Anlagen bzw. einzelnen Komponenten verlängert werden.

Zu den weiteren Zielen der Forschungsförderung gehörtes,

- die Wettbewerbsfähigkeit in allen Bereichen der erneuerbaren Energien zu erhöhen,
- die Technologieführerschaft in besonders innovativen Bereichen, wie z. B. der Photovoltaik und der solarthermischen Kraftwerke, zur Sicherung des Hightech Standortes Deutschland und seiner Exportchancen zu halten und auszubauen,
- den Ausbau der erneuerbaren Energien möglichst umwelt- und naturverträglich zu gestalten.

Darüber hinaus besteht in allen Bereichen der erneuerbaren Energien ein hoher Nachholbedarf in spezifischer Bildung, Ausbildung und Training, um den wachsenden Bedarf dieser jungen und sich dynamisch entwickelnden Branche an qualifizierten Arbeitskräften decken zu können.

12 Primärenergieäquivalent nach Wirkungsgradmethode

Aus diesen Gründen setzt die Bundesregierung im Rahmen der Energieforschung einen klaren Schwerpunkt bei den erneuerbaren Energien. Die hierfür im Haushaltsjahr 2005 zur Verfügung stehenden Mittel wurden gegenüber den Vorjahren deutlich erhöht. Nur mit Hilfe einer intensiven Forschungsförderung können die erneuerbaren Energien mittel- bis langfristig wettbewerbsfähig werden und in einem ausgewogenen Energiemix einer nachhaltigen Energieversorgung einen wachsenden Beitrag leisten.

Welches Potenzial die erneuerbaren Energien langfristig zur Energiebereitstellung haben, ist in vielen Studien wissenschaftlich untersucht worden. Neben der Studie „Ökologisch optimierter Ausbau der erneuerbaren Energien“ des DLR u. a. [4], die aktuelle Szenarienbetrachtungen sowohl unter ökologischen als auch unter ökonomischen Gesichtspunkten bewertet, liefert auch das Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) „Energiewende zur Nachhaltigkeit“ wissenschaftliche Aussagen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien. Sie kommen zu folgenden Ergebnissen:

- Die Photovoltaik wird in Deutschland erst langfristig mit einem höheren Anteil zur Stromversorgung beitragen, gleichwohl hat sie unter allen erneuerbaren Energien das höchste Innovationspotential und bedarf verstärkter Forschungsförderung. Ihr Anteil am Stromverbrauch in Deutschland könnte von jetzt 0,1 % auf 1,1 % in 2020 und 5 % in 2050 steigen [4]. Weltweit wird der Anteil der Solarenergie (Photovoltaik und solarthermische Kraftwerke zusammen) nach Angaben des WBGU bis 2050 auf rd. 28 % steigen. So könnte zusammen mit Solarstromimporten, z. B. aus solarthermischen Kraftwerken, der Anteil des Solarstroms bis 2050 in Deutschland auf rd. 18 % der Stromerzeugung steigen [4],
- Für die Windenergie, die in 2003 über 3,1 % zur Stromerzeugung in Deutschland beiträgt, geht die o. g. DLR-Studie von Steigerungen auf bis zu 18 % bis 2020 und 29 % bis 2050 aus [4].
- Die Geothermie könnte in Deutschland bis 2020 zu 0,5 % zur Stromerzeugung und zu 0,9 % zur Wärmebereitstellung beitragen. Bis 2050 könnten diese Anteile auf 3,1% bzw. 7,7 % in Deutschland steigen [4].
- Der Anteil der Niedertemperatur-Solarthermie an der Wärmebereitstellung könnte in Deutschland von derzeit noch 0,2 % auf 2 % in 2020 und auf 10 %> in 2050 steigen [4].

Vor dem Hintergrund dieser Ausbaupotenziale und insbesondere unter Berücksichtigung des Innovationspotenzials der einzelnen erneuerbaren Energieformen wird der im Folgenden dargestellte Forschungsbedarf abgeleitet.

2.2.1 Photovoltaik

Die Photovoltaik ist eine Hochtechnologie, bei der Solarzellen das Sonnenlicht direkt in elektrischen Strom umwandeln. Obwohl sich zur Herstellung von Solarzellen grundsätzlich eine Vielzahl von Halbleitermaterialien eignen, haben sich nur einige wenige technisch durchgesetzt. Heute bestehen weltweit 99 % aller kommerziell gefertigten Solarzellen aus Silizium.

In dem noch jungen Photovoltaik-Markt ist Deutschland nach Japan sowohl in der produzierten Leistung als auch im erreichten Stand der Technologieent-

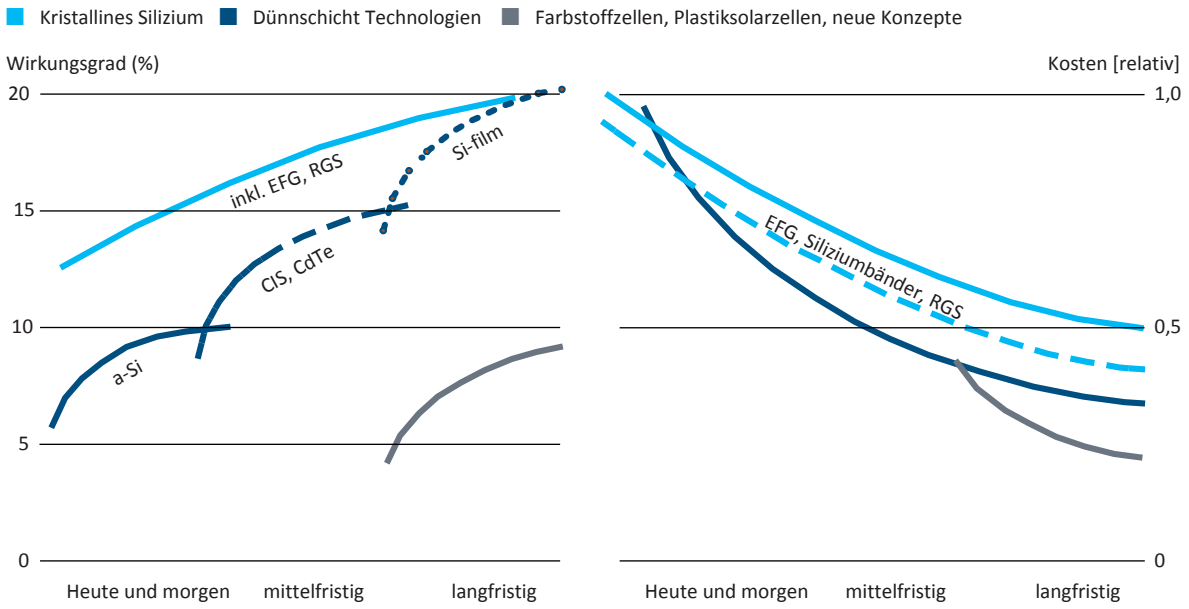


Abb.: Perspektiven verschiedener Technologielinien der Photovoltaik

wicklung führend. Gemessen an der in 2003 neu installierten Leistung führt Japan mit 219 MW vor Deutschland mit 128 MW und den USA mit 66 MW. Dem Erfolg des 100.000 Dächer-Solarstrom-Programms, des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes und der bisherigen Forschungsförderung ist zu verdanken, dass in Deutschland bis Ende 2003 insgesamt 405 MW Photovoltaik-Leistung installiert wurden. Das bedeutet eine Verzehnfachung der installierten PV-Solarstromleistung von 1997bis 2003. Um die Technologieführerschaft Deutschlands bei dieser innovativen Hochtechnologie zu halten und auszubauen, bedarf es der Verstärkung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Um den Anteil der Photovoltaik-Solarstromproduktion zu erhöhen, müssen die Kosten deutlich gesenkt werden. Das Kostensenkungspotenzial ist bei der Photovoltaik unter allen erneuerbaren Energien am größten. Dies liegt zum einen daran, dass die Lücke zwischen den im Labor erzielten und in der Produktion erreichten Wirkungsgraden noch erheblich ist. Zum anderen führt die Erhöhung der Produktion zu sinkenden Kosten. Bei einer Fortsetzung des Marktwachstums mit durchschnittlich 25 % pro Jahr wird prognostiziert, dass die derzeit mit 0,7-0,9 €/kWh noch sehr hohen Stromgestehungskosten sich bis 2010 auf 0,2-0,4 €/kWh reduzieren und im Jahr 2020 bei 0,2 €/kWh und damit im wettbewerbsfähigen Bereich liegen. Bis 2050 wird eine Kostenreduktion um 80 % verglichen zum Jahr 2000 erwartet [4].

Die gegenwärtigen Entwicklungsarbeiten in der Photovoltaik-Forschung konzentrieren sich auf die Verbesserung bestehender Solarzellen, Module und Systemkomponenten, sowie auf die Entwicklung neuer Solarzelltypen im Dünnschichtbereich. Um die angestrebte Kostensenkung zu erreichen, stehen die folgenden drei Förderschwerpunkte im Mittelpunkt:

- die Wirkungsgrade müssen sowohl im Labor, vor allem aber bei den kommerziell produzierten Solarzellen weiter erhöht werden,
- der Materialeinsatz muss durch neue Materialien und -kombinationen reduziert werden und
- die Fertigungstechnologien müssen weiter automatisiert und energie- und kosteneffizienter werden.

Da gegenwärtig nicht klar ist, welche der derzeit untersuchten Technologien und Materialien in Zukunft marktbeherrschend sein werden, ist es notwendig mehrere als aussichtsreich erscheinende technologische Linien hinsichtlich ihres Kostenreduktions- und Effizienzpotentials zu untersuchen. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich dabei auf alle nachfolgend genannten Fertigungsstufen.

Silizium-Wafertechnik

Der Rohstoff Silizium bildet die Basis der Fertigungskette. Er wird derzeit ganz überwiegend aus Silizium- Abfällen der Elektronikindustrie gewonnen. Da absehbar ist, dass bereits in wenigen Jahren auf Grund des weltweit starken Wachstums des Photovoltaikmarktes und der damit einhergehenden erhöhten Nachfrage nach Silizium die Rohstoffbasis nicht mehr allein über diesen Weg gedeckt werden kann, sind bereits Entwicklungsarbeiten an einer auf den Bedarf der PV- Produktion zugeschnittenen Silizium-Rohstoffversorgung begonnen worden.

Aus den in einem Kristallisationsprozess gewonnen multikristallinen Silizium-Blöcken oder einkristallinen Silizium-Stäben werden die für die Herstellung von Solarzellen notwendigen Scheiben (Wafer) herausgeschnitten. Die Waferdicke konnte in den vergangenen Jahren von 400 pm auf ca. 200-300 pm reduziert werden. Der nachfolgende Prozess erfolgt entweder über die Drahtsägetechnologie, die in den letzten Jahren hinsichtlich der Kostenreduktion beachtliche Fortschritte erzielt hat, oder über die Kristallisation der Siliziumscheiben in Form von dünnen Bändern direkt aus der Siliziumschmelze. Alternativ erfolgt auch die Abscheidung von dünnen Schichten aus der Gasphase auf preisgünstigere Substrate, was im Vergleich zum Sägeprozess zu deutlichen Materialeinsparungen und damit Kostensenkungen führt. Zur Abscheidetechnologie besteht allerdings noch Entwicklungsbedarf.

Durch intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konnten die Wirkungsgrade von Solarzellen aus beiden Materialien, multi- bzw. monokristallinem Silizium, erhöht werden. Im Labor werden bereits über 20 % erreicht, in der Produktion 14 % bis 17 %. Der anschließende Prozessschritt der Weiterverarbeitung der Solarzellen zu Modulen ist weitgehend ausgereift. Die typischen Modulgrößen von 125 cm x 125 cm erreichen Modulwirkungsgrade von 10 % bis 15 %.

Dünnschichtsolarzellen

Im Vergleich zu den Dickschichtsolarzellen (200-300 |im), die derzeit mit einem Anteil von rd. 95% den Photovoltaikmarkt beherrschen, haben die Dünnschichtsolarzellen (0,5-2 |im) derzeit nur einen Marktanteil von 5 %. Trotz intensiver Forschung und Entwicklung in den vergangenen Jahren konnten die theoretischen Kostenvorteile der innovativen Dünnschicht-Technologie bislang noch nicht in der Produktion umgesetzt werden. Den Vorteilen der Dünnschicht-Technologie, wie großflächige Beschichtung, integrierte Serienverschaltung, hohe Materialeinsparung und größere Flexibilität bei der Verwirklichung innovativer Zellkonzepte, stehen gegenwärtig Nachteile, wie z. B. der Rückstand in der technologischen Entwicklung und industriellen Umsetzung sowie mangelnde Langzeiterfahrungen, gegenüber. Es wird

jedoch davon ausgegangen, dass mittelfristig die Dünnschicht-Technologie und langfristig die kristalline Silizium-Dünnschicht-Technologie die größten Entwicklungsperspektiven haben. Derzeit befinden sich verschiedene Technologielinien in Entwicklung:

- Dünnschichtsolarzellen aus amorphem Silizium - Die Produktionskapazitäten in Deutschland liegen derzeit bei ca. 3 MW/a, der Wirkungsgrad bei 6 %.
- Chalkopyrit-Dünnschichtzellen (CIS) - Die Produktionskapazitäten liegen bei 1 MW/a, der Wirkungsgrad bei über 10 %.
- Dünnschichtsolarzellen aus Cadmiumtellurid (CdTe) - Die Produktionskapazität liegt bei 10 MW/a, der Wirkungsgrad bei ca. 5 %.
- Polykristalline Silizium-Dünnschichtzellen befinden sich derzeit noch im Forschungsstadium: eine Produktionsreife ist erst mittelfristig zu erwarten.

Diese Schwerpunkte in der projektorientierten Forschungsförderung des BMU ergänzen die stärker grundlagenorientierte Förderung des BMBFbei der Entwicklung von Dünnschichtsolarzellen (vgl. hierzu Kapitel 2.4). Die Förderprogramme sind aufeinander abgestimmt.

Systemtechnik

Die Systemtechnik zur Einspeisung von Solarstrom ins Elektrizitätsnetz ist technisch ausgereift. Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich deshalb auf dezentrale Einspeisesysteme auf der Niederspannungsebene sowie auf Inselsysteme, für die ein Energiemanagementsystem und kostengünstige Elektrizitätsspeicher entwickelt werden müssen.

Aus dem dargestellten Stand der Entwicklung ergeben sich in den einzelnen Bereichen folgende Forschungsziele:

Silizium-Wafertechnologie

Um den Bedarf der Photovoltaik-Industrie an Silizium decken zu können, müssen Technologien zur kostengünstigen Herstellung von Solarsilizium entwickelt und entsprechende Produktionskapazitäten aufgebaut werden. Hinsichtlich des oben dargestellten Kristallisationsprozesses geht es vor allem darum, die Materialqualität zu verbessern und den Energieaufwand bei der Fertigung zu reduzieren.

Kurzfristiges Entwicklungsziel der Wafertechnik ist es, die Scheibenfertigung durch neue Sägetechnologien zu optimieren, um Schnittverluste zu reduzieren und die Bruchfestigkeit zu erhöhen. Weiterhin geht es um den Übergang zu größeren (von jetzt 100 mm2 zu 400 mm2) und dünneren (von jetzt 200-300 |im zu 100 um) Waferformaten. Mittel- bis langfristiges Ziel ist die Entwicklung neuer Techniken zur Waferherstellung ohne Sägeprozess, z. B. durch Silizium- Folienziehen und Silizium-Gießen, damit die für die Massenproduktion notwendigen Materialeinsparungen und Kostenreduktionen realisiert werden können.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bei den Silizium-Solarzellen konzentrieren sich darauf, die bereits im Labor erreichten Wirkungsgradsteigerungen durch verbesserte Prozesstechniken auch in der Produktion zu realisieren. Darüber hinaus sind neue Solarzellenkonzepte zu erforschen, die die Anforderungen an die künftige Massenproduktion erfüllen. Die Zell- und Modulherstellung ist insgesamt darauf auszurichten, dass der Energieeinsatz in der Produktion reduziert und umweltbelastende Stoffe vermieden werden. Neben diesen technischen Entwicklungen ist die Qualitätssicherung bei Modulen zu verbessern. Ziel ist es, über eine Lebensdauer von mindestens 25 Jahren eine Produktionsnennleistung von mindestens 90% aufrecht zu erhalten. Schließlich sind auch Fragen des Recyclings zu untersuchen.

Dünnschichttechnik

Die gegenwärtig in Entwicklung befindlichen Technologielinien zeichnen sich durch eine sehr heterogene technologische Reife aus. Am weitesten entwickelt ist die des amorph/mikrokristallinen Siliziums. Hier zielt die Weiterentwicklung auf die Verbesserung des noch zu geringen Modulwirkungsgrades und der noch unbefriedigenden Abscheiderate. Bei den Cadmiumtellurid-Modulen werden die Entwicklungspotenziale, unabhängig von den zu beachtenden ökologischen Aspekten beim Cadmium, als nicht sehr groß eingeschätzt. Die CIS-Technologie befindet sich zur Zeit noch weit von der industriellen Umsetzung entfernt, wird aber langfristig neben der kristallinen Silizium-Dünnschicht-Technologie mit am aussichtsreichsten eingeschätzt. Sie bilden daher einen Schwerpunkt der Forschungsförderung.

Insgesamt muss die künftige Forschung bei der Dünnschicht-Technologie darauf ausgerichtet werden, den bisherigen Rückstand in der produktionstechnischen Reife gegenüber den marktbeherrschenden Dickschicht-Silizium-Solarzellen aufzuholen. Ein grundsätzlicher Entwicklungsbedarf besteht bei den Fertigungstechniken. Zum einen sind die Prozesse auf größere Flächen, höhere Prozessausbeute und auf die Weiterentwicklung der Anlagentechnik auszurichten. Zum anderen geht es darum, die Abscheiderate zu erhöhen und den Material- und Energieverbrauch zu senken. Wie bei den Dickschicht-Solarzellen sind Aspekte der Langzeitstabilität zu untersuchen und stabilere Dünnschichtstrukturen zu entwickeln.

Bei den kristallinen Silizium-Dünnschichtsolarzellen sind die im Labor auf teuren Wafersubstraten erzielten hohen Wirkungsgrade zu übertragen auf preis-

wertere und großflächige Fremdsubstrate, damit auch hier eine industrielle Umsetzung realisiert werden kann.

Eine wichtige Rolle in der Forschung werden auch künftig neue, innovative Zellkonzepte spielen. Dazu gehören z. B. Multispektralzellen, Tandemzellen, Injektionszellen, organische Solarzellen sowie Farbstoffzellen. Um langfristig auch diesen Solarzellen-Konzepten eine Entwicklungschance zu bieten, werden die hierzu notwendigen Aktivitäten vor allem auch in der Grundlagenforschung (s. Kap. 2.4.I.I.) weitergeführt. Forschungsziele sind dabei die Übertragbarkeit in einen industriellen Fertigungsmaßstab, die Dauerbeständigkeit und die Umweltverträglichkeit.

Die Grafik auf der linken Seite verdeutlicht, welche Solarzellenkonzepte kurz-, mittel- bzw. langfristig zur technologischen Reife geführt werden können.

Systemtechnik

Künftige Forschungsarbeiten sind insbesondere auf die Systemtechnik für dezentrale Netzstrukturen, auf die Anpassung der Leitungselektronik an die künftigen Modulgenerationen und auf die Standardisierung großer und mittelgroßer Inselsysteme sowie die Entwicklung von sicheren, umweltfreundlichen und preiswerten Energiespeichern mit ausreichender Lebensdauer auszurichten.

Ökologische Begleitforschung

Insbesondere für Photovoltaikanlagen auf Freiflächen sind ökologische Begleitforschungsarbeiten auf die Erfassung von Auswirkungen des Baus und Betriebs der Anlagen, einschl. ökologische Mindestanforderungen und begleitende Akzeptanzforschung auszurichten.

2.2.2 Windenergie

Die Stromerzeugung aus Windenergie hat in den letzten Jahren in Deutschland einen beträchtlichen Zuwachs erfahren. Ende 2003 waren in Deutschland Anlagen mit einer Leistung von ca. 15.000 MW installiert, das neunfache gegenüber 1996. Die Energieerzeugung aus Windstrom betrug im Jahr 2003 über 3,1% des Stromverbrauches Deutschlands. Es wird erwartet, dass die Stromgestehungskosten von derzeit rd. 12 ct/kWh insbesondere im Wind-Offshore- Bereich bei zügigem Ausbau stark sinken und 2020 zwischen 3 und 5 ct/kWh liegen könnten.

Die bis heute in Deutschland vorherrschende Technik der Windenergieanlagen (WEA) ist durch den Einsatz von WEA an Land geprägt und kann nur auf Betriebserfahrungen von gut einem Jahrzehnt zurückblicken. Dieser für Technologieentwicklung relativ kurze Zeitraum war mit einem schnellen Wachstum der Rotordurchmesser (von 15 auf 90 m) sowie größeren Nabenhöhen (von 25 auf über 100 m) und damit einer enormen Leistungssteigerung verbunden. Die durchschnittliche Leistung neuer WEA ist pro Anlage von 160 kW im Jahr 1990 auf über 1.500 kW im Jahr 2003 gestiegen.

In wichtigen Bereichen (z. B. Windkraft an Land, Gründung und Montage, Aerodynamik bei Rotoren, Generatoren) ist die Technik inzwischen ausgereift. Dies ging einher mit dem Trend zur Installation von leistungsstarken WEA im Bereich der 2-3 MW-Klasse. Erste Prototypen mit 4,5-5 MW installierter Leistung befinden sich im Probebetrieb.

Mit dem Übergang auf See ist für die Windenergieerzeugung eine große technologische Herausforderung und ein notwendiger Quantensprung in ihrer Entwicklung verbunden. Bisher liegen weltweit nur wenige Erfahrungen bei der Windstromerzeugung auf See vor. Diese Erfahrungen wurden mit Onshore-WEA in überwiegend küstennahen Bereichen gewonnen und sind nur eingeschränkt auf die deutschen Windparkgebiete in Nord- und Ostsee übertragbar. Diese befinden sich in der ersten Ausbaustufe größtenteils in einer Entfernung von 40 bis 100 km von der Küste bei Wassertiefen von bis zu 40 m. Es ergeben sich somit zahlreiche neue technische und nichttechnische Anforderungen, die vor allem aus den geophysikalischen Bedingungen auf hoher See, der großen Entfernung zu den Servicezentren und der Netzanbindung resultieren.

Im Mittelpunkt der künftigen Windenergie- Forschung stehen vor diesem Hintergrund zum einen die technologiespezifischen Probleme beim Ausbau im Offshore-Bereich und zum anderen die Verbesserung der gesellschaftlichen Akzeptanz sowie der naturverträgliche Ausbau der Windenergienutzung auf See und an Land.

Technikforschung

Künftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Technik sind insbesondere auf die Kostenreduktion und die Steigerung des Ertrags von WEA on- und offshore sowie auf die verstärkte Automatisierung bei der Herstellung und Errichtung der WEA auszurichten.

Im Offshore-Bereich sind Aussagen zur Technik der Windenergieanlagen sowie zu deren Wirtschaftlichkeit, Betriebskosten bzw. Wartungsmanagement gegenwärtig noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Bevor Windparks im großen Maßstab errichtet werden, muss sichergestellt sein, dass die Anlagen unter den rauen Bedingungen auf See dauerhaft zuverlässig betrieben werden können. Das erfordert sowohl die Anpassung der WEA an die Bedingungen auf ho-

her See als auch die Entwicklung offshore-spezifischer Technologien, die zur Minimierung der auf See gegebenen höheren Kosten und Risiken für die Stromerzeugung führen. Entwicklungen der Offshore- Windkraft werden in der Regel auch dem Onshore-Bereich zugutekommen.

Unter den Gesichtspunkten Kostensenkung und Ertragssteigerung stehen on- und offshore Forschungsaktivitäten im Vordergrund, die auf eine höhere Verfügbarkeit der Anlagen abzielen. Dazu gehören Vorhaben zur Regelungs-, Steuerungs- und Überwachungstechnik (z. B. Fehlerfrüherkennung), die Materialforschung (z. B. im Hinblick auf Gewichtsreduzierung und Langlebigkeit) sowie das Wartungs- und Reparaturmanagement.

Weitere zentrale Ansatzpunkte zur Kostensenkung insbesondere im Offshore-Bereich sind Forschungsaktivitäten auf folgenden Gebieten:

- Tragstrukturen wie Fundament und Turm (ca. 25-50 % der Investition einer WEA im Offshore-Bereich),
- Reduktion des Anlagengewichts (vorwiegend der Gondel bzw. des Triebstranges),
- neue Gründungskonzepte (z. B. sichere Verankerung im Boden, schwimmende Gründung),
- Reduktion von Strukturbelastungen im Triebstrang und in der Turmkonstruktion,
- Automatisierung bei Herstellung (z. B. Rotorblätter), Montage, Betriebsführung und Wartung der Windenergieanlagen,
- Konzepte zur Montage und Logistik.

Von entscheidender Bedeutung für den weiteren Ausbau der Windenergie ist darüber hinaus die Integration ins Netz. Forschungsbedarf besteht hier zur Netzanbindung von Offshore-Windparks, zu Fragen des Last- bzw. Engpassmanagements, zu windenergiespezifischen Fragen der Speicherung (vgl. hierzu auch BMWA-Forschung zu Speichertechnologien, Kapitel 2.1.1.3) sowie zu verbesserten Windprognosen.

Weitere wichtige Themenfelder für Forschung und Entwicklung sind:

- die Recyclingfähigkeit der Anlagen,
- die Verknüpfung von Windenergieanlagen mit anderen Aktivitäten (z. B. Wellenkraft, Wasserstoffherstellung, Meerwasserentsalzung, Fischzucht),
- extreme Wind-und Wellenereignisse (Vorhersage, Berücksichtigung bei der Konzeption der Anlagen),
- sowie die Weiterentwicklung kleiner
- Windanlagen für dezentrale Energiekonzepte in Entwicklungsländern.

Ökologische Begleitforschung

Von entscheidender Bedeutung ist, dass der Ausbau der Windenergie umwelt- und naturverträglich erfolgt. Daher wird der ökologischen Begleitforschung ein hoher Stellenwert im Rahmen der Forschungsaktivitäten eingeräumt.

Im Bereich der Offshore-Windenergienutzung stehen dabei mögliche Auswirkungen von Windenergieanlagen auf den Vogelzug (z. B. Beeinflussung der Routen, Kollisionsrisiko), auf Seevögel (z. B. durch Lebensraumverlust), auf Meeressäuger (z. B. durch Schallemissionen), auf die Tier- und Pflanzenwelt des Meeresbodens (Benthos), sowie auf Fische im Vordergrund. Zur Bewertung der Auswirkungen auf die marinen Ökosysteme (u. a. durch Lärm, elektromagnetische Felder, Erschütterungen) und den Vogelzug sollen bau- und betriebsbegleitend Untersuchungen durchgeführt und Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen entwickelt und auf ihre Wirksamkeit überprüft werden.

Bedeutend ist darüber hinaus die Erforschung von kumulierenden Wirkungen, die u. a. durch Windparks, Schiffe, die Fischerei und die Gewinnung von Bodenschätzen verursacht werden. In diesem Zusammenhang sollen sowohl Emissionen als auch Veränderungen des Lebensraumes betrachtet werden. Ziel ist es, auf der Basis einer Bestandsaufnahme Bewertungsmodelle und Maßnahmen zur Vermeidung- und Verminderung möglicher Auswirkungen zu entwickeln und Belastungsgrenzen zu erarbeiten.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Vernetzung von Forschungsvorhaben und Daten (Einrichtung von Datenbanken und Verknüpfung mit geographischen Informationssystemen, digitaler ökologischer Atlas). Dabei ist die Gewährleistung einer hohen Qualität der Daten von besonderer Bedeutung.

Bei den Windenergieanlagen an Land gilt es, vor dem Hintergrund der wachsenden Höhe der Anlagen und einer weiteren Zunahme von Standorten die Auswirkungen auf Vögel und Fledermäuse (u. a. Meideverhalten, Kollisionshäufigkeiten) weiter zu untersuchen und geeignete Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen zu entwickeln. Gerade bei den Windenergieanlagen an Land spielen im übrigen Akzeptanzfragen eine wichtige Rolle.

Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee

Eine wichtige Rolle für den Offshore-Bereich spielt die Forschung auf Plattformen. Auf der in der Nordsee stehenden Forschungsplattform FINO1 sind Messdaten zu Windereignissen, Zeitreihen von Gezeiten, Seegang und Strömung zu erheben und auszuwerten. Daraus sind Modelle für eine optimierte Bemessung der Gesamtkonstruktion aus Gründung

und WEA abzuleiten. Weitere Messplattformen in Nord- und Ostsee sind in Planung.

Auch im Rahmen der ökologischen Begleitforschung kommt den Plattformen eine bedeutende Rolle zu. Die Erfassung des maritimen Lebensraums (u. a. Vogelzuggeschehen) kann räumlich in den für die Offshore-Windenergienutzung vorgesehenen Meeresgebieten und zeitlich vor dem Bau von Windparks sowie im Rahmen des Genehmigungsprozesses erfasst werden. Darauf aufbauend gilt es dann, naturschutzfachliche Bewertungsgrundlagen und Prognosemodelle weiterzuentwickeln.

2.2.3 Hochtemperatur-Solarthermie

In solarthermischen Kraftwerken wird Sonnenlicht durch Spiegelsysteme auf einen Absorber gebündelt und die dort erzeugte Hochtemperaturwärme mit Hilfe konventioneller Technik (z. B. Dampfturbinen) zur Stromproduktion genutzt. Je nach Art der Spiegelsysteme werden Parabolrinnenkraftwerke, Turmkraftwerke und dezentrale Einheiten wie Dish-Stirling-Systeme unterschieden. Die verschiedenen Technologien zur solarthermischen Stromerzeugung befinden sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien. In allen Bereichen sind deutsche Unternehmen bzw. Forschungseinrichtungen beteiligt und nehmen teilweise eine internationale Spitzenposition ein.

Als Standorte kommen hauptsächlich die trockenen und heißen Zonen der Erde südlich des 40. Breitengrades mit einem hohen Direktstrahlungsanteil in Frage. Dort sind solarthermische Kraftwerke die effizienteste Technik, um die Energie der Sonne zur Stromerzeugung zu nutzen. Sie werden daher in der Energieversorgung der Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Für Mitteleuropa bietet die Technologie langfristig die Option, nachhaltig erzeugten Strom durch Importe aus den Ländern des Sonnengürtels der Erde zu beziehen. Solarthermische Kraftwerke können einen wichtigen Beitrag leisten, die langfristig weltweit erforderlichen Minderungen der Treibhausgasemissionen zu erreichen.

In Regionen mit einem hohen Anteil von diffusem Sonnenlicht, wie z. B. Deutschland, sind solarthermische Kraftwerke nicht geeignet, da nur die direkte Sonnenstrahlung mittels Spiegeln gebündelt werden kann. Dennoch hat Deutschland unter klimapolitischen wie auch unter industriepolitischen Gesichtspunkten ein hohes Interesse an Solarkraftwerken. Neben den USA ist Deutschland führend in der Technologieentwicklung. In Deutschland können nicht nur die High-Tech-Komponenten solarthermischer Kraftwerke hergestellt, sondern auch System- und Standortanalysen bis hin zur vollständigen Systemauslegung durchgeführt werden.

Um die weltweite Markteinführung solarthermischer Kraftwerke zu ermöglichen und deren Stromgestehungskosten von jetzt rd. 12-15 ct/kWh auf unter 6 ct/kWh zu reduzieren, wurde die „Global Market Initiative“ auf den Weg gebracht. Diese verfolgt das Ziel bis 2015 weltweit solarthermische Kraftwerke mit einer Kapazität von etwa 5000 MW zu errichten. Auf der Weltkonferenz für erneuerbare Energien im Juni 2004 in Bonn wurde die Initiative durch multilaterale Vereinbarungen unterstützt und in das internationale Aktionsprogramm aufgenommen.

Forschung und Entwicklung im Bereich solarthermischer Kraftwerke umfasst sowohl die Grundlagenforschung (s. Kap. 2.4.1.1) als auch die anwendungsorientierte Forschung bis hin zur Demonstration innovativer Technologien.

Im Fokus künftiger Forschungsaktivitäten steht die Weiterentwicklung marktnaher Technologien mit dem Ziel, die Kosten weiter zu senken bzw. die Erträge - z. B. über höhere Wirkungsgrade - zu steigern. Wichtig ist, darüber hinaus eine hohe Zuverlässigkeit der Anlagen zu gewährleisten sowie die Lebensdauer der Systeme und einzelner Komponenten zu erhöhen.

Als entscheidende Voraussetzung für die Markteinführung aller Technologielinien gilt es, die Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen voranzutreiben. Diese liefern Betriebserfahrungen und damit die notwendigen Erkenntnisse für die Qualifizierung und für weitere Optimierungen. Dies umfasst auch Herstellungs-, Fertigungs- und Montageverfahren sowie die Automatisierung von Betriebs- und Wartungsabläufen.

Technologieübergreifend ist die Energiespeicherung als Forschungsschwerpunkt relevant. Speicher erhöhen die Kapazität der Kraftwerke sowie die Verfügbarkeit der Solarenergie und wirken somit ertragssteigernd. Forschungsbedarf besteht bei thermischen

Speichern für sämtliche Technologielinien solarthermischer Stromerzeugung sowie bei der chemischen Speicherung konzentrierter Solarstrahlung. Die bei der chemischen Speicherung erzeugten Brennstoffe (z. B. Wasserstoff) können einem konventionellen Kraftwerksprozess zugeführt werden.

Von entscheidender strategischer Bedeutung für Forschung und Entwicklung im Bereich konzentrierender Solarsysteme ist der Zugang zum spanischen Forschungszentrum Plataforma Solar de Almeria in Andalusien. Die langjährige Forschungskooperation zwischen dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt und mit dem spanischen Betreiber CIEMAT gilt es zu sichern und im Hinblick auf zukünftige Projekte auszubauen.

Über diese grundsätzlichen Ausführungen hinaus stellen sich für die einzelnen Technologiefelder die Forschungsaktivitäten wie folgt dar:

Parabolrinnenkraftwerke

Parabolrinnenkollektoren verwenden als Wärmeträgermedium ein synthetisches Thermoöl, das sich beim Durchgang durch den Kollektor auf knapp 400 °C erwärmt und dann durch einen Wärmeüberträger zur Dampferzeugung fließt. Diese Technologie ist zurzeit am nächsten an der Markteinführung. Deutsche Hersteller haben das in den kalifornischen Solarkraftwerken erprobte Kollektordesign unter dem Namen EuroTrough weiterentwickelt und bei laufenden Betrieb wissenschaftlich untersucht. Es wurden Wirkungsgradverbesserungen von bis zu 10 % erzielt.

Im Hinblick auf die Ziele Ertragssteigerung und Kostensenkung ist bei der Parabolrinnentechnologie die Erhöhung der Kollektorbetriebstemperatur von derzeit 400 °C auf über 500 °C ein wichtiges Forschungsziel. Dabei besteht Forschungsbedarf einerseits in der Grundlagenforschung, z. B. in der Entwicklung hocheffizienter und temperaturbeständiger Absorberschichten. Andererseits gilt es, in der anwendungsnahen Forschung Kollektorsysteme zur direkten Dampferzeugung zu untersuchen und weiter zu entwickeln.

Ein weiteres wichtiges Forschungsanliegen ist es, den Bau und Betrieb des ersten Parabolrinnen-Demonstrationskraftwerks in Spanien (ANDASOL) wissenschaftlich zu begleiten. Dabei geht es darum, Erfahrungen beim Betrieb eines kommerziellen Kraftwerkes zu sammeln und einzelne Komponenten wie auch das Gesamtsystem weiterzuentwickeln.

Vielversprechende Ergebnisse lieferten die bisherigen Untersuchungen zu dem der Parabolrinne ähnlichen Konzept der Fresnel-Kollektoren. Bislang konnten hierzu aber noch keine praktischen Erfahrungen zu Wirkungsgraden, Kosten und Zuverlässigkeit des Systems gesammelt werden. Weitere Forschungsarbeiten setzen an diesen Punkten an, zielen auf die technisch-wirtschaftliche Optimierung von Fresnel-Kollektoren und sehen einen Prototyptest vor.

Solarturmkraftwerke

Bei Solarturmkraftwerken wird die Sonnenstrahlung durch ein Feld einzeln nachgeführter Spiegel (Heliostate) auf die Spitze eines Turms konzentriert, wobei Temperaturen bis 1.000 °C entstehen können. In der Turmspitze befindet sich ein Strahlungsempfänger (Receiver), der die Strahlung in Wärme umwandelt. Diese wird in einem konventionellen Kraftwerksprozess zur Stromerzeugung genutzt. Bislang steht jedoch die Markteinführung von Turmkraftwerken noch aus. Das größte Hindernis besteht darin, dass noch keine Referenzanlage existiert, die das technische und finanzielle Risiko für ein breites privatwirtschaftliches Engagement kalkulierbar macht.

Es gilt, die technische Demonstration von Turmkraftwerken unter realistischen Betriebsbedingungen umzusetzen und wissenschaftlich zu begleiten. Im Vordergrund stehen dabei effiziente Luftreceiversysteme, die in Deutschland entwickelt und auf der Plataforma Solar de Almeria erfolgreich getestet wurden. Forschungsbedarf besteht in der Optimierung von solaren Kraftwerkskomponenten sowie bei der Einkopplung der Hochtemperaturwärme in Dampf- bzw. Gasturbinenprozesse.

Dish-Systeme

Bei dieser Technik werden ein Paraboloid-Spiegel Konzentrator und eine kleine stromerzeugende Einheit (z. B. Stirlingmotor) in einem System kombiniert und der Sonne zweiachsig nachgeführt. Paraboloid-Dish-Anlagen stehen als Prototypen im Leistungsbereich zwischen 5 und 50 kWel zur Verfügung. Derzeit werden auf dem Gebiet der Dish-Stirling Systeme neben

Komponentenentwicklungen auch Demonstrationsanlagen an fünf unterschiedlichen Standorten weltweit von der Bundesregierung unterstützt.

2.2.4 Niedertemperatur-Solarthermie

Mit Sonnenkollektoren wird die Strahlung der Sonne im Niedrigtemperaturbereich zur Wassererwärmung und Raumheizung, zur solaren Klimatisierung oder für Prozesswärme in der Industrie genutzt. Die thermische Solartechnik hat in Deutschland insbesondere dank des Marktanreizprogramms der Bundesregierung zur Förderung erneuerbarer Energien in den vergangenen Jahren einen deutlichen Aufschwung erreicht. Mit derzeit insgesamt 5,6 Millionen m2 installierter Kollektorfläche ist Deutschland europaweit führend. Allein in 2003 stieg die installierte Fläche gegenüber dem Vorjahr um 54%. In den vergangenen 12 Jahren hat sich die installierte Solarkollektorfläche verzehnfacht und haben sich die Anlagenkosten halbiert. Die größten Potenziale werden dabei bis 2020 zu rd. 60 % im Bereich der Ein- und Zweifamilienhäuser und zu rd. 30 % im Mehrgeschosswohnungsbau zusammen mit dem Ausbau solarer Nahwärmenetze erwartet. Darüber hinaus wird sich ihre Anwendung zunehmend auch auf den gewerblichen Prozesswärmemarkt ausdehnen.

Der bislang erreichte Stand der Niedertempera tur-Solarthermie ist Ergebnis der langjährigen Forschungsarbeiten unter dem Förderkonzept „Solarthermie2000“, bei dem insbesondere Technologien für Großanlagen, d. h. größer als 100 m2 Kollektor-

fläche, entwickelt und umfassend erprobt wurden. Die Ergebnisse dieser Langzeituntersuchungen werden wie folgt zusammen- gefasst:

- Die Lebensdauer solarthermischer Systeme liegt bei über 20 Jahren.
- An großen Solaranlagen zur Wassererwärmung wurden Energieerträge von 450 bis 600 kWh/m2 erzielt, die solaren Nutzwärmekosten lagen bei 0,13 €/kWh.
- An den Demonstrationsanlagen zur solarunterstützten Nahwärmeversorgung von Neubausiedlungen mit Ganzjahreswärmespeicher und hohen solaren Deckungsanteilen von 30-50 % am Gesamtwärmebedarf lagen die Nutzwärmekosten je nach Anlagengröße zwischen 0,17 und 0,45 €/kWh.
- Damit konnten große solarthermische Anlagen zur solar unterstützten Warmwassererwärmung zur Marktreife geführt werden. Die Ergebnisse haben zudem gezeigt, dass bei einer effizienten Systemauslegung günstige solare Erträge und solare Nutzwärmekosten nahe an der Wirtschaftlichkeit (0,12 €/kWh) erreichbar sind.

Darüber hinaus haben die bisherigen Erkenntnisse gezeigt, dass eine isolierte Betrachtung der solarthermischen Anlage und darauf abzielende Forschungsarbeiten zu kurz greifen und stattdessen eine Gesamtbetrachtung erforderlich ist. Zunächst gilt es, den Wärmebedarf zu reduzieren. Danach muss das konventionelle Energieversorgungssystem unter Berücksichtigung der Einbindung einer Solaranlage an den reduzierten Bedarf angepasst werden.

Die unter dem o. g. Förderkonzept „Solarthermie 2000“ durchgeführten Messprogramme haben diese Systemmängel erkannt und Möglichkeiten zur technischen und ökonomischen Optimierung der Solartechnik selbst als auch zu deren Einbindung in die konventionelle Heiztechnik aufgezeigt.

Die Systemtechnik für große solarthermische Anlagen zur solar unterstützten Warmwasserbereitstellung ist mittlerweile weitgehend ausgereift. Systemschaltungen mit Solarpufferspeicher und Entladung über externe Wärmetauscher haben sich besonders bewährt. Darüber hinaus sollte eine Funktions- und Ertragskontrolle bei größeren Anlagen Stand der Technik sein.

Zentrales Ziel künftiger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist die weitere deutliche Reduzierung der Kosten. Dazu bedarf es neuer Materialien, verbesserter Komponenten und kostengünstigerer Systeme sowie einer optimierten Auslegung des Gesamtsystems. Darauf aufbauend ist es erforderlich, Großanlagen für höhere solare Deckungsanteile (10-30 % am Gesamtwärmebedarf bzw. bis 60 % für Anlagen mit saisonaler Speicherung) zu entwickeln und zu erproben. Hierfür müssen Wassererwärmung, Raumheizungsunterstützung und Systeme zur solaren Klimatisierung miteinander kombiniert werden. Nur so ist ein höherer Anteil der Solarthermie am Gesamtwärmeverbrauch zu erreichen.

Die Forschungsförderung konzentriert sich deshalb auf drei große Anwendungsgebiete: Solarthermie in Einzelgebäuden, solare Nahwärme und solare Prozesswärme.

Solarthermie im Einzelgebäude

Generelle Ziele der Weiterentwicklung solarthermischer Anlagen für Gebäude sind sparsamer Ressourcenverbrauch, hohe Qualität sowie Langlebigkeit der Systeme. Zusätzlich ist die Entwicklung standardisierter Prüfverfahren für Wirkungsgrade bzw. Energieeinsparung sowie Langzeitstabilität voranzubringen.

Bei der Kollektorherstellung sind angesichts zu erwartender Kupferverknappung alternative Materialien mit guter thermischer Leitfähigkeit, hoher Temperaturbeständigkeit und Korrosionsfestigkeit zu untersuchen. Neben den Kollektoren sind die Speicher als zentrale Komponente der Erschließung erneuerbarer Energien zu verbessern. Die Entwicklungen zielen auf höhere Energiedichte im Speicher und nahezu verlustfreie, langfristige Speicherung durch Einsatz von Phasenwechselmaterialien und Vakuumdämmung. Da die derzeitige Solarsystemtechnik als eigenständiges System ausgelegt ist, muss deren Weiterentwicklung auf die Integration der Solaranlage in das Gesamtwärmesystem im Gebäude ausgedehnt werden.

Besonderer Forschungsbedarf besteht im Zusammenhang mit der Altbausanierung. Hier stellt die Integration solarthermischer Anlagen besonders bei Mehrfamiliengebäuden erheblich höhere Anforderungen als beim Neubau, da der bauliche Aufwand größer ist und die Solaranlage in das bereits vorhandene Energieversorgungs- und -Verbrauchssystem eingebunden werden muss.

Solare Nahwärme

Künftiger Forschungsbedarf besteht hier vor allem bei der hydraulischen bzw. regelungstechnischen Einbindung großer Kollektorfelder in bestehende Nah- und Fernwärmenetze, der Erschließung und technischen Weiterentwicklung von solaren Nahwärmenetzen, der konzeptionellen Forschung mit dem Ziel der Kostensenkung auf dem Gebiet der Langzeit-Wärmespeicherung und der Entwicklung integraler Konzepte in Richtung einer CO_2-freien Energieversorgung.

Hierzu bedarf es der Entwicklung hocheffizienter Kollektoren, um die Wärmeversorgung auf höherem Temperaturniveau mit hohem solarem Deckungsanteil bei guter Wirtschaftlichkeit erschließen zu können. Während die gegenwärtige Kollektortechnik auf maximalen Solarertrag ausgerichtet war, ist zukünftig die Bereitstellung eines jahres- und tageszeitabhängigen Vorlauftemperaturniveaus notwendig, was neue Ansätze für die Hydraulik und Regelungstechnik erfordert.

Um hohe solare Deckungsanteile von mehr als 50 % zu erreichen, sind Langzeit-Großspeicher zu entwickeln, deren Wirtschaftlichkeit mit dem Volumen zunimmt (z. B. hocheffiziente Erdbecken-Wärmespeicher).

Die Entwicklung der Systemtechnik in diesem Anwendungsbereich ist zum einen auf die bestmögliche Kombination solarthermischer Systeme mit anderen CO_2-freien Wärmeerzeugungstechniken ausgerichtet, z. B. mit Biomasse-Heizkesseln, zum anderen auf die optimale Einbindung der Solarenergie in die bestehenden Wärmenetze. Dies kann mit Simulationsrechnungen zur Auslegung und Ertragsprognose unterstützt werden.

Solare Prozesswärme

Der Einsatz solarthermischer Systeme für die Prozesswärme bei Temperaturen von ca. 100 °C bis ca. 250 °C erfordert weitere Entwicklungsarbeiten an hocheffizienten Kollektoren, um die Wärmeverluste deutlich zu senken. Hier müssen die Erfahrungen aus der Prozesstechnik in die solare Anwendung übertragen werden. Neben der Kollektorweiterentwicklung müssen kostengünstige und hochtemperaturgeeignete Solarfluide entwickelt werden. Auch hinsichtlich der Speichertechnik und der Systemintegration besteht weiterer Forschungsbedarf zur Nutzung der Solarthermie als Prozesswärme. Weitergehende künftige Anwendungsfelder sind z. B. Systeme zur solaren Meereswasserentsalzung oder auch energieautarke Komplettsysteme.

2.2.5 Geothermie

Die Nutzung der Erdwärme steht in Deutschland noch weitgehend am Anfang. Hier sind die in Japan, Island oder den USA vorhandenen günstigen geologischen Bedingungen nicht in gleichem Umfang gegeben.

Auf Grund der relativ günstigen Temperaturcharakteristik, der geologischen Situation aber auch der wirtschaftlichen Struktur ist auf absehbare Zeit für kommerzielle geothermische Kraftwerke in erster Linie der Oberrheingraben von Interesse. Im Norddeutschen Becken sowie im Süddeutschen Molassebecken, aber auch in Regionen mit kristallinem Gestein zielt die Forschung vor allem darauf ab, auch bei niedrigeren Fließraten oder/und geringeren Temperaturen einen wirtschaftlichen Betrieb von Geothermieanlagen zu ermöglichen.

Um die geothermische Stromerzeugung näher an den Markt heranzuführen, müssen die Kosten und Risiken bei der Erschließung der geothermischen Energie weiter gesenkt werden. Die Forschungsförderung kann hierzu wichtige Beiträge leisten. Den entscheidenden Kostenblock der geothermischen Stromerzeugung bildet die Bohrung. Bis durch Bohrungen verlässlich nachgewiesen wird, in welchem Umfang Wärmeenergie und später Strom gewonnen werden können, sind bereits bis zu 80 % der gesamten Investitionskosten angefallen. Die Bohrungen stellen daher ein hohes Investitionsrisiko dar. Ein Schwerpunkt der bisherigen Förderung liegt darin, dieses Risiko zu reduzieren.

Dazu müssen die Verfügbarkeit der geologischen Grunddaten verbessert und die geophysikalischen Methoden zur Lagerstättenerkundung optimiert werden. So gibt es eine Fülle von Daten aus Bohrungen der Öl- und Gasexploration, die für die Anforderungen der Geothermie entsprechend gesichert und aufbereitet werden müssen. Auch gilt es, die Verfahren zur Bestimmung der Größe und der Eigenschaften nutzbarer Lagerstätten weiterzuentwickeln.

Um die Bohrkosten zu senken, muss darüber hinaus die Untertagetechnik weiter verbessert werden. Dazu müssen die heute vor allem aus der Erdöl- und Erdgasexploration verfügbaren Techniken und Verfahren weiterentwickelt und an die spezifischen Erfordemisse der Geothermieexploration bekannten Techniken und Verfahren angepasst werden. Neue Verfahren zur Nutzung geothermischer Energie, u. a. zur Stimulation der hydraulischen Bedingungen, - müssen anforderungsspezifisch entwickelt werden. Dabei müssen sie insbesondere auch im Hinblick auf Kosten und Wirkungsgrade optimiert werden.

Im Einzelnen stellt sich der diesbezügliche Forschungsbedarf wie folgt dar:

- Ergänzung und Überarbeitung der Temperatur-Datenbank durch Temperaturmessungen in Bohrungen, durch Bereitstellung unveröffentlichter Temperaturdaten sowie die verfeinerte Kartierung der Untergrundtemperaturen;
- Erfassung und Kartierung aller verfügbaren Daten zu den hydraulischen Eigenschaften der Heißwasser-Aquifere, auch unter Einsatz geostatistischer Methoden;
- Entwicklung und Erprobung von Untersuchungsverfahren und Berechnungsmodellen in der Bohrlochphysik zur Entwicklung naturwissenschaftlicher Vorhersageverfahren;

- Ermittlung und Monitoring von seismischen Risiken, ökologische Begleitforschung;
- Weiterentwicklung von Explorationsverfahren zur Prognose der Aquifereigenschaften und damit des nutzbaren Wärmestroms;
- Weiterentwicklung von Technologien zu mechanischen (Frac) und chemischen (Säure) Methoden zur Konditionierung geothermisch interessanter Gebiete;
- Erprobung von Stimulationsverfahren in Pilot- und Demonstrationsvorhaben bei unterschiedlichen Standortbedingungen. Dazu finanziert das BMU ein von der BGR und dem GGA durchgeführtes Projekt „GeneSys“ (Generierte Geothermische Energie Systeme), bei dem unter Anwendung moderner Frac-Technik aus der Hot-Dry-Rock-Forschung nachgewiesen werden soll, dass die Gewinnung geothermischer Energie aus tiefen Sedimentgesteinen auch an vielen Orten/Lokationen in Norddeutschland möglich ist.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich des dauerhaften Betriebs eines Geothermie-Projektes (z. B. Reservoirmanagement, d. h. optimale Nutzung einer Lagerstätte) und der Projektentwicklung (z. B. Standortwahl).

Angesichts der hohen Kosten der einzelnen Geothermieprojekte ist eine Konzentration auf ausgewählte Forschungsvorhaben mit umfassender wissenschaftlicher Begleitung unerlässlich. Diese Vorhaben müssen zum einen hydrothermale Verfahren abdecken und zum anderen Verfahren berücksichtigen, bei denen Wärmetauschersysteme künstlich geschaffen werden (Hot-Dry-Rock-Verfahren). Parallel zu den Mehrlochverfahren sind Methoden zur Erdwärmegewinnung aus gering permeablen Gesteinen mit Einbohrlochverfahren zu untersuchen. Hierdurch kann insbesondere eine weitgehende Standortunabhängigkeit für eine breite Nutzung ermöglicht werden.

In der aktuellen Lernphase ist eine ganzheitliche und lückenlose wissenschaftliche Betreuung von technologisch und geologisch anspruchsvollen Projekten zwingend erforderlich. Erst auf der Basis umfassend bewerteter Vorhaben in den verschiedenen geologischen Strukturen und mit unterschiedlichen geothermischen Technologien und Nutzungsmöglichkeiten können Modelle für Übertragungsmaßstäbe abgeleitet werden, die eine Entscheidungsfindung bei der kommerziellen Nutzung der Geothermie erleichtern.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt bei der Energieumwandlung. Die anlagetechnischen Systeme der geothermischen Stromerzeugung befinden sich noch weitgehend im Entwicklungs- und Optimierungsstadium. Bei der Kraftwerkstechnik gibt es anlagentechnische Optimierungs- (ORC-Prozess) und Weiterentwicklungspotenziale (Kalina-Prozess) die unter den realen Bedingungen in Deutschland abzuarbeiten sind. So dient auch das 2003 in Betrieb gegangene erste geothermische Kraftwerk mit einer elektrischen Leistung von max. 230 kW in Neustadt-Glewe vorrangig dazu, Betriebserfahrungen mit dieser Technologie zu gewinnen.

Im Rahmen der ökologischen Begleitforschung geht es vor allem um Untersuchungen der Beeinträchtigungen von Grundwassersystemen und eventuelle Rückwirkungen auf grundwasserabhängige Lebensräume sowie um umwelterhebliche Auswirkungen durch Veränderungen geologischer Gegebenheiten (z. B. auf das Bodengefüge) oder durch oberflächennahe Anlagen. Die Wirkung der geologisch begründeten natürlichen Radioaktivität der genutzten Medien ist zu untersuchen.

2.2.6 Wasserkraft und Nutzung der Meeresenergie

Die Wasserkraft ist für die Stromversorgung neben der Windenergienutzung die wichtigste regenerative Energiequelle in Deutschland. Im niederschlagsarmen Jahr 2003 betrug ihr Anteil am Stromverbrauch 3,5% (bei Pumpspeicherkraftwerken nur Stromerzeugung aus natürlichem Zufluss) bzw. 20.350 GWh. Insbesondere im Grundlastbereich nimmt die Wasserkraftnutzung im Energiemix eine wichtige Rolle ein.

Die Technik der Wasserkraftanlagen ist weitgehend ausgereift. Technische Neuerungen bei Turbinen und der Generatorenanordnung verbessern insbesondere den Wirkungsgrad. Im Vordergrund der Forschungsaktivitäten steht allerdings die umwelt- und naturverträglichere Gestaltung von Wasserkraftanlagen.

In den letzten Jahren wurden dazu verschiedene technische Gestaltungsweisen von Wasserkraftanlagen untersucht und erprobt, z. B. sog. fischfreundliche Turbinen, über- und unterströmbare Wasserkraftwerke oder Staudruckmaschinen. Diese können z. T. ökologische Vorteile gegenüber herkömmlichen Wasserkrafttechniken aufweisen. Es gibt jedoch bisher in der Praxis noch keine neuen Techniken, die eine vollständige Durchgängigkeit des Gewässers gewährleisten.

Auch künftig bedarf es daher der Forschung zur ökologischen Optimierung von Wasserkraftanlagen. Dazu gehören neben den Auswirkungen auf Fische auch die Auswirkungen auf sensible Auenbereiche.

Sonderformen der Wasserkraftnutzung - Energie aus dem Meer

Im Gegensatz zur konventionellen Wasserkraftnutzung auf dem Festland befindet sich die Nutzung der Energie des Meereswassers weltweit noch im An-

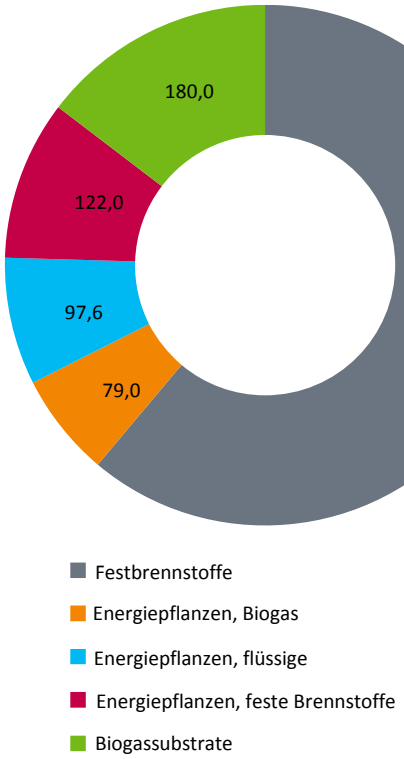


Abb.: Potenziale für die Bioenergie in Deutschland in PJ/a
Annahme: Der Anbau von Energiepflanzen erfolgt auf 2 Mio. ha/Jahr, wobei jeweils 1/3 der vorgenannten Fläche zur Bereitstellung der festen, flüssigen und gasförmigen Biobrennstoffe genutzt werden. Quelle: [1]

fangsstadium, obwohl das globale Potential, aus Gezeiten-, Strömungs- und Wellenkraftwerken Energie zu gewinnen, sehr hoch ist. Sowohl der Tidenhub (das periodische Fallen und Steigen des Wassers) als auch der Energiegehalt der Wellen können für die elektrische Energiegewinnung genutzt werden.

Die bestehenden Systeme zur Wellenenergienutzung befinden sich alle mehr oder weniger in der Entwicklungsphase, so dass noch nicht abzusehen ist, welche Technologien sich durchsetzen können. Dementsprechend groß ist hier noch der Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Ein neuer Ansatz besteht darin, Meeresströmungen, seien sie von den Gezeiten, von Wassertemperaturgefällen oder von unterschiedlichen Salzgehalten in den Meeren hervorgerufen, mit Hilfe von Strömungsgeneratoren, ähnlich wie bei einem Windrad, zur Stromerzeugung zu nutzen. Ein Vorteil dieser Energiequellen gegenüber der regenerativen Energienutzung aus Wind und Sonne besteht in der zeitlich recht konstanten Bereitstellung von Energie.

Die Zukunft solcher Anlagen liegt insbesondere in Regionen mit einem relativ konstanten, starken Strömungsmuster und Wellenklima. Als geeignete Standorte in Europa gelten die Küsten Großbritanniens, Irlands, Norwegens, Spaniens, Frankreichs und Portugals. Aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeiten, der geringen Wellenhöhe und des geringen Tidenhubs ist die Gewinnung von Energie aus Meeresströmung in der deutschen Nord- und Ostsee wirtschaftlich nicht vielversprechend.

International angelegte Forschungsvorhaben, die sich u. a. mit der Anpassung der Windkraft-Technologie an die spezifischen Verhältnisse im Meer auseinandersetzen, sollten verstärkt gefördert werden. Als gelungenes Beispiel für ein solches Forschungsvorhaben ist ein britisch-deutsches Projekt zu nennen, das die durch Gezeiten verursachten Meeresströmungen vor der Küste Cornwalls nutzt. Hier wird mit einer 300 kW- Anlage die Gezeitenströmung in 20 Metern Tiefe zur Stromerzeugung genutzt.

2.2.7 Ökologische Begleitforschung

Ziel der Bundesregierung ist es, den Ausbau der erneuerbaren Energien umwelt- und naturverträglich zu gestalten. Der Erhalt der biologischen Vielfalt, des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes sowie ein naturverträglicher Hochwasserschutz spielen daher im Rahmen der Ausbaustrategie der Bundesregierung für erneuerbare Energien eine wichtige Rolle. Damit wird auch eine breite Akzeptanz für den Ausbau der erneuerbaren Energien gewährleistet.

Vor diesem Hintergrund wurde die ökologische Begleitforschung im Rahmen der Forschung für erneuerbare Energien in den vergangenen Jahren verstärkt und wird auch künftig auf hohem Niveau fortgesetzt. Zur ökologischen Begleitforschung gehören die Erprobung und Entwicklung langfristig wirksamer Vorkehrungen und Standards, um einen naturverträglichen Ausbau der erneuerbaren Energien sicherzustellen, einschließlich geeigneter Ausgleichsmaßnamen sowie die ökologische Optimierung der Technologien.

Dabei werden folgende Schwerpunkte gesetzt:

- Naturschutzfachliche Abschätzung der Auswirkungen des Ausbaus und der Nutzung erneuerbarer Energien auf die biologische Vielfalt, auf den Naturhaushalt und das Landschaftsbild;
- Abschätzung der Wertschöpfungspotentiale erneuerbarer Energien für naturverträgliche Regionalentwicklung;
- Naturschutzfachlich und landschaftsästhetisch verträglicher Anbau von Biomasse zur energetischen Nutzung (inkl. Akzeptanzforschung);
- Untersuchung und Ermittlung möglicher Synergien zwischen Naturschutz/ Landschaftspflege und der energetischen Nutzung von Landschaftspflegeschnitt-Potenzialabschätzung und Nutzungsmöglichkeiten;

- Festlegung von naturschutzverträglichen Entnahmegrenzen von Reststoffen, insbesondere von Waldrestholz;
- Ökologische Begleitforschung zu Windenergie, Solarenergie, Geothermie und Wasser (siehe Unterkapitel 2.2.1-2.2.6).

2.2.8 Übergreifende Forschungsthemen für erneuerbare Energien

Neben den o. g. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den einzelnen Sparten der erneuerbaren Energien sind Querschnittsfragen zunehmend von Bedeutung. Dabei geht es um die ökologische Optimierung des Ausbaus der erneuerbaren Energien, um wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Untersuchungen und um die optimale Integration der erneuerbaren Energien in das Gesamtenergiesystem.

Ökologisch optimierter Ausbau der erneuerbaren Energien:

- Szenarien zur Erschließung der Potenziale der erneuerbaren Energien unter Beachtung der Anforderungen von Umwelt- und Naturschutz und zur Erreichung quantitativer Ziele des Ausbaus der erneuerbaren Energien, einschl. Fragen der Ökobilanzen und Stoffstromanalysen sowie der Umweltverträglichkeit,
- Aufbau eines Monitoring- und Zielerreichungssystems zum Ausbau der erneuerbaren Energien unter Gesichtspunkten des Umwelt- und Naturschutzes,
- Fragen der Technikbewertung, Technikentwicklung und der Technikfolgenabschätzung,

Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Untersuchungen:

- Kosten der erneuerbaren Energien im Vergleich zu anderen Techniken,
- Erarbeitung von Lernkurven hinsichtlich zeitlicher Entwicklung der Technik und der Degression der Kosten,
- Berücksichtigung externer Effekte, wie Umwelt- und Klimakosten,
- Auswirkungen der erneuerbaren Energien auf Produktions- und Dienstleistungsmärkte sowie auf die Beschäftigung,
- Methodologische Fragen von Daten und Statistiken im Bereich der erneuerbaren Energien,
- Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz von erneuerbaren Energien,
- Sozialwissenschaftliche Konzepte zur Erhöhung des Bewusstseins für erneuerbare Energien.

Integration der erneuerbaren Energien in das Gesamt-Energiesystem:

- Einordnung in die gesamte Energieversorgungsstruktur,
- Zusammenwirken des Ausbaus der erneuerbaren Energien mit stärkerer Energieeffizienz und Energieeinsparung,
- Integration der erneuerbaren Energien im Stromsektor: Angebots- und Nachfragemanagement, Vernetzung und Einsatz von Kommunikations- und Informationstechniken zur Regelung, Regelenergie, Reserveenergie, Energiespeicherung und Versorgungssicherheit des Stromsystems,
- Umstrukturierung des Kraftwerksparks im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien,
- Erneuerbare Energien und Wärmeversorgung,
- Dezentralisierung, Vernetzung und Harmonisierung in der Energieversorgung,
- Untersuchungen zum Einsatz von Kraftstoffen und Antrieben im Verkehr,
- Wechselwirkungen mit anderen Politikfeldern.

2.2.9 Haushaltsmittel

Für die Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der „erneuerbaren Energien“ sind für den Zeitraum 2005-2008 insgesamt Mittel in Höhe von 345,5 Mio. € vorgesehen. Diese Mittel sollen für anwendungsorientierte Einzelprojekte, Verbund- und Clustervorhaben sowie Demonstrationsvorhaben genutzt werden.

Ist	Soll[13]	Plandaten[14]			
2003	2004	2005	2006	2007	2008
67.798	60.083	80.394	83.366	88.366	93.366

BMU-Projektförderung „erneuerbare Energien“ (in Tsd. €)

Literatur

[1] Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechtes der erneuerbaren Energien, 2004

[2] Bundesregierung (2002): Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung

13 inkl. Mittelverstärkung bis zu einer Höhe von 15,0 Mio. € durch Einsparungen bei Kapitel 1602 Titel 686 24 „Förderung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ (Marktanreizprogramm)

14 ab 2005: inkl. Mittelverstärkung bei Kapitel 1602 Titel 686 24 „Förderung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ (Marktanreizprogramm)

[3] BMU (2004): Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung

[4] Nitsch, J.; et. al. (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, Studie des DLR, ifeu, WI im Auftrag des BMU

[5] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2003): Welt im Wandel-Energiewende zur Nachhaltigkeit

2.3 Energieforschung BMVEL

2.3.1 Ausgangslage

Die Energieversorgung Deutschlands und der meisten anderen Industriestaaten basiert heute noch weitgehend auf fossilen Energieträgern. Insbesondere die Endlichkeit der fossilen Energieträger und ihre Wirkungen auf Umwelt und Klima machen die verstärkte Erschließung erneuerbarer Energien zur Sicherung der künftigen Energieversorgung notwendig. Bedingt durch steigende Preise für fossile Energieträger und die durch die Bundesregierung deutlich verbesserten Rahmenbedingungen hat die Nutzung regenerativer Energieträger in den vergangenen Jahren in Deutschland deutlich zugenommen.

Ihr Anteil am Primärenergieverbrauch konnte von 1,3% in 1990 auf 3,1 % im Jahre 2003 mehr als verdoppelt werden. Im Konzert der erneuerbaren Energien ist die Bioenergie derzeit die wichtigste Energiequelle. 62 % (einschl. Klärgas) der im Jahre 2003 erzeugten regenerativen Endenergie stammt aus Biomasse. Damit liegt die Biomasse deutlich vor der Wasserkraft (17,9 %) und der Windkraft (16,3 %). Energie aus Biomasse trug 2003 mit 1,9 % zur Deckung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland bei. Von der erzeugten Bioenergie entfielen 80,4 % auf die Wärme, 10,0 % auf den Strom und 9,5% auf Kraftstoffe.

Unter den Biomasse-Energieträgern kommt Holz die weitaus größte Bedeutung zu. Holz trägt zu ca. 50 % zur regenerativen Energieversorgung in Deutschland bei. Die energetische Nutzung von Holz ist damit wichtiges Element einer nachhaltigen und ökonomisch sinnvollen Nutzung unserer Wälder. Rapsmethylester (Biodiesel) als bisher einziger in größerem Umfang auf dem Markt verfügbarer Biokraftstoff machte im Jahre 2003 5,9 % des Aufkommens der erneuerbaren Energien aus. Die Produktionskapazität wächst sehr schnell und hat inzwischen die 1 Mio. Tonnen-Marke in Deutschland überschritten. Die Anbaufläche von Raps für die Biodieselherstellung ist in den letzten Jahren rasch gestiegen. Im Jahre 2003 wurde allein auf 540.000 ha, das sind rund 4,6 % der Ackerfläche, Raps zur Biodiesel-Erzeugung angebaut. Stark steigende Bedeutung zeigt auch die Biogaserzeugung, die vor allem zur Stromerzeugung genutzt wird. Die Zahl der Anlagen hat sich seit 1999 von ca. 850 auf über 2.000 Anlagen mehr als verdoppelt. Der größte

Teil der Anlagen wurde dabei in landwirtschaftlichen Betrieben errichtet.

Die Erzeugung von Bioenergie ist für viele Land- und Forstwirte inzwischen zu einem wichtigen wirtschaftlichen Standbein geworden. Darüber hinaus stärkt sie Wertschöpfung und Beschäftigung im ländlichen Raum. Im Bioenergiesektor insgesamt wurden in 2003 aus dem Anlagenbetrieb Umsatzerlöse von schätzungsweise 510 Mio. € bei der Stromerzeugung, ca. 490 Mio. € beim Biodiesel und mindestens 280 Mio. € bei der Erzeugung von Wärme erzielt. Im Bereich der Bioenergie wurden im Jahre 20031,6 Mrd. € investiert. Der Gesamtumsatz der Bioenergiebranche (Erlöse plus Investitionen) betrug 2003 rund 2,9 Mrd. €. Ca. 29.000 Arbeitsplätze sind hier entstanden.

2.3.2 Potenziale der Bioenergie

Das technisch erschließbare einheimische Potenzial der energetischen Nutzung von Biomasse in Deutschland beträgt ca. 1.230 PJ/a (s. Grafik rechts). Das sind rund 8,5% des derzeitigen Primärenergieverbrauchs. Dieses Potenzial resultiert aus folgenden Quellen:

- Die größten Potenziale liegen im Holzbereich. Die tatsächliche Holznutzung für stoffliche und energetische Zwecke beträgt nur etwa zwei Drittel des jährlichen Holzzuwachses. Nur die energetische Nutzung von Gebrauchtholz und Altholz ist heute bereits insbesondere aufgrund der Anreize des Erneuerbare- Energien-Gesetzes (EEG) weitgehend ausgeschöpft. Waldrestholz wird dagegen bisher nur zu einem Bruchteil genutzt.
- Zusätzliche Potenziale, die bisher nicht ausgeschöpft werden, liegen im Anbau von schnellwachsenden Baumarten. Im Bereich der festen Biomasse könnten außerdem durch energetische Verwertung von Stroh, Ganzpflanzen und minderwertigem Getreide weitere Potenziale erschlossen werden.
- Diese Potenzialbetrachtung unterstellt zusätzlich den Anbau von Energiepflanzen auf 2 Mio. ha/Jahr, wobei jeweils 1/3 der vorgenannten Fläche zur Bereitstellung der festen, flüssigen und gasförmigen Biobrennstoffe genutzt werden.
- Das bedeutendste Substrat der Biogaserzeugung ist die Gülle. Biogas aus Gülle ermöglicht zugleich eine deutliche Verminderung von klimaschädlichen Emissionen und Geruchsemissionen. Ein zusätzliches Potenzial zur Biogaserzeugung kann durch die Verwertung von speziell angebauten

Energiepflanzen genutzt werden. Durch die aktuelle Änderung des EEG wird dieser Weg zur Erzeugung von Biogas voraussichtlich deutlich zunehmen. Die derzeitige Potenzial-Ausschöpfung bei Biogas wird auf lediglich rund 4% geschätzt.

Flüssige Brennstoffe wie Pflanzenölmethylester werden über den gezielten Anbau von Energiepflanzen erzeugt. Der Anbau von 2 Mio. ha Energiepflanzen - das sind rund 17 % der Ackerfläche in Deutschland - ist möglich. Davon könnte ein großer Teil für die Treibstofferzeugung genutzt werden. Zum Vergleich: Im Jahr 2004 wurden in Deutschland auf mehr als 700.000 ha Energiepflanzen zur Erzeugung flüssiger Treibstoffe angebaut. Das Potenzial der Biokraftstoffe erhöht sich erheblich, wenn auch biogene Reststoffe zur Herstellung von synthetischen Biokraftstoffen verwendet werden.

Die tatsächliche Nutzung von Bioenergie ist bisher im Wesentlichen auf Rest- oder Abfallstoffe beschränkt. Ausnahmen bildet die Verwertung bestimmter Holzsortimente und der Kraftstoffbereich. In dieser Entwicklung spiegeln sich die unterschiedlichen Kosten der Bioenergieträger wider. Neuere Untersuchungen

liefern Hinweise für deutlich höhere Potenziale, die unter geeigneten Rahmenbedingungen erreicht werden können.

2.3.3 Forschungsbedarf bei der Bioenergie

Damit die Bioenergie ihren möglichen Beitrag zur nachhaltigen Deckung des Energiebedarfs zukünftiger Generationen leisten kann, ist die Entwicklung von modernen Verfahren und Technologien zu deren Nutzung erforderlich. Die Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der Bioenergie ist seit 2003 Bestandteil des Programms „Nachwachsende Rohstoffe“ des BMVEL [3]. Bioenergietechnologien können mithelfen, Deutschland als Wirtschafts- und Technologiestandort zu stärken und neue Exportmärkte zu erschließen. Gerade im Hinblick auf die Energieversorgung der wachsenden Weltbevölkerung ist es eine wichtige Aufgabe für die Industrieländer, geeignete Technologien auch für die Energieversorgung der Schwellen- und Entwicklungsländer zu erforschen.

Die Bioenergie spielt in vielen Ländern der Welt noch eine besondere Rolle. Sehr häufig ist die Bioenergie die einzige Energieform, die zur Verfügung steht. Die Technologien zur Bioenergienutzung sind dabei in der Regel nicht weit entwickelt, so dass ineffiziente Energienutzung und erhebliche Gesundheitsbeeinträchtigungen sowie Umweltbelastungen mit der Bioenergienutzung verbunden sind.

Insgesamt ist festzustellen, dass in Deutschland eine eigenständige wissenschaftliche Forschungstradition für Bioenergie geringer entwickelt ist als in anderen EU-Mitgliedstaaten wie Finnland, Schweden, Dänemark oder Österreich, bei denen die Bioenergie traditionell eine größere Rolle spielt. Die Struktur der Wirtschaft im Sektor Bioenergie in Deutschland ist gekennzeichnet durch überwiegend kleine und kleinste Unternehmen, die sehr häufig über die Entwicklung eines Bioenergieprodukts erst entstanden sind. Deren Forschungsmöglichkeiten sind begrenzt. Die deutschen Großunternehmen der traditionellen Energiewirtschaft haben sich bisher weniger um die Bioenergie bemüht. Um ihren Bedarf an modernen Erzeugnissen für die Bioenergiemärkte zu decken, werden die benötigten Produkte von Kleinunternehmen zugekauft. In jüngster Zeit ist aber eine zunehmende Forschungs- und Entwicklungstätigkeit im Bioenergiesektor auch bei großen Energietechnikunternehmen festzustellen.

Um vorhandene Lücken zu schließen und die Bioenergie für Wärme-, Strom- und Treibstoffzwecke energetisch effizient, kostengünstig und auf einem hohen Umweltschutzniveau nutzen zu können, ist insgesamt eine deutliche Intensivierung der Forschung erforderlich.

Unter Berücksichtigung energiewirtschaftlicher und agrarpolitischer Fragestellungen sieht die Bundesregierung insbesondere dort Forschungsbedarf, wo es um die Erschließung bisher weitgehend ungenutzter Bioenergiepotenziale und um neue effiziente, umweltfreundliche und kostengünstige Verfahren zur Bereitstellung und Nutzung von Bioenergieträgern geht. Schwerpunkte für die zukünftige Forschungstätigkeit werden beispielsweise in folgenden Bereichen gesehen:

Entwicklung neuer Kraft-, Wärme- (Kälte) Kopplungstechniken

Die Stromerzeugung mit Bioenergie erfolgt in der Regel in kleinen Anlagen, deren Wirkungsgrade im Vergleich mit Großanlagen noch bescheiden sind. Es bestehen Ansätze für innovative Technologien, die erhebliche Entwicklungspotenziale bieten.

Weiterentwicklung von Anbau- und Ernteverfahren für spezielle Energiepflanzen

Während die Pflanzenbautechnologien für die Nahrungsmittelerzeugung einen hohen Stand erreicht haben, fehlen für viele Energiepflanzen noch optimierte Technologien von der Saat über die Ernte bis zur Bereitstellung am Ort der Nutzung.

Demonstration erfolgreicher Bioenergieverfahren in der Praxis

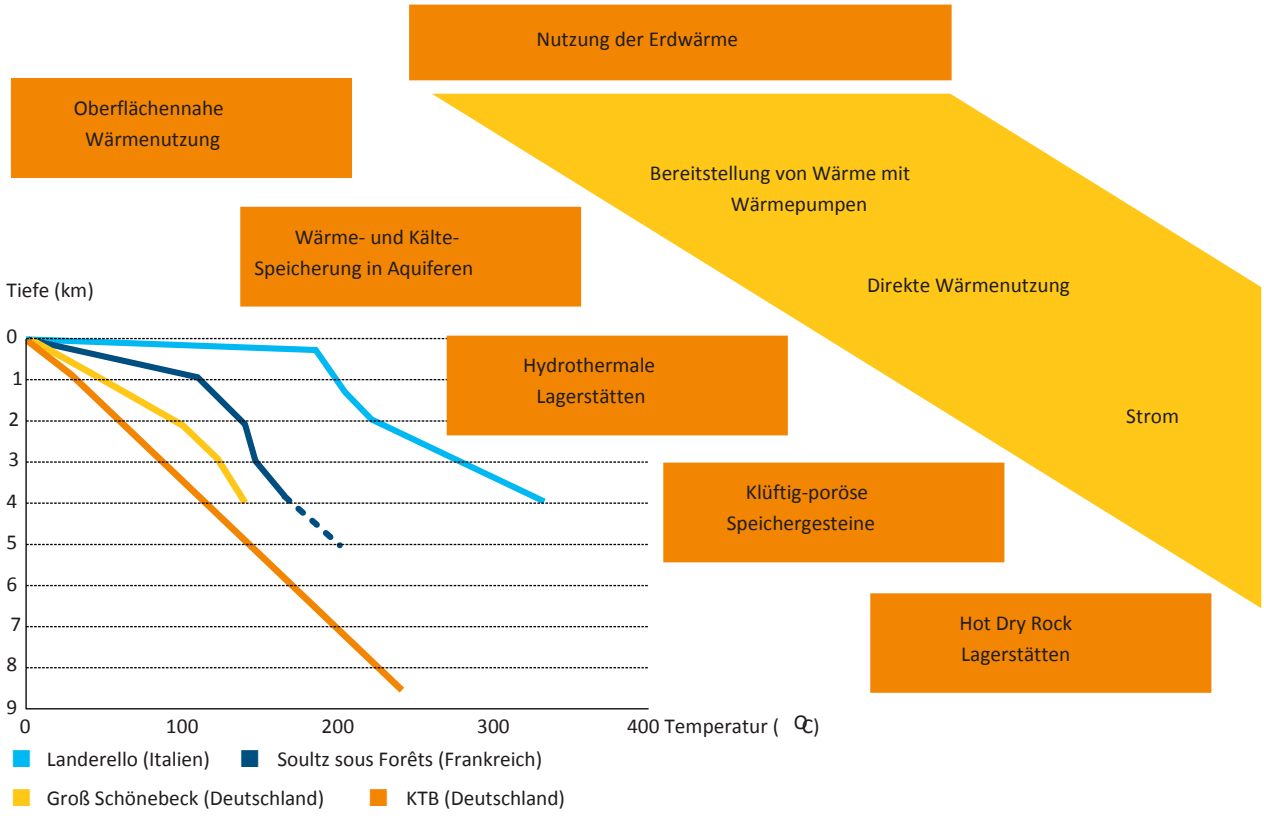


Abb.: Nutzung von Erdwärme

Neu entwickelte Verfahren begegnen sehr oft Misstrauen hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit. Daher besteht Bedarf der Förderung derartiger Demonstrationsanlagen.

Grundlegende Erforschung des Verbrennungs-und Vergasungsverhaltens von Biomasse

Während das Verbrennungsverhalten der fossilen Energieträger intensiv erforscht wurde, fehlen derartige Arbeiten für die Biomasse weitgehend. Um zu optimalen Technologien zu gelangen, ist eine vertiefte Kenntnis der besonderen Verbrennungs- und Vergasungseigenschaften von Biomasse notwendig.

Verringerung der Emissionen von Biomasseanlagen, insbesondere von Kleinanlagen

Bioenergieanlagen sind unter Umweltaspekten nur akzeptabel, wenn sie möglichst schadstoffarm arbeiten. Die deutliche Zunahme von kleinen Biomassefeuerungen in der Beheizung von Wohnungen erfordert noch weitere Verbesserung der Emissionen dieser Kleinanlagen.

Verbesserung der Vergasungstechnologie von Biomasse

Weltweit werden Versuche unternommen, die Vergasung von Biomasse zu einem zuverlässigen Verfahren zu entwickeln. Dies erscheint interessant, weil die Wirkungsgrade der Stromerzeugung aus Biomasse über die Technologie der Gasmotoren bzw. Gasturbinen deutlich effizienter sein kann als die traditionellen Verfahren. Außerdem wächst das Interesse zur Erzeugung von synthetischen Fahrzeugtreibstoffen über die Vergasung von Biomasse.

Wasserstofferzeugung aus Biomasse

Als langfristige Option einer schadstofffreien Energienutzung wird Wasserstoff gesehen. Biomasse bindet viel Wasserstoff, allerdings sind derzeit noch keine Verfahren entwickelt, diesen Wasserstoff bedarfsgerecht aus der Biomasse zu lösen. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf.

Weiterentwicklung synthetischer BtL-Treibstoffe

Derzeit arbeiten mehrere Gruppen an der Herstellung synthetischer Fahrzeugtreibstoffe durch die Vergasung von Biomasse und Herstellung von Fischer-Tropsch- Kraftstoffen bzw. Methanol. Die Verfahren haben bislang aber noch nicht die für die Praxiseinführung notwendige Reife erreicht. Angesichts der erheblichen Bedeutung der Mobilität für unser

Gesellschaftssystem ist hier dringend Entwicklungsbedarf gegeben.

Mikrobiologische Grundlagenforschung beim Biogasprozess

Der derzeitige Stand der Biogasnutzung wurde überwiegend von den Erfahrungen aus dem Bau von Anlagen gewonnen. Vertiefte wissenschaftliche Kenntnisse über die mikrobiologischen Prozesse fehlen bisher. Um die Anlagen effizienter betreiben zu können, müssen diese Lücken geschlossen werden.

Weiterentwicklung der Biogastechnologie

Der derzeitige Stand der Biogastechnik ist empirisch gewachsen. An vielen Stellen deutet sich noch ein Optimierungspotenzial an, das durch Forschung und Entwicklung erschlossen werden muss.

2.3.4 Haushaltsmittel

Für die projektorientierte Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet „Bioenergie“ sind für den Zeitraum 2005-2008 Mittel in Höhe von 40 Mio. € vorgesehen.

Ist	Soll	Plandaten			
2003	2004	2005	2006	2007	2008
5.422	5.117	10.000	10.000	10.000	10.000

BMVEL-Projektförderung „Bioenergie“ (in Tsd. €)

Literatur

[1] Hartmann, H.; Kaltschmitt, M. (2002): Biomasse als erneuerbarer Energieträger, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 3, Münster

[2] Nitsch, J.; et. al. (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, Studie des DLR, ifeu, WI im Auftrag des BMU

[3] BMVEL (2003): „Nachwachsende Rohstoffe“, Programm zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben

2.4 Energieforschung BMBF

Der Schwerpunkt des BMBF in der Energieforschung liegt bei der institutionellen Förderung. Das BMBF ergänzt damit in enger Abstimmung die Projektförderung des BMWA, BMU und BMVEL. Projektförderung und institutionelle Förderung bilden eine Symbiose, wobei die institutionelle Förderung sich vorwiegend auf langfristige Aspekte, wichtige wissenschaftliche Fragestellungen und auf komplexe Probleme konzentriert, die nur in einer größeren Forschungseinrichtung gelöst werden können und aufgrund relativ großer Marktferne besonderes staatliches Handeln notwendig machen.

Das Hauptgewicht der institutionellen Förderung des BMBF liegt mit mehr als 210 Mio. € in 2004 bei den Großforschungseinrichtungen, die sich zur Helmholtz- Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) zusammengeschlossen haben. Zu einem geringeren Teil bearbeiten die Wissenschaftsorganisationen Max-Planck-Gesellschaft, Fraunhofer-Gesellschaft oder Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz energieforschungsrelevante Themen. Daneben fördert das BMBF im Rahmen seiner Projektförderung Netzwerke zum Thema „Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung“ (Vernetzungsfonds) und weitere Vorhaben in einer Reihe von Fachprogrammen, die jährlich zusammen mit mehr als 15 Mio. € zu Buche schlagen.

2.4.1 Institutionelle Förderung

Die Helmholtz-Zentren haben die Aufgabe, große und drängende Fragen von Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft unter Einsatz wissenschaftlicher Infrastrukturen und Großgeräte sowie im Verbund mit Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen zu lösen. Die HGF verfügt über die Kapazitäten, um komplexe Probleme in der notwendigen fachlichen Breite und der nötigen Intensität der Bearbeitung anzugehen.

Die institutionelle Förderung im Rahmen der HGF folgt den Prinzipien einer programmorientierten Förderung. Dazu wurden insgesamt sechs Forschungsbereiche gebildet, darunter der Forschungsbereich „Energie“. Innerhalb des letzteren wirken sechs Forschungszentren zusammen: Das Deutsche Zentrum

für Luft- und Raumfahrt (DLR), das Forschungszentrum Jülich (FZJ), das Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), das GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ), das Hahn-Meitner Institut (HMI) und das Max-Planck-Ins- titut für Plasmaphysik (IPP).

Der Forschungsbereich „Energie“ der HGF stimmt sich in Verbünden und in Netzwerken durch Konzentration auf großforschungsspezifische Aspekte arbeitsteilig und kooperativ ab, insbesondere im Forschungs Verbund Sonnenenergie (FVS), im Kompetenzverbund Kerntechnik und damit verbundenen internationalen Kooperationen und Gremien sowie im Rahmen der europäischen Fusions-Assoziationen.

Im Forschungsbereich „Energie“ werden vier Programme verfolgt:

- Erneuerbare Energien
- Rationelle Energieumwandlung
- Nukleare Sicherheitsforschung
- Fusionsforschung

Systemanalytische Arbeiten zur Nutzung und Bereitstellung von Energie werden in den Zentren DLR, FZJ und FZK durchgeführt. Sie befassen sich mit Fragen wie dem Übergang von der gegenwärtigen zu einer primär durch erneuerbare Ressourcen bestimmten zukünftigen Energiewirtschaft oder mit der Rolle, die die Fusion langfristig spielen kann. Wirtschaftliche, soziale und ökologische Aspekte, d.h. die drei Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung, sowie institutionelle Randbedingungen werden dabei möglichst gleichwertig berücksichtigt.

Die in Programmen bearbeiteten Themen sind bestimmt durch ihren Disziplinen übergreifenden Charakter und ihre hohe Komplexität. Dies prädestiniert sie für eine interdisziplinäre und kontinuierliche Bearbeitung in großen Arbeitsgruppen, denen investitionsaufwändige Ausrüstung zur Verfügung steht wie Großgeräte, Testanlagen für Großkomponenten, hochleistungsfähige Analysesysteme und Rechnerkapazitäten.

In engem Verbund mit den HGF-Zentren leisten die Institute der anderen Wissenschafts- und Forschungsorganisationen MPG, FhG und WGL wichtige Beiträge.

Die strategische Ausrichtung des Forschungsbereichs „Energie“ orientiert sich an den forschungspolitischen Vorgaben der Zuwendungsgeber von Bund und Ländern vom November 2002 [1], Sie tragen insbesondere auch der Tatsache Rechnung, dass die Forschungseinrichtungen gemäß ihrem Gründungsauftrag in erster Linie großforschungsspezifische Themen bearbeiten sollen, die eine langfristige Perspektive haben und aufwändige experimentelle Anlagen erfordern. Sie sehen für die Programmlaufzeit 2004 bis 2008 einen jährlichen Aufwuchs der finanziellen Ausgaben von 1 % vor, der ausschließlich auf die Programme „Erneuerbare Energien“ und „Rationelle Energieumwandlung“ konzentriert werden soll. Dies ermöglicht für beide Programme zusammen einen Aufwuchs während der fünfjährigen Programmlaufzeit um mehr als 15 % (zusätzlich rd. 10 Mio. €). Gleichzeitig haben die Zuwendungsgeber festgelegt, dass die Fusionsforschung ohne steigenden Ansatz durchzuführen ist. Die Programme sollen in angemessener Weise auf Systemanalysen, Markteinschätzungen und auf Überlegungen der praktischen Technologieverwertung gegründet sein.

Den Programmen des Forschungsbereichs liegt eine gemeinsame Strategie zugrunde. Sie ist ausgerichtet auf anspruchsvolle Herausforderungen der Stromerzeugung mit klaren „Zielprodukten“: Strom aus Dünnschicht-Photovoltaik-Zellen, Solarkraftwerken sowie mit Hilfe der Geothermie, hocheffiziente Kraftwerke mit sauberer Verbrennung, Brennstoffzellen, Fusionskraftwerke und Sicherheit bestehender Kernkraftwerke - inklusive deren Entsorgung sowie Endlagerung von radioaktiven Abfallstoffen.

Flankierend werden im Programm „Nachhaltige Entwicklung und Technologie“ des Forschungsbereichs „Erde und Umwelt“ ausgewählte Themen bearbeitet, die auch einen klaren Bezug zur Energieforschung haben. Dazu gehören z. B. die Vergasung trockener und nasser Biomasse, die energetische und stoffliche Nutzung von Abfällen sowie Kohlenstoffmanagement. Ferner integriert das Programm bei der systemanalytischen Forschung zur nachhaltigen Entwicklung viele Technologien, insbesondere auch die der künftigen Energieversorgung.

Die von den Forschungszentren erarbeiteten Entwürfe zu den vier Programmen wurden von internationalen Experten im Rahmen eines Evaluierungsverfahrens strategisch begutachtet. Die Ergebnisse dieser Evaluation wurden Ende 2003 vom Senat der Helmholtz-Gemeinschaft gebilligt und Förderempfehlungen für die Jahre 2004 bis 2008 ausgesprochen, die mit den im Weiteren dargestellten Programmen umgesetzt werden. Insgesamt zeigte sich, dass die Energieforschung der HGF-Zenüen in weiten Bereichen internationale Spitzenleistungen erbringt, mit Blick auf die künftigen Herausforderungen gut aufgestellt ist und in Einklang steht mit politischen Prioritäten zugunsten von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien. Die beschlossenen Programme sind integraler Bestandteil des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung.

2.4.1.1 Erneuerbare Energien

Die im Programm „Erneuerbare Energien“ zusammenwirkenden Helmholtz-Einrichtungen DLR, FZJ, GFZ und HMI widmen sich komplexen Themen, die mit großer Kontinuität bearbeitet werden müssen, ein interdisziplinäres Zusammenspiel vieler Wissenschaftler erfordern sowie investitionsintensiv sind. Neben der Materialentwicklung verlangen auch entsprechende Diagnostik und Modellierung ein hohes Maß an Interdisziplinarität sowie instrumentelle Vielfalt.

Das Programm ist eng abgestimmt mit den Förderkonzepten des BMU auf diesem Gebiet. Entsprechend der strategischen Ausrichtung des Forschungsbereichs „Energie“ konzentriert sich das Programm auf Technologien der Stromerzeugung mit Hilfe erneuerbarer Energien. Diese Schwerpunktsetzung berücksichtigt, dass einige Technologien weiter fortgeschritten sind, schon in der Breitenanwendung sind und die noch erforderliche Forschung und Entwicklung in anderen kompetenten Forschungseinrichtun-

gen oder auch der Industrie durchgeführt werden kann. Die HGF forscht daher z. B. nicht auf den Gebieten der Wind- und Wasserenergien oder der photovoltaischen Wafertechnik.

Forschungsschwerpunkte des Programms „Erneuerbare Energien" sind:

Dünnschicht-Photovoltaik

Die Photovoltaik ist eine Option, die langfristig in nennenswertem Umfang zu einer Energiewende in Richtung nachhaltiger Energieversorgung beitragen kann. Ihr breiter Einsatz kann aber nur erreicht werden, wenn kontinuierliche, langfristig angelegte, breite Vorsorgeforschung sowohl in den Grundlagen der Materialien und Prozesse als auch in den Anwendungen (Solarzellen, Module und Systeme) zu Systemen führt, die die notwendigen beträchtlichen Kostensenkungen bei guten Wirkungsgraden ermöglichen.

Das FZJ und das HMI konzentrieren sich daher auf die Erforschung von Dünnschichttechnologien für Solarzellen von morgen und übermorgen. Von der Dünnschichttechnologie mit Zelldicken von wenigen Mikrometern verspricht man sich wegen des geringeren Materialverbrauchs, einfacherer Prozesstechnik und höherer Produktivität langfristig erhebliche Kostenvorteile.

Aus der Ausrichtung der Forschung des HMI und FZJ auf das Gebiet der Dünnschicht-Photovoltaik leitet sich eine Reihe von Forschungsansätzen ab, die von der Grundlagenforschung bis zur industriellen Umsetzung reichen:

- Dünnschichtsolarzellen aus kristallinem Silizium auf Fremdsubstraten,
- Dünnschichtsolarzellen auf der Basis organischer Halbleitermaterialien sowie
- neuartige Zellenkonzepte mit dem Potenzial zu höheren Wirkungsgraden, z. B. billige polykristalline Multispektralzellen (Tandemzellen).
- Langfristig scheint auch die Einbeziehung komplexerer Strukturen denkbar unter Nutzung von Wissen der Nanotechnologien und Biowissenschaften.

Hochabsorbierende Verbindungshalbleiter und hier insbesondere die Familie der Chalkopyrite [Cu(In,Ga)(S,Se)2] sind als Materialien für Dünnschichtsolarzellen besonders Erfolg versprechend und bilden deshalb einen Schwerpunkt der Arbeiten am HMI. Ein langfristiges Ziel der Arbeiten ist deshalb die Realisierung einer kostengünstigen Multispektralzelle als Dünnschichtzelle mit einem hohen Wirkungsgrad. Eine weitere Langfristoption ist die Entwicklung einer effizienten polykristallinen Multispektralzelle auf einem kostengünstigen Substrat auf der Basis der III-V Halbleiter. Die F&E Arbeiten des HMI werden durch grundlegende Arbeiten zur Klärung der Rolle von Grenzflächen in Solarzellenstrukturen sowie der Analytik von Zellen und Modulen unterstützt. Hier bietet die enge Verbindung der Solarenergieforschung mit der Strukturforschung des HMI am Ionenstrahllabor ISL und am Forschungsreaktor BERII, jedoch insbesondere bei der Grenz- und Oberflächenanalyse an der Synchrotronstrahlungsquelle BESSYII eine einzigartige Komponente, welche auch internationalen Kooperationspartnern als besondere Dienstleistung angeboten werden kann.

Bei der Si-Dünnschichttechnologie liegt der Schwerpunkt der Arbeiten auf Material- und Zellentechnologien mit niedrigen Prozesstemperaturen, die den Einsatz von Glas oder anderen billigen Materialien als Substrat erlauben. Das FZJ konzentriert sich auf die Weiterentwicklung der auf amorphem und mikrokristallinem Silizium basierenden Technologien mit Abscheidetemperaturen unter 250 °C. Langfristiges Ziel sind Stapelzellen (Multispektralzellen) mit Modulwirkungsgraden von mehr als 12 %; dabei wird ein spektral selektives Photonenmanagement angestrebt. Zugleich ist die Technologie zu entwickeln, die ein kostengünstiges Abscheiden bei Temperaturen < 250 °C auf großen Flächen und billigen, flexiblen Substraten gestattet. Dabei kommen industrienahe, kostengünstige Verfahren zum Einsatz, die bezüglich Skalierbarkeit, Durchsatz und Ausbeute weiterentwickelt und optimiert werden. Das HMI verfolgt ein eigenständiges Konzept für Si-Dünnschichtsolarzellen. Dabei liegt der Schwerpunkt der F&E-Arbeiten auf der Entwicklung einer Dünnschichtzelle aus grobkörnigem polykristallinem Si (Korngrößen > 10 pm) auf Fremdsubstraten wie Glas, für deren Realisierung höhere Prozesstemperaturen bis 600 °C und alternative Depositionsverfahren sowie Zellenstrukturen notwendig sind. Die Zusammenarbeit der beiden Arbeitsgruppen bei institutsübergreifenden Themen erfolgt vor allem im Bereich der begleitenden Materialforschung. Verwertungsgeeignete Ergebnisse werden der industriellen Umsetzung bei Partnerfirmen zugeführt, die teilweise bereits während des Forschungs- und Entwicklungsprozesses mitarbeiten.

Konzentrierende solarthermische Systeme

Seit Mitte der achtziger Jahre werden konzentrierende Solarsysteme zur kommerziellen Stromerzeugung in Kalifornien erfolgreich eingesetzt und stellen derzeit die einzige Option dar, solaren Strom großtechnisch zu erzeugen. Nunmehr eröffnet auch die Förderpolitik in Spanien sowie der Weltbank den Weg zu neuen Kraftwerksprojekten, die auf Grund des zwischenzeitlich erzielten technologischen Fortschritts kostengünstiger errichtet werden können. Weitere Kostensenkungen sowie technologisch viel anspruchsvollere Varianten solarthermischer

Stromerzeugung machen Forschung und Entwicklung und die Nutzung großtechnischer Testanlagen weiterhin notwendig.

Die Schwerpunkte des Forschungsprogramms des DLR liegen bei der Entwicklung und Kostensenkung geeigneter Komponenten und Systeme sowie der Erschließung neuer Anwendungsfelder solarthermischer Technologien in den Bereichen Kraftwerkstechnik und Prozesswärmeanwendungen. Beispiele sind die direkte Dampferzeugung in Solarrinnenfeldern, die Integration von Solardampf in konventionelle Gas- und Dampf-Kraftwerke oder von Hochtemperatur-Solarwärme in Gasturbinen. In langfristiger Perspektive werden Optionen der indirekten Speicherung von Solarenergie in Form von Brennstoffen (z. B. als Wasserstoff) untersucht. Hierbei wird ein besonderer Fokus auf thermochemische Prozesse gerichtet.

Mit systemtechnischen und systemanalytischen Arbeiten wird auch die Planung und Errichtung j ener nächsten Solarkraftwerke unterstützt, die unter starker deutscher Industriebeteiligung realisiert werden. Die Arbeiten sind europäisch und global vernetzt und nutzen insbesondere die Plataforma Solar de Almeria in Südspanien in Partnerschaft mit CIEMAT, der spanischen Energie- und Umweltforschungseinrichtung.

Geothermische Technologie

Das geothermische Programm des GFZ umfasst Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Gewinnung von Strom und Wärme aus geothermischer Energie und der Nutzung des Untergrundes als Energiespeicher (Wärme, Kälte). Es beinhaltet Untersuchungen zur Auffindung geeigneter geologischer Strukturen und Horizonte für die Energiegewinnung sowie die Entwicklung von Verfahren zur Stimulierung derartiger Horizonte zur Erhöhung der Produktivität. Es werden Maßnahmen für die langfristige und kostengünstige Förderung der Energie sowie verfahrens- und anlagentechnische Entwicklungsarbeiten zur effektiven obertägigen Nutzung der Energie und operationeilen Überwachung des Gesamtsystems erforscht (s. Grafik S. 66).

Der Schwerpunkt der Arbeiten des GFZ liegt in der Entwicklung neuer Methoden zur Untersuchung und zum Monitoring der untertägigen und obertägigen Prozesse während der Nutzung. Operative Arbeiten in Begleitung von neuen Erschließungstechnologien bilden ein wesentliches Bindeglied zwischen den wissenschaftlichen Untersuchungen und der technischen Umsetzung. Es müssen z. B. innovative Bohrtechnologien und -Strategien mit dem Ziel der Kostenreduktion bei Tiefbohrungen entwickelt werden. Auf der Konversions- und Nutzungsseite sind ferner Forschungsarbeiten zum Thema Strom- und Kälteerzeugung aus Niedertemperaturwärme oder auch zum Thema Abnehmerstrukturen mit speziell für die Nutzung der Geothermie entwickelten Heiznetztechnologien vorgesehen. Im Rahmen fachübergreifender Forschungsprojekte werden neben technischen Fragestellungen auch Wirtschaftlichkeit und technische Realisierbarkeit geothermischer Energiegewinnung behandelt. Auch diese Arbeiten sind über zahlreiche Projekte mit Partnern im In- und Ausland vernetzt.

Auf nationaler Ebene sind die Forschungsprogramme der Helmholtz-Zentren DLR, FZJ, GFZ und HMI seit 12 Jahren thematisch mit den Partnerinstituten innerhalb des FVS abgestimmt und vernetzt. Neben den genannten HGF-Zentren gehören zu diesem Verbund: das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg, das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) in Hameln/Emmerthal, das Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) in Kassel/Hanau, das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden Württemberg (ZSW) in Stuttgart/Ulm. Im FVS stimmen die beteiligten Einrichtungen ihre FuE-Schwerpunkte ab und vertreten sie gemeinsam in der fachlichen und politischen Öffentlichkeit. Der FVS ist heute wichtiger Ansprechpartner einerseits der Industrie und andererseits der Forschungs- und Technologiepolitik. Er stellt im europäischen Vergleich die größte koordinierte Forschungs- und Entwicklungskapazität für die Erschließung erneuerbarer Energien dar. Er dient darüber hinaus als Plattform für zahlreiche Netzwerkaktivitäten, insbesondere für die neue Förderinitiative des BMBF „Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung“.

Für das Programm „Erneuerbare Energien“ sind für den Zeitraum 2005 bis 2008 institutionelle Fördermittel in Höhe von 115 Mio. € vorgesehen.

Ist	Soll	Plandaten			
2003	2004	2005	2006	2007	2008
24.396	26.442	28.267	28.307	28.613	30.271

BMBF-Institutionelle Förderung „Erneuerbare Energien“ (in Tsd. €)

Die Ansätze können sich abhängig von den jährlich zu treffenden Investitionsentscheidungen des HGF-Senats verändern.

2.4.1.2 Rationelle Energieumwandlung

Die im Programm „Rationelle Energieumwandlung“ zusammenwirkenden Helmholtz-Einrichtungen DLR, FZJ und FZK konzentrieren ihre Forschungsaktivitäten auf wesentliche Beiträge zur Kraftwerkstechnik,

der Brennstoffzellen-Entwicklung sowie der Supraleitung. Die Strategie ist grundsätzlich komplementär angelegt zu den vom BMWA verfolgten Schwerpunkten im Rahmen der Projektförderung und zielt auf Synergien mit den anderen fachlich-wissenschaftlichen Arbeitsgebieten und Kompetenzen der Zentren. Sie ist offen für Kooperation und Arbeitsteilung mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen.

Übergreifendes Ziel dieses Forschungsprogramms ist es, neue Ansätze zu entwickeln für die Verbesserung der Wirkungsgrade bei der Bereitstellung elektrischer Energie und für die nachhaltige Minderung toxischer Emissionen. Die Helmholtz-Zentren decken dabei die gesamte Prozesskette von der Verbrennung fossiler Brennstoffe bis zur Stromversorgung ab.

Forschungsschwerpunkte des Programms „Rationelle Energieumwandlung" sind:

Kraftwerkstechnik

Ein Ziel der mittel- bis langfristig angelegten Arbeiten sind verbesserte Wirkungsgrade durch höhere Verbrennungstemperaturen bei verminderter Schadstoffemission und mit verbesserter Zuverlässigkeit der Systeme. Das gelingt nur, wenn Verbrennungsprozesse computergestützt optimiert werden, etwa durch intelligente Verbrennungsführung oder eine optimale Gestaltung des Brennraumes. Dabei gilt es, z. B. die Schadstoffbildung gezielt zu minimieren und die Flammenstabilität zuverlässig im gesamten Lastbereich zu sichern, auch nahe der mageren Verlöschgrenze. Vision ist der präzise Entwurf schadstofffreier Kraftwerke und deren wirtschaftliche Realisierung.

Die Entwicklung eines solchen Entwurfswerkzeuges erfordert die Berücksichtigung mehrerer komplexer Einzelvorgänge, die sich gegenseitig beeinflussen: So ist ein in der Regel turbulentes Strömungsfeld zu koppeln mit der Verbrennungschemie sowie den Transportvorgängen von Verbrennungsprodukten und Wärme. Auch die modernsten Hochleistungsrechner können hierfür keine direkte, vollständige numerische Simulation liefern; es ist daher eine wesentliche Teilaufgabe, die vielen Reaktionen in einer Flamme durch Modellierung auf einen überschaubaren und rechenbaren „Mechanismus" zu reduzieren.

Neben den Experimenten und Modellierungsarbeiten zum Aufbau des Entwurfswerkzeugs sind Validierungsexperimente erforderlich. Dabei werden insbesondere Laserdiagnostik-Verfahren eingesetzt, die es mit hoher Orts- und Zeitauflösung und ohne Störung der Flamme selbst erlauben, Annahmen und Simulationsergebnisse an realen Brennkammern zu überprüfen.

Vorrangige Themen sind von daher:

- Schadstoffarme Verbrennung. Hier geht es um bessere, rechenbare Modelle für die Bildung ausgewählter Schadstoffe (NOx, Ruß, Aerosole). Vision ist das nahezu „Schadstofffreie Kraftwerk".
- Instationäre Verbrennung und Zuverlässigkeit. Hier geht es um die Stabilitätsprobleme von Gasturbinenbrennkammern, die nahe der mageren Verlöschgrenze gefahren werden, um NOx-Emissionen zu mindern. Es geht aber auch um die Betriebssicherheit dezentraler Kraftwerksanlagen.
- Nutzung alternativer Brennstoffe. Ziel ist hier die möglichst saubere Verbrennung von Synthesegas aus Biomasse oder Kohle sowie die Mitverbrennung von Abfällen. Dabei geht es vor allem um das noch wenig bekannte Verbrennungsverhalten unter realen Bedingungen. Zusätzlich sollen ökoeffiziente Kombinationsverfahren der Abfallverbrennung und Kraftwerksfeuerung entwickelt werden.

Auch die Turbomaschinenströmung kann durch weitere Forschung und Entwicklung verbessert werden, im Wesentlichen durch Einsatz effizienter Prozessführung und Optimierung der Gasturbinenkomponenten, Verdichter und Turbinen. Die Arbeiten sind eng mit denen des Luftfahrt-Programms verbunden und umfassen die Beschaufelungen, die Kühlung sowie die Strömung in der Gasturbine. Sie sind kohärent mit den Förderschwerpunkten des BMWA auf diesem Feld und konzentrieren sich auf großforschungsspezifische Aspekte.

Werkstoffe spielen bei der Anhebung von Temperaturen und Wirkungsgraden eine zentrale Rolle, um hohe Temperaturen und korrosive Medien zu beherrschen. Deshalb sind keramische Wärmedämmschichten und metallische Korrosionsschutzschichten für Brennkammerauskleidungen und thermomechanisch hochbelastete Schaufeln mit reproduzierbaren physikalisch-mechanischen Eigenschaften herzustellen, zu bewerten und in heute eingesetzte Werkstoffsysteme zu integrieren.

Folgende Themengebiete sind in Abstimmung mit den Fördervorhaben des BMWA geplant:

- Entwicklung neuer höherfester, einkristallin erstarrter Nickelbasislegierungen der 3. Generation sowie metallischer Hochtemperaturkorrosionsschutzschichten für Temperaturen von > 1100 °C bei hoher Standzeit, sowie neuer keramischer Wärmedämmschichten mit einer Gefügestabilität für Einsatztemperaturen > 1400 °C.
- Größere Komponentenabmessungen. Im Hinblick auf die höheren mechanischen Belastungen sollen große Komponenten homogener Zusammensetzung und mit geringen Defekten in Zusammenarbeit mit den Halbzeugherstellern und Anlagen-

bauern gefertigt und deren Langzeitgebrauchseigenschaften (Kriechen, Ermüdung, Korrosion) für die Auslegung ermittelt werden.
- Dampfkraftwerke mit Wirkungsgraden von deutlich über 50 %. Diese benötigen entsprechend hochwarm und korrosionsfeste Werkstoffsysteme, die neben der Verbrennung von Kohle auch andere Feststoffe und Biomassen erlauben.
- Für Wärmeübertragung und Kühltechnologien sollen neue Oberflächentechnologien entwickelt werden, speziell für die Nutzung biogener Brennstoffe, auch Wärmeaustauscher mit inhärent geringer Verschmutzungsneigung der Heizflächen. Entwicklungsthema sind auch Regeneratoren und Wärmespeicher für diskontinuierlich anfallende Energieströme.

Brennstoffzellen

Forschung und Entwicklung zur Brennstoffzelle ist eine interdisziplinäre Aufgabe, die in ihrer Gesamtheit nur mit vielfältiger Expertise (Materialwissenschaft, Elektrochemie, Festkörperphysik, Physikalische Chemie, Oberflächentechnik, Verfahrenstechnik, Regelungstechnik, Fertigungstechnik etc.) und einer entsprechend gut ausgebildeten Infrastruktur bewältigt werden kann. Sie ist langfristig angelegt und erfordert eine hohe Kontinuität der Forschungsanstrengungen, um letztlich zu technisch zuverlässigen und wirtschaftlich einsetzbaren Systemen zu gelangen. Die von den Helmholtz-Zentren FZJ und DLR - in enger Zusammenarbeit mit Hochschul- und anderen Forschungsinstituten - aufgegriffenen Arbeiten umfassen die Entwicklung von Materialien, Werkstoffsystemen, Einzelkomponenten sowie den Aufbau kompletter Brennstoffzellenstapel (Stacks) und Anwendungssysteme. Wichtige Aufgabenbereiche sind auch geeignete Fertigungstechniken sowie die Bereitstellung brennstoffzellengeeigneter Gase aus anderen Energieträgern. Die Helmholtz-Zentren bearbeiten sowohl die Hochtemperatur-Brennstoffzelle mit Oxidkeramik (SOFC) wie auch die Niedertemperatur-Brennstoffzelle (PEMFC, DM FC) mit Polymermembranelektrolyt.

Schwerpunkte der Forschung und Entwicklung im Helmholtz-Bereich sind:

- Materialien und Werkstoffe. Weiterentwicklung elektronisch und ionisch leitender Werkstoffe einschließlich serienfertigungstauglicher Herstell-, Prüf- und Qualifikationsverfahren mit reproduzierbaren Eigenschaften für metallische und keramische Komponenten, Entwicklung neuartiger Untersuchungsmethoden zur Ermittlung der elektrischen, mechanischen sowie gefüge- und designbedingten Langzeiteigenschaften von Brennstoffzellen-Komponenten und Stacks, Entwicklung gasdichter, thermisch zyklierbarer langzeitstabiler Fügeverbindungen für Hochtemperaturbrennstoffzellen, Aufklärung und Beseitigung der Degradationsmechanismen, einschließlich werkstoffbasierter Lebensdauermodelle, die Entwicklung kostengünstiger und effektiver Katalysatoren, die Herstellung von Zellen mit verbesserten Elektrolyten (nicht-fluorierte Membranen für die PEMFC und DMFC).
- Zellkomponenten und Stacks. Hier geht es um die Direkt-Methanol-Brennstoffzelle DMFC und die SOFC (Wegfall des Brennstoff-Reformers in beiden Fällen) und die Entwicklung kostengünstiger Fertigungsverfahren und Werkstoffe für Zellen und darauf aufbauende Stacks beider Brennstoffzellentypen. Um Wirkungsgradverluste zu reduzieren, werden Diagnose- und Charakterisierungsverfahren zur Visualisierung von Vorgängen innerhalb des Stacks eingesetzt.
- Modellierung und Simulation. Die heutige Modellierung liefert Beiträge zur Erforschung physikalisch-chemischer Grundlagen auf der Basis moderner Soft- und Hardware. Durch die rechnerische Bewertung von Strömungs-, Temperatur- und Spannungsprofilen wird das Zell- und Stackdesign verbessert. Simulationen ermöglichen außerdem die Identifizierung von kritischen Betriebszuständen im Vorfeld von Testläufen. Schließlich können durch die Modellierung Brennstoffzellenanlagen zuverlässiger bewertet und optimiert werden. Hoher Forschungsbedarf besteht bei der dynamischen Simulation, die Aussagen zur Praxistauglichkeit dieser Anlagen zulässt.
- Systeme und Infrastruktur. Die Helmholtz-Zentren analysieren und entwickeln nicht nur Prototyp-Systeme (auch für portable oder stationäre Kompaktgeräte) inklusive anwendungsnaher Herstellungs- und Fertigungsverfahren für die Wirtschaft, sondern helfen ergänzend zu Förderaktivitäten des BMWA insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen als typischen Zulieferern der Zukunft, sich durch Know-how-Tranfer frühzeitig auf die neuen Anforderungen der Brennstoffzellentechnik einzustellen.
- Wasserstoff. Die beteiligten Helmholtz-Zentren haben in der Vergangenheit in größerem Umfang Wasserstoffsysteme (solare und nukleare Erzeugung, Elektrolyseure etc.) entwickelt und erprobt. Auf dieser Basis beteiligen sie sich auch an der 2002/2003 neu entstandenen Wasserstoff-Programmatik der EU und den USA und entsprechenden Projekten; beteiligt ist auch das Forschungszentrum Karlsruhe mit Arbeiten zur Wasserstofferzeugung aus Biomasse und Wasserstoffsicherheitsaspekten.

Supraleitung in der Energietechnik

Das Forschungszentrum Karlsruhe widmet sich auf der Basis langjähriger Erfahrung mit dem Bau supraleitender Magnete auch der Supraleitungsanwendung in der Energietechnik. Es geht dabei um höhere

Effizienz bei Energieübertragungskabeln, Transformatoren und Motoren sowie z.T. deutlich geringere Gewichte und Abmessungen der Komponenten. Darüber hinaus werden neuartige Betriebsmittel wie supraleitende Energiespeicher und Strombegrenzer entwickelt, die auf eine drastisch gesteigerte Funktionalität des Netzbetriebes abzielen.

Eine wesentliche Voraussetzung für die energietechnische Anwendung von Hochtemperatursupraleitern (HTSL) ist die kostengünstige Verfügbarkeit von technisch ausgereiften Leitern. Derzeit werden drei Materialklassen als aussichtsreich verfolgt, nämlich Kuprate auf Bi-, bzw. auf Y-Basis und das ganz neue, eher den klassischen Supraleitern ähnliche MgB2. Bei allen Betriebsmitteln steht zunächst die Phase der Entwicklung und des Betriebes von Funktionsmodellen mit relevanten Daten für einen echten Netzbetrieb sowie deren Erprobung im Labor und in geeigneten Prüffeldern der Energieversorgungsunternehmen an. Eine baldige Anwendung wird von Kurzschluss- Strombegrenzern und danach von Transformatoren und Kabeln erwartet. Eine weitere wichtige Rolle kommt Höchstfeldspulen zu, die außer für magnetische Energiespeicher höchster Leistungsdichte für das bedeutende Spin-off-Gebiet der NMR-Spektrometermagnete genutzt werden. Supraleitende Systeme benötigen optimierte kryotechnische Einrichtungen, ebenso Werkstoffe, die hinsichtlich ihrer mechanischen, thermischen und elektrischen Eigenschaften untersucht werden müssen. Dafür besitzt das FZK die erforderlichen Erfahrungen und die z. T. europaweit einzigen Testeinrichtungen für Betriebstemperaturen bis herab zu 4 K.

Für das Programm „Rationelle Energieumwandlung“ sind für den Zeitraum 2005 bis 2008 institutionelle Fördermittel in Höhe von 171 Mio. € vorgesehen.

Ist 2003	Soll 2004	Plandaten 2005	2006	2007	2008
36.621	39.607	42.155	42.012	42.134	44.270

BMBF-Institutionelle Förderung „Rationelle Energieumwandlung“ (in Tsd. €)

Die Ansätze können sich abhängig von den jährlich zu treffenden Investitionsentscheidungen des HGF-Senats verändern.

2.4.1.3 Nukleare Sicherheitsforschung

Die institutionell geförderte nukleare Sicherheitsforschung dient der Untersuchung der wissenschaftlichen und technologischen Aspekte der Sicherheit der bestehenden Kernreaktoren, der Sicherheit der nuklearen Entsorgung und Endlagerung hochradioaktiver Stoffe. Dabei stehen langfristige Aspekte im Vordergrund der Forschungsarbeiten und solche, bei denen aufwändige Experimentiereinrichtungen und/ oder Infrastrukturen notwendig sind. Die durchzuführenden Arbeiten stehen im Einklang mit dem Beschluss zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung, da es bis zum Abschalten des letzten Kernkraftwerkes zwingend notwendig ist, die Sicherheit dieser Kernreaktoren auf dem jeweils neuesten Stand von Wissenschaft und Technik zu gewährleisten. Um Industrie, Kraftwerksbetreiber und Genehmigungsbehörden in die Lage zu versetzen, diese Aufgabe erfüllen zu können, muss eine kerntechnische Kompetenz auf höchstem wissenschaftlichen und technischen Niveau erhalten werden. Dazu ist einerseits die Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlern notwendig, andererseits auch die Weiterbildung von Personal im Kraftwerksbereich und bei den Genehmigungsbehörden. Zu beiden Aspekten tragen die außeruniversitären Einrichtungen gemeinsam und in enger Kooperation mit Universitäten und Hochschulen bei.

Zur Bündelung der vorhandenen Kompetenz wurde im März 2000 der Kompetenzverbund Kerntechnik gegründet, in dem neben den beiden Helmholtz-Zentren - Forschungszentrum Jülich (FZJ) und Forschungszentrum Karlsruhe (FZK) - das Forschungszentrum Rossendorf (FZR), die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS), die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BRG) sowie die Materialprüfungsanstalt der Universität Stuttgart (MPA) mitarbeiten. Assoziiert sind die jeweils benachbarten Universitäten (RWTH Aachen und FH Aachen/Jülich; die Universitäten Karlsruhe, Stuttgart und Heidelberg; TU Dresden und FH Zittau/ Görlitz; TU München). Das Ziel des Kompetenzverbunds Kerntechnik ist die weitere Intensivierung der Zusammenarbeit zwischen den Forschungseinrichtungen und den benachbarten Hochschulen und die Abstimmung und Bündelung der mit öffentlichen Mitteln geförderten nuklearen Sicherheits- und Endlagerforschung. Damit werden auch die Themen der Projektförderung und der institutionellen Förderung eng miteinander abgestimmt und aufeinander bezogen (s. auch Kap. 2.1.2.). Der Kompetenzverbund Kerntechnik trägt seit seiner Gründung wesentlich zur Förderung von qualifiziertem wissenschaftlichen Nachwuchs bei. So ist es über den Kompetenzverbund auch gelungen, eine industrielle Mitfinanzierung von Doktorandenstellen zu erreichen.

Im Rahmen des Programms Nukleare Sicherheitsforschung der Helmholtz-Gemeinschaft werden die Programmthemen Sicherheitsforschung für Kernreaktoren und Sicherheitsforschung zur nuklearen Entsorgung durch die Forschungszentren Jülich und Karlsruhe bearbeitet. Das Forschungszentrum Rossendorf, das zur Leibniz-Gemeinschaft gehört, führt

Forschungsarbeiten zur Radioökologie, insbesondere bezogen auf die Altlasten aus dem Uranerzbergbau, zur Simulation von Störfallabläufen in kerntechnischen Anlagen und zur Integritätsbewertung von Reaktorkomponenten durch.

Forschungsschwerpunkte des Programms „Nukleare Sicherheitsforschung“ sind:

Sicherheitsforschung für bestehende Kernreaktoren

Im Rahmen dieses Programmthemas werden sowohl experimentelle als auch theoretische Untersuchungen zur Validierung und Weiterentwicklung von Methoden und Rechenverfahren im Hinblick auf schwere Störfälle und sich daraus ergebende mögliche radiologische Konsequenzen durchgeführt, um den Stand des Wissens über die Sicherheitsbeurteilung der heute in Betrieb befindlichen Kernreaktoren zu erhalten und weiter zu entwickeln. Für die Untersuchungen werden die in den Forschungszentren Jülich, Karlsruhe und Rossendorf vorhandenen und weiter zu entwickelnden Experimentiereinrichtungen wirksam eingesetzt. Die experimentellen Untersuchungen aber insbesondere theoretische Arbeiten werden auch in Kooperation mit Hochschulen durchgeführt.

Dabei sollen einerseits Einzelphänomene untersuchtwerden, die in bisherigen Risikountersuchungen nur unzulänglich oder überhaupt nicht in Betracht gezogen werden konnten. Diese beziehen sich u.a. auf die Wechselwirkung zwischen Korium und Kühlmittel, die Kühlung der Kernschmelze und auf Untersuchungen zur Entstehung und Kontrolle von Wasserstoff während des Betriebs und bei Störfällen in Druck- und Leichtwasserreaktoren. Andererseits wird eine durchgängig mechanistische Beschreibung aller einschlägigen Phänomene im Normalbetrieb und bei Störfallabläufen ausgearbeitet und realistische Obergrenzen für die verschiedenen Arten der Belastung der Sicherheitsumschließung ausgearbeitet. Ein Teil dieser Arbeiten wird im Rahmen von EU-Programmen bearbeitet, um das vorhandene Wissen zu bündeln und zur Weiterentwicklung von verbesserten Codes und Bewertungskriterien zu nutzen.

Die Ergebnisse der in diesem Programmthema durchgeführten Arbeiten werden unmittelbar in Sicherheitsanalysen und Sicherheitsbeurteilungen der in Betrieb befindlichen Kernreaktoren und in die Ausarbeitung von Empfehlungen zu Maßnahmen und ggf. Nachrüstmaßnahmen einfließen. Daneben tragen diese Arbeiten ganz entscheidend zum Kompetenzerhalt bei, um auch weiterhin mögliche Unfälle anhand von theoretischen Modellen analysieren und verstehen und damit zu einer künftigen Vermeidung ähnlicher Ereignisse beitragen zu können. Diese Kompetenz ist mindestens bis zum Ende der Betriebszeit der deutschen Kernkraftwerke erforderlich.

Zur Sicherung der nationalen Beurteilungskompetenz in kerntechnischen Sicherheitsfragen ist der wissenschaftliche Erfahrungsaustausch auf internationaler Ebene notwendig und damit auch die Mitwirkung in allen relevanten internationalen Projekten und Gremien. Nur so kann sichergestellt werden, dass die deutschen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheitsforschung weiterhin auf höchstem Niveau betrieben werden. Deutschland konnte in der Vergangenheit aufgrund der hohen Sicherheitsstandards der deutschen Kernkraftwerke und der weltweit anerkannten Expertise in der Forschung zur Reaktorsicherheit wesentlichen Einfluss auf die Formulierung von Zielen und Inhalten internationaler Sicherheitsstandards nehmen. Es gilt, diese Expertise und Einflussnahme auch weiterhin zu sichern.

Sicherheitsforschung zur nuklearen Entsorgung

Im Rahmen der Sicherheitsforschung zur Entsorgung nuklearer Abfälle werden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Charakterisierung, Konditionierung und Immobilisierung hochradioaktiver Abfälle, zur Verringerung des Gefahrenpotenzials der endzulagernden Stoffe und zu Sicherheitsaspekten der Endlagerung durchgeführt Die Arbeiten sind langfristig mit Blick auf ein etwa 2030 zur Verfügung stehendes Endlager angelegt.

Radioaktive Abfälle entstehen neben kerntechnischen Anlagen bei kerntechnischen Forschungsarbeiten, in der Nuklearmedizin etc. Zur Immobilisierung von ~ 70 m3 hochradioaktiver Spaltproduktlösungen aus der ehemaligen Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe (WAK) wurde eine Verglasungstechnologie für die Konditionierung dieser Abfälle entwickelt, um diese in einen Zustand zu überführen, die ihre sichere Zwischen- und Endlagerung ermöglicht. Dazu wird eine entsprechende Verglasungsanlage im Forschungszentrum Karlsruhe aufgebaut (s. Abb. S. 71).

Weitere Arbeiten beschäftigen sich mit der Entwicklung von Methoden für die Charakterisierung, Sortierung und Trennung von radioaktiven Materialien. Neben kurzlebigen Zerfallsprodukten enthalten abgebrannte Kernbrennstäbe erhebliche Mengen an Actiniden und Spaltprodukten mit langen Halbwertszeiten. Diese Radionuklide bestimmen die Radiotoxizität der Abfälle. Die Abtrennung (Partitioning) dieser Radionuklide und die Umwandlung (Transmutation) in kurzlebige oder stabile Isotope würde daher das über lange Zeiträume bestehen bleibende Gefährdungspotenzial des hochradioaktiven Abfalls entscheidend beeinflussen. Daher werden einerseits Arbeiten zur weiteren Verbesserung

des PUREX-Prozesses, zur Entwicklung neuer und verbesserter selektiver Extraktionsmittel und zur Entwicklung neuer Trennverfahren durchgeführt, andererseits Untersuchungen zur technologischen Machbarkeit der Transmutation in Beschleuniger getriebenen unterkritischen Anordnungen (ADS) durchgeführt. Letztere Untersuchungen werden im Forschungszentrum Karlsruhe in einer dafür errichteten Experimentiereinrichtung für eine Blei-Wismut-Legierung durchgeführt, die in ADS-Systemen als Target und als Kühlmittel eingesetzt werden soll.

Zur Langzeitsicherheitsbewertung von zukünftigen Endlagern werden Untersuchungen zur Rückhaltung von Radionukliden durch Mehrfach-Barrieresysteme, zur Wechselwirkung von eintretendem Wasser in Salzformationen mit Behältern, die abgebrannte Brennstäbe oder verglaste hochradioaktive Abfälle enthalten, durchgeführt. Außerdem wird die Wechselwirkung von Zement oder Beton, der als Verfestigungsmatrix für schwach- und mittelaktiven Abfall eingesetzt werden soll, mit Porenwässern in Tonformationen untersucht. Daneben laufen auch Untersuchungen zur Endlagerung in Granit. Die durchgeführten Forschungsarbeiten haben sowohl grundlegenden als auch anwendungsorientierten Charakter, wobei der Schwerpunkt bei der Geochemie der Actiniden und auf dem Langzeitsicherheitsnachweis liegt.

Erfreulicherweise ist es inzwischen, auch mit Hilfe des Kompetenzverbunds Kerntechnik, gelungen, Nachwuchswissenschaftler wieder für den Bereich nukleare Entsorgung zu interessieren. Dies ist überaus wichtig, da auch nach der Stilllegung von Kernreaktoren noch für viele Jahre und Jahrzehnte kerntechnische Kompetenz zum Rückbau und zur Entsorgung von Reaktoren sowie zur Endlagerung radioaktiver Reststoffe erforderlich ist.

Für das evaluierte Programm „Nukleare Sicherheitsforschung sind für den Zeitraum 2005 bis 2008 folgende Ansätze vorgesehen:

Ist 2003	Soll 2004	Plandaten 2005	2006	2007	2008
29.260	31.178	31.147	31.133	31.126	31.022

BMBF-Institutionelle Förderung „Nukleare Sicherheitsforschung“ (in Tsd. €)

Die Ansätze können sich abhängig von den jährlich zu treffenden Investitionsentscheidungen des HGF-Senats verändern.

2.4.1.4 Fusionsforschung

Kernfusion ist der Prozess, mit dem die Sonne und die Sterne die Energie erzeugen, die sie kontinuierlich abstrahlen. Die Fusionsforschung verfolgt das Ziel, diesen Prozess auf der Erde nachzubilden und so eine neue Energiequelle zu erschließen, die eine Reihe günstiger Eigenschaften in sich vereint: große Brennstoffreserven, günstige Sicherheitseigenschaften und geringe Umweltbelastung.

Unter irdischen Bedingungen sind von den möglichen Paaren leichter Atomkerne, die fusionieren können, Deuterium und Tritium diejenigen mit der größten Energieausbeute. Beide Ausgangsstoffe zur Energieversorgung stehen faktisch für viele Tausend Jahre zur Verfügung.

In einem Fusionskraftwerk ist ein Unfall, der zum „Durchgehen“ des Reaktors führen könnte, physikalisch ausgeschlossen, da keine Kettenreaktion stattfindet. Jede Fehlsteuerung eines Fusionsreaktors führt zum sofortigen Verlöschen des Plasmas. Aktivierungen von Wandmaterialen eines Fusionsreaktors können durch Neutronen erfolgen. Sie sind zeitlich aber überschaubar. Die derzeitigen Materialuntersuchungen beschäftigen sich insbesondere mit der Entwicklung geeigneter und durch Neutronen nur gering aktivierbarer Wandmaterialien.

Fusionskraftwerke sind klimaneutral, weil bei der Energieerzeugung weder Treibhausgase (insbesondere kein CO_2), noch Stick- oder Schwefeloxide freigesetzt werden. Mit den genannten Vorzügen der langfristigen Versorgungssicherheit und der Klimaneutralität sowie günstigen Sicherheitseigenschaften stellt die Fusion eine Energieerzeugungsoption dar, die in einem künftigen, auf Versorgungssicherheit und Nachhaltigkeit ausgelegten Energiemix eine wichtige Rolle spielen könnte.

Die Komplexität der Technologien, die zur Realisierung des Fusionsprozesses notwendig sind, wurde in den Anfangsjahren der Fusionsforschung unterschätzt. Eine wesentliche Ursache dafür ist eine überaus komplexe Plasmaphysik, die theoretisch nur schwer beschreibbar ist und daher vor allem auf experimentelle Untersuchungen angewiesen ist. Inzwischen sind die physikalischen Hintergründe für diese Probleme zwar viel besser bekannt als früher und heutige Großrechner ermöglichen z. B. die Lösung komplexer Gleichungen zu turbulenten Strömungen, mit denen deutlich bessere Vorhersagen des Plasma-Verhaltens ermöglicht werden, eine experimentelle Bestätigung der theoretischen Vorhersagen ist aber immer noch zwingend erforderlich.

Die Fusionsforschung ist damit zu einem Paradebeispiel globaler Forschungskooperation geworden. Die europäische Forschung ist dabei ein schwergewichti-

ger Baustein; sie wird bereits seit vielen Jahren im Rahmen von Euratom koordiniert. Die europäischen Staaten verfolgen in diesem Rahmen eine gemeinsame Strategie. In Deutschland wird die Fusionsforschung im Programm „Kernfusion“ der Helmholtz-Gemeinschaft, das seinerseits integraler Bestandteil des europäischen Fusionsforschungsprogramms ist, vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik mit seinem Teilinstituten in Garching und Greifswald und von den Forschungszentren Karlsruhe und Jülich getragen.

Die Zusammenarbeit mit nicht-europäischen Ländern wird über die Internationale Energie-Agentur (IEA) und die Internationale Atomenergiebehörde (IAEO) koordiniert.

Die zentrale wissenschaftliche Herausforderung bei der Fusionsforschung liegt darin, die elektrische Abstoßung der Atomkerne, die die Fusionsreaktion eingehen sollen, zu überwinden. Dafür sind sehr hohe Temperaturen (> 100 Millionen Grad) notwendig. Bei diesen Temperaturen liegen die Atome eines Gases ionisiert vor, es ist ein „Plasma“ entstanden. Das Plasma ist elektrisch leitend und kann daher durch magnetische Felder beeinflusst (und damit eingeschlossen) werden. Dies ist erforderlich, um das Plasma von der Wand des Reaktorgefäßes fernzuhalten, da Materialien für solche Temperaturen nicht geeignet sind.

In Europa wurden in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte erzielt. So ist es mit dem europäischen Experiment JET („Joint European Torus“ in Culham, Großbritannien) gelungen, einer „Zündung“ des Plasmas sehr nahe zu kommen. Ein Plasma „zündet“, wenn so viele Fusionsprozesse ablaufen, dass die Energie der dabei gebildeten Heliumkerne ausreicht, um die Temperatur des Plasmas aufrecht zu erhalten. Ein Maß für die erreichten Erfolge ist das sog. „Tripelprodukt“, das aus der Dichte des Plasmas (das etwa ein Milliardstel der Dichte der Atmosphäre entspricht), der Temperatur (rund 200 Millionen Grad) und der Einschlusszeit des untersuchten Plasmas gebildet wird. Seit den 1950er Jahren konnte dieser Wert um 5 Größenordnungen gesteigert werden und liegt für JET nun bereits nahe an den Zündbedingungen. Mit JET ist es 1997 gelungen, eine Fusionsleistung von 12 Mega-Watt für 2 s zu realisieren. Dabei konnten bereits 65 % der zur Heizung eingebrachten Energie wieder gewonnen werden.

Auf der Basis des insbesondere mit JET erreichten Standes der Fusionsforschung wird nun das nächste internationale Großexperiment, ITER (lat.: der Weg), in einer internationalen Kooperation vorbereitet. ITER soll vor allem dazu dienen, eine sich selbst erhaltende Fusionsreaktion in einem gezündeten Plasma zu beherrschen. Daneben sollen der Tritiumkreislauf und das Verhalten von Materialien und Komponenten untersucht sowie Erfahrungen mit der Abfuhr der

Heliumkerne, die beim Fusionsprozess als „Asche“ entstehen, gesammelt werden. ITER soll in einer weltweiten Zusammenarbeit aller großen Industrienationen (Europäische Union, Japan, USA, Russland, China und Süd-Korea) gebaut werden. Die Bundesregierung unterstützt als Mitgliedsstaat der Europäischen Union den Bau von ITER. Zurzeit wird über den Standort von ITER verhandelt. Sowohl Europa (mit Cadarache in Südfrankreich) als auch Japan (mit Rokkashomura in Nordjapan) haben Standort-Angebote unterbreitet; die Entscheidung über den Standort wird demnächst erwartet. Der Bau von ITER könnte 2006, der Experimentierbetrieb 2016 beginnen.

Ein möglicher Zeitplan für den weiteren Weg zu einem energieerzeugenden Fusionskraftwerk könnte wie folgt aussehen: 2021 - Planung eines ersten Demonstrationskraftwerks, DEMO, Baubeginn von DEMO - 2026, Betriebsbeginn - 2036. Unter der Voraussetzung, dass mit einer fünfjährigen Betriebsphase genügend Erfahrungen gesammelt werden können, könnte die Planung eines ersten kommerziellen Kraftwerks etwa 2040 erfolgen. Noch ehrgeizigere Zeitpläne - zum

Beispiel auch der von Großbritannien vorgeschlagene „fast track“ - könnten zum Bau eines Fusionskraftwerks bereits in 20 Jahren führen, setzen jedoch voraus, dass Materialforschung und Fusionstechnologie in den nächsten Jahren mit deutlich höherer Priorität verfolgt werden als bisher.

Die deutschen Beiträge zum europäischen bzw. internationalen Fusionsprogramm werden sich in den kommenden Jahren im Rahmen der programmorientierten Förderung der HGF auf die vier Bereiche „ITER“, „Fusionstechnologie“, „Tokamak-Physik“ und „Stellaratorforschung“ konzentrieren, in denen die deutsche Fusionsforschung auch im internationalen Vergleich über erhebliches Know-how verfügt. Zur Durchführung von plasmaphysikalischen Forschungsarbeiten stehen den Helmholtz-Zentren dabei neben dem europäischen Fusionsexperiment JET die Fusionsexperimente TEXTOR (FZJ) und ASDEX Upgrade (IPP) zur Verfügung, für eher technologische Untersuchungen werden im FZK u. a. die Magnetspulen-Testanlage TOSKAund das Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) eingesetzt (s. Abb. unten).

Die Themen des HGF-Programms „Fusionsforschung“ befassen sich mit „HER“, „Fusionstechnologie“, „Tokamak-Forschung“ und „Alternative Einschlusskonzepte -Stellarator“. ITER wird das europäische Fusionsforschungsprogramm in den nächsten Jahren entscheidend prägen. Die deutschen Forschungseinrichtungen werden die Realisierung

von ITER durch Entwicklungsarbeiten zu einer Reihe von Teilsystemen unterstützen. Dazu gehören supraleitende Magnete, der Brennstoff-Kreislauf mit seinen Vakuum- und Rückgewinnungssystemen, aber auch die Plasmaheizung und Plasma-Diagnostiken. Außerdem werden Entwicklungsarbeiten zum Divertor durchgeführt. Divertoren dienen dazu, energiereiche Teilchen aus dem Plasma abzufangen und das als „Asche“ entstehende Helium abzuführen. Es soll auch untersucht werden, wie weit es möglich ist, den an ASDEX Upgrade gefundenen und an JET verifizierten Betriebsmodus (sog. „verbesserte H-Regime“) auch in ITER zu erreichen. Damit könnte die Fusionsausbeute verdoppelt werden.

In der Bauphase wird die deutsche Unterstützung für ITER auch die Entsendung von Experten sowohl zum internationalen ITER-Team als auch in die europäische Organisation, die die Beschaffungen für ITER in Europa koordinieren soll, einschließen. Daneben ist geplant, dass die an der Fusionsforschung beteiligten deutschen Forschungseinrichtungen im Einzelfall auch die Verantwortung für ITER-Komponenten, die ihrem jeweiligen Know-how-Bereich entsprechen, übernehmen. Dies beinhaltet sowohl die Entwurfsarbeiten als auch das Vertragsmanagement und die Qualitätskontrolle gegenüber den ausführenden Industriefirmen.

Diese Arbeiten werden ergänzt durch Untersuchungen zur Erweiterung der physikalischen Basis des Betriebs von ITER im Hinblick auf Plasmaeinschluss und Transportphänomene. Ziel ist dabei, Betriebszustände zu entwickeln, die einen quasistationären Betrieb von ITER ermöglichen. Dazu werden auch umfangreiche theoretische Arbeiten und numerische Simulationen zum komplexen, nicht-linearen Verhalten der Plasmen in einem Tokamak notwendig sein. Weitere Untersuchungen beschäftigen sich mit Plasma-Wand-Wechselwirkungen, Heiz- und Stromtreibsystemen etc. Für diese Untersuchungen werden die in den HGF-Zentren und in Europa verfügbaren Experimentiereinrichtungen (TEXTOR, ASDEX Upgrade und JET) eingesetzt.

Mit dem Bau der weltweit größten und fortgeschrittensten Stellarator-Anlage, Wendelstein 7-X, am Teilinstitut Greifswald des MPI für Plasmaphysik soll insbesondere die Kraftwerkstauglichkeit dieses Anlagentyps demonstriert werden. Stellaratoren können anders als Tokamaks von vorneherein im Dauerbetrieb arbeiten, da im Plasmagefäß kein extern induzierter Plasmastrom wie beim Tokamak benötigt wird. Die in Deutschland durchgeführte Stellaratorforschung dient der Untersuchung der physikalischen und technischen Besonderheiten dieses Einschlusskonzepts und soll dazu führen, den Kenntnisabstand zu den bereits sehr weit entwickelten Tokamak-Konzepten so zu verringern, dass am Ende der Betriebszeiten von ITER und Wendelstein 7-X eine Entscheidung möglich wird, ob DEMO, das auf ITER folgende Demonstrationskraftwerk, nach dem Tokamak- oder dem Stellarator-Prinzip gebaut werden soll. Wendelstein 7-X wird nach seiner Inbetriebnahme ab ca. 2010 Wissenschaftlern aus ganz Europa und ggf. auch weltweit für Forschungsarbeiten zur Verfügung stehen.

Mit Blick auf das auf ITER folgende Demonstrationskraftwerk DEMO sollen in den nächsten Jahren auch Technologien und Module für die Umwandlung des Primär-Brennstoffs Lithium in den Reaktionsbrennstoff Tritium entwickelt und Untersuchungen zur Abfuhr der dabei entstehenden Reaktionsenergie durchgeführt werden. Außerdem ist es für eine zukünftige Energiegewinnung in einem Fusionskraftwerk unerlässlich, geeignete Strukturmaterialien für den gesamten Reaktor, insbesondere im Hinblick auf Langzeitstabilität, zu entwickeln. Die Arbeiten schließen auch Beiträge zur Konzeption und zum Aufbau einer Testanlage für Materialien ein (IFMIF - International Fusion Materials Irradiation Facility), die den hohen Neutronenflüssen in einem zukünftigen Fusionskraftwerk widerstehen können. Daneben sollen die u.a. auch bisher schon am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik gemeinsam mit Universitäten durchgeführten sozio-ökonomische Studien zur Bewertung der künftigen Rolle und Bedeutung der Fusionsenergie ausgeweitet werden.

Für das evaluierte Programm „Fusionsforschung“ sind für den Zeitraum 2005 bis 2008 folgende Ansätze vorgesehen:

Ist	Soll	Plandaten			
2003	2004	2005	2006	2007	2008
115.298	115.000	115.000	115.000	115.000	114.900

BMBF-Institutionelle Förderung „Fusionsforschung“ (in Tsd. €)

Die Ansätze können sich abhängig von den jährlich zu treffenden Investitionsentscheidungen des HGF-Senats verändern. Die Bundesregierung wird im Jahr 2006 innerhalb der programmorientierten Förderung der HGF eine Evaluierung ihrer Anstrengungen zur Fusion im Verhältnis von Aufwand und Wirkungen vornehmen und mit Blick auf die nächste Programmperiode der HGF entscheiden.

Literatur

[1] BMBF/BMWA(2003): Forschungspolitische Vorgaben der Zuwendungsgeber für den HGF- Forschungsbereich „Energie“

2.4.2 Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung

Um langfristig einer nachhaltigen Energieversorgung zum Durchbruch zu verhelfen, ist es erforderlich, die Grundlagenforschung im Bereich erneuerbarer Energien und rationeller Energienanwendung zu stärken. Ein geeignetes Instrument dazu ist die Förderung von Netzwerken, die darauf zielen, innovative Ansätze mit den Schwerpunkten Energietechnik, Materialforschung und mathematische Modellierung zu entwickeln [1], Dies erweist sich für das grundlegende Verständnis und das frühzeitige Erkennen von Potenzialen von Energietechniken wie molekulare Verfahren für energieumwandelnde Prozesse von zunehmender Bedeutung. Der BMBF hat dazu im Jahr 2004 eine entsprechende Förderinitiative „Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung“ bekannt gegeben. Ihr primäres Ziel ist es, Ergebnisse und Methoden der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung für zukünftige Entwicklungen aus dem Bereich der erneuerbaren Energien und der rationellen Energieanwendung nutzbar zu machen.

Sie knüpft an die Erfolge der Fördermaßnahme „Vernetzungsfonds erneuerbare Energien“ an. Neben dem Auf greifen neuer inhaltlicher Fragen zielt die Initiative auch darauf, strukturelle Verbesserungen der wissenschaftlichen Forschung auszulösen und durch Kooperationen zwischen Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen in Form von Netzwerken den Aufbau bzw. Ausbau einer fachspezifischen Community zu stärken. Das Förderkonzeptwurde seinerzeit gemeinsam durch BMBF und BMWA unter Mitwirkung des Forschungsverbundes Sonnenenergie entwickelt.

Durch die Unterstützung des Vernetzungsfonds konnten hervorragende Netzwerke zur Lösung komplexer Fragestellungen auf gebaut werden, die durch die Nutzung von Synergieeffekten die Forschung und Entwicklung im Feld der erneuerbaren Energien weiter voran gebracht haben.

Seit der Aufnahme der Förderung im Herbst 2000 wurden bisher mehr als 22 Mio. € für 65 Netzwerke aufgewandt. Die Themenbereiche der Netzwerke bzw. Forschungsverbünde reichten dabei von der Photovoltaik (Silizium gebundene Photovoltaik, Dünnschichtphotovoltaik, organische Photovoltaik) über die Brennstoffzelle (Katalysatorentwicklung, Degradations- und Alterungsmechanismen in Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen) und die Nutzung der thermischen Solarenergie (Entwicklung von Absorbermaterialien) bis hin zum Einsatz von Biomasse zur nachhaltigen Energiegewinnung (Entwicklung neuer Syntheserouten für regenerative Kraftstoffe).

Die im Vernetzungsfonds geförderten Vorhaben zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass sie an der Schnittstelle zwischen Grundlagenforschung und dem Übergang in die Anwendung angesiedelt sind. Durch die Arbeiten der Netzwerke und Verbünde konnten vielfach wichtige Fortschritte auf dem Weg zum marktfähigen Produkt gemacht werden.

Insgesamt hat sich der „Vernetzungsfonds erneuerbare Energien“ als ein geeignetes Instrument erwie-

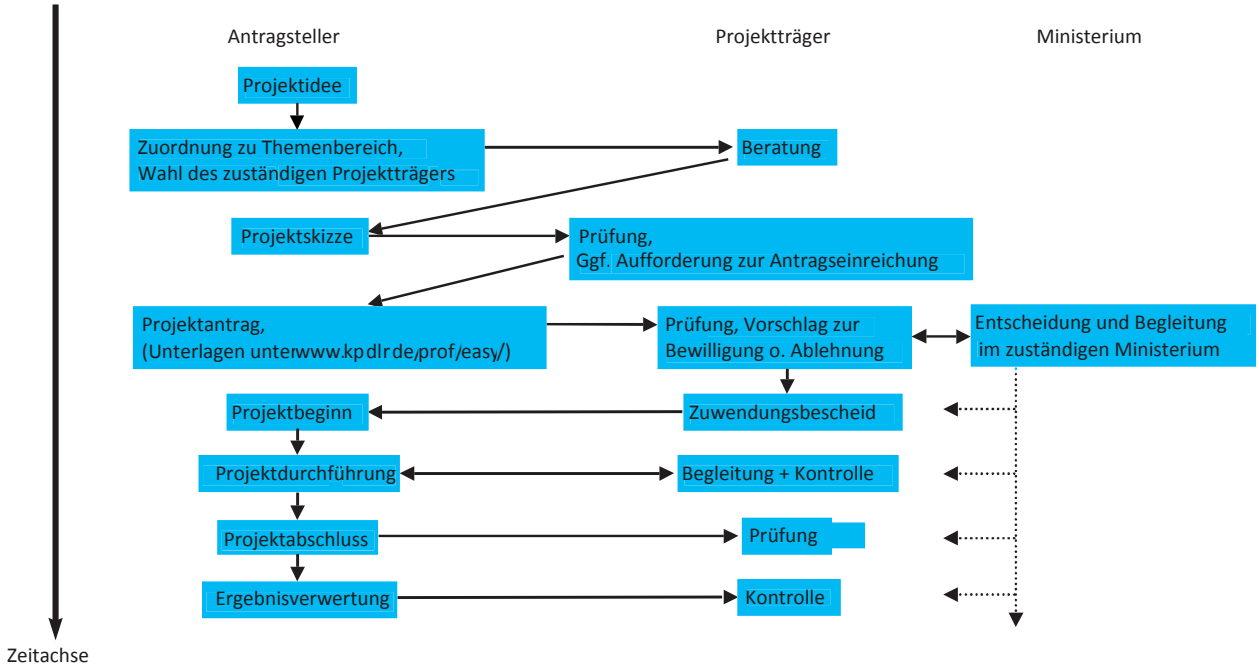


Abb.: Der Weg eines erfolgreichen Projektes

sen, um leistungsfähige Potenziale von Forschungseinrichtungen thematisch zusammenzuführen und Anreize zu gemeinsamer Arbeit zu geben (s. Grafik rechts).

Mit der neuen Förderinitiative wird erwartet, dass die zu Beiträgen aufgerufenen Institutionen sich tiefer mit den Grundlagen befassen. Dem liegt zu Grunde, dass ein tieferes Verständnis eher zu innovativen, überraschenden Lösungen führt als das ausschließliche Beschreiten konventioneller Wege der Energieforschung. Die Verbindung der Grundlagenforschung mit Anwendungen außerhalb ihrer ursprünglichen Aufgaben- und Zuständigkeitsbereiche wird sowohl der Grundlagenforschung selbst als auch der Energieforschung und deren Anwendungsbereichen in Wissenschaft und Praxis zu Gute kommen. Der Bund fokussiert durch diese Förderinitiative einen Teil der Scientific Community der Grundlagenforschung auf das für seine Vorsorgepflicht notwendige Forschungsfeld der künftigen Energieversorgung.

Die Initiative spricht neben den erneuerbaren Energien als Anwendungsbereich der Grundlagenforschung auch die rationelle Energieanwendung an. Die Erfahrungen zeigen, dass gerade im Grundlagenbereich eine zu frühe „Grenzziehung" zwischen Förderbereichen als nicht zielführend angesehen werden kann. Die Förderinitiative ist bewusst offen formuliert. Neue Ansätze aus allen Bereichen der Grundlagenforschung für die Photovoltaik, die Solarthermie, die Wind- und Geothermie, die Biomasse, die Brennstoffzellen oder zu Querschnittsthemen der

Energieversorgung, Energiespeicherung oder zu gesellschaftlichen Folgen der verstärkten Nutzung regenerativer Energien können lohnende Zielfelder der Forschung sein. Es geht also vorrangig um neue Ansätze, wie z. B. neue Vakuumsuperisolationen zur Energieeinsparung, turbulente Strömungen in der Energietechnik, neue elektrochemische Energiespeicher, in der Beleuchtungs- u. Lichttechnik, neue Membrantechniken zur Energieeinsparung, biotechnologische Ansätze zur CO_2 - Fixierung am Kraftwerk.

Im Rahmen der Förderinitiative ist vorgesehen in den Jahren 2005 bis 2008 rd. 41 Mio. € bereitzustellen.

Ist 2003	Soll 2004	Plandaten 2005	2006	2007	2008
6.600	9.830	11.100	10.100	10.100	10.100

BMBF-Projektförderung „Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung" (in Tsd. €)

Literatur

[1] BMBF (2004): Richtlinien zur Förderinitiative „Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung" vom 16. März 2004. Amtlicher Teil Bundesanzeiger Nr. 60 vom 26. März 2004

Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien

3. Leitfaden für die Projektförderung

Die Projektförderung richtet sich an Unternehmen, Forschungsinstitute und Universitäten. Sie erfolgt in Form von Zuwendungen für Forschungsvorhaben, die im Markt nicht realisierbar sind, bzw. für Projekte, die eine erste praktische Anwendung verbesserter oder neuer Energietechnologien demonstrieren wollen. Die Projektförderung ist ein Instrument zur Unterstützung von thematisch und zeitlich abgegrenzten Vorhaben mit hohem Risiko und von bundesweitem Interesse. Sie wird nur in den Fällen eingesetzt, in denen der Markt in absehbarer Zeit die neuen technischen Entwicklungen nicht von selbst erbringen kann.

Die Projektförderung erfolgt häufig in Form der Verbundforschung, bei der Hochschulen und Forschungsinstitute im Verbund mit Unternehmen vorwettbewerblich zusammenarbeiten, um durch eine arbeitsteilige, übergreifende Bearbeitung komplexer und nur längerfristig zu lösender Problemstellungen bestehende Energietechnologien zu verbessern bzw. neue Energietechnologien zu entwickeln.

3.1 Voraussetzungen

Dieser Leitfaden soll einen ersten Überblick über die Rahmenbedingungen der Förderung geben. Genauere Einzelheiten zu den Fördermodalitäten werden in ressortspezifischen Förderrichtlinien bzw. Förderbekanntmachungen veröffentlicht, die sicherstellen, dass die Fördermittel im öffentlichen Interesse und nach den gesetzlichen Vorgaben verwendet werden.

Die Themen, die gefördert werden können, sind in dem Energieforschungsprogramm „Innovation und neue Energietechnologien" beschrieben. Allerdings können nicht immer alle auf geführten Themen auf breiter Front gefördert werden. Das Programm gibt jedoch den Rahmen, formuliert die Grundzüge der Förderpolitik und bildet die Basis, auf deren Grundlage die Förderentscheidungen getroffen werden. Ein Rechtsanspruch auf Gewährung einer Zuwendung besteht nicht. Die Bewilligungsbehörde entscheidet aufgrund ihres pflichtgemäßen Ermessens im Rahmen der verfügbaren Haushaltsmittel.

Für den Antragsteller ist es wichtig zu beachten, dass die Zuständigkeit für die projektorientierte Förderung von Forschung und Entwicklung im Energiebereich bei verschiedenen Ministerien liegt:

BMWA: Rationelle Energieumwandlung

(Kraftwerkstechnik auf Basis Kohle und Gas, Brennstoffzellen, Speichertechnologien und Wasserstoff, Energieoptimiertes Bauen, Energieeffizienz in der Industrie, im Gewerbe, im Handel und bei Dienstleistungen, Systemanalyse und Informationsverbreitung) sowie nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung.

BMU: Erneuerbare Energien

(Photovoltaik, Windenergie, Hoch- und Niedertemperatur- Solarthermie, Geothermie, Wasserkraft und Nutzung der Meeresenergie, Ökologische Begleitforschung, übergreifende Forschungsthemen).

BMVEL: Bioenergie

(z. B. KWK, spezielle Energiepflanzen, Vergasung, Wasserstofferzeugung, BtL-Treibstoffe).

BMBF: Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung

(z. B. Photovoltaik, Solarthermie, Wind, Geothermie, Biomasse, Brennstoffzelle, Energiespeicher, Systemanalyse, rationelle Energienutzung in Gebäuden und der Industrie).

Ob das einer Projektidee zugrundeliegende Thema gefördert wird, können im Einzelfall nur die zuständigen Ministerien und die von diesen mit der Umsetzung des Forschungsprogramms beauftragten Projektträger entscheiden. Die Projektträger prüfen jedes beantragte Vorhaben auf seinen Innovationsgehalt, sowie fachliche Kompetenz und Bonität des Antragstellers. Darüber hinaus bewerten sie den möglichen Beitrag, den das Vorhaben zu den förderpolitischen Zielen des Energieforschungsprogramms leisten kann. Sind diese Kriterien in allen Punkten in ausreichendem Maße erfüllt, kommt eine Förderung in Betracht. Die endgültige Förderentscheidung fällt das zuständige Ministerium.

Antragsberechtigt sind in Deutschland produzierende Unternehmen - insbesondere KMU -, Hochschulen sowie in Deutschland ansässige außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und andere Institutionen bzw. juristische Personen. Das Vorhaben muss in Deutschland durchgeführt und verwertet werden. Eine weitere Grundbedingung für eine Förderung ist, dass die Antragsteller einen Eigenanteil in das Forschungsprojekt einbringen.

3.2 Finanzielle Modalitäten der Projektförderung

Die Förderung erfolgt anhand von Zuwendungen. Rechtsgrundlage bildet die Bundeshaushaltsordnung (BHO) zusammen mit den Vorläufigen Verwaltungsvereinbarungen (Vorl. VV), in denen die Voraussetzungen und Verfahrensabläufe geregelt sind. Darüber hinaus gilt über den Gemeinschaftsrahmen für staatliche Forschungs- und Entwicklungsbeihilfen auch das europäische Recht. Die Zuwendungen werden in Form von Teilfinanzierungen zur Anteils-, Fehlbedarfs- oder Festbetragsfinanzierung, oder - in Ausnahmefällen - auch zur Vollfinanzierung eines Projektes gewährt.

Bei Antragstellern aus öffentlichen Einrichtungen sind die Projektausgaben Bemessungsgrundlage für die Höhe der Förderung. Universitäten werden in der Regel mit einer Förderquote von 100 % unterstützt. Bei Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft bilden die Projektkosten einschließlich der Gemeinkosten die Basis für die Förderung.

Die Förderquoten unterliegen den Regelobergrenzen der Beihilferichtlinien der Europäischen Union.

D. h. bei anwendungsorientierten Projekten, wie sie in der Regel von Industrieunternehmen durchgeführt werden, können bis zu 50 % der Kosten gefördert werden. Die Beihilferichtlinien lassen jedoch für Antragsteller aus den neuen Bundesländern und für KMU eine differenziertere Bonusregelung zu, die ggf. zu einer höheren Förderquote führen kann.

Ausschlaggebend für die Höhe der Förderquote ist das technisch-wissenschaftliche Risiko und das Bundesinteresse, das dem Vorhaben beigemessen wird. Grundsätzlich richtet sich die Bemessung der Höhe der Förderung nach dem Grundsatz des wirtschaftlichen und sparsamen Umgangs mit öffentlichen Mitteln.

3.3 Durchführung eines Projektes

Ein besonderes Anliegen der Bundesregierung ist es, Antragsteller ausführlich und kompetent über die Fördermöglichkeiten im Rahmen des Energieforschungsprogramms zu beraten. Eine erste Adresse für eine solche Beratung sind die Projektträger, die im Auftrag der jeweils zuständigen Ministerien mit der Umsetzung und Durchführung dieses Forschungsprogramms beauftragt sind (Übersicht der Projektträger und Hinweise zu weiteren Informationsstellen siehe Anhang).

Die Projektträger betreuen und begleiten die Projekte sowohl fachlich als auch administrativ von der ersten Kontaktaufnahme des Antragstellers über die Antragsgestaltung, Antragsprüfung, Förderentscheidung, Mittelauszahlung, Erfolgskontrolle, Schlussab-

rechnung bis zur Verwertung der Ergebnisse. Der Verlauf eines erfolgreichen Projektes von der Idee bis zur Ergebnisverwertung ist unten schematisch dargestellt.

3.4 Ergebnisverwertung

Notwendige Voraussetzung für den Erfolg eines Projektes ist die Sicherstellung der bestmöglichen Verwertung der Ergebnisse. Die Förderrichtlinien sehen deshalb bereits bei Antragstellung eine genaue Darlegung der späteren Verwertung der Ergebnisse in Form eines Verwertungsplans vor. Der Projektdurchführende ist verpflichtet, eine Umsetzung dieses Verwertungsplans anzustreben. Als Gegenleistung erhält er die Rechte an der ausschließlichen Nutzung der Ergebnisse. Allerdings muss er bei Forschungsprojekten, bei denen eine gewerbliche Nutzung zu erwarten ist, gewährleisten, dass die erzielten Ergebnisse schutzrechtlich gesichert werden, denn es liegt im besonderen Interesse der Projektförderung, dass patentfähiges neues Wissen nach Möglichkeit zur Patentierung angemeldet wird. Die damit verbundenen Kosten sind bei kleinen und mittelständischen Unternehmen und öffentlichen Forschungseinrichtungen förderfähig. Darüber hinaus besteht eine generelle Veröffentlichungspflicht in Form von Konferenz- und/oder Fachliteraturbeiträgen.

Anhang

Liste der Projektträger

Energieoptimiertes Bauen; Energieeffizienz in der Industrie, im Gewerbe, im Handel und bei Dienstleistungen; Informationsverbreitung

Projektträger Jülich (PtJ)

Geschäftsbereich ERG1 Forschungszentrum Jülich GmbH 52425 Jülich
Tel.: 02461 614622, Fax: 02461 61 6999
PTJ-ERGl@fz-juelich.de, www.fz-juelich.de/ptj

Kraftwerkstechnik auf Basis Kohle und Gas; Brennstoffzellen; Speichertechnologien und Wasserstoff

Projektträger Jülich (PtJ)

Geschäftsbereich ERG2 Forschungszentrum Jülich GmbH 52425 Jülich
Tel.: 02461 614622, Fax: 02461 61 6999
PTJ-ERG2@fz-juelich.de, www.fz-juelich.de/ptj

Systemanalyse; Netzwerke „Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung“

Projektträger Jülich (PtJ)

Geschäftsbereich GIN Forschungszentrum Jülich GmbH 52425 Jülich
Tel.: 02461614624, Fax: 02461612880
PTJ-GIN@fz-juelich.de, www.fz-juelich.de/ptj

Erneuerbare Energien (ohne Bioenergie und Hochtemperatur-Solarthermie)

Projektträger Jülich (PtJ)

Geschäftsbereich EEN Forschungszentrum Jülich GmbH 52425 Jülich
Tel.: 02461614622, Fax: 02461616999
PTJ-EEN@fz-juelich.de, www.fz-juelich.de/ptj

Nukleare Sicherheitsforschung

PT Reaktorsicherheit

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS)
Postfach 1015 64, 50455 Köln
Tel.: 0221/2068-720, Fax: 0221/2068-629
erl@grs.de, www.grs.de

Nukleare Endlagerforschung

Projektträger des BMBF und BMWA für Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE)

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Postfach 3640, 76021 Karlsruhe
Tel.: 07247-825790, Fax: 07247-825796
www.fzk.de

Bioenergie

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

Hofplatz 1,18276 Gülzow
Tel.: 03843/6930-0, Fax: 03843/6930-102
info@fnr.de, www.fnr.de

Hochtemperatur-Solarthermie

VDI/VDE Innovation und Technik GmbH

Rheinstraße 10 B, 14513 Teltow
Tel.: 03328/435-0, www.solar-thermie.org

Weitere Informationsstellen

Allgemeine Informationen über Fördermöglichkeiten und -verfahren des BMBF

Auskunftsstelle BMBF-Förderung Forschungszentrum Jülich GmbFF

Projektträger Jülich (PtJ)
Wallstr. 17-22,10179 Berlin
Tel.: 0800 - 26 23 008 (gebührenfrei)
Fax:01888-572710
foerderinfo@bmbf.bund.de
www.fz-juelich.de/ptj/index.php ?index=15

Förderberatung speziell für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)

KMU-Förderberatung Forschungszentrum Jülich GmbFF

Projektträger Jülich (PtJ)
Wallstr. 17-22,10179 Berlin
Tel.: 0800 -26 23 009 (gebührenfrei)
sonst: 01888 57 2713, Fax: 01888 57 2710
kmu-info@bmbf.bund.de
www.kmu-info.bmbf.de
Formulare für die Antragstellung
www.kp.dlr.de/profi/easy/index.htm

6. Energieforschungsprogramm

Vorwort

Die Erde bietet mit ihren Vorräten an Kohle, Öl und Gas enorme Energieressourcen. Hinzu kommt die Kraft von Wasser, Wind und Sonne. Doch erst der technische Fortschritt und neue Ideen haben es vielfach ermöglicht, diese uns von der Natur gegebenen Ressourcen nachhaltig zu erschließen und zu nutzen. Die Stromerzeugung durch Wasser- oder auch Windkraft wurde beispielsweise mit der Erfindung des Dynamos durch Werner von Siemens möglich.

Innovationen und neue Technologien werden uns den Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien ebnen. Es gilt, den Umbau unserer Energieversorgung kräftig zu beschleunigen. Unser Land soll eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden. Gleichzeitig muss die Versorgungssicherheit gewährleistet sein und unsere Energie bezahlbar bleiben.

Mit der energiepolitischen Neuorientierung ergeben sich auch neue Prämissen für die Energieforschung. Als Ergänzung zum Energiekonzept legt die Bundesregierung deshalb das 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ vor. Dieses Programm ist unter der Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie entstanden. Beteiligt waren das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz sowie das Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Das 6. Energieforschungsprogramm benennt die Leitlinien für die künftige Förderung des Bundes von Forschung und Entwicklung im Energiebereich, informiert über die vorrangigen Förderbereiche und gibt einen Überblick über die von den einzelnen Ressorts eingeplanten Fördermittel. Das Programm setzt auf vielen Feldern neue Akzente. Von Bedeutung sind dabei vor allem: die klare Priorität bei der Förderung von Forschung und Entwicklung in den Bereichen „Energieeffizienz“ und „Erneuerbare Energien“, eine verstärkte ressortübergreifende Zusammenarbeit auf strategisch wichtigen Feldern, insbesondere bei den Themen „Energiespeicher“ und „Netze“, der Ausbau der internationalen Forschungszusammenarbeit sowie eine verbesserte Koordinierung und Abstimmung der Förderpolitik.

Forschung und Entwicklung sind die Voraussetzung für den Weg in eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energiezukunft. Wirtschaft und Wissenschaft in Deutschland sind jetzt gefordert, einen Beitrag zu leisten und das nächste Kapitel der Energiegeschichte zu schreiben. Die Bundesregierung unterstützt sie darin mit soliden Rahmenbedingungen und mit zusätzlichen Finanzmitteln für die Erforschung und Entwicklung moderner Energietechnologien. Nutzen Sie diese Möglichkeiten, gestalten Sie die Zukunft unserer Energie mit!

Dr. Philipp Rösler

Bundesminister für Wirtschaft und Technologie

Zusammenfassung

Die Bundesregierung legt mit dem 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ die Grundlinien und Schwerpunkte ihrer Förderpolitik für die kommenden Jahre fest. Dieses Programm bildet einen wichtigen Schritt bei der Umsetzung des Energiekonzepts vom 28. September 2010, mit dem die Bundesregierung den Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien beschreiten will. Deutschland soll eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden.

Um diese Ziele zu erreichen, ergänzt die Bundesregierung ihre Energie- und Klimapolitik durch einen neuen strategischen Ansatz. Dieser Ansatz setzt auf eine verbesserte Förderung von Forschung und Entwicklung zukunftsfähiger Energietechnologien.

Das 6. Energieforschungsprogramm ist ein gemeinsames Programm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Es wurde unter der Federführung des BMWi erstellt.

Orientierungsgrundlage für das 6. Energieforschungsprogramm bildet das Energiekonzept der Bundesregierung vom 28. September 2010 sowie seine Fortschreibung durch die Neubewertung der Kernenergie nach dem Erdbeben in Japan am 11. März 2011 und die dadurch ausgelösten Störfälle an Nuklearanlagen. Nach der Kabinettsentscheidung vom 6. Juni 2011 ist es Ziel, den Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien noch schneller zu beschreiten und dabei gleichzeitig eine sichere, wirtschaftliche und umwelt- verträgliche Energieversorgung in Deutschland zu gewährleisten. Die Energiewende ist eine politische und gesellschaftliche Gestaltungsaufgabe ersten Ranges. Dabei spielen Wissenschaft und Wirtschaft eine wichtige Rolle. Der Prozess der Energiewende ist ohne wissenschaftliche Expertise nicht denkbar.

Vor diesem Hintergrund setzt die Bundesregierung bei ihrer Förderung von Forschung und Entwicklung im Energiebereich auf vier zentralen Feldern neue Akzente:

1. Strategische Fokussierung: Die Fördermittel, die den Ressorts für die Unterstützung von Forschung und Entwicklung zur Verfügung stehen, werden noch deutlicher auf die Technologien und Technologiesysteme konzentriert, die für den von der Bundesregierung angestrebten Übergang Deutschlands zu einer nachhaltigen Energieversorgung wichtig sind. Damit stehen im Mittelpunkt: Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energiespeichertechnologien und Netztechnik, Integration der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung und das Zusammenwirken dieser Technologien im Gesamtsystem.

2. Ressortübergreifende Zusammenarbeit: Auf ausgewählten, für die künftige Energieversorgung Deutschlands wichtigen Feldern werden die beteiligten Ressorts gemeinsame Förderinitiativen entwickeln. Eine enge und gut verzahnte Zusammenarbeit ermöglicht es, die in den jeweiligen Ressorts vorhandenen Kernkompetenzen besser zu bündeln, Synergievorteile zu realisieren und durch den konzentrierten Einsatz von Fördermitteln die notwendigen technologischen Durchbrüche zu erzielen. BMWi, BMU und BMBF haben bereits eine gemeinsame Förderinitiative „Energiespeicher“ ins Leben gerufen. Weitere Initiativen für die Bereiche „Netze“ und „Solares Bauen - Energie effiziente Stadt“ werden folgen. An der Schnittstelle von Forschung und Innovation kommt bei der ressortübergreifenden Zusammenarbeit auch anderen Fachressorts eine entscheidende Rolle zu, wie das am Beispiel des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung in seinen Aufgabenbereichen deutlich wird.

3. Internationale Kooperation: Technologieentwicklungen müssen heute immer stärker aus einer globalen Perspektive bewertet werden. Die Bundesregierung trägt diesem Gedanken durch eine Verbesserung der internationalen Kooperation auf dem Gebiet der Energieforschung Rechnung. Von besonderer Bedeutung ist dabei eine stärkere Vernetzung der Forschungsarbeiten innerhalb der Europäischen Union. Die internationale Kooperation ist vor allem für Deutschland aufgrund seiner auf die Weltmärkte ausgerichteten Volkswirtschaft von größter Bedeutung. Um hier für die Zukunft die richtigen Akzente setzen zu können, wird die Bundesregierung in Gesprächen mit Wirtschaft und Wissenschaft prüfen, wie die internationale Zusammenarbeit bei Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien an die neuen Herausforderungen angepasst und verbessert werden kann.

4. Abstimmung und Koordination: Ein sich beschleunigender Trend zur Ausdifferenzierung und Spezialisierung kennzeichnet die Energieforschungsaktivitäten in Deutschland. Angesichts dieser Entwicklungsprozesse wird die „Koordinierungsplattform Energieforschung“ ausgebaut und gestärkt. Durch eine optimierte Abstimmung und Koordination unter den beteiligten Ressorts soll ein möglichst hoher Mehrwert für den aus öffentlichen Mitteln bereitgestellten „Forschungs-Euro“ geschaffen werden. Die „Koordinierungsplattform“ soll auch zu einer besseren Zusammenarbeit mit den Bundesländern und den europäischen Förderinstitutionen genutzt werden.

Die Bundesregierung ist der Auffassung, dass eine exzellente, breit angelegte und gut vernetzte - von den Grundlagen bis zur industriellen Anwendung und Demonstration reichende - Forschung und Entwicklung zu den wichtigsten Voraussetzungen gehört, neue Konzepte zu erproben, Innovationen zu beschleunigen und zukunftsfähige Energietechnologien an den Markt heranzuführen.

Das 6. Energieforschungsprogramm ist das Ergebnis eines umfangreichen Konsultationsprozesses. Es ist gut abgestimmt mit den Forschungsaktivitäten der Wirtschaft, der wissenschaftlichen Institute sowie der Energieforschung in den Bundesländern. Die Ausrichtung des Programms bezieht die Abstimmung mit den Forschungsaktivitäten der EU und mit den Partnerländern in der Internationalen Energieagentur (IEA) ein. Deutschland verfügt über eine gute Grundlagenforschung, eine leistungsfähige wissenschaftlich-technische Infrastruktur sowie eine hervorragende industrielle Energieforschung. Das belegen die überdurchschnittliche Beteiligung deutscher Partner an dem EU-Forschungsrahmenprogramm und die guten, z.T. exzellenten Bewertungen der Forschungsprogramme der Helmholtz-Gemeinschaft durch internationale Gutachter.

Die Bundesregierung fördert Forschung und Entwicklung von Technologien mit Energiebezug in einer Vielzahl von Programmen und auf breiter Front. Alle diese Maßnahmen sind Bestandteil der Hightech-Strategie der Bundesregierung. Das Herzstück der Technologieförderung der Bundesregierung im Energiebereich ist das Energieforschungsprogramm. Dort erfolgen die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik der Bundesregierung und die Vorgabe von Prioritäten für die „Förderpolitik“ des BMWi, BMU, BMELV und BMBF. Bei der Unterstützung von Forschung und Entwicklung kommen zwei Instrumente zum Einsatz: die „Projektförderung“ und die „institutionelle Förderung“. Die Projektförderung wird eingesetzt, um zeitlich befristete

und inhaltlich klar definierte Forschungsvorhaben in Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten zu unterstützen. Charakteristisch für diese Projekte ist vor allem die relative Anwendungs- und Marktnähe. Die „institutionelle Förderung“ erfolgt im Wesentlichen im Rahmen des Fachbereichs Energie der Helmholtz- Gemeinschaft, die vom BMWi und BMBF unterstützt wird. Die Forschungseinrichtungen der Helmholtz- Gemeinschaft greifen typischerweise Fragestellungen auf, die eher grundlagenorientiert sind oder wegen ihrer Komplexität oder des Bedarfs an spezifischen Großgeräten am besten in Großforschungszentren bearbeitet werden können. „Projektförderung“ und „institutionelle Förderung“ ergänzen sich und wirken zusammen. Viele sehen in dieser Form der Zusammenarbeit den Grund für die hervorragende Stellung der Energieforschung in Deutschland im internationalen Vergleich.

Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung legt ein besonderes Gewicht auf eine Neuausrichtung der projektorientierten Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien. Dadurch ist es noch am ehesten möglich, flexibel zu reagieren und rasche Erfolge bei der Modernisierung der Energieversorgung Deutschlands und beim Übergang zum Zeitalter der erneuerbaren Energien zu erzielen.

Kennzeichen der künftigen Förderung von Forschung und Entwicklung im Energiebereich der Bundesregierung ist die enge Zusammenarbeit der beteiligten Ressorts auf der Grundlage der jeweiligen Fachprogramme:

- Die Schwerpunkte der Projektförderung des BMWi im Bereich der nicht-nuklearen Technologien folgen der gesamten Energiekette und liegen vor allem auf den Feldern: energieoptimiertes Bauen, energieeffiziente Stadt, Energieeffizienz in der Industrie, im Gewerbe, Handel und bei Dienstleistungen, Energiespeicher und Netze einschließlich stromwirtschaftliche Schlüsselelemente der Elektromobilität, Kraftwerkstechnologien und CO_2-Abtrennung, Brennstoffzellen/ Wasserstoff, Systemanalyse (Kapitel 3.1). Die Projektförderung des BMWi im Bereich der nuklearen Sicherheits- und Endlagerforschung konzentriert sich auf den Erhalt und den Ausbau des wissenschaftlichen Know-hows auf diesen Gebieten (Kapitel 3.2). Im Bereich der institutionellen Energieforschung der Helmholtz-Gemeinschaft fördert das BMWi das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) auf den Gebieten der Verbrennungstechnik, der Solarenergie und der Systemanalyse (Kapitel 3.3).

- Das BMU nutzt die Projektförderung zu einer strategisch ausgerichteten, umfassend angelegten Förderung von Forschung und Entwicklung in den Bereichen Windenergie, Photovoltaik, Geothermie, Thermische Solarenergie, Solarthermische Kraftwerke, Wasserkraft und Meeresenergie (Kapitel 4.1 bis 4.6). Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf Projekten, die einen Beitrag zur Umstellung

	Ist	Soll	Plandaten		
	2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**
Rationelle Energieumwandlung und -Verwendung, Energieeffizienz					
Bundeshaushalt	210.256	224.275	209.920	208.377	216.069
Energie- und Klimafonds —		28.000	33.500	121.850	137.500
Summe	210.256	252.275	243.420	330.227	353.569
Erneuerbare Energien					
Bundeshaushalt	205.142	221.362	245.015	256.726	260.912
Energie- und Klimafonds —		40.000	29.000	130.000	165.000
Summe	205.142	261.362	274.015	386.726	425.912
Nukleare Sicherheit, Endlagerung					
Bundeshaushalt	71.543	75.280	78.435	80.721	83.060
Fusion					
Bundeshaushalt	131.031	144.053	158.507	166.348	144.086
Summe					
Bundeshaushalt	617.971	664.970	691.877	712.171	704.127
Energie- und Klimafonds —		68.000	62.500	251.850	302.500
Summe	**617.971**	**732.970**	**754.377**	**964.021**	**1.006.627**

Tabelle: Förderung von Forschung und Entwicklung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung (Tsd. Euro)
Die Zahlen zum Bundeshaushalt stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament
Die Fördermittel für den Energie- und Klimafonds stehen noch unter Vorbehalt

auf ein regenerativ Energiesystem leisten (Kapitel 4.7 bis 4.8).

- Die Projektförderung des BMELV umfasst die verschiedenen Technologien zur Nutzung der Bioenergie. Dazu gehören die festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträger. Ein wichtiger Schwerpunkt des BMELV ist die institutionelle Förderung des Deutschen Biomasse Forschungs-Zentrums (Kapitel 5).

- Das BMBF engagiert sich auf dem Gebiet der Grundlagenforschung. In der Projektförderung liegen die Schwerpunkte in den Bereichen Photovoltaik, Bioenergie, Windenergie und Energieeffizienz. Um langfristig Handlungsmöglichkeiten zu erhalten, fördert das BMBF auch die Kernfusion. Im Rahmen der nuklearen Sicherheits- und Entsorgungsforschung sowie der Strahlenforschung fördert das BMBF den wissenschaftlichen Nachwuchs. Damit wird der notwendige Kompetenzerhalt in Deutschland gesichert. Der BMBF ist auch zuständig für die wesentlichen Forschungsarbeiten im Fachbereich „Energie" der Helmholtz-Gemeinschaft, die einen wichtigen Beitrag für die Exzellenz des Forschungsstandorts Deutschland leisten (Kapitel 6).

Die Bundesregierung stellt im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms für die Förderung von Forschung und Entwicklung zukunftsfähiger Energietechnologien 2011 bis 2014 rd. 3,5 Mrd. € zur Verfügung. Das entspricht gegenüber der Vergleichsperiode 2006 bis 2009 einer Steigerung um rd. 75%. Dieser beachtliche Aufwuchs speist sich zu einem erheblichen Teil aus dem zum 1. Januar 2011 eingerichteten Sondervermögen „Energie- und Klimafonds". Die Bundesregierung stellt aus diesem Fonds zusätzliche Mittel für die Jahre 2011 bis 2014 in Höhe von 685 Mio. € bereit, die ausschließlich für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in den Bereichen „Erneuerbare Energien" und „Energieeffizienz" verwendet werden. Die Zukunft der staatlichen Forschungsförderung im Energiebereich gehört der Energieeffizienz und den erneuerbaren Energien.

In 2014 wird die Bundesregierung fast 80 % ihres Forschungsbudgets auf diesen beiden für die künftige Energieversorgung Deutschlands wichtigen Feldern investieren.

Eine detaillierte Aufteilung des Energieforschungsbudgets des Bundes nach Ressorts und Technologiebereichen findet sich in den nachfolgenden Fachkapiteln.

1. Einleitung

1.1 Energiewirtschaftliche Herausforderungen

Wenn es etwas gibt, das jeden Menschen zutiefst berührt, von dem die Existenz und der Wohlstand jedes Einzelnen abhängen, dann ist es Energie. Energie ist der Motor allen Geschehens. Das erklärt, warum die Energiepolitik seit jeher ein zentraler Bereich staatlichen Handelns ist und warum energiepolitische Überlegungen immer wieder und oft auch kontrovers im Mittelpunkt der öffentlichen Meinungsbildung stehen.

Anfang des 21. Jahrhunderts stellt sich die Energiefrage neu und dringlicher als je zuvor. Nichts belegt dies deutlicher als ein Blick auf die globalen historischen energiewirtschaftlichen Entwicklungen und die dort zu erkennende Dynamik. Für die Bundesregierung, die ihre Energiepolitik langfristig anlegt und Wirtschaft und Verbrauchern mit dem Energiekonzept eine Orientierung bis zum Jahr 2050 gibt, sind drei große Entwicklungslinien von herausgehobener Bedeutung:

- *Wachstum des Energieverbrauchs:* 1950 betrug der weltweite Primärenergieverbrauch rd. 100 EJ. Von 1950 bis 2008 ist der jährliche Verbrauch auf mehr als das 5-Fache angestiegen (513 EJ). Ursachen dafür sind vor allem der Bevölkerungszuwachs und die wirtschaftliche Entwicklung. 1950 lebten auf der Erde 2,5 Mrd. Menschen. 2010 lag die Zahl bei rd. 7 Mrd. und bis 2050 wird ein weiterer Anstieg auf 9 Mrd. Menschen erwartet. Unter dieser Annahme sind aktuelle Abschätzungen der Internationalen Energieagentur (IEA), die einen weiteren Zuwachs des Weltprimärenergieverbrauchs bis 2050 auf über 900 EJ pro Jahr für möglich halten, keineswegs unrealistisch7'8.

- *Dominanz der fossilen Energieträger:* Der Wohlstand der Welt stützt sich auf die fossilen Energieträger. Das gilt in besonderer Weise für die Industrieländer, aber auch für die meisten Entwicklungs- und Schwellenländer. Der Beitrag von Kohle, Öl und Erdgas zur Deckung des weltweiten Primärenergiebedarfs liegt heute bei rd. 80%. Den restlichen Beitrag erbringen die Wasserkraft, die sonstigen erneuerbaren Energien, vor allem die traditionelle Biomasse, und die Kernenergie. Es ist bemerkenswert, dass der Anteil der fossilen Energieträger zur Deckung des globalen Primärenergiebedarfs in den letzten 60 Jahren sogar leicht gestiegen ist. Kohle, Öl und Erdgas konnten ihre dominierende Stellung im Markt ausbauen, trotz des Einsatzes eines neuen Energieträgers, der Kernenergie, und trotz des raschen Ausbaus der modernen erneuerbaren Energien, wie Windenergie und Solarenergie, in den

letzten Jahren. Das belegt, dass das beispiellose Wirtschaftswachstum der letzten Jahrzehnte mit einem immer größeren Zugriff auf die fossilen Energieressourcen einherging. Die Zuwachsraten sind beeindruckend: Von 1950 bis 2010 ist der weltweite Einsatz von Kohle um etwas mehr als 200%, der Einsatz von Erdöl um fast 700% und der Einsatz von Erdgas, das allerdings 1950 nur eine sehr geringe Rolle spielte, um deutlich mehr als 1.300 % gestiegen.

– *CO_2-Emissionen und Klimaschutz:* Die Verbrennung von Kohle, Öl und Erdgas führt bei Nutzung der heute zur Verfügung stehenden Technologien unausweichlich zu CO_2-Emissionen und damit zu einer Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes. Die Entwicklung auf diesem Feld ist alarmierend. Von 1950 bis heute stiegen die weltweiten energiebedingten CO_2-Emissionen von 5 Mrd. t auf rd. 31 Mrd. t pro Jahr. Unter Status-quo-Bedingungen ist ein weiterer Zuwachs vorpro-

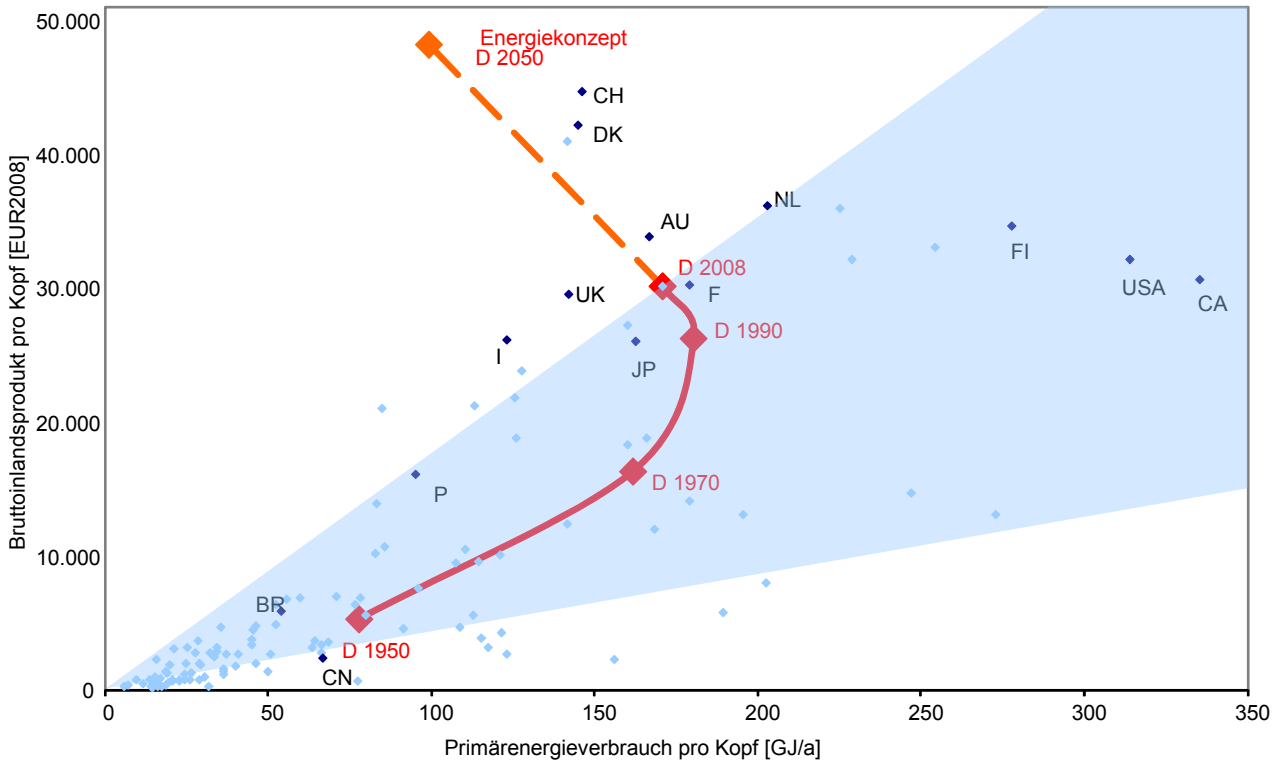


Abb. 1.1: Wirtschaftliche Entwicklung und Energieverbrauch in ausgewählten Ländern 2008 und der energiewirtschaftliche Kurs Deutschlands von 1950 bis 2050

Nach traditionellen Vorstellungen steigt mit dem wirtschaftlichen Wachstum der Energieeinsatz in gleichem Maße. Dieser Zusammenhang lässt sich vor allem durch Ländervergleiche gut illustrieren. Staaten mit einem hohen Bruttoinlandsprodukt pro Kopf, wie etwa USA und Kanada, haben auch einen hohen Energieverbrauch pro Kopf. Staaten, die nur ein vergleichsweise geringes Bruttoinlandsprodukt pro Kopf erwirtschaften, wie etwa Brasilien oder China, haben einen vergleichsweise geringen Energieverbrauch pro Kopf.

Dass auch andere Wege möglich sind, belegt Deutschland. In den 50er, 60er und 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts fügten sich die energiewirtschaftlichen Trends in Deutschland noch gut in die traditionelle Linie ein. Nach der Wiedervereinigung wurde ein grundlegend neues Muster sichtbar. Das Bruttoinlandsprodukt pro Kopf stieg in Deutschland von 1990 bis 2010 um fast 30%, ohne dass ein höherer Energieeinsatz notwendig war. Dieser Trend zu mehr Energieeffizienz soll fortgesetzt und beschleunigt werden.

Für 2050 strebt die Bundesregierung eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 50 % bei einem Wachstum des Bruttoinlandsprodukts um rd. 40 % an. Diese Perspektive impliziert eine Verbesserung der Energieproduktivität bezogen auf den Endenergieverbrauch von 2008 bis 2050 um durchschnittlich 2,1 % und bezogen auf den Primärenergieverbrauch um 2,5% pro Jahr.

grammiert. Analysen der IEA deuten darauf hin, dass die energiebedingten CO_2- Emissionen 2050 gegenüber 1990 mehr als doppelt so hoch ausfallen könnten. Solche Erwartungen stehen in krassem Gegensatz zu den Erfordernissen des Klimaschutzes, nach denen eine rasche und drastische Reduktion der treibhausrelevanten Spurengase notwendig ist.

Insgesamt macht der Blick auf diese Daten deutlich, dass die Art, wie wir heute Energie gewinnen und nutzen, nicht mit den Vorstellungen einer nachhaltigen Entwicklung in Übereinstimmung gebracht werden kann. Nach einer über Jahrhunderte hinweg gehenden, stetig wachsenden Förderung von Kohle, Öl und Erdgas wächst das Verständnis, dass dieser Prozess nicht auf Dauer fortgeführt werden kann. Der Vorrat an fossilen Energieträgern ist begrenzt.

Vor allem bei Erdöl, dem mit einem Marktanteil von mehr als 30% wichtigsten Energieträger in der globalen Energiebilanz, wird die Erschöpfung der Ressourcen immer deutlicher absehbar, auch wenn neue Funde und der technische Fortschritt die Grenzen der Erdölförderung - wie schon so oft in der Vergangenheit - immer weiter in die Zukunft verschieben können.

Die Endlichkeit der fossilen Energieträger ist nicht die einzige Herausforderung. Anfang der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts haben Klimawissenschaftler gezeigt, dass der Verbrennung von Kohle, Öl und Erdgas noch engere Grenzen gesetzt werden müssen. Heute besteht weitgehend Einigkeit, dass bis 2050 global mindestens eine Halbierung der Treibhausgasmissionen gegenüber 1990 notwendig ist. In Industrieländern sogar um 80 bis 95%, um den Anstieg der globalen Temperatur auf unter 2 °C gegenüber vorindustriellen Werten zu begrenzen und dadurch unbeherrschbare Folgen des bereits einsetzenden Klimawandels möglichst zu verhindern9. Diese Bewertung weist daraufhin, dass der Schutz der Erdatmosphäre den Übergang zu einem völlig neuen weltweiten Energiesystem noch dringlicher macht. Notwendig ist rasches und entschlossenes politisches Handeln. Denn es wird immer deutlicher, dass der Weg, auf dem die Menschheit im 21. Jahrhundert voranschreitet, vor allem durch die anstehenden Entscheidungen auf dem Feld der Energie- und Klimapolitik bestimmt wird.

Die Bundesregierung entwickelt ihre Energiepolitik vor dem Hintergrund dieser großen, globalen Perspektiven und den sich daraus ergebenden Möglichkeiten und Randbedingungen. Ziel der Bundesregierung ist es, einen Beitrag für den Übergang zu einem neuen, sicheren, wirtschaftlichen, klima- und umweltverträglichen globalen Energiesystem zu leisten. Dazu gehört auch ein beispielhaftes Vorgehen im eigenen Land. Deutschland will den Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien beschreiten. Deutsch-

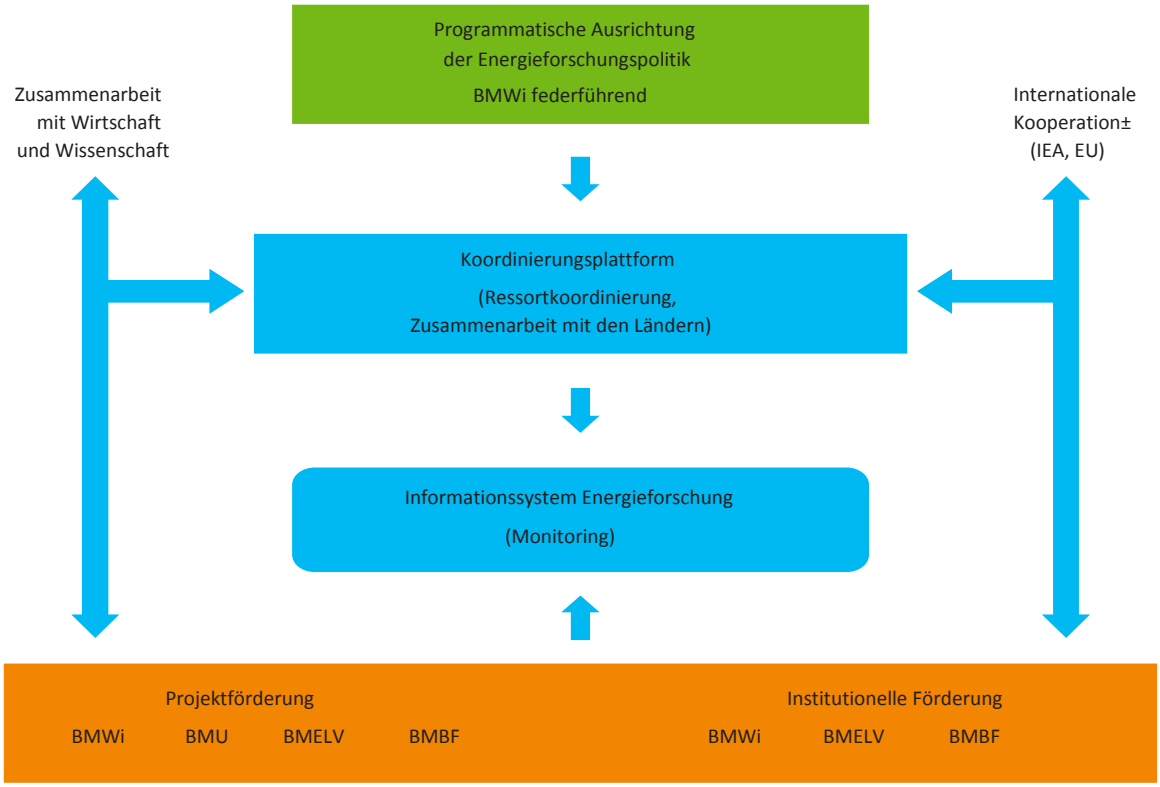


Abb. 1.2: Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

land soll eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden.

Um diese Ziele zu erreichen, ergänzt die Bundesregierung ihre Energie- und Klimapolitik durch einen neuen strategischen Ansatz. Dieser Ansatz setzt auf eine verbesserte Förderung von Forschung und

Entwicklung moderner Energietechnologien. Die Bundesregierung ist der Auffassung, dass eine exzellente, breit angelegte und gut vernetzte, von den Grundlagen bis zur industriellen Demonstration und Anwendung reichende Forschung und Entwicklung zu den wichtigsten Voraussetzungen gehört, neue Konzepte zu erproben, Innovation zu beschleunigen und zukunftsfähige Energietechnologien an den Markt heranzuführen.

Durch eine geeignete politische Flankierung, insbesondere im Rahmen der „Exportinitiative Energieeffizienz“ und der „Exportinitiative Erneuerbare Energien“, wird die Bundesregierung sicherstellen, dass die neuen Energietechnologien nicht nur Investoren in Deutschland zur Verfügung stehen, sondern auch in Europa und in anderen Ländern der Welt eingesetzt werden können. Damit leistet die Politik einen wirkungsvollen Beitrag zu der angestrebten globalen Energiewende und sichert zugleich Wertschöpfung und Beschäftigung auf dem Feld moderner Energietechnologien in Deutschland. Mit dieser Grundlinie fügt sich das neue Energieforschungsprogramm gut in die „Technologieoffensive“ des BMWi und der „Hightech-Strategie“ der Bundesregierung ein, deren generelles Ziel es ist, die enormen Potenziale Deutschlands in Wissenschaft und Wirtschaft zu aktivieren und zukunftsfähige Lösungen für die nationalen und globalen Herausforderungen bereitzustellen.

1.1.1 Energiepolitische Vorgaben

Die Bundesregierung hat am 28. September 2010 ihr Energiekonzept vorgelegt4. Dieses Konzept wurde nach dem Reaktorunfall in Japan im März 2011 fortgeschrieben. Ziel ist es jetzt, das Zeitalter der erneuerbaren Energien noch schneller zu erreichen. Die Leitlinien des Energiekonzepts für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung haben jedoch unveränderten Bestand. Das gilt auch für die quantitativen Ziele, die bis zum Jahr 2050 reichen und die Energieversorgung Deutschlands in ihren Grundzügen vorgeben.

Für die künftige Ausrichtung der Energieforschungspolitik sind vor allem die langfristigen Vorgaben von Bedeutung. Die wichtigsten Festlegungen für das Jahr 2050 sind:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95% gegenüber 1990 (2020:40%),
- Verminderung des Primärenergieverbrauchs um 50% gegenüber 2008,
- Absenkung des Stromverbrauchs um ca. 25 % gegenüber 2008 (2020:18%) sowie
- Ausbau der erneuerbaren Energien auf einen Anteil von 60% am Bruttoendenergieverbrauch (2020:18%) bzw. 80% am Bruttostromverbrauch (2020: mindestens 35%).

Hinzu kommen weitere quantitative Ziele, die wichtige Teilmärkte betreffen. Dazu gehören insbesondere die Einsparziele für den Gebäudebereich (Reduzierung des Wärmebedarfs im Gebäudebestand bis 2050 um 80%) oder für den Verkehrsbereich (Reduzierung des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor bis 2050 um 40% gegenüber 2005). Weiter gibt es Vorgaben zur Marktentwicklung einzelner Technologien, wie etwa den Ausbau der Offshore-Windenergie bis 2030 auf 25 GW, die Einführung der Elektromobilität (1 Mio. Elektrofahrzeuge bis 2020,6 Mio. Elektrofahrzeuge bis 2030) oder den Einsatz von Anlagen zur CO_2-Abtrennung und Speicherung (bis 2020 sollen zwei solcher Demonstrationsanlagen mit dauerhafter Speicherung von CO_2 in Deutschland gebaut werden). In die Kategorie der technologischen Vorgaben gehört auch die Bewertung der Kernenergie als zeitlich eng begrenzte Brückentechnologie mit der Konsequenz, dass die Kernenergie bereits auf mittlere Sicht keinen Platz in der Energiebilanz Deutschlands haben wird.

Die Anzahl und die Qualität der energiewirtschaftlichen Vorgaben machen deutlich, dass die Bundesregierung für die kommenden 40 Jahre tief greifende Veränderungen des Energiesystems in Deutschland anstrebt. Deutschland begibt sich auf einen Weg, der historisch einmalig und international bislang ohne Vergleich ist (siehe Abb. 1.1).

Bei diesem Transformationsprozess geht es nicht um kleine Änderungen von Teilen. Es geht um große Veränderungen des Ganzen. Denn das, was wir heute als Energiesystem bezeichnen, ist nicht ein Teil unserer Wirtschaft. Es ist die Grundlage unserer Wirtschaft. Zum Energiesystem gehören nicht nur Bergwerke, Kraftwerke, Pipelines, Wind- und Solaranlagen, Netze, Fahrzeuge, Motoren und Wärmeerzeugungsanlagen, sondern auch die gesamte dazu gehörende Infrastruktur, Verkehrswege, Gebäude und Industrieanlagen, die immer wichtiger werdenden Information- und Kommunikationseinrichtungen sowie schließlich auch das jeweilige institutionelle und organisatorische Umfeld. Viele Politikbereiche werden sich im Zuge der Umsetzung des Energiekonzeptes neu ausrichten müssen.

Wie auch immer sich der geplante energiewirtschaftliche Transformationsprozess über die kommenden 40 Jahre in Deutschland im Einzelnen vollziehen

wird, er setzt eines voraus: Innovation und neue Technologien. Mit den heute verfügbaren

Konz epten und Technologien wird es ni cht gelingen, die ehrgeizigen Ziele bei der Energieeinsparung und dem Ausbau der erneuerbaren Energien zu erreichen. Innovation und neue Technologien fallen aber nicht vom Himmel. Sie müssen durch Forschung, Entwicklung und Demonstration an den Markt herangeführt werden. Dazu gibt es keine Alternative.

Die Energieforschungspolitik gilt zu Recht als wesentliches strategisches Element jeder guten Energie- und Klimapolitik, und so hat die Bundesregierung mit der grundlegenden Neuausrichtung ihrer Energiepolitik durch das Energiekonzept auch entschieden, ein neues Energieforschungsprogramm vorzulegen. Kernaufgabe dieses neuen Programms ist es, die Energieforschungspolitik der Bundesregierung und die individuellen Förderprogramme der verschiedenen zuständigen Ressorts auf die großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts auszurichten.

1.2 Ziele der Energieforschungspolitik

Die Bundesregierung verfolgt bei der Förderung von Forschung und Entwicklung von Energietechnologien drei Zielsetzungen:

- Das erste und wichtigste Ziel der Energieforschungspolitik ist es, einen Beitrag zur Erfüllung der zahlreichen energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Vorgaben der Bundesregierung zu leisten. Damit bekommen Bereiche und Technologien eine Priorität, die dazu beitragen, die Energieeffizienz in dem angestrebten Umfang zu verbessern und den Ausbau der erneuer- baren Energien so voranzutreiben, dass die vorgegebenen Marktanteile erreicht werden können. Aufgabe der Förderpolitik ist es insbesondere, diese Technologien kostengünstiger zu machen und dadurch den Weg für eine schnelle Marktdurchdringung zu ebnen. Zudem legt die Bundesregierung Wert auf die Umwelt- und Naturverträglichkeit der Energienutzung.

- Das zweite Ziel der Energieforschungspolitik ist es, die führende Position deutscher Unternehmen auf dem Gebiet moderner Energietechnologien auszubauen. Dieses Ziel gewinnt in dem Umfang an Bedeutung, in dem sich die Gewichte der Entwicklung auf den Energiemärkten verschieben. Hier sind die Trends eindeutig: Die Märkte für Energietechnologien in Deutschland haben Grenzen. Sie wachsen im Rest der Welt, vor allem in den Entwicklungs- und Schwellenländern, und dort zum Teil mit einer gewaltigen Dynamik. Durch eine gezielte Ausrichtung der Energieforschungs- und Technologiepolitik auf die weltweite Entwicklung ergeben sich neue Möglichkeiten zur Flankierung der internationalen Klimaschutzpolitik der Bundesregierung sowie zur Unterstützung der Wachstums- und Beschäftigungspolitik in Deutschland.

- Das dritte Ziel der Energieforschungspolitik ist es, technologische Optionen zu sichern und zu erweitern. Das hilft, die Flexibilität der Energieversorgung Deutschlands zu verbessern. Der grundsätzliche Zugriff auf viele Optionen gibt Wirtschaft und Verbrauchern noch am ehesten die Möglichkeit, sich an Veränderungen und Neubewertungen anzupassen. Nichts als ein weiter Rückblick auf die Energiegeschichte Deutschlands seit 1950 belegt deutlicher, dass energiepolitische Rahmenbedingungen immer zeitgemäß gesetzt werden und mit ihrer Zeit auch wieder vergehen. Offenheit der Zukunft ist eine fundamentale Gegebenheit allen politischen Handelns. Die Bundesregierung bekennt sich in ihrem Energiekonzept daher ausdrücklich zu einer grundsätzlich technologieoffenen Energiepolitik. Unter dieser Perspektive wird die Bundesregierung ihre Technologieförderung auch in Zukunft auf breiter Front fortsetzen und so die notwendige Voraussetzung für eine stetige Erneuerung schaffen. Damit leistet die Energieforschungspolitik der Bundesregierung einen wichtigen Beitrag zu einer gesamtwirtschaftlichen Risikovorsorge.

1.3 Rahmen und Struktur der Energieforschung des Bundes

Die Bundesregierung ist der Auffassung, dass Forschung und Entwicklung in erster Linie eine Aufgabe der Wirtschaft ist. Die Aufgabe des Staates ist das Schaffen von Rahmenbedingungen für Innovation und technischen Fortschritt sowie sachgerechte Investitionen in Ausbildung und Grundlagenforschung. Diese Aufgabenteilung resultiert aus dem Verständnis der Überlegenheit marktwirtschaftlicher Prozesse. Die Wirtschaft hat die besseren Anreize für effektive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Sie ist der Hauptnutznießer der Forschungsergebnisse, sie kennt die Stärken und Schwächen der Technologien am besten, und sie muss in einem Wettbewerbsmarkt besonders „überlegt“ agieren.

Darüber hinaus gilt es zu beachten, dass es immer die Wirtschaft ist, die mitziehen muss, wenn neue Entwicklungen und Produkte auf den Markt gebracht werden sollen. Ein Förderprogramm, das zu Technologien oder Produkten führt, die in der Wirtschaft niemand will und die keinen Weg zum Verbraucher finden, ist kein erfolgreiches Programm. Die überragende Position der Wirtschaft bei Forschung und Entwicklung wird auch im Forschungsbudget Deutschlands sichtbar. Nahezu 70 % der Bruttoin-

landsausgaben für Forschung und Entwicklung werden durch die Wirtschaft finanziert.

Jenseits dieser generellen Aufgabenteilung gibt es einen spezifischen Bedarf für eine gezielte staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung. Dieser Bedarf ergibt sich aus den bekannten „Marktdefiziten“ und ist im Energiebereich insbesondere begründet durch

- die langen Zeithorizonte energietechnischer Entwicklungen von der Erfindung bis zu einer kommerziellen Nutzung, die z. T. weit außerhalb der betriebswirtschaftlich üblichen Planungsund Kalkulationsfristen liegen,
- die hohen und oft kaum zu übersehenden technologischen und ökonomischen Risiken von Forschung und Entwicklung ausgewählter Energietechnologien, die vom Markt nicht abgedeckt werden können, sowie
- den strategischen Stellenwert des Faktors „Energie“ für Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft.

Die Situation bei Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien hat sich in den letzten Jahren in Deutschland enorm verbessert. Deutschland verfügt heute im Energiebereich über eine

Vielzahl exzellenter Wissenschaftler und Forscher, eine gute, z. T. sehr gute Forschungsinfrastruktur und eine wachsende Vielfalt von unterschiedlichen Forschungsinitiativen. Die Unternehmen haben ihr Engagement bei Forschung und Entwicklung ausgebaut. Die Bundesregierung und viele Landesregierungen haben ihre Programme zur Förderung von Forschung und Entwicklung von Energietechnologien verstärkt. Die Abstimmungsprozesse zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik haben sich verbessert. Das alles sind Faktoren, die dazu beigetragen haben, dass Deutschland heute auf vielen Energietechnologiefeldern eine führende Rolle innehat. Das gilt insbesondere auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien, wie Photovoltaik und Windenergie, aber auch bei modernen Kraftwerkstechnologien.

Als vorteilhaft herausgestellt hat sich auch die produktive Arbeitsteilung zwischen den verschiedenen Bundesressorts bei der Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration moderner Energietechnologien. Hier gelten folgende Vorgaben:

- Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) hat aufgrund seiner Gesamtverantwortung für die Wirtschafts-, Technologie-, Industrie- und Energiepolitik die Federführung für die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik und für das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Das BMWi ist zuständig für die anwendungsorientierte Projektförderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der „nicht-nuklearen Energieforschung“ (ohne erneuerbare Energien) und der „nuklearen Sicherheit und Endlagerung“. Diese Zuordnung liefert eine gute Grundlage für eine kohärente Politik der Bundesregierung in den Bereichen Kohle, Öl, Gas, Strom, Netze sowie Energieeinsparung und Energieeffizienz. Darüber hinaus ist das BMWi auch zuständig für die Umsetzung der Energieforschung beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in der Helmholtz-Gemeinschaft.

- Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ist zuständig für die anwendungsorientierte Projektförderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien (mit Ausnahme der Bioenergie). Mit dieser Zuordnung ist die Zuständigkeit für die Förderung von Forschung und Entwicklung erneuerbarer Energien sowie für ihre Integration in das Gesamtsystem und die Markteinführung der erneuerbaren Energien in einem Ressort zusammengeführt.

- Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) ist zuständig für die anwendungsorientierte Projektförderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Bioenergie. Diese Zuordnung ermöglicht eine besonders enge Verzahnung von Forschungspolitik und Landwirtschaftspolitik auf dem Gebiet der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

- Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ist zuständig für die institutionelle Förderung der Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft im Forschungsbereich „Energie“ (ohne DLR), sowie für die projektorientierte Forschung zur Klärung von Grundlagenfragen in den Bereichen „Energieeffizienz“, „Erneuerbare Energien“, „Nukleare Sicherheit“, „Entsorgung“, „Strahlenforschung“ und „Fusion“. Diese Zuordnung erleichtert eine wirksame Vernetzung zu anderen Grundlagenforschungsbereichen, wie Materialforschung, Nanotechnologie, Lasertechnologie, Mikrosystemtechnik oder mathematische Modellierung. Zu den Aufgaben des BMBF gehört es auch, durch Verbesserung der Ausbildung von Fachleuten der Ingenieur- und Naturwissenschaften das exzellente Forschungsniveau der Energieforschung in Deutschland zu halten.

Die Bundesregierung fördert Forschung und Entwicklung von Technologien mit spezifischen Energiebezügen auch außerhalb des Energieforschungsprogramms. Dabei handelt es sich um Ansätze und Vorhaben, bei denen andere politische oder fachliche Ziele vorrangig sind oder die sich aus einem anderen institutionellen Hintergrund ergeben. Typische Bei-

spiele sind Forschungsvorhaben im Bereich der Verkehrsforschung, der Elektromobilität (sofern kein energiewirtschaftlicher Bezug), der Luftfahrtforschung, der Umweltforschung, der Forschung für das Bau- und Wohnungswesen oder von Projekten der Informations- und Kommunikationstechnologie. Auch gibt es Vorhaben mit Bezug zur Energieforschung im Rahmen der individuellen Ressortverantwortung, die vielfach der Politikberatung dienen. Gleiches gilt für Arbeiten bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) oder bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Darüber hinaus werden energiewirtschaftliche und energietechnische Fragestellungen auch an den Universitäten, von der Max-Planck-Gesellschaft, der Fraunhofer-Gesellschaft, der Leibniz-Gemeinschaft, den Akademien und anderen Institutionen aufgegriffen.

Eine besonders wichtige Rolle spielt dabei das BMVBS in seinen stark energieabhängigen Aufgabenbereichen Verkehr, Bauen, Wohnen und Stadtentwicklung. Das BMVBS fördert mit eigenen Programmen und mit Unterstützung seiner Ressortforschungseinrichtungen die Einführung zukunftsfähiger Lösungen in die Praxis, wie beispielsweise Elektromobilität oder das Plus-Energie-Haus.

Die Bundesregierung betrachtet einen breiten Ansatz der Technologieförderung als angemessen und sinnvoll. Gleichwohl konzentriert sich die Bundesregierung in ihrem Energieforschungsprogramm auf Vorgaben und Prioritäten für die Kernbereiche der Technologieentwicklung im Kontext der oben beschriebenen Zuständigkeiten (Abb. 1.2). Diese Abgrenzung und Schwerpunktsetzung erlaubt noch am ehesten, eine große „strategische Grundlinie der Bundesregierung für die Energieforschung“ festzulegen, die dann auch benachbarten oder nachrangigen Forschungsbereichen als generelle Orientierung dienen kann.

1.4 Leitlinien der künftigen Förderpolitik

Eine zielgerichtete Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien ist ein wichtiges Instrument zur Beschleunigung der Energiewende. Um diesen neuen Herausforderungen zu entsprechen, hat die Bundesregierung zur Umsetzung des 6. Energieforschungsprogramms übergeordnete Leitlinien festgelegt:

- Strategische Fokussierung: Die Fördermittel der Ressorts werden in erster Linie auf besonders innovative, langfristig Erfolg versprechende Energietechnologien konzentriert, die für den Überg-

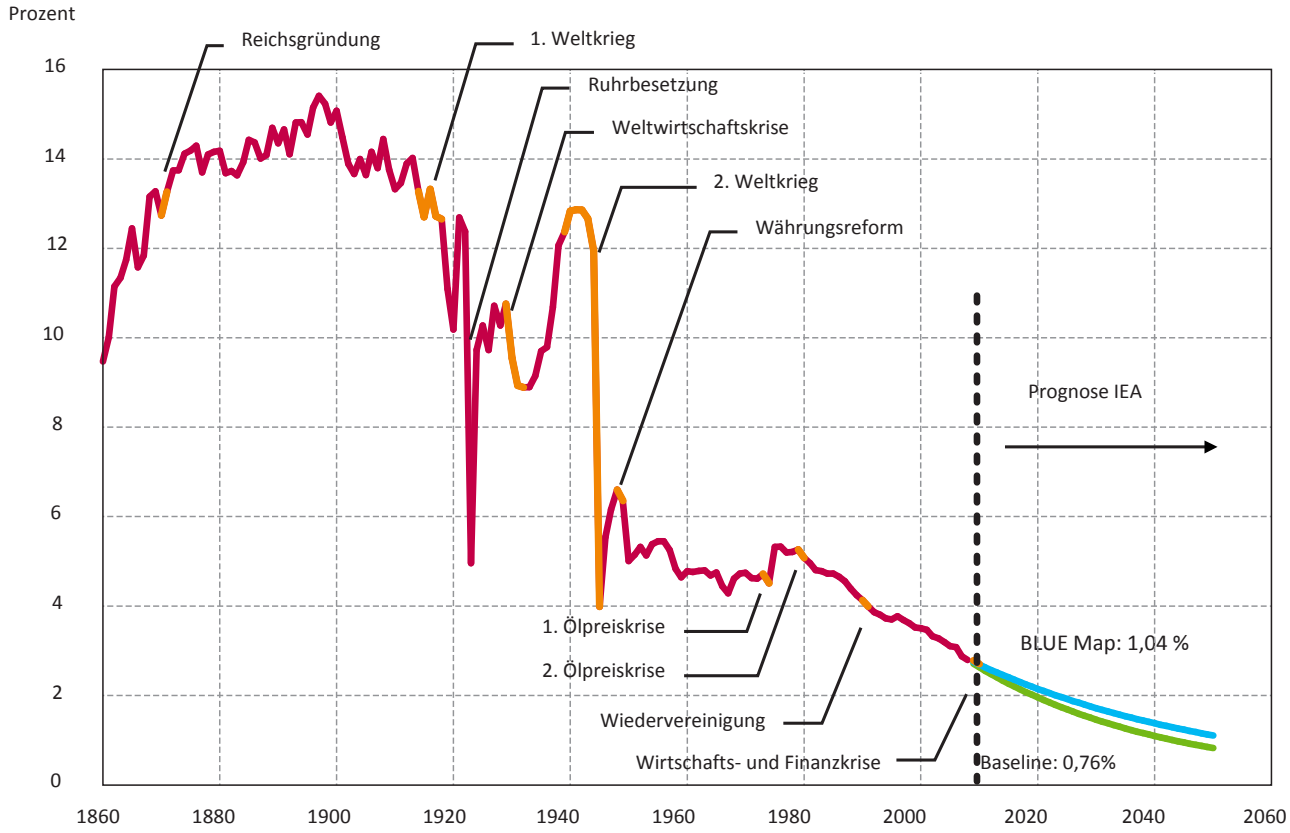


Abb. 1.3: Deutschlands Anteil am weltweiten Primärenergieverbrauch

ang zu einer nachhaltigen Energieversorgung in Deutschland wichtig sind. In diesem Sinne wird sich die Förderpolitik konzentrieren auf: Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energiespeichertechnologien und Netztechnik, Integration der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung und das Zusammenwirken von diesen Energietechnologien. Im Bereich der nuklearen Sicherheit und Non-Proliferations-Vorsorge wird die Bundesregierung die Forschungsförderung so gestalten, dass die in Deutschland vorhandenen Kompetenzen bewahrt und weiterentwickelt werden können. Die Vorgabe dieser Schwerpunkte gibt Wirtschaft und Wissenschaft Berechenbarkeit und Planungssicherheit für ihre eigenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

- Ressortübergreifende Zusammenarbeit: Auf ausgewählten und strategisch wichtigen Feldern werden die Ressorts gemeinsame Förderstrategien entwickeln. Diese neue Form der Zusammenarbeit ist eine gute Grundlage, die in den jeweiligen Ressorts vorhandenen Kernkompetenzen zu nutzen, Synergievorteile zu realisieren und durch den gezielten Einsatz von Fördermitteln die notwendigen technologischen Durchbrüche zu erzielen. BMWi, BMU und BMBF haben bereits im Frühjahr 2011 eine erste gemeinsame Förderbekanntmachung zu dem zentralen Thema „Energiespeicher“ veröffentlicht. Weitere Förderinitiativen zu den Technologiefeldern „Netze“ und „Solares Bauen - Energieeffiziente Stadt“ werden folgen.

- Internationale Ausrichtung: Technologieentwicklungen müssen heute immer stärker aus einer globalen Perspektive bewertet werden. Die Bundesregierung wird diesem Aspekt bei der Technologieförderung Rechnung tragen. Im europäischen Kontext wird die Bundesregierung deutsche Antragsteller bei der Mitwirkung und erfolgreichen Umsetzung des Strategischen Energietechnologieplans (SET-Plan) unterstützen. Priorität aus deutscher Sicht haben Projekte mit einer klaren europäischen Dimension. Dazu gehören vor allem die Forschungsthemen Stromnetze, erneuerbare Energien, Speichertechnologien, Energieeffizienz sowie Abtrennung und Speicherung von CO_2 (Carbon Capture and Storage, CCS). Darüber hinaus wird Deutschland sein Engagement im Rahmen des Energietechnologienetzwerks der IEA verstärken.

- Abstimmung und Koordination: Die Zusammenarbeit von Wirtschaft, Wissenschaft und staatlicher Förderpolitik ist von außerordentlicher Bedeutung für eine erfolgreiche Entwicklung und Markteinführung neuer Energietechnologien. Die Bundesregierung wird daher die beim BMWi eingerichtete „Koordinierungsplattform Energieforschungspolitik“ ausbauen. Die Koordinierung wird, neben der Abstimmung zwischen den Ressorts, auch Förderaktivitäten der Länder und der europäischen Förderinstitutionen einbeziehen. Die Koordinierungsplattform soll auch für eine Zusammenarbeit mit Wirtschaft und Wissenschaft genutzt werden. Ziel ist es, den beteiligten Akteuren Gelegenheit für einen kontinuierlichen und umfassenden Informationsaustausch zu geben, Fragmentierung und Doppelarbeit entgegenzuwirken und einen möglichst hohen Mehrwert für den aus öffentlichen Mitteln bereitgestellten „Forschungs-Euro“ zu schaffen.

- Transparenz: Durch den hohen politischen Stellenwert des Energiethemas sind in den letzten Jahren zahlreiche neue Forschungsinitiativen auf den Weg gebracht worden. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung wird die Bundesregierung beim BMWi ein zentrales Informationssystem einrichten, um mehr Transparenz der staatlichen Förderpolitik und eine bessere Bewertung von Entwicklungen auf dem Gebiet der Energietechnologien zu ermöglichen. Auf der Basis dieses Informationssystems wird das BMWi gemeinsam mit den anderen Ressorts einen „Bundesbericht Energieforschung“ vorlegen, der bestehende Informationen zur Energieforschung für die Öffentlichkeit und das Parlament bereitstellt. Die Ergebnisse dieses Berichts werden in den von der Bundesregierung festgelegten Prozess zur Überprüfung der Fortschritte bei der Umsetzung des Energiekonzepts einfließen (Monitoring).

- Flexibilität: Fortschritte bei Forschung und Entwicklung sind nicht planbar. Die Bundesregierung trifft daher ausreichend Vorsorge, um gegebenenfalls Mittel an bestimmten Stellen zu konzentrieren, wenn sich dort neue technologische Perspektiven eröffnen.

- Qualitätssicherung: Um den hohen Stand von Forschung und Entwicklung im Energiebereich in Deutschland zu sichern und auszubauen, bedarf es der regelmäßigen Evaluierung und kontinuierlichen Optimierung von Strukturen, Regelungen und Entscheidungsverfahren. Dabei spielen Wettbewerbselemente eine wichtige Rolle. Das 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ unterliegt diesen Evaluierungs- und Optimierungsprozessen.

Forschung ohne Geld geht nicht. Die Bundesregierung wird ihrer Verantwortung gerecht, für eine Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien ausreichend Mittel zur Verfügung zu stellen. Sie hat das Energieforschungsbudget in den letzten Jahren beträchtlich aufgestockt. Die Fördermittel sind von 2005 (407 Mio. €) bis 2010 (618 Mio. €) um 50% gestiegen. Die Bundesregie-

rung wird eine weitere Aufstockung zur Umsetzung des Energieforschungsprogramms sicherstellen. Zusätzliche Mittel werden vor allem aus dem zum 1. Januar 2011 errichteten Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“ bereitgestellt. Sie werden genutzt, um neben der Grundlagenforschung vor allem die anwendungsnahe Forschung auf den Feldern „Energieeffizienz“ und „erneuerbare Energien“ weiter auszubauen. Die Planungen sehen vor, das Energieforschungsbudget für das Jahr 2014 auf 1.007 Mio. € anzuheben.

1.5 Internationale Zusammenarbeit in der Energieforschung

In einer Welt mit global agierenden Unternehmen verlieren nationale Marktentwicklungen mehr und mehr an Bedeutung. Manche erwarten sogar, dass es auf ganz lange Sicht nur noch einen globalen Markt für Energietechnologien geben wird. Das hätte gravierende Konsequenzen, denn die Technologieführer werden sich bei Investition, Produktion und Forschung noch mehr auf die Wachstumsmärkte konzentrieren, um dort durch Verbund- und Skalenvorteile wirtschaftlich erfolgreich zu sein.

Deutschland ist von diesem Trend in ganz besonderer Weise betroffen. Der deutsche Energiemarkt unterliegt als Ganzes einem strukturellen, politisch gewollten und sich absehbar beschleunigenden Schrumpfungsprozess. Die Entwicklung in vielen anderen Staaten geht zurzeit noch in eine andere Richtung. Insbesondere in Entwicklungsländern steigt der Energiebedarf. Die daraus folgenden unterschiedlichen Marktperspektiven für Energietechnologien kann man am besten an der Entwicklung des Anteils Deutschlands am weltweiten Energieverbrauch deutlich machen (Abb. 1.3). Anfang des 20. Jahrhunderts verbrauchte Deutschland noch rd. 15% der weltweit eingesetzten Primärenergie, 1950 lag der Anteil bei rd. 5 %, 2010 bei 2,6 %, und es gibt Abschätzungen, die darauf hindeuten, dass sich der Anteil bis 2050 auf 0,8% verringern kann.

Man sieht, dass die großen Wachstumsmärkte für Energietechnologien nicht in Deutschland, sondern in anderen Ländern liegen. Vor allem in den Entwicklungs- und Schwellenländern gibt es einen enormen Bedarf an moderner Technik. Kaum eine Zahl zeigt dies deutlicher als die Einschätzung der IEA, nach der heute immer noch rd. 1,4 Mrd. Menschen keinen Zugang zur Elektrizität haben (diese Zahl entspricht nahezu dem 3-Fachen der Bevölkerung in der EU) und 2,7 Mrd. Menschen ihre Mahlzeiten durch die ineffiziente und die Umwelt belastende Verbrennung von Holz und Dung erwärmen müssen.

Die sich verschiebenden Marktpotenziale und die sich daraus ergebenden neuen Chancen für die deutsche Wirtschaft legen eine Neubewertung der Energieforschungspolitik der Bundesregierung in der Frage der internationalen Zusammenarbeit nahe. Um diesen Prozess voranzubringen, wird die Bundesregierung im Rahmen der Koordinierungsplattform in Gesprächen mit Wirtschaft und Wissenschaft prüfen, wie die internationale Zusammenarbeit bei Forschung und Entwicklung modernerer Energietechnologien künftig ausgestaltet werden soll. Dabei werden die Rahmendaten der „Strategie der Bundesregierung zur Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung“ berücksichtigt1.

Es geht dabei vor allem um die Frage der zukünftigen Akzente in den folgenden Feldern:

- Europäischer strategischer Energietechnologieplan (SET-Plan): Im Rahmen des SET-Plans5 haben sich Unternehmen in „Europäischen Industrieinitiativen“ organisiert. Ziel ist es, die anwendungsnahe Energieforschung zu stärken.

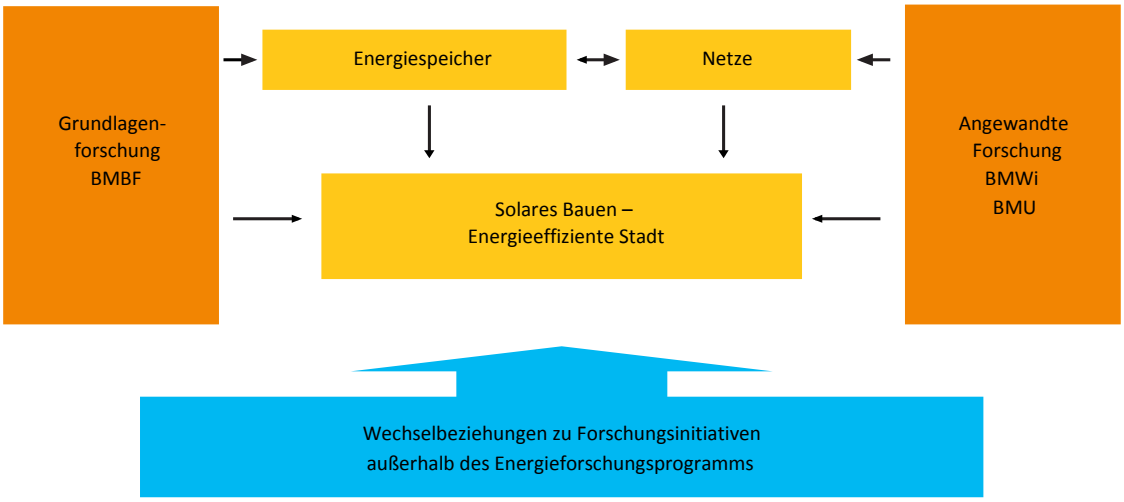


Abb. 2: Ressortübergreifende Forschungsinitiativen

Folgende Initiativen wurden bereits ins Leben gerufen: Bioenergie („European Industrial Bioenergy Initiative“, EIBI), Windenergie („Wind European Industrial Initiative Team“), Photovoltaik („Solar Europe Industry Initiative“, SEII), Solarthermie („Solar Thermal Electricity Industrial Initiative“, STEII), Netze („European Electricity Grid Initiative“, EEGI), die CO_2-Abscheidung und Speicherung („Carbon Capture and Storage“, CCS) und nachhaltige Kernenergienutzung („European Sustainable Nuclear Industrial Initiative“, ESN1I). Themen der Grundlagenforschung werden in der Europäischen Energieforschungsallianz („European Energy Research Alliance“, EERA) bearbeitet, in der die nationalen Forschungszentren der Mitgliedstaaten Zusammenarbeiten. Die Bundesregierung wird sich aktiv an der Umsetzung des SET-Plans beteiligen.

- EU-Forschungsrahmenprogramm: Das von 2007 bis 2013 laufende 7. EU-Forschungsrahmenprogramm umfasst auch den Bereich der nichtnuklearen Energieforschung. Für die Förderung von Forschung und Entwicklung der nicht-nuklearen Energietechnologien stehen Fördermittel in Höhe von 2,35 Mrd. € zur Verfügung. Das Thema „Energie“ des Rahmenprogramms umfasst 10 Themenfelder, die von Energieeffizienz, erneuerbaren Energien, Brennstoffzellen und Wasserstoff, Kraftwerkstechnologien und CCS bis hin zu intelligenten Energienetzen und Querschnittsthemen reichen. Gegenwärtig laufen die Vorbereitungen zu dem 8. EU-Forschungsrahmenprogramm. Die Bundesregierung wirkt an der inhaltlichen Ausgestaltung des neuen Programms mit und setzt sich für eine Vereinfachung der Förderverfahren ein.

- EURATOM-Programm: Die Förderung von nuklearen Energietechnologien in der EU erfolgt im Rahmen des EURATOM-Programms, in dem für die Laufzeit von 2007 bis 2011 ein Budget von 2,751 Mrd. € bereitgestellt werden. Die Mittel werden genutzt zur Forschung auf dem Gebiet der Kernfusion, der Entsorgung radioaktiver Abfälle, der Reaktorsicherheit und für andere Vorhaben aus dem Bereich nuklearer Technologien.

- Internationale Zusammenarbeit im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA): Die IEA mit Sitz in Paris hat in den letzten Jahrzehnten ein umfangreiches Netzwerk zur Entwicklung von Energietechnologien - die „Energietechnologie-Initiativen“ oder „Implementing Agreements“- aufgebaut, in dem Deutschland aktiv mitarbeitet. Die wichtigsten Gremien sind: der Ausschuss für Energieforschung und Technologie („Committee on Energy Research and Technology“, CERT), der dem IEA-Verwaltungsrat nachgeordnet ist und die FuE-Aktivitäten auf politischer Ebene koordiniert, die „Working Parties“, in denen der fachspezifische Meinungsaustausch stattfindet (zurzeit werden vier Themen abgedeckt: fossile Energietechnologien, erneuerbare Energien, Endverbrauchstechnologien und Fusionsenergie), sowie die „Implementing Agreements“, in denen Mitgliedstaaten der IEA (teilweise auch Nichtmitglieder der IEA) zu unterschiedlichen Energiethemen Zusammenarbeiten (zurzeit arbeitet Deutschland in 23 der insgesamt 41 „ Implementing Agreements “ mit).

- Sonstige internationale Organisationen: Neben den Arbeiten in der IEA, die nahezu das gesamte Spektrum an Energietechnologien betrachtet, gibt es weitere internationale Organisationen und Gremien, die sich spezifischen Aspekten der Technologieentwicklung oder speziellen Technologien widmen. Wichtig sind vor allem die „International Renewable Energy Agency“, IRENA, das „Carbon Sequestration Leadership Forum“, CSLF oder die „International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy“, 1PHE. 2009 wurden im Rahmen des „Clean Energy Ministerial“, CEM, einer internationalen Initiative auf Energieministerebene, ebenfalls Foren zu verschiedenen Energietechnologien gegründet, in denen auch Deutschland beispielsweise bei den Themen „Intelligente Netze“ oder „Elektrofahrzeuge“ mitarbeitet.

- Bilaterale Zusammenarbeit: Grundlage für bilaterale Forschungsaktivitäten bilden die Abkommen für wissenschaftliche und technologische Zusammenarbeit (WTZ). In den Rahmenabkommen werden insbesondere Fragen der Finanzierung des Austausches von Wissenschaftlern und Studenten bis hin zu Erleichterungen bei Zoll- und Visaformalitäten im Rahmen der Zusammenarbeit geregelt. Bis Ende 2010 unterhielt Deutschland 48 WTZ-Abkom- men mit Regierungen auf der ganzen Welt. Die Abkommen werden ständig weiterentwickelt und den aktuellen Gegebenheiten angepasst.

Literatur:

[1] BMBF (2008): Strategie der Bundesregierung zur Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung, Bonn / Berlin

[2] BMBF (2010): Bundesbericht Forschung und Innovation 2010, Bonn/Berlin

[3] BMBF (2010): Ideen.Innovation.Wachstum: Hightech-Strategie 2020 für Deutschland, Bonn / Berlin

[4] BMWi/BMU (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Berlin

[5] BMWi (2011): Technologieoffensive des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Berlin

[6] Europäische Kommission (2007): A European Strategic Energy Technology Plan - Towards a Low Carbon Future, Brüssel

[7] IEA (2010): World Energy Outlook 2010, Paris

[8] IEA (2010): Energy Technology Perspectives, Scenarios and Strategies to 2050, Paris

[9] IPCC (2007): Fourth Assessment Report: Climate Change, Genf

2. Ressortübergreifende Initiativen

Die traditionelle Vorstellung einer geordneten zeitlichen Abfolge einer technologischen Entwicklung, beginnend mit der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung, die Produkt- bzw. Verfahrensentwicklung bis zum innovativen Produkt bzw. zur innovativen Dienstleistung, mit deren Ersterprobung und Marktumsetzung, trifft heute kaum noch die Realität. Immer wichtiger wird die enge und direkte Kooperation zwischen den Wissenschaftlern und Ingenieuren aus den Forschungslaboren auf der einen Seite und Vermarktungsexperten auf der anderen Seite. Innovationen vollziehen sich heute mit einer enormen Dynamik. Während sich die erste Generation bereits in einer frühen Vermarktungsphase befindet, erfolgen zeitgleich die Entwicklung der nächsten und die Beschäftigung mit grundlegenden Fragestellungen der übernächsten Generation. Markterfolge hängen mehr und mehr davon ab, wie schnell die Erkenntnisse aus der Erprobungsphase einer Generation in die Entwicklung der nachfolgenden Generation einfließen können.

Das ist aber nur ein Teil der wachsenden Komplexität der Innovationsprozesse. Der technische Fortschritt im Energiebereich vollzieht sich heute mit einer enormen Geschwindigkeit. Die wissenschaftlichen und technologischen Herausforderungen werden immer größer, Systemzusammenhänge immer wichtiger. Die Konsequenz wird in einer immer weiter voranschreitenden Ausdifferenzierung und Spezialisierung sichtbar.

Die staatliche Technologieförderung muss sich an diese neue Situation anpassen. Eine wichtige Rolle spielen dabei ressortübergreifende Förderstrategien. Durch Kooperation verschiedener Ressorts ist es am besten möglich, das jeweilige Fachwissen zu nutzen, Synergievorteile zu erzielen und Kräfte zu bündeln, um auf den für die künftige Energieversorgung Deutschlands wichtigen Feldern die notwendigen technologischen Durchbrüche zu erzielen.

Gemeinsame Förderstrategien bieten sich vor allem auf Gebieten an, bei denen

– der Komplexitätsgrad der Technologie hoch ist und Systemzusammenhänge zu beachten sind,

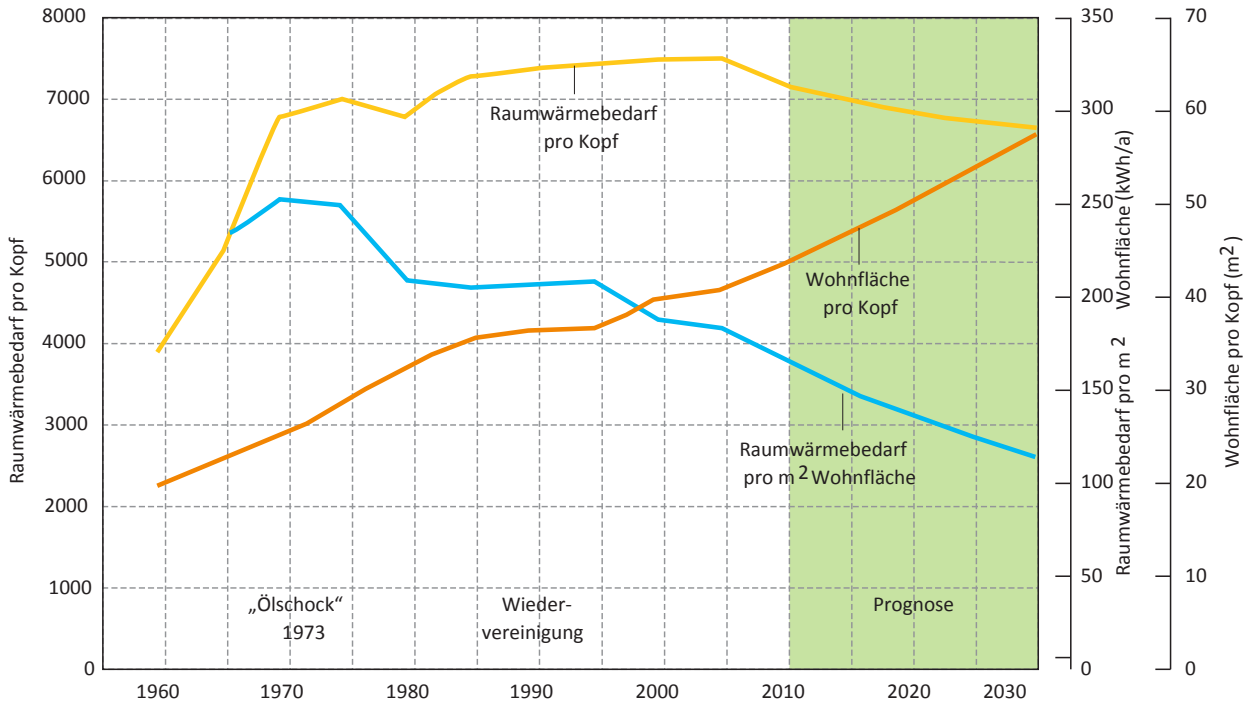


Abb. 3.1: Wohnfläche und Wärmebedarf in Deutschland

- eine enge Verzahnung von Grundlagenforschung, angewandter Forschung, Ersterprobung und Vermarktung wichtig ist und schließlich
- die Politik möglichst rasch Erfolge erzielen will.

Die Bundesregierung hat entschieden, zunächst auf drei Gebieten ressortübergreifende Förderinitiativen zu entwickeln und umzusetzen: „Energiespeicher", „Netze" und „Solares Bauen - energieeffiziente Stadt". Diese Initiativen stehen untereinander in einem fachlichen und politischen Zusammenhang und bedürfen in besonderer Weise der weiteren Abstimmung mit verwandten bzw. vergleichbaren Initiativen in Deutschland (z. B. in den Bundesländern) und Europa.

Einen wichtigen Bezug gibt es insbesondere zu den Förderinitiativen des BMVBS im Bereich „Regionale Energiekonzepte". Hier geht es vor allem um einen spezifischen Ressortbeitrag zur Raumentwicklung und um Entscheidungsgrundlagen für weitere Initiativen, Programme, gesetzliche Regelwerke und Fördertatbestände.

Weitere Bezüge ergeben sich zu dem Thema „Elektromobilität". Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge bieten die Möglichkeit, Strom aus erneuerbaren Energiequellen für den Verkehr zu erschließen. Hierfür sind leistungsfähige Speicher, etwa Wasserstoff oder Batterien, die in sehr spezifischer Weise in die Stromnetze eingebunden werden, nötig. Forschungsmaßnahmen im Bereich der Speichertechnologien im Verkehr werden eng mit den Arbeiten der „Nationalen Plattform Elektromobilität" sowie dem „Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)" verknüpft und abgestimmt. Für die gemeinsamen Förderinitiativen ergeben sich im Einzelnen die folgenden Perspektiven:

2.1 Energiespeicher

Die von der Bundesregierung verfolgte Strategie zum Ausbau der erneuerbaren Energien bei der Stromerzeugung auf 80% bis zum Jahr 2050 erhöht in gleichem Maße die Anforderungen zur Anpassung der Stromnachfrage an das zunehmend volatil anfallende Stromangebot. Mittel- bis langfristig wird der Einsatz von Speichern mit dem stetig steigenden Anteil der erneuerbaren Energien immer bedeutsamer.

Das Thema Energiespeicher ist von hoher Komplexität und muss im Systemzusammenhang gesehen werden. Energiespeicher besitzen auch eine Schlüsselstellung für eine effiziente und auf hohen Anteilen erneuerbarer Energien beruhende Energieversorgung.

Die drei Ressorts BMWi, BMU und BMBF fördern Forschung und Entwicklung bei Speichertechnologien mit jeweils unterschiedlichen Ausrichtungen (siehe hierzu auch Kapitel 3.1.4,4.7.4 und 6.4.2). Dadurch leisten sie aktiv einen Beitrag für den Weg in eine hocheffiziente und überwiegend auf erneuerbaren Energieträgern basierende Energieversorgung.

Thermische Speicher sind eine Querschnittstechnologie in den Bereichen Energieumwandlung, Energieversorgung und allen Sektoren des Endverbrauches. Sie werden in den Bereichen solare Wärmeversorgung und solarthermische Kraftwerke sowie bei der Verbesserung der Energieeffizienz eine wesentliche Rolle spielen. Thermische Speicher können in einem integralen Ansatz auch zur Netzstabilisierung beitragen und damit den Bedarf an elektrischen Speichern reduzieren. Damit thermische Energiespeicher kurzfristig relevante Beiträge zu einem hocheffizienten und auf einem hohen Anteil erneuerbarer Energien basierenden Energieversorgungssystem liefern können, müssen jedoch noch signifikante Verbesserungen in der Wärmespeichertechnik und insbesondere bei der Wirtschaftlichkeit erzielt werden.

Die Entwicklung von stofflichen Energiespeichern ist mit Blick auf eine zukünftig notwendige Langzeitspeicherung erneuerbarer Energien, eine mögliche Verknappung und Verteuerung herkömmlicher Energieträger oder zur Entlastung von Stromnetzen von großer Bedeutung. Gedacht wird hierbei an die Umwandlung von regenerativer Energie in stoffliche Energieträger, wie z. B. Methan oder Wasserstoff. Die ambitionierten klimapolitischen Ziele der Bundesregierung erfordern neben dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien und einer stetigen Erhöhung der Effizienz des gesamten Energiesystems auch die weitgehende Entkarbonisierung der Mobilität. Dadurch werden auch alternative Technologien zur Gewinnung von Brenn- und Kraftstoffen als stoffliche Speicher für z. B. Windüberschussstrom zunehmend interessant.

Langfristig werden elektrochemische Speicher (z.B. auf Lithiumbasis) auch als Option zur Regelung der Stromnetze betrachtet. Eine frühere Marktdurchdringung wird den Batterien aber bei der zunehmenden Elektrifizierung von Kraftfahrzeugen zugesprochen (siehe Kapitel 3.1.4).

BMWi, BMU und BMBF haben bereits im Frühjahr 2011 die „Förderinitiative Energiespeicher" auf den Weg gebracht. Diese Initiative konzentriert sich auf die stationäre Speicherung von Energie. Sie umfasst die Entwicklung von elektrischen Speichern (wobei hier Synergien der mobilen Anwendung gezielt genutzt werden sollen) und die Entwicklung von thermischen und stofflichen Speichern.

Einzelheiten zur Technologieentwicklung, der Förderstruktur und den Prioritäten der Forschungsför-

derung finden sich in der Bekanntmachung der gemeinsamen „Förderinitiative Energiespeicher“1.

2.2 Netze

Der zuverlässige Betrieb von Stromnetzen ist eine unabdingbare Voraussetzung für eine gesicherte Versorgung der Wirtschaft und privater Haushalte mit elektrischer Energie. Dabei erfordern die zunehmenden Anteile erneuerbarer Energien Anpassung und Ausbau der Stromnetze. Der europäische Binnenmarkt und die zentrale Lage Deutschlands in Europa werden außerdem zu einem stetig steigenden Stromaustausch mit benachbarten Ländern führen. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind künftig Investitionen in die Netzinfrastruktur in großem Umfang zu erwarten.

Der verstärkte Ausbau der erneuerbaren Energien und die zunehmende Dezentralisierung des Stromangebots werden auch die Struktur der künftigen Stromnetze erheblich verändern. Der Einsatz von neuen Technologien und das Anpassen an die Erfordernisse eines Energiesystems mit hohem Anteil erneuerbarer Energien sind erforderlich, um in Zukunft eine effiziente, gesicherte und zuverlässige Stromübertragung bzw. Stromverteilung gewährleisten zu können. Die Forschungsthemen weisen ein breites Spektrum auf und erstrecken sich von der Entwicklung neuer Komponenten, z. B. der Gleichstromübertragungstechnik oder Supraleitungstechnologie, der Modellbildung zur Planung und zum sicheren und effizienten Betrieb von Netzen, über die Demonstration und Qualifizierung neuer Technologien bis hin zu systemanalytischen Fragestellungen. Da die drei Ressorts BMWi, BMU und BMBF Forschung und Entwicklung im Bereich Netze mit jeweils unterschiedlichen Ausrichtungen fördern (siehe hierzu auch Kapitel 3.1.5,4.7.3 und 6.4.1), können durch eine enge ressortübergreifende Zusammenarbeit Synergien genutzt und dringend notwendige technologische Entwicklungen beschleunigt werden. Wegen der Dringlichkeit der anstehenden Investitionen zum Netzausbau und der Anpassung an hohe Anteile erneuerbarer Energien ist eine intensive und koordinierte Zusammenarbeit aller Akteure auf diesem Gebiet besonders wichtig. Dies schließt aufgrund der europäischen Dimension des Themas Stromnetze eine Verstärkung der EU-Kooperation im Rahmen des SET-Plans ein.

2.3 Solares Bauen - energieeffiziente Stadt

Weltweit wohnen 45 % der Menschen in Städten. In Deutschland liegt die Zahl bei rd. 70%. Der von der Bundesregierung angestrebte Ausbau der erneuerbaren Energien und die Verbesserung der Energieeffizienz wird sich daher vor allem in den Städten vollziehen müssen. Damit kommen eine Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren ins Spiel, insbesondere die demografische Entwicklung, mögliche neue Formen des Wohnens und Arbeitens, die Verbindung zum Thema Mobilität und schließlich die zentrale Frage der Finanzierung der energetischen Modernisierung von Quartieren und Städten. Die Bundesregierung kann in diesen Bereichen schon auf vielfältige Programme aufbauen. Dazu gehört die Forschungsinitiative „Energieeffiziente Stadt“ des BMWi, das Förderkonzept „Solarthermie2000plus“ des BMU und der „Wettbewerb energieeffiziente Stadt“ des BMBF. Eine wichtige Rolle spielt auch das Forschungsprogramm „Experimenteller Wohnungs- und Städtebau“ (ExWoSt) des BMVBS. Ziel der gemeinsamen Fördermaßnahme „Solares Bauen - energieeffiziente Stadt“ ist es, die vorhandenen Ansätze zu bündeln und in den strategisch wichtigen Feldern auszubauen und zu verstärken.

Im Kontext der Hightech-Strategie der Bundesregierung sind die ressortübergreifenden Förderinitiativen ein Beitrag zur Umsetzung der Zukunftsprojekte „Intelligenter Umbau der Energieversorgung“ und „CO_2-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt“. Sie werden im Rahmen der den jeweiligen Ressorts zugewiesenen fachlichen Verantwortung und Zuständigkeit durchgeführt. Ihre Umsetzung erfolgt durch eine enge Abstimmung, gute Kooperation und ein gemeinsames Programmmanagement.

Literatur:

[1] BMWi, BMU, BMBF: Gemeinsame Initiative zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet von Energiespeichertechnologien vom 21. April 2011, Bundesanzeiger 75/2011, S. 1840 f.

3. Forschungsförderung des BMWi

3.1 Energieeinsparung und Energieeffizienz

Die Bundesregierung strebt in ihrem Energiekonzept eine Begrenzung des Primärenergieverbrauchs an. Bis 2020 soll der Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 um 20 % und bis 2050 um 50 % sinken. Das Erreichen dieser Ziele ist deswegen von so zentraler Bedeutung, weil die Höhe des Primärenergieverbrauchs in 2020 und 2050 darüber entscheiden wird, ob auch die anderen energiepolitischen Ziele der Bundesregierung erreicht werden können. Je erfolgreicher man bei der Reduzierung des Energiebedarfs ist, umso eher wird es gelingen, den Anteil der erneuerbaren Energien in dem angestrebten Umfang zu erhöhen. Und je weniger Kohle, Öl und Erdgas verbraucht werden, umso näher wird man dem Ziel kommen, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40% und bis 2050 um mindestens 80% gegenüber 1990 zu vermindern.

Die politische Vorgabe der Bundesregierung macht es notwendig, mit der Energieeinsparung auf allen Ebenen der Energiebilanz anzusetzen: bei der Energiegewinnung, bei der Energieumwandlung, beim Energietransport und vor allem bei der Energienutzung durch die Endverbraucher. Dementsprechend ist auch die Förderung von Forschung und Entwicklung von Energieeffizienztechnologien durch das BMWi breit aufgestellt. Aufgabe ist es, Investoren und Verbrauchern auf allen Ebenen und in allen Bereichen den Zugriff auf hocheffiziente, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energietechnologien zu ermöglichen.

3.1.1 Energieeffizienz im Cebäudebereich und Energieoptimiertes Bauen

3.1.1.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Gebäude sind zentrale Orte modernen Lebens. Mitteleuropäer verbringen den Großteil ihrer Zeit in Gebäuden und stellen dort hohe Anforderungen an den Raumkomfort. Allein für die Gebäudeversorgung werden in den rd. 40 Mio. privaten Haushalten und an mindestens 37 Mio. Arbeitsplätzen über 40 % der gesamten Endenergie in Deutschland eingesetzt. Das entspricht rd. 3.400 PJ. Der größte Einzelbeitrag,

etwa 2.200 PJ, entfällt dabei auf die Wärmeversorgung der privaten Haushalte1. Der Wärmemarkt ist für die Energiepolitik von strategischer Bedeutung. Nur wenn es gelingt, auf diesem Feld Fortschritte zu machen, wird es möglich sein, die ambitionierten Ziele der Bundesregierung bei der Minderung des absoluten Energieverbrauchs und den weiteren Ausbau der emeuerbaren Energien zu erreichen.

Ein Rückblick belegt, dass durch den technischen Fortschritt und die dadurch mögliche Verschärfung der Energieeinsparverordnung (EnEV) der jährliche, auf die Wohnfläche bezogene Raumwärmebedarf von 210 kWh/m2 Anfang der 1990er Jahre auf heute 160 kWh/m2 gesenkt werden konnte. Der absolute Raumwärmebedarf hat sich jedoch im gleichen Zeitraum kaum verändert. Gründe dafür sind der soziale Wandel, demografische Veränderungen und Anpassung des Lebensstils. Alle Faktoren wirken in Richtung einer wachsenden Nachfrage nach Wohnfläche. Lag der Flächenbedarf 1960 in Deutschland noch bei etwa 20 m2 pro Person, verdoppelte er sich bis 2009 auf rd. 43 m2 (Abb. 3.1)2. Damit folgt Deutschland einem Trend, der nicht nur in den Industrieländern, sondern auch in den Entwick- lungs- und Schwellenländern zu beobachten ist.

Nicht vergleichbar mit der Situation in anderen Ländern ist die spezifische Altersstruktur von Gebäuden in Deutschland. Bedingt durch die großen Zerstörungen im Zweiten Weltkrieg sind 46% des Gebäudebestands in der Nachkriegszeit bis 1978 errichtet worden (Abb. 3.2). Weder gesetzliche Vorschriften (1. Wärmeschutzverordnung 1979) noch das Bewusstsein für energieoptimiertes Bauen angesichts sehr niedriger Energiepreise waren zu jener Zeit vorhanden. Der energetische Qualitätsstandard dieser Baualtersklasse ist aus heutiger Sicht dementsprechend in der Regel verbesserungswürdig.

Innovation und neue Energietechnologien sind eine wesentliche Voraussetzung für Fortschritte beim Stand der Technik im Gebäudebereich (Abb. 3.3). Innovation und neue Energietechnologien sind auch Voraussetzung für eine weitere Verschärfung des Ordnungsrechts und für die künftige Förderpolitik der Bundesregierung für mehr Energieeffizienz im Gebäudesektor. Mit der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009 einschl. der geplanten Novellierung in 2012), dem Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) und der Umsetzung der Europäischen Gebäuderichtlinie (EPBD) setzt die Bundesregierung ihre Politik zur Effizienzsteigerung und Integration erneuerbarer Energien in Gebäuden fort. Ziel ist es, bis 2050 in Deutschland einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu haben. Klimaneutral heißt, dass die Gebäude nur noch einen sehr geringen Energiebedarf aufweisen und der verbleibende Energiebedarf überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt wird.

Die genannten Instrumente müssen im Rahmen der wirtschaftlichen Vertretbarkeit weiterentwickelt werden, um die Sanierungsziele zu erreichen. Dazu sind energierechtliche und ordnungspolitische Analysen erforderlich, die Gegenstand von Programmen des BMVBS und anderer Ressorts sind.

3.1.1.2 Technologieentwicklung und Förderstruktur

Energieoptimierte Gebäude sind technologisch gesehen keine ferne Vision. Schon heute sind Gebäude möglich, die einen minimalen Heiz- und Kühlbedarf haben und gleichzeitig hohen Anforderungen beim Komfort und der Architektur genügen. Sogar Null- und Plusenergiegebäude können realisiert werden3. Dabei ist die Kombination der vier folgenden Maßnahmen wichtig:

- Optimierte Gebäudehülle (Wärme- und Sonnenschutz, Luftdichtigkeit, thermische Speicherkapazität).
- Effiziente Systeme für Bautechnik und technische Gebäudeausrüstung (Wärmerückgewinnung, Niedrig-Exergie-Systeme).
- Integration erneuerbarer Energien (Solarenergie, oberflächennahe Geothermie).
- Betriebsoptimierung der eingebauten Systeme in Abstimmung mit dem Nutzungskonzept.

Maßnahmen zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration von Technologien für mehr

Energieeffizienz im Gebäudebereich werden in der Forschungsinitiative „EnOB - Forschung für Energieoptimiertes Bauen“ zusammengefasst. Bei Pilot- und Demonstrationsprojekten im Rahmen von EnOB steht die gesamte Bauaufgabe im Mittelpunkt. Die Integration erneuerbarer Energien ist ein Teilaspekt davon. Fragestellungen zur Entwicklung von Solartechnologien sowie Einzelaspekte der Systemintegration von Solarenergie sind Gegenstand anderer Förderbereiche (s. Abschnitt 4.4). Dazu bildet die For- schungsinitiative „Zukunft Bau“ des BMVBS eine wichtige Ergänzung. Hier geht es vor allem um die Verbesserung der Nachhaltigkeit von zu bauenden und zu modernisierenden Gebäuden und baulichen Anlagen4. Um an dieser Stelle Synergien zu nutzen, plant die Bundesregierung eine ressortübergreifende, gemeinsame Forschungsinitiative „Solares Bauen/ Energieeffiziente Stadt“.

EnOB orientiert sich an dem Leitbild „Gebäude der Zukunft“: energieeffiziente und -optimierte, nachhaltige, funktionale, behagliche und nicht zuletzt architektonisch wertvolle Gebäude mit vertretbaren Investitions- und Betriebskosten.

Das Förderkonzept EnOB (Abb. 3.4) ist den fachlichen Erfordernissen entsprechend in Module untergliedert: Ein Schwerpunkt liegt bei Forschung und Entwicklung neuer Materialien sowie innovativer Technologien, Systeme und Konzepte. In Pilotprojekten werden technologische Innovationen und neue Konzepte umgesetzt mit dem Ziel, ihre Praxistauglichkeit zu prüfen und eine deutliche Senkung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem Stand der Technik bei energetischen Sanierungen bzw. eine positive Energiebilanz im Neubau zu demonstrieren. Alle Pilotprojekte werden im Rahmen des MONiTOR-Projekts wissenschaftlich begleitet (u. a. Langzeit-Monitoring, Dokumentation, Auswertung, Analysen).

Die energetische Betriebsoptimierung EnBop ergänzt das Förderkonzept und bildet die Brücke von der Anwendung innovativer Technologien und Konzepte zur Bau- und Betriebspraxis.

Von wachsender Bedeutung ist schließlich eine Betrachtung der Systemzusammenhänge. Einer Verbindung zu dem Förderschwerpunkt EnEff :Stadt (Forschung für die energieeffiziente Stadt), der den über Gebäude hinausgehenden Bilanzraum untersucht, und zu dem Förderbereich EnEff:Wärme (Forschung für energieeffiziente Wärme- und Kältenetze) kommt insofern eine strategische Rolle zu. Forschungsarbeiten auf diesen Feldern bieten sich auch in besonderer Weise für die von der Bundesregierung angestrebte ressortübergreifende Zusammenarbeit an (Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt).

Die internationale Zusammenarbeit und der Wissensaustausch im Bereich energieeffizienter Gebäude werden zunehmend wichtiger. Deutschland partizipiert zielgerichtet an multilateralen Forschungskooperationen im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA). Das BMWi unterstützt zurzeit die deutschen Beiträge an den themenrelevanten Implementing Agreements der IEA, Solar Hea- ting and Cooling (SH&C), Energy Conservation through Energy Storage (ECES) und Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS).

3.1.1.3 Strategisch wichtige Förderbereiche

Die künftigen Fördermaßnahmen der Forschungsinitiative EnOB werden sich auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:

– Kostenreduktion hocheffizienter, innovativer Technologien, insbesondere für den breiten Ein-

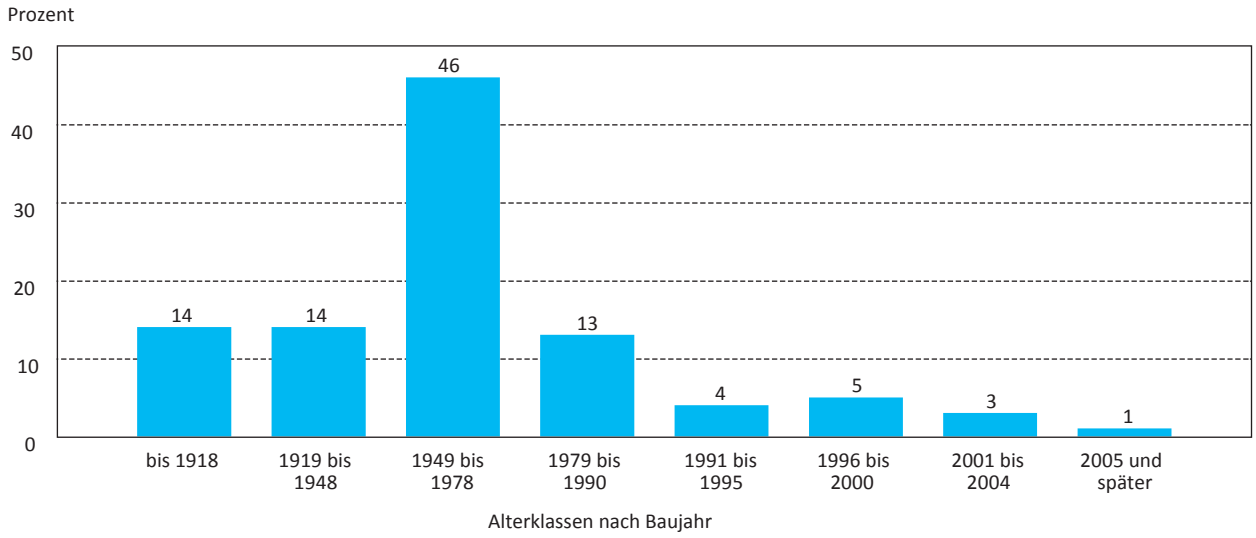


Abb. 3.2: Altersstruktur des Gebäudebestands in Deutschland

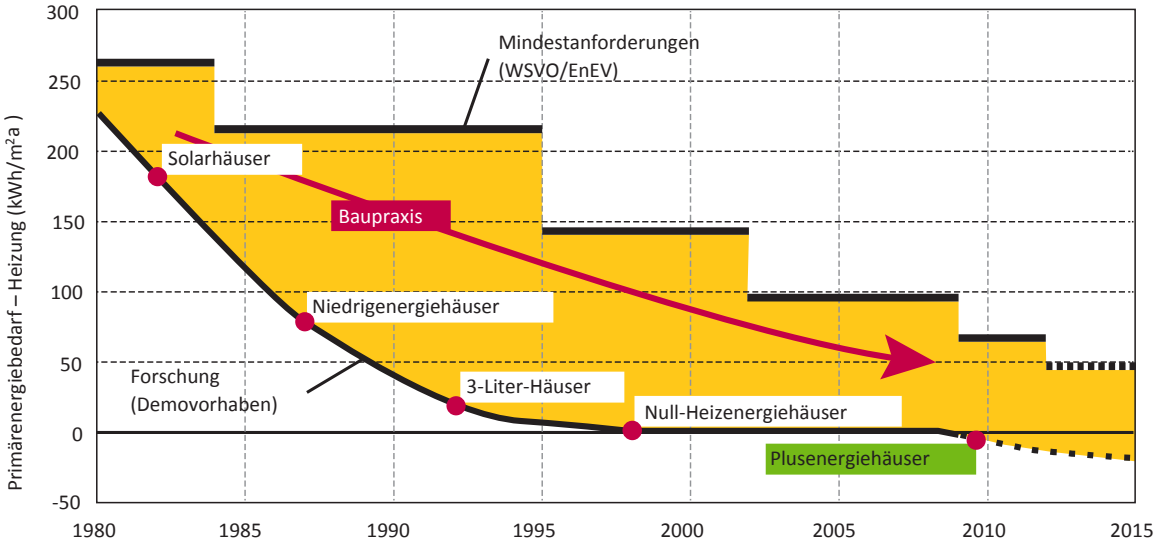


Abb. 3.3: Entwicklung von Forschung und Baupraxis

satz bei energetischen Gebäudesanierungen mit dem Ziel, den Weg zur Marktdurchdringung vorzubereiten.

- Demonstration von anspruchsvollen energetischen Sanierungen mit Schwerpunkt auf dem Einsatz vorgefertigter Module für eine nach Lage, Nutzung und Bautyp differenzierte Gebäudetypologie (u. a. innerstädtische Lage, Wohngebäude, Schulen, denkmalgeschützte Altbauten und besonders erhaltenswerte Bausubstanz), insbesondere dort, wo das Multiplikationspotenzial als hoch eingeschätzt wird.
- Systemische Betrachtung entlang der Wertschöpfungskette (Herstellung-Planung-Bauen- Betrieb-Recycling) unter dem Aspekt der Steigerung der Energieeffizienz im gesamten Lebenszyklus und mit besonderem Schwerpunkt auf der energieintensiven Betriebsphase und der energetischen Optimierung mittels gering investiver Maßnahmen.
- Integrierte Betrachtung des Gebäudes im Kontext seines Umfelds mit Blick auf die sinnvolle Einbindung als Energiesenke, Energiequelle oder Energiespeicher in lokalen Energieversorgungssystemen.
- Internationale Zusammenarbeit in ausgewählten und eng begrenzten Feldern, um der wachsenden Bedeutung der globalen Energiemärkte Rechnung zu tragen.

Weitere Themen für die künftige Förderpolitik lassen sich für die Kategorien „Forschung und Entwicklung“ bzw. „Demonstration“ wie folgt zusammenfassen:

- Passive Komponenten: Vorrangige Ziele in diesem Bereich sind die Weiterentwicklung von Hochleistungsdämmstoffen, wie z. B. Schäume mit Porenräumen im Nanometerbereich, und die Intensivierung der Arbeiten bei neuartigen Beschichtungstechnologien (u. a. selektive Beschichtung von Bauteiloberflächen).
- Aktive Komponenten: Die Integration innovativer Energieumwandlungstechnologien in Bauteile sowie die Material- und Systementwicklung für thermische Speicherung stehen in diesem Bereich an erster Stelle. Bei der Schaltbarkeit von Bauelementen, wie z. B. Verglasungen, sind weitere Entwicklungsarbeiten notwendig. Darüber hinaus werden die Arbeiten zu effizienter Lüftungs- und Wärmepumpentechnologie sowie zu dezentralen Umwandlungstechniken, wie z.B. Mikro-KWK, fortgeführt.
- Systeme: Nachhaltiger Energieeffizienzgewinn hängt im Wesentlichen von der Systemoptimierung im Prozess der Planung, Errichtung und des Gebäudebetriebes ab. Deshalb sind wissenschaftliche Arbeiten zur Weiterentwicklung der Werkzeuge auf dem Gebiet der Gebäudesimulation, des Gebäudemonitorings und der Gebäudeleittechnik notwendig. LowEx-Technologien zur exergetischen Optimierung der Energieumwandlungsprozesse bilden weiterhin einen wichtigen Schwerpunkt.

Zur Flankierung der Forschungsarbeiten wird der Einsatz neuartiger Technik in Demonstrationsvorhaben dokumentiert. Vom Erkenntnisgewinn aus dem Monitoring des realen Gebäudebetriebs profitieren neben der Wissenschaft insbesondere Akteure aus der Praxis. Die erhobenen Daten werden weiterhin der interessierten Fachöffentlichkeit über die **EnOB-Online-Datenbank** zugänglich gemacht. Die **Begleitforschung** soll künftig neben Analysen und Querschnittsauswertung die Vernetzung verwandter Förderschwerpunkte intensivieren und den Informations- und Wissenstransfer gewährleisten5.

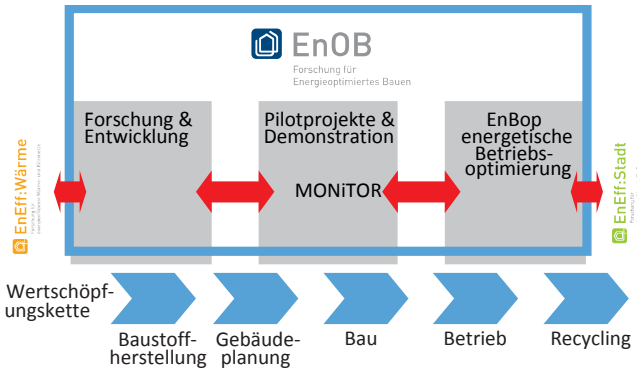


Abb. 3.4: Struktur des Förderkonzepts EnOB

EnSan: Aufgrund der hohen Relevanz des **Gebäudebestandes** wird der Demonstration von Sanierungstechnologien deutlicher Vorrang eingeräumt. Leuchtturmprojekte sollen u.a. die energieoptimierte Umnutzung von Gebäuden in innerstädtischer Lage und den Einsatz vorgefertigter Baulösungen für die energetischen Teilsanierungen adressieren.

EnBau: Ausgerichtet auf das Leitbild „Gebäude der Zukunft“ wird im Neubau die Konsolidierung der Konzeption „Plus-Energie“ forciert und durch ausgewählte Demonstrationsvorhaben untermauert. Vorrangig zu untersuchende Nutzungstypen sind bei Nichtwohngebäuden zu finden. Insbesondere solche, die einen hohen spezifischen Energiebedarf haben, wie z. B. Hotels, Einkaufsstätten und andere Gewerbebauten.

Literatur:

[1] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2009): Jahresbericht

[2] Ebert, Essig, Hauser (2010): Zertifizierungssysteme für Gebäude, DETAIL Green Books

[3] Voss, Musall: Nullenergiegebäude (2011): Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten, DETAIL Green Books

[4] www.forschungsinitiative.de

[5] www.enob.info

3.1.2 Energieeffiziente Stadt und dezentrale Energiesysteme

3.1.2.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage

In Deutschland leben heute rd. 70% der Bevölkerung in Städten. Infolge dessen konzentriert sich dort der Großteil des Gebäudebestands und der entsprechenden Energieinfrastruktur. Prognosen zufolge wird sich der Urbanisierungsprozess in Zukunft fortsetzen. Dies bedeutet, dass der Erfolg der Energieeinspar- und Klimapolitik in den Städten und Agglomerationen entschieden wird.

Der Verstädterungsprozess in Deutschland verläuft allerdings regional unterschiedlich und hängt stark von den jeweiligen wirtschaftlichen Ausgangsbedingungen ab. Während einige große Ballungszentren im Norden und Süden einen Bevölkerungszuwachs aufweisen, sind insbesondere die östlichen Regionen Deutschlands von einem Bevölkerungsrückgang betroffen. Daher müssen für die unterschiedlichen städtischen Strukturen möglichst schnell nachhaltige Lösungen zur Energieeinsparung, Energieeffizienz und damit zum Klimaschutz gefunden und umgesetzt werden. Je nach Ausgangslage stehen die Sanierung bzw. der Rückbau des städtischen Gebäudebestandes sowie die Anpassung der Energieinfrastruktur im Fokus. Dabei sind zwei Aspekte wichtig:

Die Erhöhung der Akzeptanz durch Investoren und Mieter ist Voraussetzung für den breiten Einsatz innovativer Energieeffizienztechnologien im Gebäudebestand. Dafür muss ein Angebot an technisch und gleichzeitig ökonomisch sinnvollen Maßnahmen vorhanden sein.

Die laufende Senkung des Energiebedarfs von Gebäuden verursacht einen Konflikt mit dem wirtschaftlichen Betrieb der leitungsgebundenen Energieversorgung. Dies erfordert die Transformation kommunaler Energieversorgungssysteme hin zu dezentralen Systemen mit einem hohen Anteil an Kraft-Wärme-Kopplung und flexibler Anpassung an wechselnde Nachfrage.

Städte zählen zu den kompliziertesten Strukturen, wenn es darum geht, optimale Lösungen hinsichtlich der Energieeffizienz zu entwickeln und umzusetzen. Diese Komplexität resultiert aus der heterogenen Struktur der städtischen Quartiere, die sich aus der vorhandenen baulichen Substanz, aus den stadtplanerischen Entwicklungszielen, der Nutzungsdiversität, der Unterschiedlichkeit der Energieversorgungsstrukturen, der Vielschichtigkeit der Eigentumsverhältnisse und damit unterschiedlichen Interessenlagen der zahlreichen Entscheidungsträger und Akteure ergibt. Zusätzlich wird die Quartiersentwicklung durch energie-, wirtschafts- und arbeitspolitische sowie verkehrspolitische Maßnahmen stark beeinflusst, die durch aktuelle gesellschaftliche Trends verstärkt werden.

Methoden zur Erstellung kommunaler Energiekonzepte wurden bereits Ende der 1980er Jahre im Rahmen mehrerer Bundesprogramme entwickelt-. Diverse Leitfäden und Handlungsanleitungen zur Erstellung dieser Konzepte, zum örtlichen Energiemanagement und zu anderen Teilbereichen kommunaler Energiepolitik liegen vor. Die Erfahrungen in der praktischen Umsetzung haben gezeigt, dass Er-

folge in der Energieeinsparung städtischer Strukturen erreichbar sind, jedoch nicht im gewünschten Umfang. Selbst Städte, die das politische Selbstverständnis einer „Energiewende“ hin zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung pflegen, haben hinsichtlich der Verringerung des Primärenergieeinsatzes oder der CO_2-Emissionen die Erwartungen nicht erfüllt.

Die Gründe für die bisher bescheidenen Erfolge liegen zum einen in der oben beschriebenen Komplexität des „Systems Stadt“ und der damit zusammenhängenden Prozesse und zum anderen an mangelnden finanziellen Spielräumen. Methodische Defizite erschweren die Umsetzung zusätzlich, insbesondere wenn es darum geht, Energiebilanzen auch auf der Ebene von Quartieren und Stadtteilen zu erstellen, konkrete Handlungsfelder zu identifizieren, daraus eine langfristige Strategie abzuleiten und diese auf Quartiersebene in konkrete Projekte umzusetzen.

Die Anforderungen an die künftige „Energieeffiziente Stadt“ und die damit einhergehenden Transformationsprozesse konzentrieren sich nicht nur auf den rein energetischen Aspekt. Weitere Faktoren wie Demografie, Stadt-Umland-Konflikte, neue Formen des Wohnens, Arbeitens und der Mobilität - insbesondere die Einführung der Elektromobilität sowie baukulturelle Ansprüche an das Stadtbild und Denkmalpflege - beeinflussen stark die Energiefrage in den Städten. In Zukunft wird es darauf ankommen, die energetische Transformation als ein Element der gesamten Stadttransformation zu begreifen und in die laufenden Prozesse zu integrieren. Umso wichtiger ist ein ganzheitlicher Ansatz, der die Energiestrategie als Teil einer gesamtstädtischen Entwicklungsstrategie ansieht. Letztendlich gilt es, die methodischen Ansätze auf die Erfordernisse kommunalen Handelns herunterzubrechen und Aspekte der energetischen Neustrukturierung beispielhaft und qualitätvoll zu realisieren.

3.1.2.2 Förderstruktur

Kommunale Strategien oder Entwicklungskonzepte werden nicht auf einmal und flächendeckend verwirklicht, sondern punktuell auf Quartiersebene, wobei meist ein spezieller Auslöser (ein größeres Neubauprojekt, die Notwendigkeit für eine Quartiersentwicklungsmaßnahme u. dergl.) vorliegt.

Der Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Stadt“ (EnEff :Stadt) des BMWi konzentriert sich daher auf lokal ausgerichtete Gesamtlösungen auf Quartiersebene, die gleichzeitig in eine gesamtstädtische Langzeitstrategie integriert sind. Es werden beispielhafte kostenoptimierte Quartierskonzepte, deren Umsetzung und die dazugehörige Evaluierung gefördert mit dem Ziel, eine Beschleunigung der erforderlichen Transformationsprozesse in städtischen Energieversorgungsstrukturen zu erreichen. Diese Vorgehensweise ermöglicht die in der Praxis notwendige Entkopplung von der oben erwähnten gesamtstädtischen Komplexität und damit eine Fokussierung der Planungsaufgabe auf die energetische Optimierung auf Quartiersebene.

Mit Blick auf den „Systemoptimierungsansatz“ wird in praktischen Quartiersprojekten der Förderinitiative EnEff: Stadt weniger der Piloteinsatz einzelner Innovationen, sondern der Einsatz im Rahmen eines techno-ökonomisch optimierten Gesamtkonzeptes in den Fokus gerückt. Dies erhöht die Chancen zur realen Anwendung und das Multiplikationspotenzial.

Aufgrund der inhaltlichen Nähe und der gemeinsamen Zielsetzung, zur Entwicklung energieeffizienter Stadtguartiere beizutragen, wurden die bereits bestehenden Förderinitiativen „Energieeffiziente Stadt“ (EnEff:Stadt) und „Energieeffiziente Fernwärme- und -kälteversorgung“ (EnEff:Wärme) miteinander verkoppelt. Dadurch genutzte Synergievorteile tragen dazu bei, die vorhandenen Fördermittel gezielter und effizienter einzusetzen.

Die Förderinitiativen EnEff:Stadt und EnEff:Wärme werden jeweils in zwei Module, „FuE-Projekte“ und „Pilotprojekte“, unterteilt. „FuE-Projekte“ der Initiative EnEff:Stadt umfassen die gezielte Entwicklung und Evaluierung von Modellen und Planungshilfsmitteln für allgemeine und spezielle Anwendungen. Bei der EnEff:Wärme dagegen steht in diesem Modul die Entwicklung und Optimierung dezentraler und kommunaler Versorgungstechnologien im Fokus. Das Modul „Pilotprojekte“ ergänzt beide Forschungsinitiativen und zielt auf die beispielhafte Anwendung innovativer Technologien und Konzepte im jeweiligen Kontext ab (Stadtquartiere bei der EnEff:Stadt und Technologien der kommunalen Energieversorgung bei der EnEff:Wärme). Grundsätzlich orientieren sich die Pilotprojekte beider Forschungsinitiativen an den folgenden Leitlinien:

- Konzentration auf die wesentlichen in Deutschland vorkommenden Siedlungstypen mit Bezug zu den wichtigen städtebaulichen und versorgungstechnischen Aufgaben der Zukunft. Dabei geht es primär um die Bereiche Sanierung, Umnutzung, Nachverdichtung und Rückbau und nur in selteneren Fällen um den Bereich Neubau.
- Integration relevanter Aspekte in allen Projektphasen. Dies betrifft vor allem die Umsetzung eines „integrierten systemischen Gesamtansatzes“, bei dem alle örtlichen und überörtlichen Potenziale der Energieeinsparung und energetischen Effizienzverbesserung berücksichtigt und die relevanten Akteure in die Planungs- und Entscheidungsprozesse einbezogen werden. Ne-

ben den Ansätzen im Gebäudesektor und bei der Energieversorgung können beispielsweise Aspekte der Elektromobilität integriert werden. Ebenso werden nichtenergetische Entscheidungsfaktoren, darunter Aspekte der baukulturellen Qualität und der Denkmalpflege sowie der öffentlichen Akzeptanz im Sinne einer nachhaltigen städtischen Gesamtentwicklung betrachtet.
- Kommunikation der Ergebnisse. Neben der Gewährleistung der Datenverfügbarkeit geht es insbesondere darum, methodische Neuentwicklungen und Erkenntnisse aus der Arbeit der Begleitforschung in der Fachöffentlichkeit und bei lokalen Akteuren zu verbreiten. Die projektinterne Kommunikation im Sinne einer umfassenden Akteursbeteiligung auf der städtischen bzw. kommunalen Ebene sowie Lernprozesse innerhalb der im Programm geförderten Projekte sind ebenfalls wichtige Elemente.

Die Verkoppelung der beiden Förderinitiativen garantiert die inhaltliche Verknüpfung von städtischer Planung mit kommunalen Versorgungstechnologien, z. B im Bereich der Fern- und Nahwärmenutzung (Abb. 3.7). Während EnEff:Stadt im Ergebnis über die Bilanzierung der Ausgangssituation und die Simulation möglicher Szenarien den Weg zu optimalen Bedarfs- und Versorgungssituationen weist, gewährleistet EnEff:Wärme nach der Entwicklung innovativer kommunaler Versorgungstechnologien im Rahmen der Pilotprojekte die Integration in ausgewählte städtische Strukturen.

Die Verknüpfung der beiden Initiativen trägt zur Umsetzung der technisch und ökonomisch sinnvollen Maßnahmen bei. Die enge Einbindung lokaler Anwender, Planer und anderer relevanter Akteure gewährleistet eine hohe Akzeptanz der Methodik und der technischen Lösungen. Die Verbreitung der Ergebnisse in die gängige kommunale Planungspraxis ist wichtiger Bestandteil der Forschungsförderung. Nur so werden die Ergebnisse dauerhaft Eingang in die Umsetzungspraxis finden4.

3.1.2.3 Strategisch wichtige Förderbereiche

Mit Blick auf die künftigen Herausforderungen bei der Transformation kommunaler Energieversorgungssysteme werden sich die Fördermaßnahmen für den Teilbereich EnEff:Stadt auf die folgenden energiewirtschaftlich wichtigen Themenschwerpunkte konzentrieren:

EnEff :Stadt - FuE-Projekte

Planungs- und Optimierungsmethoden für Stadtquartiere, aber auch die zugehörigen Planungshilfsmittel müssen die Beschreibung der realen Situation und damit die Bilanzierung der Energiebedarfs- und -angebotssituation ermöglichen, und sie sollten über die Simulation der Konsequenzen verschiedener Entscheidungspfade die Grundlage für die Entwicklung energetisch und ökonomisch sinnvoller, optimaler Entscheidungen liefern. Unter Nutzung dieser Methoden und Werkzeuge müssen ökonomische Lösungen zur Systemoptimierung aufgezeigt werden und diese in konkreten kommunalen Gegebenheiten Anwendung finden. Die eingesetzten Planungshilfsmittel müssen darauf ausgerichtet sein, Akzeptanz bei Planern und kommunalen Verantwortlichen herzustellen. Die Entwicklung und Erprobung der Planungswerkzeuge muss daher in enger Abstimmung mit Praktikern erfolgen.

EnEff :Stadt - Pilotprojekte

Pilotprojekte stellen den Schwerpunkt der Förderinitiative EnEff:Stadt dar und folgen dem Leitgedanken des systemischen Ansatzes. Sie sind notwendig,

- um zu zeigen, wie bei unterschiedlichen städtischen Strukturen integrale Lösungsansätze entwickelt und effizient umgesetzt werden können,
- um neu entwickelte Planungshilfsmittel zur Systemoptimierung zu erproben, zu verbessern und den kommunalen Praxisanforderungen anzupassen,
- um die erreichbaren Ergebnisse/Effekte zu messen und damit die Beweisführung für gute und beste Praxisbeispiele anzutreten,
- um zu zeigen, wie die komplexen Akteurs- und Organisationsstrukturen, die solche städtische Planungsprozesse mit sich bringen, entwickelt und genutzt werden können.

Neben den bisherigen Projekttypen, die Stadtquartiere adressieren, haben sich zwei neue Projekttypen herausgebildet, die in Zukunft verstärkt weiter verfolgt werden, die sogenannten „Cluster-Projekte“ und die „Campus-Projekte“.

„Cluster-Projekte“ gehen davon aus, dass es oft sinnvoll sein kann, die örtlich auf gebauten Netzwerke an Entscheidungsträgern und deren Umsetzungserfahrungen zu nutzen, um mehrere erfolgversprechende Projekte in einer Stadt parallel voranzutreiben, die dann den Einstieg in eine energetische Transformation der Stadt insgesamt auslösen und als Beispiel für andere Städte dienen können.

Ein solcher „Cluster“-Ansatz erfordert den Aufbau genau jenes Netzwerks von Akteuren, Know-how-Trägem, Entscheidern und Multiplikatoren, das benötigt wird, um einen dauerhaften Impuls für eine nachhaltige Stadtentwicklung auszulösen. Deshalb werden solche „Cluster-Städte“ gezielt ausgewählt, um den Aufbau einer kommunalen Eigendynamik unter Einbeziehung externer Know-how- Träger zu forcieren.

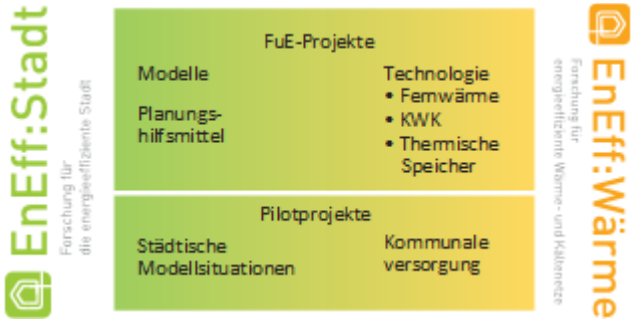


Abb. 3.6: Strukturelle Verknüpfung

Auch Stadtentwicklungsprojekte kommen ohne Leuchtturmprojekte nicht aus. In solchen Projekten stehen häufig Fragen der Kosteneffizienz hinter der Fokussierung auf technische Innovationen oder kreative Lösungen zurück, die so in einem Stadtquartier flächendeckend nicht umgesetzt werden könnten. Hierfür bieten sich jedoch „Campus-Projekte“ an: Projekte, bei denen mehrere Gebäude auf einem Hochschul- oder Universitäts-Campus (oder der Campus insgesamt) erneuert oder neu errichtet werden. Falls solche Projekte mit anspruchsvollen technischen Innovationen im Gebäude- und Energiebereich sowie bei der Planung verknüpft und diese auch zu Lehr- und Forschungszwecken eingesetzt werden, sind sie als „Pilotprojekte“ Vorbilder für moderne Quartierskonzepte und als solche für das Förderprogramm EnEff :Stadt von hohem Interesse.

EnEff:Wärme - FuE-Projekte

Im Teilbereich EnEff :Wärme werden die Forschungsthemen als prioritär eingestuft, die dazu dienen, die dezentralen Energieversorgungstechnologien sowie Fernwärme-Technologien primärenergetisch, exergetisch, wirtschaftlich und ökologisch deutlich zu verbessern. Dazu gehören u. a. folgende Technologielinien: KWK-Techniken, Wärme- und Kälteerzeugungstechniken, Wärmetauschersysteme, Rohrleitungs- und Verlegetechnik, LowEx- Hausübergabestationen einschließlich verlustarmer Warmwasserbereitstellung, Messtechniken, angepasste Gebäudetechnologien, Wärmeträgermedien, neuartige Netze, Strukturen und optimierte Betriebsweisen, Gesamtsystemoptimierung. Ein neuer Aspekt dabei ist die Nutzung vorhandener und neuer Wärme- und Kältenetze als Sammelschienen für dezentral anfallende Abwärme (z. B. Einspeisung aus Industrieprozessen, dezentralen KWK-Anlagen, Solarwärme und sonstigen erneuerbaren Energieträgern).

Da eine mögliche dezentrale Einspeisung in Wärmenetze für die Fernwärme-Versorgungsunternehmen noch ein besonderes technisches Problem darstellt, wird dieses Thema verstärkt untersucht.

Einen weiteren Schwerpunkt der künftigen Forschungsförderung stellt die thermische Speicherung dar, da sie bei der Optimierung von Energiesystemen zunehmend an Bedeutung gewinnt. Dabei wird ein breites Spektrum an innovativen technischen Ansätzen (u. a. Sorptionsspeicher, thermochemische Speicher) und Anwendungen verfolgt. Künftige Maßnahmen umfassen sowohl die technologische Entwicklung als auch die Optimierung der Systemintegration. Sie konzentrieren sich vor allem auf die Entwicklung geeigneter Speichermedien und hocheffizienter Speicherverfahren sowie auf die Erarbeitung erforderlicher Simulationswerkzeuge und die experimentelle Umsetzung neuer Speicherkonzepte. Die deutliche Senkung der Herstellungskosten ist ein wichtiges Ziel der Fördermaßnahmen. Inhaltliche Verbindungen des Themas zum Förderbereich „Energiespeicher“ werden synergetisch genutzt (s. Abschnitt 3.1.4).

EnEff:Wärme - Pilotprojekte

Eine besondere Priorität im Bereich der Forschung für effiziente Wärme- und Kälteversorgungssysteme bekommt die Förderung zukunftsweisender und beispielhafter Pilotprojekte, einschließlich innovativer Konzepte zur Abwärmenutzung, multiplen Wärmeeinspeisung und thermischen Speicherung. Die Förderung wird sich auf eine Unterstützung von neuarti-

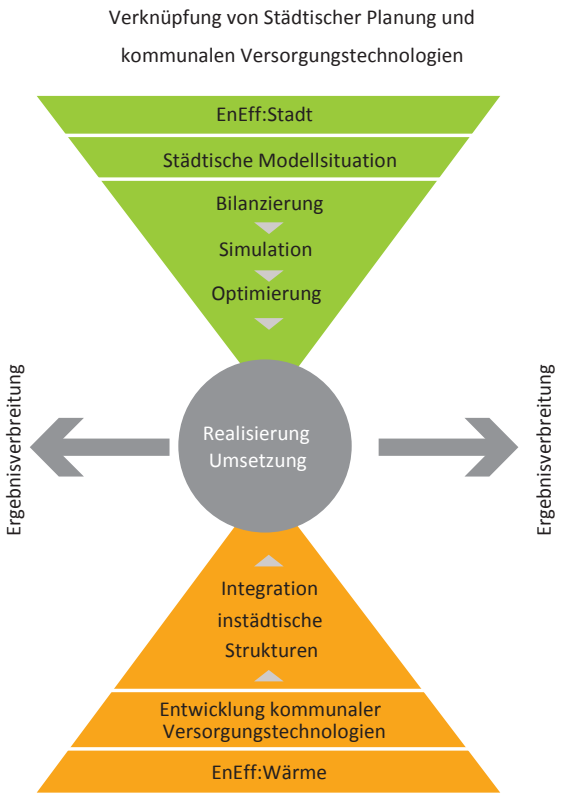


Abb. 3.7: Inhaltliche Verknüpfung der Förderinitiativen EnEff:Stadt und EnEff:Wärme

gen Planungskonzepten, die Erprobung innovativer Einzelkomponenten und auf ein anschließendes Messprogramm mit Betriebsoptimierung und Evaluierung erstrecken. Im Förderkonzept

EnEff: Wärme sind Auswahlkriterien auf gestellt worden, die regelmäßig evaluiert werden und die Qualität der Pilotprojekte sicherstellen sollen.

Die notwendige Ausweitung der Fernwärmeversorgung in Bestandsgebiete und Gebiete mit niedriger Wärmedichte hat mit Blick auf die energiewirtschaftliche Bedeutung eine hohe Priorität. Sie kann nur gelingen, wenn der technische und planerische Aufwand der Wärmeverteilung drastisch gesenkt sowie der exergetische Vorteil und der Energieeffizienzgewinn dieser Versorgung deutlich gemacht werden können. Entscheidend ist dabei auch eine Einbeziehung der zu versorgenden Gebäude im Rahmen einer integralen Betrachtung inklusive Wärmeerzeugung, -transport und -Verteilung und ggf. -Speicherung. Die Demonstration und messtechnische Evaluierung innovativer Konzepte in den Bereichen „Energetische und exergetische Verbesserung bestehender Systeme“ und „Innovative neue Wärmenetze“ werden daher besonders forciert.

Weitere wichtige FuE-Themen im Umfeld der effizienten Wärme- und Kälteversorgung sind:

- Einsatzmöglichkeiten von Groß-Wärmepumpen in der Fernwärme
- Verbesserung von Mikro-KWK hinsichtlich der Stromkennzahl, der Betriebsoptimierung und der Wirtschaftlichkeit sowie Kopplung mit Speichern und gegebenenfalls Einbindung in virtuelle Kraftwerke
- Thermisch angetriebene Wärmepumpen, insbesondere zur Abwärmenutzung und Bereitstellung von Fernkälte
- Planung und Betrieb von komplexen NT-Netzen/ Kältenetzen mit mehreren Wärmequellen und Speichern
- Nutzung moderner IKT-Möglichkeiten für die Betriebsoptimierung, einschließlich intelligenter Zähler (smart meters) sowie Netzüberwachung
- LowEx-Systeme und energetische Gesamtsystem-Optimierung
- Erprobung und Validierung von Speicherkonzepten zur Optimierung der Systemintegration und zur Entwicklung geeigneter Betriebsstrategien von thermischen Speichern

Kommunikation, Breitenwirkung und Kooperationen

Anhand der Umsetzung am konkreten Modellfall sollen die Ergebnisse der Pilotprojekte sowie die eingesetzten Methoden und Planungswerkzeuge ihre Praxistauglichkeit belegen. Diese Ergebnisse gilt es unter Einbindung der Nutzer, Praktiker und Entscheidungsträger für die breite Planungs- und Entscheidungspraxis so aufzubereiten, dass sie dort Eingang finden. Handbücher und Leitfäden, Kongresse und Workshops unter Beteiligung der relevanten Multiplikatoren sind daher wichtige Instrumente zur zielgruppenorientierten Wissensvermittlung1.

Um die bestmögliche Ergebnisverwertung zu erreichen, wird im Rahmen der EnEff:Stadt die Vernetzung mehrerer Politikbereiche angestrebt. Insbesondere Aspekte der Stadtentwicklungs- und Verkehrspolitik werden mit relevanten Aktivitäten des für diese Politikbereiche federführend zuständigen Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung in diesem Bereich abgestimmt.

Gleichzeitig steht die Forschungsinitiative EnEff :Stadt auch im Kontext mehrerer internationaler Aktivitäten. Dabei bildet das IEA-Implementing-Agreement „Energy Conservation In Buildings And Community Systems“ (ECBCS) einen geeigneten Rahmen für multilaterale Forschungskooperationen. Das BMWi hat 2009 die Initiierung des Annex 51 „EnergyEfficientCommu- nities“ unterstützt und fördert den deutschen Beitrag. Die Bandbreite der Aktivitäten reicht vom Ergebnisaustausch auf Basis internationaler Fallstudien und Pilotprojekte bis hin zur Entwicklung eines Planungsleitfadens für kommunale Entscheider und Anwender3.

Literatur:

[1] Erhorn-Kluttig et al. (2011): Energetische Quartiersplanung, Fraunhofer IRB Verlag

[2] Roth et al. (1980): Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen

[3] www.annex51.org

[4] www.eneff-stadt.info,www.eneff-waerme.info

3.1.3 Energieeffizienz in der Industrie, im Gewerbe, im Handel und bei Dienstleistungen

3.1.3.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage

In Deutschland gehört der Sektor Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (IGHD) zu den großen Energieverbrauchern. Seine Stellung in der Energiebilanz hat sich aber in den letzten Jahren verringert1. So ist der Anteil dieses Sektors am Endenergieverbrauch von 50 % (1990) auf 42 % (2009) zurückgegangen. In absoluten Zahlen ist dies eine Verminderung des Energieverbrauchs um 22 % von 4.711 PJ (1990) auf 3.675 PJ(2009).

Diese rückläufige Entwicklung des Energieverbrauchs hat viele Ursachen. Ein zentraler Faktor ist die Umstrukturierung der Industrie in den neuen Bundesländern und die damit verbundene Verbesserung der Energieeffizienz. Auch die Verlagerung von energieintensiver Produktion ins Ausland spielt eine Rolle. Ausschlaggebend waren aber vielfältige technologische Verbesserungen, die nur durch kontinuierliche Forschung und Entwicklung ermöglicht wurden. Wesentliche Beiträge an Energieeinsparungen wurden gerade von Branchen mit großem Energiebedarf erbracht. So konnte etwa im gleichen Zeitraum durch die Steigerung der Energieeffizienz die für die Rohstahlerzeugung anfallende spezifische CO_2-Emission von 1,59 auf 1,371 Kohlendioxid pro Tonne Rohstahl verringert werden. Insgesamt wurde dadurch trotz leichter Steigerung der Produktionsmenge der Energiebedarf gesenkt4.

Strom ist im Sektor IGHD ein wichtiger Energieträger1: Im Jahr 2009 fielen 68% des Stromverbrauchs in diesen Bereich. Betrachtet man die Zusammensetzung des Endenergieverbrauches in den einzelnen Sektoren (Abb. 3.8), so ist im zeitlichen Verlauf zu erkennen, wie der Energieträger Strom in den vergangenen Jahrzehnten in IGHD an Bedeutung gewonnen hat, während der Strom-Anteil in den übrigen Sektoren (Haushalte und Verkehr) annähernd unverändert geblieben ist. Wurde 1990 der Endenergieverbrauch in IGHD jeweils zu etwa einem Viertel durch Strom gedeckt, ist heute der Anteil dieses hochwertigen Energieträgers, nicht zuletzt aufgrund der zunehmenden Automatisierung, bereits auf ein Drittel gestiegen. Somit ist zu erwarten, dass in Hinblick auf die CO_2-Bilanz Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz der Stromnutzung in den Sektoren IGHD besonders wirksam werden.

Der steigende Anteil von Strom und auch Erdgas in IGHD führt zu einer wachsenden Abhängigkeit der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit gegenüber Veränderungen in den Energiekosten: Abb. 3.9 zeigt exemplarisch für einzelne Branchen des verarbeitenden Gewerbes, dass sich der Energieverbrauch zunehmend auch zu einem Kostenfaktor entwickelt hat.

Technologieentwicklung und Förderstruktur

Energieeinsparungen im industriellen Sektor werden - mit Blick auf die klassische Energiekette mit den drei Phasen „Bereitstellung der Energie aus dem Primärenergieträger“, „Nutzung der Energie im Prozess“ und „Ableitung der ungenutzten Energie“ - zunächst durch die Optimierung existierender Prozesse erreicht. Wo durch Modifikationen der Prozessparameter in Theorie, Simulation und Experiment keine weiteren Verbesserungen mit vertretbarem Aufwand zu erreichen sind, machen weitere Energieeinsparungen die Entwicklung und Realisierung neuer Verfahren notwendig.

Die Nutzung der Abwärme von thermischen Prozessen ist ein Schlüsselelement zur Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie. Wo eine direkte Nutzung in einem nachfolgenden Prozess mit niedrigerem Temperaturniveau nicht möglich ist, kann die Wärme durch lokale Speicherung, Aufbereitung mittels Wärmepumpen oder Umwandlung in elektrische Energie zu einer alternativen Energie-

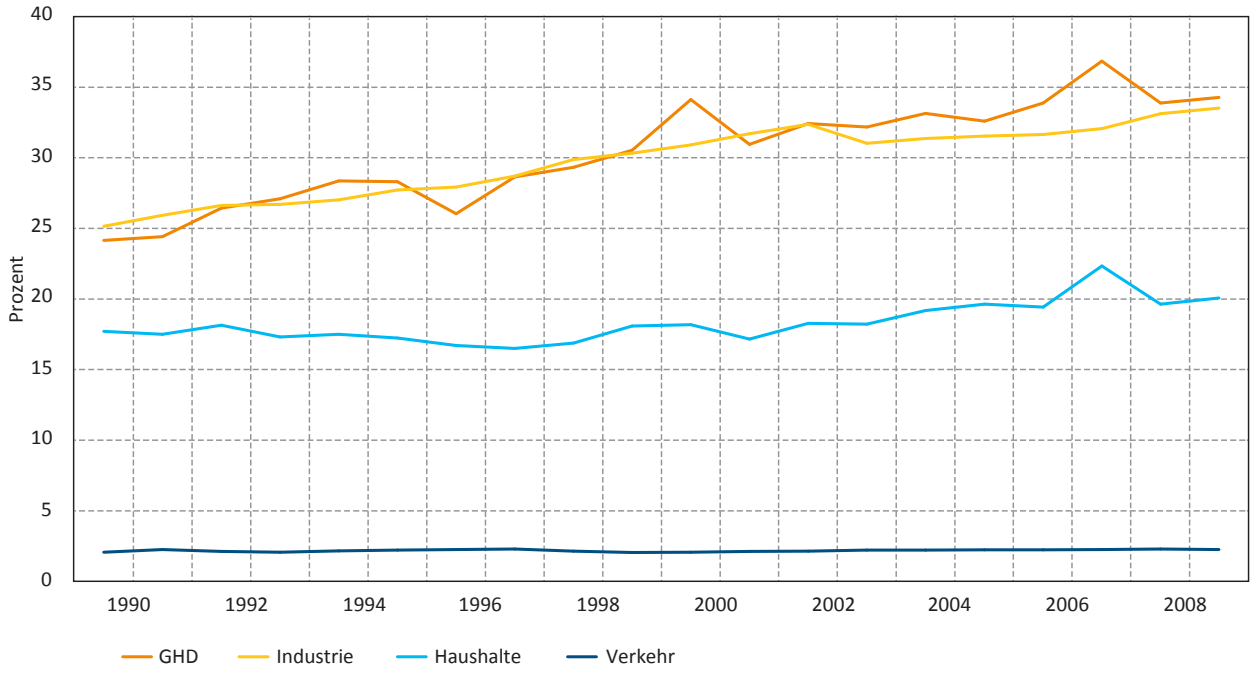


Abb. 3.8: Anteil Strom am Endenergieverbrauch in den Sektoren

quelle werden. Diese Erschließung von bisher ungenutzter Restenergie in einer „Energiekaskade“ erhöht die Komplexität in Konzeption, Aufbau und Betrieb der Anlagen. Es gehört zu den zentralen Aufgaben der Förderpolitik, bei der Umsetzung der vorgegebenen Energieeinspar-und Klimaschutzziele solche technischen und wirtschaftlichen Risiken zu erkennen und abzufedern.

Dem Energieträger Strom kommt heute in der Industrie und besonders bei Handel und Dienstleistungen eine wesentliche Rolle zu. Mit dem beschleunigten Übergang zu erneuerbaren Energien wird die Bedeutung von Strom weiter zunehmen und damit auch der Bedarf an Ideen zu seinem rationellen Einsatz.

Die Vielfalt der energierelevanten Prozesse in IGHD wird durch die Themenbreite des Förderschwerpunkts auf gegriffen. Betrachtet werden Prozesse basierend auf chemischer, thermischer, mechanischer und elektrischer Energie entlang der gesamten Prozesskette. Ergänzend treten Querschnittsthemen ohne spezifischen Bezug zu einer Energieform hinzu.

Der Adressatenkreis des Förderschwerpunkts „Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen“ ist heterogen zusammengesetzt: Große Betriebe stehen neben KMU, Schwerindustrie neben Verbrauchern mit moderatem Verbrauch, und Forschungseinrichtungen neben Ingenieurbüros. Dies ist schon allein deswegen sinnvoll, weil ähnliche Fragestellungen in verschiedenen Skalierungen wiederkehren, aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet und gemeinsam beantwortet werden können. Durch die enge Kooperation von Großindustrie, KMU und Forschung werden darüber hinaus finanziell und organisatorisch Voraussetzungen zur Entwicklung von neuen Ansätzen geschaffen, die anschließend auch praktisch umsetzbar sind - erst dann können die eingesetzten Fördermittel die intendierte Auswirkung auf die Energie- und Klimabilanz entfalten.

Organisatorisch wird die Förderung bevorzugt in Form von anteilfinanzierten Verbundprojekten durchgeführt, in denen geeignete Partner in der Regel sowohl aus Industrie als auch aus der Forschung Zusammenarbeiten. Dieses Vorgehen gewährleistet eine hohe inhaltliche Qualität und die weitestmögliche Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse. Möglich ist auch die Förderung von Demonstrations- und Pilotanlagen.

Der Dialog zwischen den zahlreichen Adressaten des Förderschwerpunkts und der Politik wird unterstützt durch Statusseminare und Workshops. Diese finden in loser Folge themenspezifisch statt und bieten damit eine flexible Plattform zum Ideenaustausch und zur Information der Entscheidungsträger in der Politik. Ergänzend fließen Ergebnisse aus der Systemanalyse in die Entscheidungen ein3.

Der Förderschwerpunkt „Energieeffizienz in der Industrie, im Gewerbe, im Handel und bei Dienstleistungen“ leistet durch die Technologieförderung auch wesentliche Beiträge zur weltweiten Positionierung der deutschen Unternehmen, indem der bestehende Technologievorsprung weiter ausgebaut wird. Der in diesem Schwerpunkt besonders hohe KMU-Anteil (etwa 20 % der ausgezahlten Mittel fließen an Unternehmen mit bis zu 250 Mitarbeitern) ist das Ergebnis einer gezielt auf den Mittelstand ausgerichteten Förderpolitik.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Die künftigen Fördermaßnahmen werden sich auf vier Schwerpunkte konzentrieren:

- Reduktion des Energieeinsatzes im Prozess durch Entwicklung und Einsatz neuer Verfahren und Materialien in energieintensiven Industriebranchen,
- Optimierung bestehender Prozesse durch Adaption von Prozessparametern, Substitution von Betriebsstoffen, Einsatz neuer oder verbesserter Komponenten und Reorganisation,
- effizienter Umgang mit elektrischer Energie auf der Verbrauchsseite, aber auch bei der dezentralen Erzeugung,
- Querschnittsfragen zum effizienten Einsatz von Strom und Abwärme sowie prozessübergreifendes Energiemanagement.

Im Folgenden sind weitere Themen für die künftige Förderpolitik zusammengefasst.

Besonders wichtig sind Maßnahmen in den energieintensiven Branchen. Hier werden in Abstimmung mit der Grundlagenforschung betrachtet:

- innovative Entwicklungen in der Thermoprozesstechnik (insbesondere in der Eisen-, Stahl-, NE-Metall-, Keramik-, Zement- und Glasindustrie),
- energieeffiziente chemische Prozesstechnik (einschließlich der Verarbeitung von Kunststoffen und Gummi), Optimierung von Reaktortechnik und Prozesschemikalien, Prozesskettenverkürzung,
- energieeffiziente Fertigungstechnik (Werkzeugmaschinen, Ur- und Umformtechnik, verbesserte und verkürzte Verfahren, Oberflächentechnik),
- verbesserte Prozesstechnik in Nahrungs- und Genussmittel-, Textil- und Papierindustrie,
- innovative Behandlungstechniken für Reststoffe, Abfall, Wasser und Emissionen.

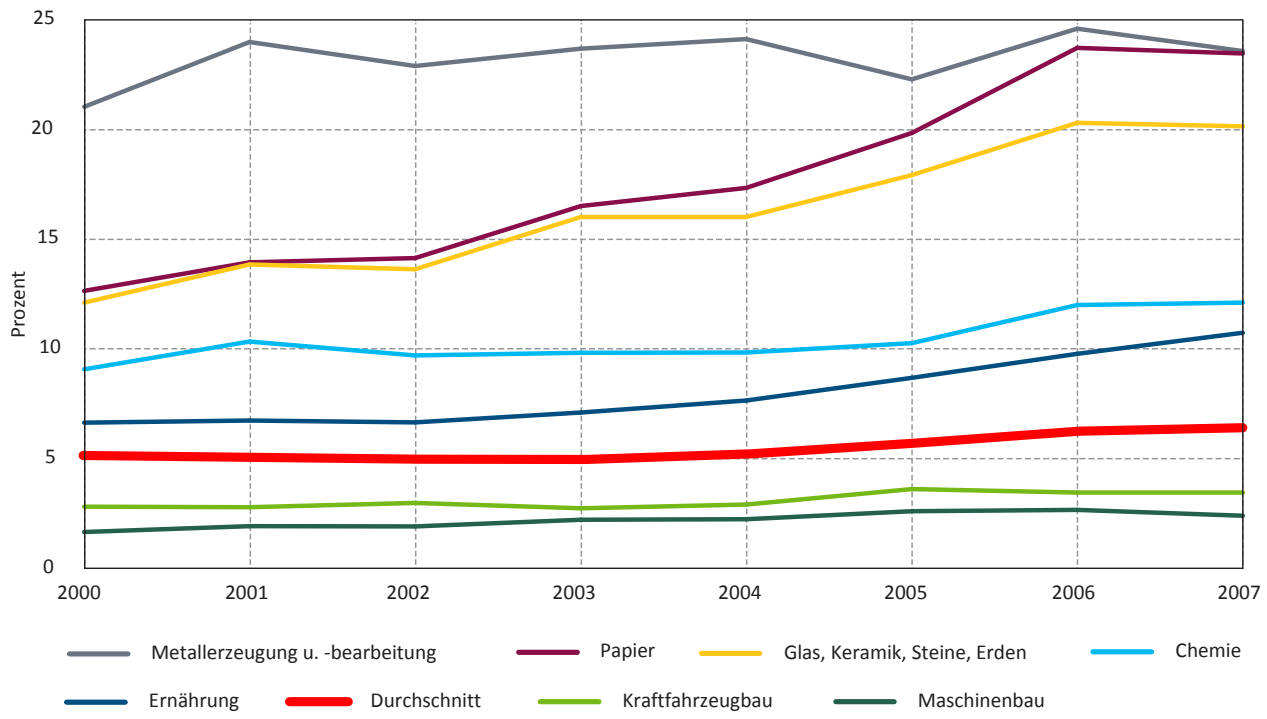


Abb. 3.9: Anteil der Energiekosten an der Bruttowertschöpfung in ausgewählten Branchen des verarbeitenden Gewerbes

Bei der Steigerung der Effizienz des Umgangs mit elektrischer Energie sind folgende Themen zu nennen:

- hocheffiziente Elektromotoren,
- elektrische Anlagen- und Industrierobotertechnik,
- Optimierung der Wärme- und Kälteerzeugung mit Strom,
- effiziente elektrische Haushaltsgeräte,
- kurzfristige elektrische Speicher für spezielle Industrieanwendungen,
- neue Anlagen-, Generatoren- und Thermoelektrik-Konzepte zur effizienten dezentralen Stromerzeugung kleiner Leistung (bis ca. 10 MW),
- neue Technologien und Anwendungen der Hochtemperatur-Supraleitung, z. B. Leiter, Generatoren, Motoren, Strombegrenzer und sonstige Schaltelemente, Induktionsöfen.

Branchenübergreifend stehen folgende Themen im Fokus:

- neue Technologien zur Nutzung von Abwärme (Hochtemperaturwärmepumpen, Wärmespeicher, ORC),
- neue Ansätze beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen (z. B. Prozessgas),
- Innovationen bei der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik zur Optimierung von
- Prozessen,
- neue Verfahren der Zerkleinerung, der Agglomeration, des Trennens, Klassierens und Sortierens,
- Kälte- und Wärmeerzeugung mit Kompression, Adsorption und Absorption,
- Energie- und Demand-Side-Management-Systeme,
- Antriebstechnik und mechanische Kraftübertragung (Motorenkonzepte für stationäre Anwendungen, optimierte Industriemotoren, Getriebetechniken),
- Energieeffizienz durch Materialeffizienz (effiziente Werkstoffnutzung, Kreislaufwirtschaft, Leichtbaustrategien).

Literatur:

[1] BMWi (2011): Gesamtausgabe Energiedaten

[2] Statistisches Bundesamt, GENESIS-Datenbank, Statistik 42251

[3] Wietschel et al. (2010): Energietechnologien 2050 - Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung, Fraunhofer Verlag

[4] Wirtschaftsvereinigung Stahl (2010): Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2009/2010, Verlag Stahleisen GmbH

3.1.4 Energiespeicher für stationäre und mobile Anwendungen

3.1.4.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Die sich in Zukunft abzeichnenden Änderungen in der Erzeugungsstruktur für elektrische Energie erfordern mittel- bis langfristig einen steigenden Bedarf an Speicherkapazitäten. Heute bereits wirtschaftlich verfügbar ist die Pumpspeichertechnologie. Alternative Technologien, wie z. B. hocheffiziente Druckluftspeicher, stehen erst am Anfang der Entwicklung.

Elektrochemische Speicher auf Lithiumbasis werden z. Z. als zukunftsweisende Technologieoption für den Einsatz in teil- oder vollelektrisch betriebenen Fahrzeugen eingestuft. Entsprechend den Zielen der „Nationalen Plattform Elektromobilität“ strebt die Bundesregierung für das Jahr 2020 den Bestand von einer Million Elektrofahrzeugen an. Langfristig wird den elektrochemischen Speichern auch eine Option zur Regelung der Stromnetze eingeräumt. Heute verfügbare elektrochemische Speicher weisen nicht die für beide Einsatzfälle erforderlichen technischen und wirtschaftlichen Bedingungen auf.

Thermische Speicher finden in den Bereichen Energieumwandlung, Energieversorgung und in allen Sektoren des Endverbrauches ihren Einsatz. Sie stellen ein wichtiges Element für die weitere Steigerung der Energieeffizienz dar und leisten einen wesentlichen Beitrag bei der Optimierung von Energieversorgungssystemen (KWK-Systeme).

Stoffliche Speicher, beispielsweise Wasserstoff, werden durch die zu erwartende Verknappung und damit einhergehende Verteuerung von Primärenergieträgern als Alternative zu herkömmlichen Brenn- und Kraftstoffen zunehmend interessant.

Für alle diese genannten Technologien besteht zur erfolgreichen Umsetzung noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

3.1.4.2 Technologieentwicklung und Förderstruktur

Bis vor einigen Jahren stand die Forschungsförderung für Energiespeicher nicht im Fokus des Energieforschungsprogramms, was u. a. daran lag, dass der Bedarf an Stromspeichern zur Regelung der Netze vergleichsweise gering war und bei elektrochemischen Speichern keine wesentlichen Durchbrüche beobachtet wurden.

Die Situation hat sich in den letzten Jahren drastisch geändert. Der Bedarf an Speichern in den Stromnetzen wird künftig enorm zunehmen und neue Lithium- Ionen-Techniken versprechen aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Energie- und Leistungsdichte den Einsatz in der Elektromobilität.

Energiespeicher umfassen ein breites Technologie- und Anwendungsspektrum und die technologischen Entwicklungen weisen eine hohe Heterogenität auf. Aus diesem Grund werden wesentliche Anteile der Aktivitäten zur Entwicklung von stationären

Energiespeichern im Rahmen einer gemeinsam von BMWi, BMU und BMBF formulierten „Förderinitiative Energiespeicher“ durchgeführt. Die Prioritäten und spezifischen Themen sind bereits in der Bekanntmachung zu dieser Maßnahme genannt (siehe Kapitel 2.1). Diese gelten unabhängig von der Laufzeit der gemeinsamen Initiative für das gesamte Energieforschungsprogramm und werden entsprechend den festgelegten Zuständigkeiten den beteiligten Ressorts zugeordnet. Die Fördermaßnahmen des BMWi umfassen die angewandte Forschung, Entwicklung und Demonstration von Systemen ohne direkten Bezug zu den erneuerbaren Energien (siehe hierzu 4.7). Die im Folgenden genannten Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen können nur exemplarisch angeführt werden und konzentrieren sich im Wesentlichen auf die mobilen Anwendungen, die durch die vorgenannte gemeinsame Förderinitiative nicht abgedeckt sind:

3.1.4.3 Strategisch wichtige Förderbereiche

Elektrische Speicher

Generelle Zielsetzung der Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen bei allen elektrischen Speichersystemen ist die Erhöhung der Leistungs- und Energiedichte sowie die Senkung der Kosten. Bei den elektrochemischen Speichern muss darüber hinaus die Zyklenfestigkeit gesteigert werden.

Bei den Technologien zur Regelung und Stabilisierung der Stromnetze stehen beispielsweise die adiabate Druckluftspeicherung, Schwungradspeicher oder auch supraleitende Speicher (SMES) im Vordergrund der Förderung. Doppelschichtkondensatoren werden entwickelt für Geräte, die einen hohen kurzfristigen Leistungsbedarf bei vergleichsweise geringem Energiebedarf aufweisen.

Elektrochemische Speicher, insbesondere die Lithium- Technologie, werden kurz- bis mittelfristig für den Einsatz in Fahrzeugen entwickelt. Hierbei gilt es, einen Entwicklungsvorsprung von asiatischen Firmen und Forschungseinrichtungen aufzuholen.

Exemplarisch werden folgende Themen für den Förderbereich „Elektromobilität“ genannt, die eine hohe Priorität aufweisen:

– Weiterentwicklung von Batterien,

- Entwicklung von Batterie-Gesamtsystemen unter Berücksichtigung von kosteneffizienten Fertigungsverfahren,
- Aufbau und Weiterentwicklung einer adäquaten Infrastruktur zur Beschleunigung von Forschung und Entwicklung.

Das Gesamtspektrum an Forschungs- und Entwicklungsthemen zur mobilen Anwendung ergibt sich aus dem Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Aus dem Haushaltstitel des Sondervermögens Energie- und Klimafonds „Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Elektromobilität“ unterstützt das BMWi unter dem Stichwort „Energiewirtschaftliche Schlüsselelemente der Elektromobilität“ Themen und Projekte, die sich dem Energieforschungsprogramm zuordnen lassen.

Stoffliche Speicher

Leicht speicherbare stoffliche Energieträger werden künftig an Bedeutung gewinnen. Technologien zur Gewinnung von Wasserstoff sind teilweise verfügbar, müssen aber noch effizienter und aufskaliert werden. Für alle Umwandlungstechnologien gilt in gleicher Weise, die Wirkungsgrade der Verfahren zu optimieren. Darüber hinaus besteht eine wesentliche Zielsetzung darin, die Kosten der Umwandlungstechnologien gering zu halten, um der Forderung nach wirtschaftlich günstigen Energiepreisen gerecht zu werden. Ein Schwerpunkt wird dabei die Erprobung der Gesamtkette der Erzeugung, Speicherung und Nutzung von stofflichen Speichern, inklusive Ermittlung der Anforderungen an geologische Speicherformationen, sein.

Thermische Speicher

Thermische Speicher werden künftig insbesondere bei der Reduzierung des Energiebedarfs in Gebäuden zur Erhöhung der Effizienz des gesamten Energiesystems sehr stark an Bedeutung zunehmen. Kann Wärme auf einem hohen Temperaturniveau gespeichert werden, können die Speicher auch in Kraftwerksprozessen oder in industriellen Anwendungen eingesetzt werden. Wesentliche Ziele derMaßnahmen in diesem Bereich sind die Erhöhung der Speicherdichte und Zyklenfestigkeit einerseits und die Reduzierung der Herstellkosten andererseits. Der Bereich thermische Speicher zeichnet sich durch eine hohe Vielfalt grundsätzlich geeigneter Materialien und durch ein sehr breites Anwendungsspektrum aus. Beispiele für die Fördermaßnahmen sind die Entwicklung von thermischen Speichern in Kraftwerksanlagen zur Wärmespeicherung auf hohem Temperaturniveau oder Zwischenspeicherung von Wärme in industriellen Prozessen. Fragestellungen im Kontext der Gebäudeversorgung werden in den entsprechenden Förderbereichen behandelt (s. Abschnitt 3.1.1 und 3.1.2).

3.1.5 Netze für die Stromversorgung der Zukunft

3.1.5.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Technologien zur Übertragung und Verteilung elektrischer Energie zeichnen sich durch hohe Investitionskosten und sehr lange Amortisationszeiten aus. Die bestehende Netzarchitektur ist gekennzeichnet durch einen gleichgerichteten Leistungsfluss von der Höchstspannungsebene über die Mittelspannungsebene in die Verteilnetzebene. In der Regel handelt es sich bei den Verbrauchern elektrischer Energie um unkontrollierte Lasten.

In den nächsten Jahrzehnten wird sich die Struktur der elektrischen Energieversorgung sehr stark verändern. Der kontinuierliche Ausbau der erneuerbaren Energien, insbesondere im Bereich Offshore Wind, führt zu einer weitest gehenden geografischen Entkopplung der Stromerzeugung von den Stromverbrauchern (s. Abb. 3.11).

Andererseits setzt sich durch den stark zunehmenden Einsatz z. B. von Photovoltaik- und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen die Tendenz zur Dezentralisierung der Stromerzeugung fort. Darüber hinaus wird sich durch die geografische Lage in Europa der

Transit von elektrischer Energie durch Deutschland in den nächsten Jahren signifikant erhöhen. In den Niederspannungsnetzen zeichnet sich eine signifikante Erhöhung der Anzahl aktiver Elemente ab.

Die Veränderungen in der Erzeugungsstruktur und der zunehmende Stromaustausch in Europa werden entscheidenden Einfluss sowohl auf die Kapazität als auch auf die organisatorische und technologische Ausgestaltung der Stromnetze haben. Bedingt durch die hohe Fluktuation in der Erzeugungsstruktur werden die Anforderungen zur Anpassung von Stromangebot an die Stromnachfrage stark zunehmen. Um künftig den zu erwartenden kritischen Situationen begegnen zu können, bedarf es daher eines beschleunigten Ausbaus von modernen und leistungsfähigen Netzen. Aber auch die Erhöhung der Intelligenz der Netze, d. h. die verstärkte Integration und Nutzung von modernen Informations- und Kommunikationstechnologien zur Optimierung des Gesamtsystems („Smart Grids“), ist zwingend geboten, um eine optimale Steuerung der Stromerzeuger, Verbraucher (Laststeuerung, d. h. gezielte Beeinflussung des Nachfrageverhaltens in Industrie, Gewerbe, Privathaushalten - „DemandSide Management“), der Netze selbst und der künftig in stark zunehmendem Maße erforderlichen Stromspeicher (siehe auch Kapitel 2.2, 3.1.4 und 4.7) gewährleisten zu können. Hierbei ist auch eine zunehmende Elektrifizierung von Fahrzeugen durch die Einführung von Plug-In Hybrids (PHEV) und vollelektrischen Fahrzeugen (EV), die

über das Stromnetz aufgeladen werden, zu berücksichtigen.

Im neuen Energieforschungsprogramm wird der Entwicklung von neuen Technologien für die Stromnetze ein Förderschwerpunkt zugewiesen. Folgende übergeordnete Ziele werden verfolgt:

- Die Beschleunigung von Forschung und Entwicklung ist wichtig, damit bei den zu erwartenden hohen und langfristig angelegten Investitionen möglichst viele innovative, technisch ausgereifte Lösungen verfügbar gemacht werden können.
- Der zunehmende transeuropäische Austausch elektrischer Energie erfordert eine stärkere Harmonisierung von Regelwerken und die Definition und Ausarbeitung von technologischen Standards und Protokollen.
- In der Übergangsphase zwischen alten und neuen Netzstrukturen muss eine mit heute vergleichbare Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität aufrechterhalten werden.

3.1.5.2 Technologieentwicklung und Förderstruktur

FuE von neuen Technologien zum Transport und zur Verteilung elektrischer Energie wurden seit 1980 bis vor wenigen Jahren kaum staatlich unterstützt. Dies lag darin begründet, dass die wirtschaftlichen und technologischen Risiken im Vergleich zu den Stromerzeugungstechnologien gering waren und dadurch kein Bundesinteresse für die Förderung zu diesem Zeitpunkt mehr gegeben war. Die Liberalisierung der Energiewirtschaft, die im Wesentlichen erfolgte Trennung von Stromerzeugung und Stromtransport bzw. -Verteilung sowie der Ausbau der erneuerbaren Energien führten zu einer Neubewertung der mit FuE einhergehenden Risiken. Die Sicherung einer zuverlässigen Verteilung von elektrischer Energie ist zwischenzeitig wieder in das besondere Interesse der Bundesregierung gerückt.

Bereits 2007 wurde das Förderprogramm „E-Energy“ von BMWi und BMU gestartet. Diese Fördermaßnahme hat das Ziel, mittels Informations- und Kommunikationstechnologien „intelligente“ Energiesysteme zu schaffen („smart grids“). Das im Jahr 2010 veröffentlichte Förderkonzept „Netze für die Stromversorgung der Zukunft“ des BMWi umfasste zum ersten Mal das Gesamtsystem Transport, Verteilung und Nutzung elektrischer Energie. Die Forschungsförderung zur Anpassung der Netze an hohe Anteile erneuerbarer Energien erfolgt seit 2008 im Förderschwerpunkt „Integration erneuerbarer Ener-

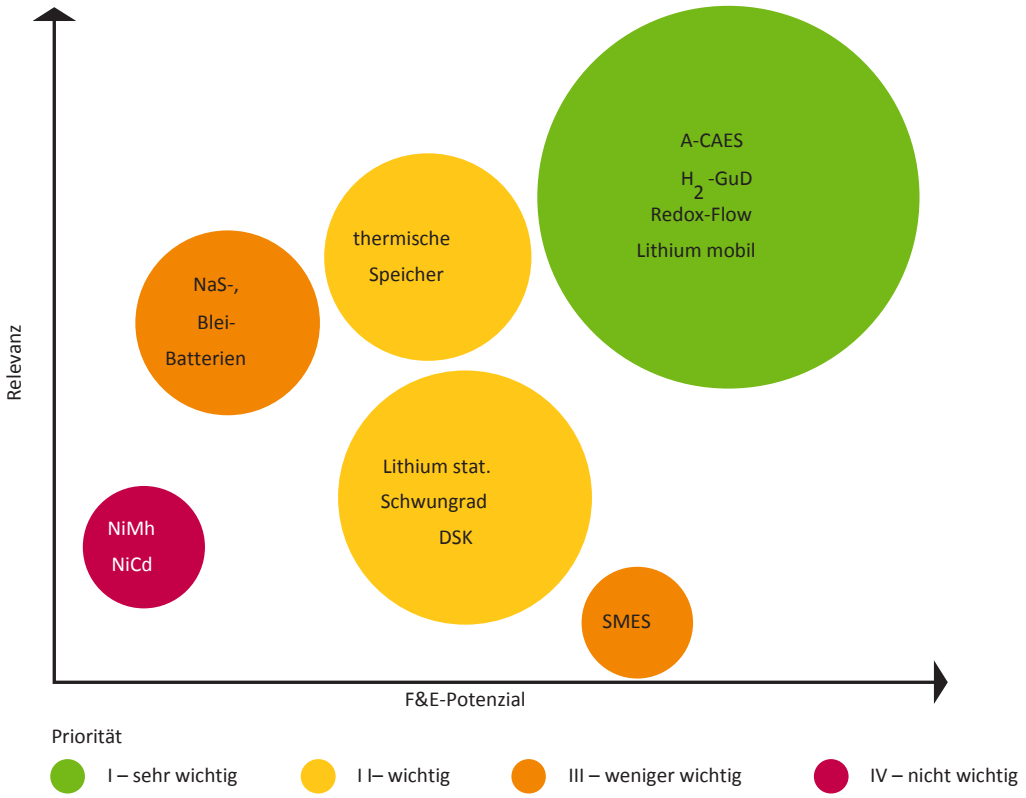


Abb. 3.10: Forschungspotenzial relevanter Technologien zur Energiespeicherung

gien und regenerative Energieversorgungssysteme“ des BMU (siehe Kapitel 4.7).

Um die drängenden Fragen der künftigen „Netzinfrastruktur“ zu beantworten, hat das BMWi die Plattform „Zukunftsfähige Energienetze“ gegründet (s. Abb. 3.12). Hier erarbeiten die wesentlichen Interessenvertreter - Netzbetreiber, Bundes- und Länderinstitutionen sowie Verbände - gemeinsam Lösungsvorschläge zum Netzausbau und zur Modernisierung der Stromnetze. Die Arbeit der Plattform „Zukunftsfähige Energienetze“ erfolgt in dem regelmäßig tagenden Plenum und den themenspezifischen Arbeitsgruppen. Die Arbeitsgruppe „Neue Technologien“ dieser Plattform beschäftigt sich mit der Koordination von Fördermaßnahmen und der Festlegung von FuE- Prioritäten. Die Forschungsförderung im Bereich „Netze“ umfasst ein breites Themenspektrum, das Grundlagenforschung, die Entwicklung von Komponenten, die Frage der Netzintegration erneuerbarer Energien oder die Modellbildung zur Gesamtsystembetrachtung einschließt. Zur Erfassung der gesamten Wertschöpfungskette ist eine von den beteiligten Ressorts gemeinsam formulierte Förderinitiative „Netze“ vorgesehen (siehe Kapitel 2).

Bestandteil des Energieforschungsprogramms sind darüber hinaus Forschungs- und Entwicklungsthemen zur Netzintegration von Elektrofahrzeugen, die ihm unter dem Stichwort „Energiewirtschaftliche Schlüsselelemente der Elektromobilität“ zuzuordnen sind. Aus dem Haushaltstitels des BMWi „FuE Elektromobilität“ können entsprechende Projekte zur Netzintegration von Elektrofahrzeugen gefördert werden.

Die Neuausrichtung von Übertragung, Verteilung und Nutzung elektrischer Energie liegt insbesondere durch die Verstärkung des länderübergreifenden Stromhandels im besonderen Interesse des europäischen Binnenmarktes und der europäischen Politik. Im Rahmen des Strategie Energy Technology (SET)-Plans wird von der Kommission diesem Thema ein besonderes Schwergewicht eingeräumt. Daher ist die Orientierung der hier genannten Ziele für FuE an an den europäischen Zielsetzungen wesentlich höher zu bewerten als in vielen anderen Technologiebereichen. Insbesondere bei der Realisierung von Pilotanwendungen sind grenzüberschreitende Projekte unerlässlich und stellen eine Aufgabenstellung von europäischer Tragweite dar. Die konkrete Kooperation soll im Rahmen der von der EU eingerichteten Industrieinitiative „Electrical Grid“ (European Eiectricity Grid Initiative - EEGI) des SET-Plans durchgeführt werden.

Das Clean Energy Ministerial hat im Jahre 2010 das International Smart Grid Action Network (ISGAN) gegründet. Die Detailarbeit dieses Netzwerks wird im Rahmen des ISGAN Implementing Agreement for a Co-Operative Programme on Smart Grids der IEA

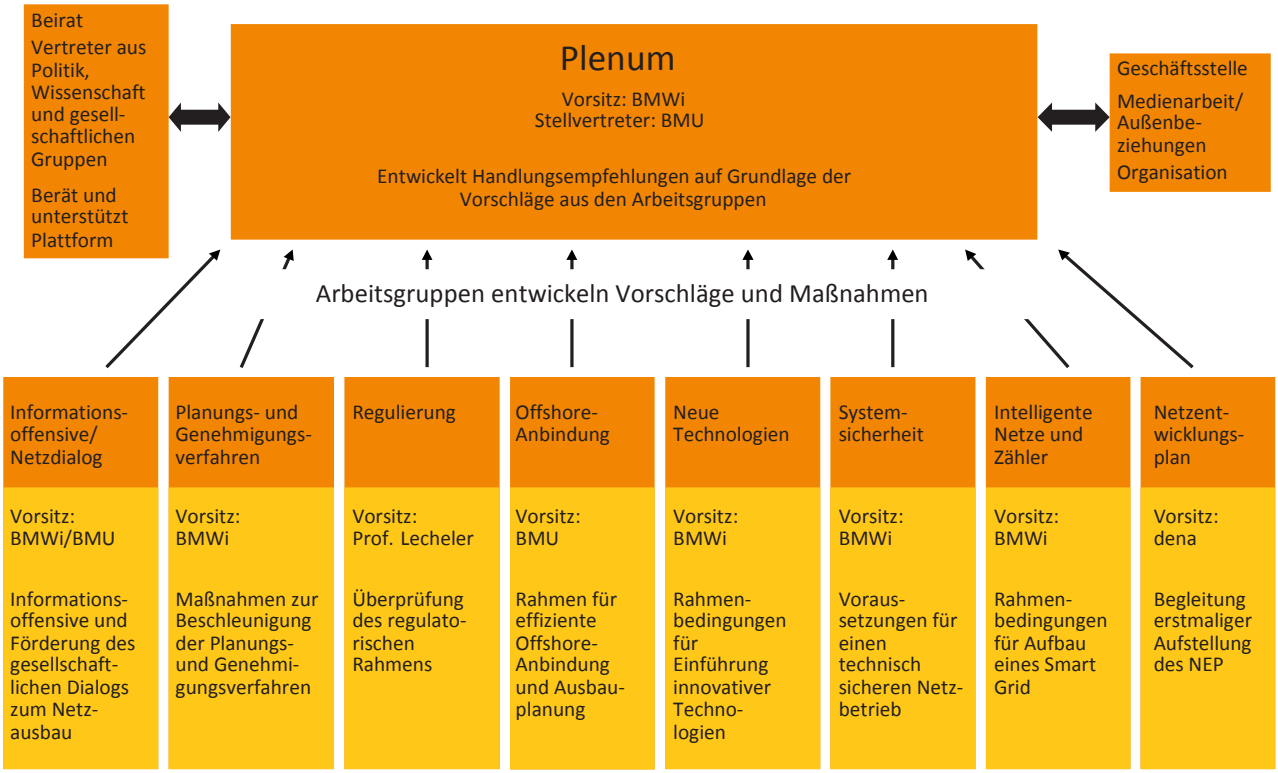


Abb. 3.12: Plattform „Zukunftsfähige Energienetze“

durchgeführt. Deutschland ist diesem Implementing Agreement beigetreten. Damit steht neben weiteren Aktivitäten der IEA ein Instrument für die internationale Zusammenarbeit zur Verfügung.

3.1.5.3 Strategisch wichtige Förderbereiche

Der För der Schwerpunkt „Netze für die Stromversorgung der Zukunft“ umfasst durch die Komplexität des Gesamtsystems ein sehr breites Themenspektrum. Folgende FuE-Felder sind von besonderer Bedeutung:

Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ), primärtechnische Komponenten für Transport- und Verteilnetze

Die HGÜ-Technologie wird weltweit bereits vielfach zur Übertragung von großen Leistungen über lange Distanzen eingesetzt. Durch den zu erwartenden stärkeren Stromaustausch wird die HGÜ-Technologie bei den Ausbauszenarien in Europa als viel versprechende Technologieoption eingestuft. FuE ergibt sich durch die im Vergleich zu bisherigen Anwendungsbereichen starke Vermaschung der DC- Netze und die notwendige Kompatibilität mit den existierenden AC-Strukturen.

Neben der HGÜ-Technologie sind weitere Technologie- und Komponentenentwicklungen für die Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz des Gesamtsystems wichtig. Zum Umbau der Netze sind Overlaynetze und Netzregler zur Erhöhung der Netzkapazitäten und zur Verbesserung der Stabilität in allen Spannungsebenen von Bedeutung.

Exemplarisch sind folgende dringende Maßnahmen zu nennen:

- Entwicklung von VPE-Kabeln für Dreh- und Gleichstrom, Garnituren für Spannungen über 500kV, Gleichstromleistungsschalter
- Systemtechnische Kompatibilität von HGÜ- Punkt-zu-Punkt-Verbindungen
- Leistungssteigerung von HGÜ mit Spannungsumrichtern
- Dynamisches Verhalten des Europäischen Verbundnetzes auf der Basis Drehstrom/ Gleichstrom-Technologie
- Entwicklung von Freileitungsmasten mit kleinen elektrischen und magnetischen Feldern
- Entwicklung und Erprobung von Leiterseilen mit erhöhter Transportkapazität
- Neue Materialien und Materialanwendungen für primärtechnische Netzkomponenten, Isolierstoffe, Nano- und Kompositmaterialien bis zu supraleitenden Materialien
- Supraleitende Komponenten wie Kabel, Strombegrenzer usw.

Modellbildung, Design und Überwachung

Zur detaillierten Planung künftiger Netzstrukturen sowie der Weiterentwicklung, dem Betrieb und der Instandhaltung bestehender Netze sind erweiterte Werkzeuge mit hoher Varianzvielfalt und Berücksichtigung der Kompatibilität von Dreh- und Gleichstromnetzen zwingend erforderlich. Durch die zunehmende Volatilität der Erzeugungsstruktur und die damit verbundene stärkere Belastung der Netze nimmt die Entwicklung von Methoden und Verfahren zur Überwachung, Steuerung und Regelung der gesamten Netzstruktur von der Höchstspannungsebene bis zur Niederspannungsverteilung einen zunehmenden Stellenwert ein, um die Zuverlässigkeit sowie die Versorgungssicherheit und -qualität im Vergleich zur heutigen Netzstruktur zu erhalten bzw. zu erhöhen.

Folgende Maßnahmen stehen im Vordergrund:

- Design eines transeuropäischen Netzes im Jahr 2050
- Lastflussberechnungen mit einem Overlaynetz mit Ultrahochspannung
- Untersuchungen zur Systemstabilität zum Schutz der Systemkomponenten insbesondere nach der Integration von neuen Technologien
- Informationstechnik und -Systeme für die stärkere Vernetzung und die mögliche Regelung der Betriebsmittel und der Netzkunden zur Beherrschung der volatilen Netzbelastung
- Innovative, interagierende Komponenten einbeziehende, dynamische Spannungsregelungskonzepte für Verteilernetze

Demonstrationsmaßnahmen

Da Ausfälle an Einzelkomponenten im Gesamtsystem „Netze“ sich nicht nur auf lokaler und regionaler Ebene, sondern europaweit auswirken können, werden die technologischen Anforderungen an den Ersteinsatz von neuen Technologien sehr hoch gesetzt. Der Demonstration von neuen Komponenten, Betriebsmitteln, Methoden und Verfahren kommt daher eine wesentlich höhere Bedeutung im Vergleich zu anderen Technologiebereichen zu. Die Prüffelder dafür sind deshalb auszubauen. Mögliche Anwendungsfelder für Demonstrationsmaßnahmen könnten sein:

- Bau einer längeren HGÜ- oder AC/DC-Hybrid-Teststrecke
- Analyse und Demonstration eines die Netzebenen übergreifenden energetischen Nachrichtennetzes zur Echtzeitübertragung
- Qualifikation von supraleitenden Komponenten (als Demonstration vor dem regulären Betrieb in Netzen)

Systemanalysen

Systemanalytische Untersuchungen sind insbesondere durch die Langfristigkeit der Investitionen und Betriebszeiten, die hohen Erwartungen bei Sicherheit und Zuverlässigkeit und die Akzeptanz von Neuinvestitionen von zentraler Bedeutung. Exemplarisch sind folgende Themen zu nennen:

- Umgestaltung des Energieversorgungssystems über einen längeren Zeithorizont
- Ökologische Vergleiche: Kabel, Freileitung
- Akzeptanz von neuen Technologien und bei Erweiterungsinvestitionen in Übertragungsnetze

Versorgungsaufgabe der Zukunft

Die sich stark ändernde Versorgungsaufgabe der Zukunft stellt neue Anforderungen sowohl an die in elektrischen Netzen genutzten Betriebsmittel und Komponenten als auch an den Betrieb und die Weiterentwicklung der Netze. Daraus resultierend besteht ein hoher Handlungsdruck an FuE, um diese Bedarfe durch entsprechende neue und neuartige Betriebsmittel und Herangehensweisen zu befriedigen. Beispielhaft können folgende Aspekte identifiziert werden:

- neue Steuerungs- und Regelungskonzepte zur Steigerung der Energieeffizienz und der nachhaltigen Investitionssicherheit im Netz
- intelligente Primär- und Sekundärtechnik (zum Beispiel unter Einbeziehung von Informations- und Kommunikationstechnik)
- neue Konzepte und innovative technische Komponenten zur Netzbetriebsführung, insbesondere unter Berücksichtigung bestehender bzw. erforderlicher Qualitätsstandards
- ganzheitliche Strategien zur Auslegung, Weiterentwicklung, Betrieb und Instandhaltung von Verteilnetzen (zum Beispiel unter Berücksichtigung von Lastmanagementstrategien bzw. der Einbindung einer zunehmenden Anzahl von Elektrofahrzeugen)

3.1.6 Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien

3.1.6.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Die fossilen Energieträger Kohle, Öl und Gas bilden die tragende Säule der Strom- und Energieversorgung in Deutschland und weltweit. Was ihre zukünftige Rolle für die Stromerzeugung angeht, muss zwischen den Zielvorstellungen in Deutschland und den Prognosen zur globalen Entwicklung unterschieden werden.

Nach Angaben der Internationalen Energieagentur (IEA)8 erreichte die weltweite Stromerzeugung aus Kohle, Öl und Gas 2008 einen Wertvonl3.680TWh und deckte damit 67% der gesamten Stromerzeugung ab. In der Europäischen Union lag dieser Anteil mit 1.831 TWh bei 55%. Für das Jahr 2035 prognostiziert die IEA eine Zunahme der weltweiten Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern. Sie würde - unter der Voraussetzung, dass die internationale Staatengemeinschaft ihre bis Mitte 2010 angekündigten Zielvorstellungen in der Energie- und Klimapolitik langfristig umsetzt („New Policy Scenario“) - weltweit mit 19.278 TWh einen Anteil von 54% abdecken. In der Europäischen Union entspräche ihr Beitrag mit 1.348 TWh einem Anteil von 35%. Sofern die internationalen Maßnahmen nicht umgesetzt werden und eine Fortschreibung des Status quo erfolgt („Current Policy Scenario“) würde die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern bis 2035 weltweit stark zunehmen und mit 25.403 TWh einen Anteil von 67% abdecken. In Europa stiege ihr Beitrag auf 1.886 TWh bei einem Anteil von 47%. Damit würde die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern bezogen auf 2008 weltweit um 86% zunehmen.

In Deutschland stellt sich ein anderes Bild dar. 2010 wurden 356 TWh Strom aus fossilen Energieträgern erzeugt Das entspricht ziemlich genau dem zeitlichen Mittelwert pro Jahr seit der Wiedervereinigung 1990. Der Anteil an der Gesamtstromerzeugung betrug damit 57%. Mit Blick auf das Jahr 2050 wird angestrebt, den Stromverbrauch gegenüber 2008 absolut um 25% zu reduzieren und den Bruttostromverbrauch zu maximal 20% aus fossilen Energieträgern zu decken. Dies bedeutet einen erheblichen energiewirtschaftlichen Einschnitt in Deutschland, der sich weltweit gegen die Entwicklungen insbesondere in den

Schwellen- und Entwicklungsländern behaupten muss. Diese unterschiedlichen Tendenzen in Deutschland und weltweit werden die Entwicklung und die Herstellung moderner Kraftwerkstechnologien in den kommenden Jahren beeinflussen. Für Deutschland haben der Kraftwerksanlagenbau und die Komponentenherstellung eine große industriepolitische Bedeutung. Sie bauen auf einer modernen Infrastruktur auf, können von zahlreichen innovativen und zum Teil hochspezialisierten KMU profitieren, und schaffen insgesamt eine Vielzahl qualifizierter Arbeitsplätze in Deutschland. Traditionell ist die Branche primär auf den Export ausgerichtet. So gehen beispielsweise 80 % aller in Deutschland gefertigten Turbomaschinen in den Export. Ihr Weltmarktanteil stieg in den letzten 25 Jahren von rundl5% auf über 30 % an1. Dieser Erfolg ist das Ergebnis einer langfristig angelegten und zielorientierten Forschungs- und Entwicklungsstrategie, die sich auf eine etablierte Forschungsinfrastruktur in den Universitäten, Forschungszentren und der Industrie stützen kann. So konnte beispielsweise der elektrische Wirkungsgrad von Gasturbinen seit Anfang der

1980er Jahre von etwa 30 % auf heute fast 40 % gesteigert werden. Durch die Kopplung von Gas- und Dampfprozess sind inzwischen elektrische Wirkungsgrade von 60 % realisierbar.

Für die zukünftige Entwicklung von modernen Kraftwerkstechnologien in Deutschland erscheinen folgende Überlegungen von Bedeutung:

- Im Jahr 2020 wird für Deutschland ein Anteil der gesicherten Leistung, die zur Abdeckung der Spitzenlast erforderlich ist, von über 80% aus Gas-, Kohle- oder Kernkraftwerken prognostiziert6. Wegen steigender Volatilitäten in der Stromerzeugung muss in Zukunft der gesamte fossil befeuerte Kraftwerkspark für den Ausgleich der dargebotsabhängigen regenerativen Erzeugung und die Stabilisierung des Netzbetriebes mit eingesetzt werden7. Dies stellt völlig neue Anforderungen an fossil befeuerte Kraftwerke hinsichtlich Lastflexibilität und Fahrweisen. Zugleich müssen die Potenziale anderer lastausgleichender Technologien, wie intelligente Netze, Speicher oder die dezentrale Stromerzeugung, berücksichtigt werden.
- Ein Großteil der deutschen Kraftwerke hat seine technische Lebensdauer erreicht und steht zur Erneuerung an. Jedoch bleiben Altanlagen länger in Betrieb, da Investitionen in moderne, hocheffiziente und emissionsarme Kraftwerke durch ein unsicheres Marktumfeld, lange Genehmigungsverfahren und eine geringe gesellschaftliche Akzeptanz erschwert werden. Der Zubau innovativer, konventioneller Kraftwerke in Deutschland bleibt weiterhin notwendig.
- Märkte für Kraftwerkstechnologien entwickeln sich zunehmend im Ausland. Entwicklungen in Deutschland werden daher auch für europäische und internationale Märkte getätigt. Darüber hinaus gibt es eine stärkere internationale Kooperation bei Forschung und Entwicklung zu verzeichnen. Das trifft insbesondere auf den Bereich der CO_2-Abscheidung und -Speicherung (CCS: Carbon Capture and Storage) zu.
- In Deutschland existiert eine über Jahrzehnte gewachsene und etablierte Forschungsinfrastruktur, in der Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft Zusammenarbeiten. Hochschulen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus der Energiewirtschaft und dem Anlagenbau beteiligen sich gemeinsam an Forschungsprojekten. Durch die gezielte staatliche Förderung wird hierbei eine entsprechende Hebelwirkung erzielt. Die finanzielle Beteiligung der Wirtschaft setzt Anreize, damit die Verwertung von Ergebnissen zeitnah realisiert werden kann.

3.1.6.2 Technologieentwicklung und Förderstruktur

Der Förderbereich „Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien“ kann auf bestehende Förderstrukturen und Strategien der Bundesregierung aufbauen. Im Rahmen der FuE-Initiative COORETEC (COORETEC: CO_2-Reduktions-Technologien) des BMWi wurde bereits 2003 eine umfangreiche und langfristig angelegte Entwicklungsstrategie für zukunftsfähige Kraftwerke gemeinsam mit Akteuren aus Wirtschaft und Wissenschaft entwickelt. Mit dem „Leuchtturmkonzept COORETEC“ wurde 2007 eine Anpassung vorgenommen.

In den kommenden Jahren werden die folgenden strategischen Zielsetzungen verfolgt:

- Systemintegration von Kraftwerksprozessen optimieren: Einerseits erfordern immer umfangreichere Kraftwerksprozesse (Kohletrocknung, CCS, Kopplung mit industriellen Prozessen) Optimierungen. Andererseits stellt die Integration der Kraftwerksprozesse in das Energieversorgungssystem (z.B. Netze, Speicher und dezentrale Stromerzeugung) besondere Anforderungen. Dabei kommt dem Ausgleich des steigenden volatilen Anteils der Stromerzeugung eine herausgehobene Bedeutung zu.
- Flexibilität von Kraftwerksprozessen erhöhen: Zentrale Herausforderungen sind die Verbesserung der Lastflexibilität von Anlagen, Komponenten und Prozessen, hohe Laständerungsgeschwindigkeiten, kurze Anfahrzeiten, eine hohe Anzahl von Lastzyklen bei möglichst geringem Verschleiß, die Bereitstellung von Regelleistung und die Erweiterung der Brennstoffflexibilität.
- Effizienz erhöhen: Im Mittelpunkt stehen die zahlreichen Potenziale zur Wirkungsgradsteigerung von Kraftwerken auf Komponenten- und Prozessebene. Insbesondere die Steigerung von Dampftemperaturen und -drücken und die dazu notwendigen Materialuntersuchungen, Werkstoffqualifizierungen, neue Schweiß- und Fügetechniken und Materialprüfverfahren werden thematisiert.
- Emissionen reduzieren: Im Vordergrund steht die Reduktion von CO_2-Emissionen durch CCS- Technologien bis hin zur möglichen Verwendung des CO_2 beispielsweise in der chemischen Industrie. Ebenfalls wird die Reduzierung weiterer umweltrelevanter Emissionen untersucht.
- Neue technologische Optionen erschließen: Die Untersuchung von Verfahren, die heute noch nicht zu den „Standardentwicklungen“ zählen, jedoch viel versprechende Potenziale aufzeigen, wird verfolgt.

Die besondere Bedeutung der Förderpolitik des Bundes liegt in gemeinsamen Verbundforschungsprojekten von Wirtschaft und Wissenschaft. Beste-

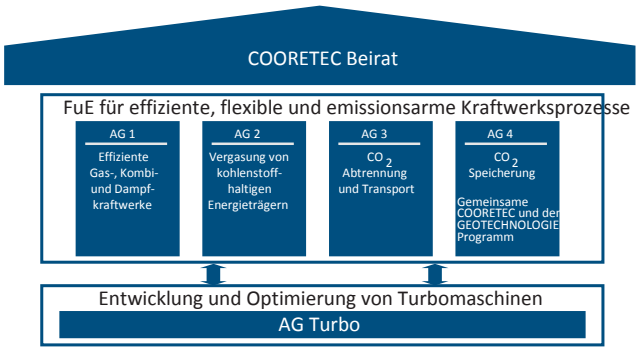


Abb. 3.13: Struktur der FuE-Initiative COORETEC in Kooperation mit CO_2-Speicherprojekten des GEOTECHNOLOCIEN-Programms

hende und geplante Pilot- und Demonstrationsvorhaben werden - soweit möglich - in die Entwicklungsstrategie einbezogen und durch entsprechende Begleitforschungen ergänzt. Die Fördermaßnahmen sollen auch europäische Förderaktivitäten berücksichtigen.

Die Aktivitäten der COORETEC-Initiative werden durch einen Beirat mit Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik begleitet. Der Beirat erarbeitet forschungsstrategische Empfehlungen und verfolgt den Fortschritt der Forschungsarbeiten. Neben den nationalen Forschungsprojekten werden auch europäische und internationale Aktivitäten berücksichtigt.

Thematisch gliedert sich die COORETEC-Initiative in vier Arbeitsgruppen (AGs) (Abb. 3.13). In die Arbeitsgruppe 4 werden die Projekte zur CO_2-Speicherung aus dem GEOTECHNOLOGIEN-Programm des BMBF integriert, um einen optimalen Austausch der laufenden Arbeiten zu gewährleisten. Die Arbeitsgruppen dienen als Plattformen, um in Workshops und Statusseminaren über die laufenden Forschungsarbeiten zu informieren und neue Ideen mit potenziellen Partnern zu diskutieren. In der AG 4 finden gemeinsame Statusseminare der durch das BMBF und das BMWi geförderten Projekte statt. Dieses Verfahren hat sich als sehr erfolgreich erwiesen.

Neben den COORETEC-Arbeitsgruppen, deren Fokus auf der Entwicklung und Optimierung der entsprechenden Prozesse liegt, gibt es als thematischen Verbund die „AGTurbo“, die sich der Komponentenentwicklung im Bereich der Turbomaschinen widmet. Die „AGTurbo“ als Verbund aus Herstellerfirmen von Turbomaschinen, Universitäten und Forschungseinrichtungen setzt die erfolgreichen Arbeiten der letzten Jahre fort.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Die künftigen Maßnahmen des Förderschwerpunktes „Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien“ orientieren sich an Empfehlungen von Experten2 3 unter Einbeziehung des COORETEC-Beirates. Sie werden sich auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:

- Dampfkraftwerke: Materialforschung und Entwicklung von Füge- und Fertigungstechniken für Dampftemperaturen von 700 °C und Drücken bis 350 bar; Qualifizierung neuer Materialien in Langzeitversuchen, die 30.000 Stunden und mehr umfassen; verbessertes Verständnis von Mikrostruktur und Langzeitstabilität; Modelle zur Optimierung von Lebensdauern und Wartungsstrategien; neue Prüfverfahren für dickwandige Bauteile; brennstoffflexible Verbrennungssysteme.
- Gasturbinen- und GuD-Kraftwerke: Effiziente Kühlkonzepte und neuartige Wärmedämmschichten (z. B. nanostrukturierte Wärmedämmschichten) zur Realisierung von Turbineneintrittstemperaturen von über 1.500 °C; Entwicklung und Validierung von Simulationsmodellen zur Optimierung des Zusammenspiels von Kühltechnik und Materialentwicklung; aerothermo- dynamische Optimierung von Verdichtern und Turbinen unter Einbeziehung modernster numerischer Verfahren und deren experimentelle Validierung; Erweiterung des Brennstoffbandes (insbesondere für wasserstoffreiche Gase mit Blick auf eine Kopplung mit chemischen Speichern).
- CO_2-Abscheidung: Technologieoffene Erforschung der verschiedenen CCS-Technologien; „Post-Combustion“und „Oxyfuel“aus heutiger Sicht im Pilot- und Demostrationsmaßstab mit den größten Erfolgsaussichten; Einbeziehung von „Carbonate Looping“, „Chemical Looping“ oder membranbasierten Verfahren sowie umwelt- und sicherheitsrelevanter Aspekte unterschiedlicher Abscheidetechniken.
- CO_2-Transport und -Speicherung: Speicherung in unterschiedlichen geologischen Formationen; Informationssysteme für CO_2-Speicher und Deckgesteine, Sicherheitskonzepte inklusive Langzeitsicherheit, großräumige Überwachung/ Monitoring-Verfahren; Risikoanalysen; Simulation zur Ausbreitung des CO_2 im Untergrund; Untersuchungen des Langzeitverhaltens von CO_2 im Untergrund; Auswirkungen von abscheidungsbedingten Zusatzstoffen im CO_2-Strom auf Pipelines und Speicher (z. B. Korrosion, Carbonatbildung).
- Konzeptuntersuchungen zur Regelung und zum Lastmanagement von Kraftwerken: Dynamische Simulationen eines Energieversorgungssystems mit hohem Anteil erneuerbarer Energien: Auswirkungen auf die Lastflexibilität von Anlagen und Komponenten: Kopplung mit Materialermüdung und Untersuchungen zur Lebensdauer.

Darüber hinaus lassen sich weitere Themen identifizieren, die zukünftig eine wichtige Rolle spielen9:

- neue Synthesegastechnologien (Vergasungstechnologien der 3. Generation),
- kombinierte stoffliche und energetische Nutzung von Kohle,
- neue Leistungselektronik, Anwendungen der Supraleitung, elektrische Komponenten im Kraftwerksbereich,
- Optimierung von CO_2-Kompressoren für CCS-Technologien,
- Untersuchung von Prozessen zur Nutzung von CO_2 (z. B. in der chemischen Industrie).

Literatur:

[1] AG Turbo (2010): 12. Statusseminar, Bonn

[2] Birnbaum, U. et al. (2010): Energietechnologien 2050 - Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung fossil basierter Kraftwerkstechnologien, Wärmetransport, Brennstoffzellen, Forschungszentrum Jülich, STE Research Report 01/2010

[3] Empfehlungen des COORETEC-Beirates zur Förderung von Forschung und Entwicklung CO_2-emissionsarmer Kraftwerkstechnologien und CO_2-Abscheide- und Speichertechnologien, April 2009

[4] Forschungs- und Entwicklungskonzept für emissionsarme fossil befeuerte Kraftwerke - Bericht der COORETEC-Arbeits- gruppen, BMWA Dokumentation Nr. 527, Dezember 2003

[5] Leuchtturm COORETEC - Der Weg zum zukunftsfähigen Kraftwerk mit fossilen Brennstoffen, BMWi Forschungsbericht 566,2007

[6] Monitoring-Bericht des BMWi zur Versorgungssicherheit im Bereich der leitungsgebundenen Versorgung mit Elektrizität, BMWi, Januar 2011

[7] COORETEC-Beirat (2010): Technologische Anforderungen zur Bereitstellung von Ausgleichsleistung für fluktuierende Stromerzeugungsanlagen durch Lastflexibilität von kohle- und erdgasbefeuerten Kraftwerken

[8] Internationale Energieagentur (2010): World Energy Outlook 2010

[9] www.kraftwerkforschung.info

3.1.7 Brennstoffzellen und Wasserstoff

3.1.7.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Zur Erreichung der im Energiekonzept der Bundesregierung festgelegten Reduzierung des Primärenergiebedarfs ist neben den Effizienzsteigerungen auf der Energienachfrageseite eine signifikante Erhöhung der Nutzungsgrade auf der Angebotsseite erforderlich.

In der Energieversorgung gilt es, zunehmend die Stromerzeugung mit der Nutzung der in der Regel

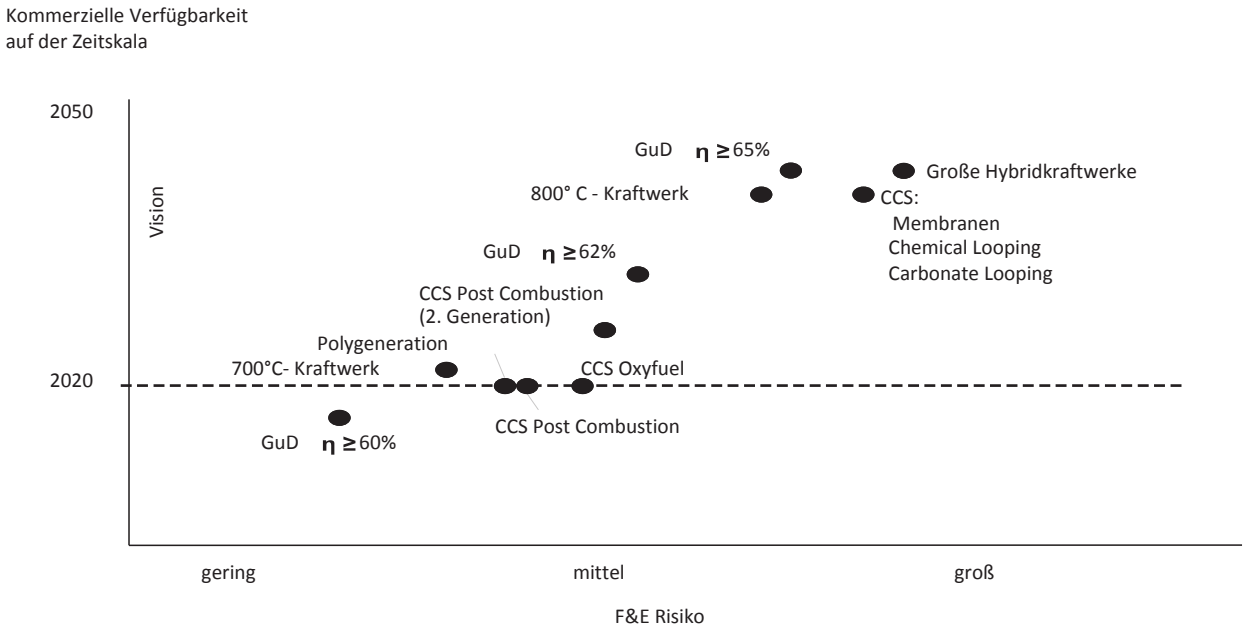


Abb. 3.14: Technologie-Roadmap ausgewählter Technologien im Kraftwerksbereich

gleichzeitig anfallenden Wärme durch Kraft-Wärme-Kopplung zu verbinden. Für den Einsatz der Brennstoffzelle im Vergleich zu anderen Technologien spricht hier deren hoher elektrischer Wirkungsgrad bzw. die hohe Stromkennziffer.

In Kraftfahrzeugen werden heute fast ausschließlich verbrennungsmotorische Antriebe mit vergleichsweise geringen Umwandlungswirkungsgraden und einer nahezu 100 % Abhängigkeit vom Erdöl als Energieträger eingesetzt. Die Vorräte an fossilen Energieträgern sind allerdings endlich. Durch die zunehmende Elektrifizierung bzw. die Umstellung auf rein elektrische Antriebe ergibt sich eine neue Alternative zu Erdöl, wobei zudem grundsätzlich Effizienzsteigerungen erreichbar sind.

Die Brennstoffzelle wird sowohl für die dezentrale Strom- und Wärmeerzeugung als auch als Antriebsaggregat für Kraftfahrzeuge bei mobilen Anwendungen seit vielen Jahren in Deutschland entwickelt. Im Vergleich zu thermischen Prozessen unterliegt die Brennstoffzelle nicht dem Carnot-Wirkungsgrad (Abb. 3.15), sondern zeichnet sich durch einen grundsätzlich höheren Wirkungsgrad aus. Ein besonderer Vorteil besteht darin, dass der Wirkungsgrad in Teillast und in kleinen Einheiten auf hohem Niveau bleibt.

Stationäre Brennstoffzellen werden in der Regel zur Kraft-Wärme-(Kälte-)Kopplung eingesetzt und sind mittlerweile als Hausenergieanlagen im Leistungsbereich von etwa 1 kWel und in der 300-kWel-Leistungsklasse für Industrieanwendungen im Feldtest. Als Brennstoff wird auf ein breites Spektrum von Primärenergieträgern (Erdgas, Biogas, Klärgas etc.) zurückgegriffen.

Ein elektrischer Antrieb, der über eine im Fahrzeug befindliche Brennstoffzelle mit Strom versorgt wird, weist in Verbindung mit Wasserstoff als Sekundärenergieträger auch unter Berücksichtigung der Verluste bei der Wasserstofferzeugung eine sehr hohe Effizienz aus. Der Brennstoffzellenantrieb bietet darüber hinaus den Vorteil, die hohe Abhängigkeit der Mobilität vom Erdöl zu reduzieren, da der Wasserstoff aus einer Vielzahl von Primärenergieträgern gewonnen werden kann. Wird der Wasserstoff elektrolytisch aus CO_2-reduzierter bzw. CO_2-freier elektrischer Energie, beispielsweise aus fossilen Kraftwerken mit CO_2-Abscheidung, hergestellt, lassen sich neben den lokalen Schadstoffbelastungen die spezifischen Emissionen von klimaschädlichen Gasen entscheidend absenken oder sogar ganz vermeiden. Darüber hinaus stellt Wasserstoff, gelagert zum Beispiel in Kavernen, einen idealen Speicher zur Aufnahme von überschüssigen Stromangeboten in Zeiten geringer Stromnachfrage dar. Mittel-bis langfristig sind die Rückverstromung des gespeicherten Wasserstoffs mit Hilfe von stationären Brennstoffzellen oder Wasserstoffturbinen, die Beimischung zum Erdgas oder die Nutzung als Kraftstoff denkbar.

Durch die in der Vergangenheit geförderten Maßnahmen haben deutsche Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen in den Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien eine internationale Spitzenstellung erreicht. Um diese Position zu erhalten bzw. weiter auszubauen, sind auch künftig intensive Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen notwendig. Die Markterwartungen für die spätere Umsetzung der Technologien sind grundsätzlich sehr hoch, richten sich durch die schrumpfenden Energiemärkte in Deutschland aber vor allem auf die schnell wachsenden Exportmärkte. Daher enthalten die geplanten Fördermaßnahmen neben der energiepolitischen Zielsetzung eine wesentliche industriepolitische Komponente in Bezug auf die Stärkung des exportorientierten Wirtschaftsstandorts Deutschland.

Hierin liegt auch begründet, dass die Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie für die speziellen Märkte (unterbrechungsfreie Stromversorgung, Sonderfahrzeuge, Boote, Wohnwagen etc.) Bestandteil der Fördermaßnahmen ist. Die wesentliche Motivation für die Unterstützung dieser Anwendungsfelder besteht darin, durch die Qualifizierung und eine anlaufende serielle Fertigung in diesen Marktsegmenten als Türöffner den Weg in die energiewirtschaftlichen Anwendungen vorzubereiten.

3.1.7.2 Technologieentwicklung und Förderstruktur

Die Bundesregierung unterstützt durch gezielte Förderung die Weiterentwicklung der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien im Rahmen des „Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff und Brennstoffzellen“ (NIP). Dieses wurde von den Bundesministerien für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Wirtschaft und Technologie (BMWi), Bildung und Forschung (BMBF) sowie Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gemeinsam formuliert und auf den Zeitraum von 2006 bis 2016 fokussiert. Der „Nationale Entwicklungsplan Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologien“ (NEP) beschreibt das Arbeitsprogramm des NIP und stellt den strategischen Rahmen für die Umsetzung bis 2016 dar. Der NEP ist in die fünf nachfolgend genannten Anwendungsbereiche und übergeordnete Querschnittsaufgaben aufgeteilt:

- Verkehr, inklusive Wasserstoffinfrastruktur (Distribution, Speicherung und Betankung)
- Wasserstoffproduktion
- Hausenergieversorgung
- Industrieanwendungen
- Spezielle Märkte für Brennstoffzellen
- Querschnittsaufgaben

Dem vorliegenden Energieforschungsprogramm zugeordnet sind Grundlagenforschung, angewandte Forschung und technologische Entwicklung für alle genannten Anwendungsbereiche und bei den Querschnittsaufgaben. Die zeitliche Perspektive der Maßnahmen kann über den Fokus des NIP von 2006 bis 2016 hinausgehen. Dadurch werden auch langfristig angelegte und grundlegende Forschungs- und Entwicklungsaufgaben unterstützt.

Ergänzend zu den oben genannten Schwerpunkten können während der Laufzeit des NIP auch Maßnahmen zur Demonstration von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien sowie marktvorbereitende Maßnahmen vom BMVBS gefördert werden (Abb. 3.16).

Die Auswahl und fachliche Betreuung der Demonstrationsmaßnahmen übernimmt für das BMVBS die „Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellen“ (NOW). Zwischen den Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen einerseits und den Demonstrationsmaßnahmen andererseits findet eine enge und intensive Abstimmung statt. Bei der Auswahl und Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten werden die Ergebnisse der Demonstrationsmaßnahmen besonders berücksichtigt.

Die Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsmaßnahmen sind an die Inhalte des Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCHJU) der Europäischen Union angelehnt. Es findet ein regelmäßiger Austausch in den verschiedenen Gremien des FCH JU wie beispielsweise der Member State Representative Group oder dem Scientific Committee statt. Neben den etablierten Instrumenten der IEA besteht auf internationaler Ebene die Möglichkeit der Zusammenarbeit im Rahmen der International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE).

3.1.7.3 Strategisch wichtige Förderbereiche

Zu den oben genannten Anwendungen werden im Folgenden konkrete Förderthemen beschrieben. Die Aufzählung ist nicht abschließend, so dass auch neue, zur Zeit der Programmerstellung nicht absehbare Entwicklungsherausforderungen unterstützt werden können:

Verkehr, inklusive Wasserstoffinfrastruktur (Verteilung, Speicherung und Betankung)

Die Automobilindustrie inklusive der Zulieferindustrie zählt zu den bedeutendsten Industriebranchen und trägt mit einem großen Forschungs- und Entwicklungsetat wesentlich zur Innovationsfähigkeit in Deutschland bei. Die hier geplanten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten umfassen die Brennstoffzellen für Fahrzeuge (PKW und Busse), die notwendige Wasserstoffbereitstellung sowie die Wasserstoffspeicherung. Zusätzlich werden Systeme für die Bordstromversorgung (Auxiliary Power Unit, APU) z. B. für Lastkraftwagen, Flugzeuge und Schiffe berücksichtigt.

Bei den bisher durchgeführten Entwicklungen konnten erhebliche Verbesserungen, z. B. hinsichtlich Lebensdauer oder Leistung der Brennstoffzelle, erreicht werden. Dies wurde durch die Erprobungsmaßnahmen beispielsweise im Rahmen der Clean Energy Partnership (CEP), einer gemeinsamen Initiative von Automobilherstellern, Technologieproduzenten und Unternehmen der Energiewirtschaft, bereits eindrucksvoll belegt.

Dennoch sind erhebliche zusätzliche Forschungsund Entwicklungsaktivitäten, insbesondere bei den kritischen Komponenten und Prozessen, sowohl bei den Fahrzeugen als auch in der Infrastruktur erforderlich. Wesentliche Ziele der Maßnahmen sind die Kosten-, Gewichts- und Volumenreduktion, die Erhöhung der Lebensdauer und des Wirkungsgrades sowie die Verbesserung der Betriebsbedingungen.

Folgende Bereiche und Komponenten stehen bei den Fahrzeugen bzw. bei der Wasserstoffinfrastruktur im Vordergrund:

- Brennstoffzellenstack
- Peripheriekomponenten und das elektrische Antriebssystem
- Hybridisierung von Brennstoffzellen und Batteriespeichern
- Wasserstoffspeicher für Fahrzeuge
- Gesamtsystemintegration
- Reformierung von Energieträgern zu wasserstoffreichen Gasen
- Materialien mit reduzierter Korrosion bzw. Versprödung durch Wasserstoff
- Tankstellen und Infrastruktur

Wasserstoffproduktion

Wasserstoff als Energieträger spielt bisher eine untergeordnete Rolle, obwohl das Gesamtproduktionsvolumen in Deutschland etwa 10% des Kraftstoffverbrauchs beträgt. Künftig wird ein steigendes Potenzial aus der Notwendigkeit zur Speicherung von großen Strommengen durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und dem Wasserstoff als Option für zukünftigen Kraftstoff erwartet. Die Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen beinhalten die elektrolytische Herstellung von Wasserstoff, die Gewinnung aus Biomasse, die energetische Verwertung von Reststoffen und die Nutzung von Wasserstoff als Nebenprodukt bei Industrieprozessen. Dazu gehört auch die Speicherung größerer Mengen von Wasserstoff im GWh- bis TWh-Bereich.

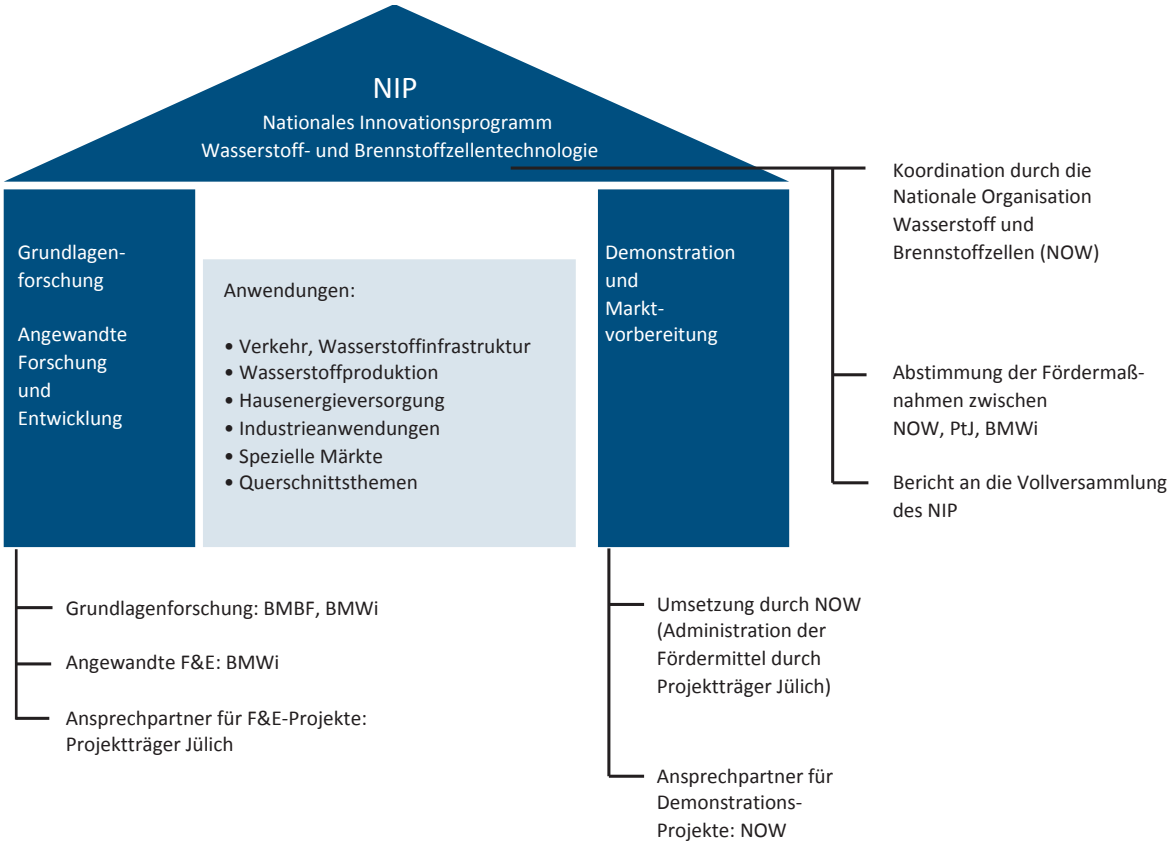


Abb. 3.16: Vernetzung der Fördermechanismen für Forschung, Entwicklung und Demonstration im NIP

Für die künftigen FuE-Aktivitäten werden u. a. folgende konkrete Maßnahmen durchgeführt:

- Entwicklung der PEM-Elektrolyse bzw. alkalischen Elektrolyse zu Anlagen im MW-Bereich
- Entwicklung effizienter Verfahren zur Hochtemperaturelektrolyse
- Weiterentwicklung von großtechnischen Speicherverfahren, insb. Kavernen und Metallhydride
- Methanisierung / Kraftstoffherstellung aus Wasserstoff
- Verteilungs-/Bereitstellungspfade.

Hausenergieversorgung

Die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme in Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie in Gewerbebetrieben mittels Brennstoffzellen ermöglicht einerseits hohe Gesamtwirkungsgrade (>85%) und andererseits CO_2-Einsparungen zwischen 25 % und 35 % im Vergleich zur konventionellen Versorgung mit Strom und Wärme. Die Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen umfassen Systeme im Leistungsbereich von 1 kWel bis 5 kWel, bei denen kurzfristig Erdgas als Brennstoff eingesetzt werden soll. Mittelfristig wird der Einsatz von Biogas und flüssigen Brennstoffen geplant. Erst in einem langfristigen Szenario ist die direkte Nutzung von Wasserstoff denkbar.

Die bisher vorgenommenen Entwicklungen haben zu einem bereits sehr hohen technologischen Stand geführt. Bis 2015 sollen bis zu 800 Anlagen in dem Demonstrationsprojekt CALLUX, einem von Partnern der Energiewirtschaft und der Heizgeräteindustrie initiierten Praxistest, installiert und erprobt werden. Die Ergebnisse dieses Feldtests werden gezielt in die noch zwingend erforderlichen Weiterentwicklungen einfließen, deren Zielsetzungen nach wie vor von der Notwendigkeit zur Erhöhung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit und der Reduzierung von Kosten und Systemkomplexität bestimmt sind. Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten lassen sich in folgende Schlüsselthemen aufteilen:

- Gaserzeugung
- PEM-Brennstoffzellenstack (Nieder- und Hochtemperatur PEM)
- SOFC-Brennstoffzellenstack
- Dezentrale Reformer für Hausenergieversorgungsanlagen
- Verbesserte Komponenten (Bipolarplatten/ Interkonnektoren MEA, Membranen)
- Angepasste Peripheriegeräte (Pumpen, Lüfter, Ventile, Sensoren)
- Gesamtsysteme (PEM- und SOFC-Systementwicklung)

Industrieanwendungen

Bei Brennstoffzellen für Industrieanwendungen handelt es sich in der Regel um Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK)-Anlagen im Leistungsbereich von einigen 10 kW bis wenigen MW zur Versorgung von Industrie und Gewerbe. Elektrische Wirkungsgrade von über 50% bei gleichzeitig hohen Gesamtnutzungsgraden von über 90% führen zu einer signifikanten Reduktion des Ressourcenverbrauchs und der CO_2-Emissionen gegenüber klassischer KWK. Weltweit sind mehrere hundert große Anlagen ab 100 kW im Einsatz. In Deutschland konnten bereits Lebensdauern von 30.000 h (MCFC) und Wirkungsgrade von bis zu 60 % (SOFC) nachgewiesen werden.

In erster Linie werden für die industrielle Anwendung die MCFC- und die SOFC-Technologie in Deutschland entwickelt. Für diesen Anwendungsbereich engagieren sich in zunehmenden Maße auch Unternehmen aus der PEM-Technologie, sowohl Niedertemperatur- (NTPEM) als auch Hochtemperatur-PEM (HTPEM) Die Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen werden von den Anforderungen zur Kostensenkung, Erhöhung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer sowie der Reduzierung der Systemkomplexität bestimmt. Das Ziel im Segment der industriellen KWK-Anlagen ist die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber etablierten Technologien.

Neben technologischen Innovationen lassen sich Kostensenkungen durch gezielte Entwicklung der Fertigungstechnologie zur Serienproduktion und durch Skaleneffekte erreichen. Darüber hinaus müssen Anwendungen identifiziert und entwickelt werden, in denen industrielle Brennstoffzellenanlagen einen Zusatznutzen gegenüber anderen KWK-Anlagen aufzeigen können.

Folgende wesentliche FuE-Aktivitäten sind erforderlich:

- MCFC-Technologie: Verbesserung der Zellleistung und Wirkungsgrade, Erhöhung der Lebensdauer, Verringerung der Degradation, Vereinfachung des Gesamtsystems, verbesserte Komponenten (z. B. Inverter), Nutzung von biogenen Brennstoffen
- SOFC-Technologie: Weiterentwicklung der Planare-Stack-Technologie, Skalierung auf Einheiten mit mehreren kW mit der Möglichkeit zur Gruppierung zu größeren Anlagen, Steuerung und Regelung des Komplettsystems
- Entwicklung von Konzepten und Komponenten für wettbewerbsfähige Fertigungstechnologien für die Massenproduktion
- PEM-Technologie (NTPEM und HTPEM): Hochskalierung von Kleinanlagen auf Leistungen bis in den 100 kW- oder MW-Bereich, Optimierung von Gesamtsystem und Komponenten.
- Hybridisierung mit Mikrogasturbinen oder Thermoelektrischen Generatoren

Spezielle Märkte für Brennstoffzellen

Als spezielle Märkte werden Brennstoffzellensysteme für viele unterschiedliche Anwendungen betrachtet, die nicht den bereits beschriebenen Bereichen unterzuordnen sind. Hierunter fallen Anlagen für die Telekommunikation, Informationstechnologie und Verkehrstechnik, für die Stromversorgung im Freizeitbereich (Auxiliary Power Units für Caravan, Camping), für Lagertechnikfahrzeuge (Gabelstapler, Flurförderzeuge, Hubwagen) und Sonderfahrzeuge bzw. elektrische Leichtfahrzeuge.

Diese Anwendungsbereiche zeichnen sich dadurch aus, dass unter den speziellen Bedingungen z. T. hohe Verkaufserlöse erzielt werden können. Da die Marktchancen hierdurch als sehr hoch einzuschätzen sind, wird den speziellen Märkten eine Brückenfunktion zur Überwindung der ökonomischen Hemmnisse bei den Energieanwendungen im o. g. engeren Sinne zugewiesen. Andererseits ist durch die Vielfalt an Applikationen ein weites Spektrum an Brennstoffzellentechnologien und damit ein breites Feld von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten gegeben, die auf folgende wesentliche Themen konzentriert werden:

- Optimierung der Betriebsführung, des Energiemanagements und der Zuverlässigkeit
- Entwicklung von Wasserstoff-Versorgungsstationen bzw. Logistik-/Infrastruktursystemen
- Entwicklung und Anpassung von Elektrolyseuren, Wasserstoffspeichern und peripheren Komponenten
- Miniaturisierung

Querschnittsaufgaben

Querschnittsaufgaben stellen übergeordnete Themen dar, die nicht den vorgenannten Anwendungen zugeordnet werden können oder deren Ergebnisse einen Nutzen für sämtliche Anwendungen haben können. Folgende wesentliche Forschungs- und Entwicklungsthemen gehören zu den Querschnittsaufgaben:

- Grundlagenforschung zu Brennstoffzellen- und
- Systemkomponenten (z.B. Kostensenkung durch Reduktion oder Substitution von Platin, innovative Membranmaterialien bzw. Interkonnektoren, kostengünstige Bipolarplatten, MEA)
- Entwicklung und Erprobung von Brennstoffzellenkomponenten und -Systemen unabhängig vom spezifischen Anwendungsfall
- Entwicklung von Methoden zur Vorhersage und Verbesserung der Lebensdauer von Brennstoffzellen
- Entwicklung von Zeitraffertests

- Entwicklung standardisierter Testverfahren/ Teststände zum Vergleich unterschiedlicher Brennstoffzellensysteme
- Nutzung von Brennstoffzellen in verteilten Systemen für virtuelle Kraftwerke

3.1.8 Systemanalyse und Informationsverbreitung

3.1.8.1 Systemanalyse

Eine rationale Energieforschungspolitik benötigt umfangreiches und detailliertes Orientierungswissen. Dabei geht es um die Bereitstellung von Daten, Fakten und Analysen mit dem Ziel,

- Potenziale, Kosten und Marktchancen der unterschiedlichen Energietechnologien zu erfassen,
- das Zusammenwirken einzelner Technologien oder Technologiesysteme und deren möglichen Beitrag zu einer sicheren, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Energieversorgung sowie deren absehbare gesamtwirtschaftlichen Effekte zu bewerten und schließlich
- auf dieser Basis Forschungsstrategien zu entwerfen, Prioritäten zu begründen und konkrete Förderentscheidungen zu treffen.
- Aufgabe der Systemanalyse ist es, dieses Orientierungswissen bereitzustellen.

Die Bundesregierung kann auf dem Gebiet der energiewirtschaftlichen Systemanalyse auf umfangreiche Vorarbeiten zurückgreifen. Wichtig sind vor allem zwei Projekte, die in den letzten Jahren vom BMWi auf den Weg gebracht wurden:

- Im Rahmen des Projektes „EduaR&D“ (Energie-Daten und Analyse R&D) wurden neue Ansätze zur Festlegung von prioritären Förderbereichen entwickelt1.
- Das Projekt „Energietechnologien 2050“ stellte in Form eines umfangreichen Handbuches in Kooperation mit der Wirtschaft Daten und Fakten zum aktuellen Entwicklungsstand und zum künftigen Forschungsbedarf der wesentlichen Energieeffizienztechnologien und der Technologien zur Nutzung der erneuerbaren Energien zusammen2.

Das BMWi wird mit seinem Förderschwerpunkt „En:SYS - Systemanalyse in der Energieforschung“ auf diesen Ergebnissen aufbauen und die systemanalytischen Arbeiten im Bereich der Methodenentwicklung und der Technikbewertung aktualisieren und weiterentwickeln.

Neue Initiativen werden auf den folgenden Feldern vorbereitet und gemeinsam mit den anderen Ressorts umgesetzt:

- Stärkere Einbindung sozialwissenschaftlicher Forschungsergebnisse: Entscheidungen in der Energieversorgung sind in hohem Maß von gesellschaftlicher Relevanz. Der Einsatz neuer Techniken und die Anpassung der Versorgungsstrukturen hat dieser Tatsache in jeder Hinsicht Rechnung zu tragen. In der energietechnischen Projektion betrifft das zum Beispiel die Berücksichtigung demografisch bedingter Veränderungen der Energienachfrage oder der Mobilität. Gesellschaftliche Aspekte im Zusammenhang mit der Akzeptanzforschung sind ein weiteres wichtiges Thema der Energiesystemanalyse. Hier geht es um das Verständnis von Akzeptanzvorgängen. Notwendig sind umfangreiche und wissenschaftlich fundierte Begleituntersuchungen zur Akzeptanz innovativer Energietechniken.

- Neue Ansätze der Modellbildung und Szenarioanalyse: Die Modellentwicklung zur Analyse der komplexen energietechnischen und energiewirtschaftlichen Fragen hat in Deutschland einen hohen Entwicklungsstand. Die Zukunftsaufgaben liegen in den spezifischen Fragen, die sich aus den Vorgaben des Energiekonzepts ergeben. Hierbei geht es insbesondere um den angestrebten rückläufigen Energieeinsatz in Deutschland in einem unverändert auf Energieverbrauchswachstum ausgelegten globalen Umfeld sowie um Lernkostenkurven neuer Technologien. Wichtig ist auch eine stärkere Betrachtung der Zusammenhänge in dem europäischen Energiemarkt und der Interaktion der Entwicklungen in Deutschland und den anderen Mitgliedstaaten. Angestrebt wird der Aufbau eines „Energiemodells Deutschland 2050“, das diesen beiden Aspekten in besonderer Weise Rechnung trägt. Im Bereich der Szenarioanalysen stehen systemische Modellierungen möglicher technischer und wirtschaftlicher Entwicklungen im Mittelpunkt. Dies umfasst sowohl das gesamte Energiesystem als auch Einzelbereiche, wie zum Beispiel einzelne Endverbrauchssektoren (Industrie, Verkehr, Haushalte) oder spezielle Versorgungsaufgaben (Wärme, Kraft, Licht, Information). Mit Hilfe von Szenarien soll der Einsatz und die energietechnische Einbindung innovativer Energieversorgungs- und Energienutzungsstrategien abgebildet werden. Von besonderer Bedeutung sind dabei Analysen, die sich mit technologischen Konkurrenzsituationen befassen oder aber einen Beitrag zur Lösung von Konfliktsituationen infolge gegenläufiger Technologieauswirkungen leisten. Teil dieses Förderschwerpunktes sind auch die Einbindung neuer Entwicklungen der Informationstechnik und neuer mathematischer Verfahren, die einen erweiterten Kenntnisstand über komplexe Zusammenhänge in energietechnischen Einzelfragen ermöglichen.

- Untersuchungen zur Anpassung der Energienetze: Dem Ausbau und der Anpassung der Netze der Zukunft kommt eine zentrale Rolle zu, denn nur

mit adäquaten Netzstrukturen kann die Dynamisierung der Energieträgerstruktur mit einem wachsenden Anteil erneuerbarer Energien ohne Einbußen an Qualität und Stabilität umgesetzt werden. Gegenstand der Systemanalyse sind fortschrittliche Strategien des Netzbetriebs und -ausbaus mit dem Ziel, die Effizienz der Energienutzung zu steigern. Betrachtungen dieser Art beziehen sich, je nach Systemgrenze, auf einen Energieträger und das zugehörige Übertragungs- und Verteilungssystem, oder aber auf systemische Analysen der Verknüpfung mehrerer Energieträger. Der Integration von thermischen und elektrischen Energiespeichern kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Im Bereich der Energienachfrage eröffnet zum Beispiel die verbesserte Nutzung von Lastmanagementoptionen Vorteile in Richtung Energieeffizienz. Fortschrittliche Möglichkeiten der Informationstechnik zur Netzsteuerung und -regelung (smart metering, smart grids) sind weitere Untersuchungsthemen. In Verbindung mit den Förderaktivitäten im Bereich der Entwicklung von Komponenten sind Einzeltechnikbewertungen zum Beispiel zu Hochspannungsgleichstromsystemen, zu flexiblen Wechselspannungssystemen (FACTS) und zu Anwendungen von supraleitenden Materialien möglich.

– Mehr Transparenz der staatlichen Förderpolitik: Im Energiekonzept wird dem BMWi die Aufgabe zugewiesen, ein zentrales Informationssystem „Energieforschung und Energietechnologien“ (EnArgus) aufzubauen. Hauptziel des neuen zentralen Informationssystems ist es, eine größere Transparenz der Förderpolitik der Bundesregierung sowie eine gute Belegführung für eine effiziente Mittelverwendung gegenüber dem Parlament zu erreichen. Weitere Ziele sind Bewertungen von Energietechnologien für die künftige Förderpolitik der Bundesregierung auf der Basis ressortspezifischer Bewertungen. Schließlich soll das neue Informationssystem durch geeignete Erweiterungen einen Beitrag zu einem möglichst umfassenden Überblick über die Energieforschungsaktivitäten in Deutschland insgesamt leisten. Für das Informationssystem werden keine neuen Daten erhoben. Es geht darum, bereits vorhandene Informationen in systematischer Weise zusammenzustellen, auszuwerten und kontinuierlich bereitzustellen. Das Informationssystem EnArgus ergänzt die auf diesem Gebiet bestehenden Berichtssysteme, zu denen auch das im europäischen Kontext des SET-Plans stehende „Strategie Energy Technologies Information System “ (SETIS) zählt. Auf der Basis des neuen Informationssystems wird die Bundesregierung einen „Bundesbericht Energieforschung“ vorlegen.

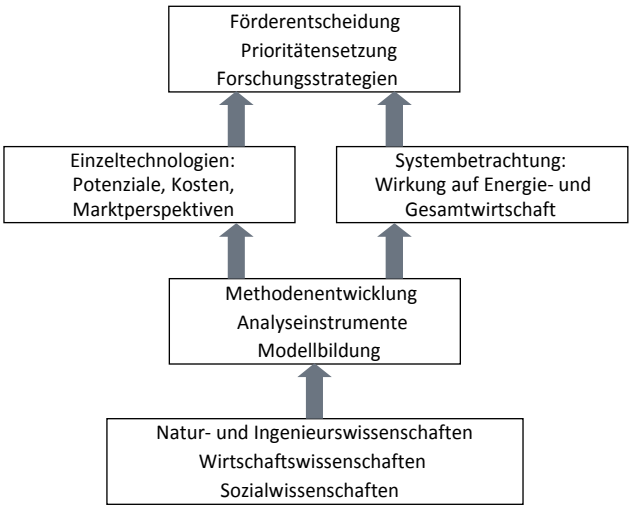


Abb. 3.17: Systemanalyse zur Optimierung der Energieforschungspolitik

Weitere Prioritäten der Forschungsförderung ergeben sich aus der internationalen Zusammenarbeit. Entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 1.6 zur deutschen Beteiligung an dem Forschungsprogramm der Internationalen Energieagentur (IEA) finden auch im Bereich der Systemanalyse weltweite Kooperationen statt. So beteiligt sich Deutschland an den Implementing Agreements „Energy Technology Systems Analysis Programme“ (ETSAP) und „Energy Conservation through EnergyStorage“ (ECES), deren Ziel es ist, energiepolitische Entscheidungen durch systemanalytische Instrumente und Untersuchungen zu unterstützen. Zu diesem Zweck werden innerhalb des ETSAP-Konsortiums das TIMES-Markal Modell-Instrumentarium und im Rahmen von ECES Speichermodellierungen diverser Teilnehmerländer weiterentwickelt.

Informationsverbreitung (BINE Informationsdienst)

Die Bundesregierung unterstützt die Ergebnisaufbereitung und gezielte Informationsverbreitung im Energiebereich vor allem durch den BINE Informationsdienst (www.bine.info) und dessen verschiedene Energieforschungsportale.

Der BINE Informationsdienst vermittelt anhand verschiedener, zielgruppenorientierter Produkte praxisrelevante Ergebnisse der Energieforschung auf den Gebieten Energieeffizienz und erneuerbare Energien. Aus den Projekten der Energieforschung berichtet der BINE Informationsdienst in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter:

– Die vierseitigen BINE-Projektinfos informieren über die neuesten Ergebnisse aus Forschungs- und Demonstrationsvorhaben.

- BINE-Themeninfos dokumentieren auf 20 Seiten den aktuellen Stand zu Themenschwerpunkten der Energieforschung.
- Die Reihe BasisEnergie erklärt präzise und verständlich etwa 20 grundlegende Themen aus den Bereichen Energieeinsparung und erneuerbare Energien.
- BINE-News berichten am Puls der Forschung zeitnah die Fortschritte und Ergebnisse laufender Forschungsprojekte.
- Ergänzt werden die Inforeihen durch die BINE-Fachbuchreihe.

Als Fachredaktion betreut der BINE Informationsdienst auch die Forschungsportale des BMWi:

- www.enob.info - Forschung für Energieoptimiertes Bauen
- www.eneff-stadtinfo/www.eneff-waerme.info - Forschung für die energieeffiziente Stadt einschließlich energieeffiziente Wärme- und Kältenetze
- www.kraftwerkforschung.info - Forschung für neue Kraftwerksgenerationen
- www.eneff-industrie.info - Forschung zu energieeffizienten Technologien und Verfahren in der Industrie

Auch künftig wird das BMWi die Verbreitung von Forschungsergebnissen unterstützen und dabei die Weiterentwicklung und den Ausbau des Informationsangebotes forcieren. Dabei geht es insbesondere um die Integration neuer Verbreitungswege und Medien sowie die Einbeziehung weiterer Institutionen und Verbände aus den relevanten Branchen, um die Multiplikatoren-Wirkung zu verbessern. Auch die Unterstützung des internationalen Informationstransfers wird ein weiterer Schwerpunkt sein.

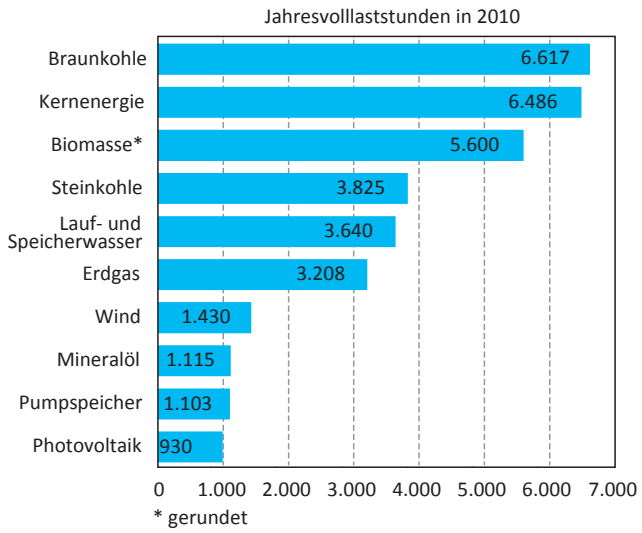


Abb. 3.18: Auf Volllaststunden umgerechnete Stromerzeugung verschiedener Energiequellen in Jahr 2010
Quelle: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.

Literatur:

[1] Forschungszentrum Jülich (2009): Das EduaR&D-Projekt: Energie-Daten und Analysen R&D

[2] Wietschel et al. (2010): Energietechnologien 2050 - Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung, Fraunhofer Verlag

3.2 Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung

3.2.1.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Die in Deutschland und in der Europäischen Union betriebenen Kernkraftwerke tragen zu gut einem Viertel zur Versorgung mit elektrischer Energie bei. Dabei liegt ihr Anteil an der Grundlast, begünstigt von ihrer sehr hohen Verfügbarkeit rund um die Uhr, noch wesentlich höher.

Um die ambitionierten Klimaziele der Bundesregierung zu erreichen und die Verlässlichkeit der Stromversorgung nicht zu gefährden, soll die Kernenergie befristet eingesetzt werden, bis die erneuerbaren Energien deren Rolle technisch und ökonomisch übernehmen können.

Für Betrieb, Stilllegung und Entsorgung von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren, ebenso wie für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, gelten höchste Sicherheitsanforderungen. Maßgeblich ist nicht nur der Stand der Technik, sondern nach § 7d Atomgesetz der „fortschreitende Stand von Wissenschaft und Technik“. Damit weist der Gesetzgeber der nuklearen Sicherheitsforschung eine herausragende Rolle zu. Denn fortschreiten kann der Stand von Wissenschaft und Technik nur durch die Ergebnisse beharrlicher Anstrengungen bei Forschung und Entwicklung.

Das Ziel der staatlichen Reaktorsicherheitsforschung liegt darin, im Sinne der öffentlichen Daseinsvorsorge eine eigene staatliche Kompetenz zu gewährleisten, um Sicherheitskonzepte der Hersteller und Betreiber unabhängig prüfen, bewerten und ggf. weiterentwickeln zu können.

Die Forschung und Entwicklung ist unter maßgeblicher Beteiligung deutscher Wissenschaftler international stark verflochten und wird ständig vorangetrieben. Dabei werden die Forschungsinhalte in zunehmendem Maß davon beeinflusst, dass weltweit die Laufzeiten bestehender Kernkraftwerke verlängert werden und in vielen Ländern, auch in der Nachbarschaft Deutschlands, Kernkraftwerke neuer Generation in Bau oder in Planung sind.

Die Einwirkungsmöglichkeiten Deutschlands auf die Sicherheitsstandards auch neu konzipierter kerntechnischer Anlagen weltweit können längerfristig nur durch gezielte Fortführung und Entwicklung deutscher Beteiligungen an internationalen Forschungsprojekten und Kooperationen mit ausländischen Partnern erhalten bleiben. Die dafür erforderliche kerntechnische Kompetenz in Deutschland kann nur auf der Grundlage einer eigenen Forschung erhalten werden. Auch insofern ist es daher ein Gebot staatlicher Verantwortung und Vorsorge, dass die Bundesregierung eine intensive Forschung auf den Gebieten der nuklearen Sicherheit fördert. Die Förderschwerpunkte „Reaktorsicherheitsforschung“ und „Endlagerforschung“ des BMWi wurden im Jahr 2000 durch eine von der Bundesregierung einberufene Evaluierungskommission „Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung“ neu bewertet. Die Kommission hat vor dem Hintergrund beschränkter Finanzmittel und unter Berücksichtigung der Erhaltung forschungspolitischer Funktionstüchtigkeit und der Sicherung des Know-hows Empfehlungen zur Prioritätensetzung und zur Zusammenarbeit der Forschungseinrichtungen erarbeitet1. Die Empfehlungen der Evaluierungskommission zur Reaktorsicherheit wurden seither vom Kompetenzverbund Kerntechnik regelmäßig fortgeschrieben2'3. Damit wird gewährleistet, dass die Forschungsarbeiten untereinander abgestimmt und effizient durchgeführt werden und zur Erhaltung und Förderung der deutschen kerntechnischen Sicherheitskompetenz beitragen.

3.2.2 Reaktorsicherheitsforschung

Das Ziel der staatlichen RS-Forschung liegt darin, im Sinne der öffentlichen Daseinsvorsorge eine eigene staatliche Kompetenz zu gewährleisten, um Sicherheitskonzepte der Hersteller und Betreiber unabhängig prüfen, bewerten und ggf. weiterentwickeln zu können. Mit ihren Fördermaßnahmen hat die Bundesregierung in den vergangenen Jahrzehnten dazu beigetragen, dass der Betrieb deutscher Reaktoren anerkanntermaßen zu den weltweit sichersten gehört. Ergebnisse solcher Forschungsarbeiten haben vielfach Anstöße für eine weitere Verbesserung der Sicherheitstechnik und -kultur gegeben. Für ihren Betrieb müssen vorausschauend die wissenschaftlichen Grundlagen für die Sicherheitsbewertung der Anlagen entsprechend dem fortschreitenden Stand von Wissenschaft und Technik weiter vertieft werden.

Im Mittelpunkt der projektgeförderten Reaktorsicherheitsforschung stehen weiterhin FuE-Arbeiten zur Sicherheit der in Deutschland betriebenen Reaktoren; daneben stehen Untersuchungen zur Sicherheit der in Nachbarländern geplanten neuen Kernkraftwerke sowie zum sicherheitstechnischen Potenzial innovativer Reaktor- bzw. Entsorgungskonzepte.

Auch die künftigen Arbeiten müssen alle sicherheitsrelevanten Fragestellungen des Betriebs, der Stilllegung und der Entsorgung von Kernreaktoren beinhalten. Dazu gehören insbesondere:

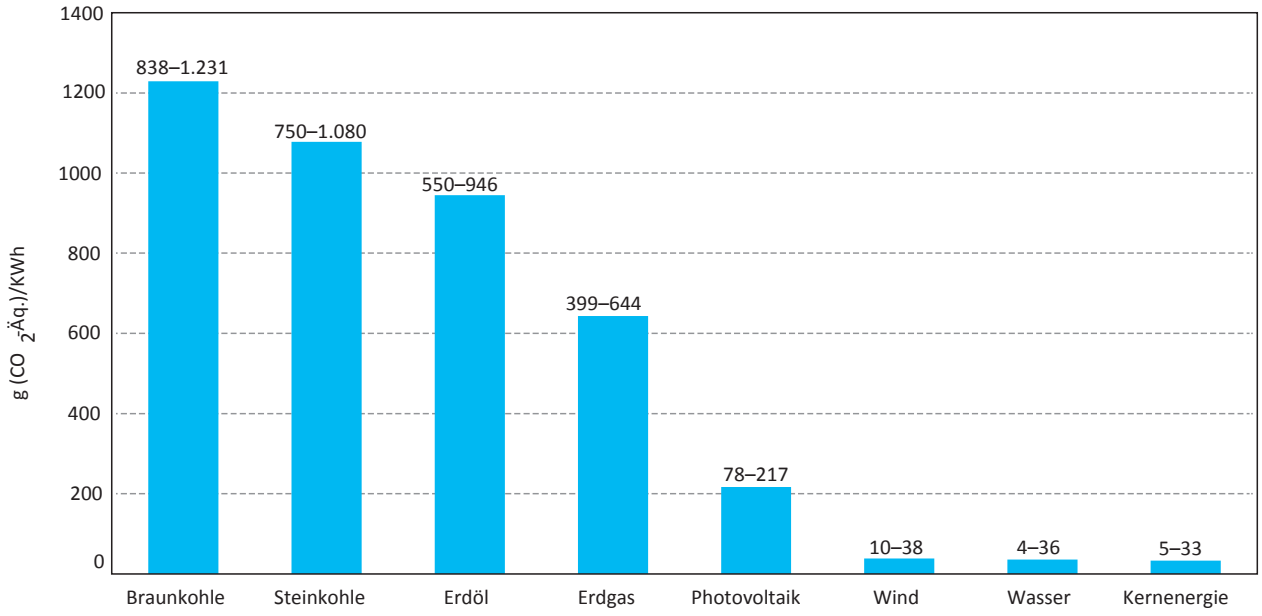


Abb. 3.19: Spezifische CO_2-Freisetzungen verschiedener Energiequellen bei der Stromerzeugung. Die Ziffern geben die Bandbreiten der von den genannten Institutionen ermittelten Werte wieder.

- Alterung von Komponenten und Werkstoffen sowie Grundlagen für effektives Alterungsmanagement,
- Realistische Beschreibung der Abläufe im Reaktorkern und in den Kühlkreisläufen bei Stör- und Unfällen,
- Einsatz weiterentwickelt er nuklearer Brennstoffe mit höherer Anreicherung, längeren Standzeiten und erhöhtem Abbrand,
- Optimierte Beladestrategien zur Schonung des Reaktordruckbehälters und Lastfolgebetrieb,
- Integrität des Sicherheitsbehälters als letzte Barriere gegen den Austritt radioaktiver Stoffe in die Umgebung,
- Sicherheitsfragen bezüglich des Einsatzes moderner (digitaler) Sicherheitsleit- und Wartentechnik,
- Einfluss organisatorischer und personenbezogener Faktoren auf die Sicherheit von kerntechnischen Anlagen,
- Probabilistische Methoden zur Verbesserung der Werkzeuge für die Identifizierung relativer Schwachstellen in Anlagenauslegung und Prozessführung; Verringerung der bestehenden Bewertungsunsicherheiten.

Insbesondere den Themen Alterung und Alterungsmanagement, nuklearer Kern und Brennstoffe, Werkstoffe sowie Digitalisierung der Leittechnik wird angesichts der in vielen Ländern beschlossenen oder geplanten Verlängerung der Laufzeiten international verstärkte Beachtung geschenkt.

Weltweit, auch in Deutschlands unmittelbarer Nachbarschaft, werden in den kommenden Jahren neue Kernkraftwerke errichtet werden. Mit ihnen werden in zunehmendem Maß sicherheitstechnisch weiterentwickelte (Gen III) und innovative Reaktorkonzepte (Gen IV) verwirklicht werden, die sich u. a. durch passive, d.h. selbsttätig wirkende Sicherheitseinrichtungen auszeichnen. Es liegt im Interesse Deutschlands, sich insbesondere auch durch Beteiligung an der internationalen Zusammenarbeit in der Forschung die Fähigkeit zu bewahren, solche und andere neuartige Sicherheitsmerkmale beurteilen und ggf. befördern zu können. Nur dadurch wird Deutschland in die Lage versetzt, seine legitimen Interessen hinsichtlich Sicherheitsstandards und sicherheitstechnischer Konzeption neuer Anlagen in internationalen Gremien und gegenüber dem Ausland wirksam zu vertreten. Gleichzeitig könnten Erkenntnisse auch im Hinblick auf in Deutschland betriebene Anlagen nutzbar sein.

3.2.3 Endlagerforschung

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen weist entscheidende Vorteile im Vergleich zu anderen Entsorgungsoptionen auf. Sie trägt dem Prinzip des Konzentrierens und Isolierens der Abfälle Rechnung und ihre Realisierbarkeit ist unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten national und international nachgewiesen. Eine langzeitsichere Lösung der Entsorgungsfrage und somit die Realisierung der Endlagerung wird als eine Voraussetzung für den Betrieb von Kernkraftwerken angesehen. Obwohl die Realisierung der Entsorgung bzw. Endlagerung in vielen Ländern und auch in Deutschland schon heute möglich wäre, verhindern Kontroversen in Politik und Öffentlichkeit eine zügige Umsetzung. Als Gründe für eine ablehnende Haltung werden u. a. fehlendes Vertrauen in die Zuverlässigkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse und unzureichende Einbindung der Öffentlichkeit in Entscheidungsfindungsprozesse genannt. Da ohne einen gesellschaftlichen Konsens ein Endlager für hochaktive Abfälle nicht realisierbar erscheint, sind auch in dieser Hinsicht intensivierte Anstrengungen von Wissenschaft und Technik erforderlich. Der langfristige Schutz von Mensch und Umwelt als Hauptziel der Endlagerung erfordert vor dem beschriebenen Hintergrund weitere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, um Verbesserungen zu erarbeiten, den erreichten Kenntnisstand weiter abzusichern, zu ergänzen und zu vertiefen.

Als zukünftige strategische Forschungsziele, die von deutschen FuE-Institutionen auch im Rahmen der europäischen Technologieplattform IGD-TP bearbeitet werden sollen, werden angesehen:

- Fortschreibung der Instrumente und Methodik des Safety Case,
- vertiefte Untersuchungen zum Systemverhalten und Entwicklung oder Verbesserung der Systembeschreibung,
- vertiefte Untersuchungen zur technischen Machbarkeit und zum Langzeitverhalten von Endlagerkomponenten,
- Maßnahmen zur Gewährleistung der Betriebssicherheit und zum Monitoring des Endlagersystems und seines Umfelds,
- Governance und Einbindung von interessierter Öffentlichkeit und Politik,
- Beteiligung an internationalen Aktivitäten
- (Komponentenentwicklung) zur Verminderung oder Vermeidung radioaktiver Abfälle mittels Partitionierung und Transmutation (P&T),
- Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung und Anpassung an die Bedingungen der direkten Endlagerung.

3.2.4 Kompetenzerhalt und internationale Zusammenarbeit

In der Reaktorsicherheits- und Endlagerforschung werden modernste analytische und experimentelle Verfahren entwickelt und angewendet. Die

Ergebnisse stehen allen mit Fragen der nuklearen Sicherheit befassten Institutionen zur Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik zur Verfügung.

Mit der Gründung des „Kompetenzverbundes Kerntechnik“ im Jahre 2000 wurde sichergestellt, dass die deutschen Forschungseinrichtungen im Bereich Reaktorsicherheits- und Endlagerforschung effizient und zielgerichtet Zusammenarbeiten.

Die Effektivität der deutschen Forschung wird weiter erhöht, indem intensiv die Möglichkeiten der internationalen Zusammenarbeit und des wissenschaftlichen Austauschs genutzt werden. So werden deutsche Forschungsstellen ausdrücklich darin unterstützt, sich an Ausschreibungen der Europäischen Union (Euratom) zu beteiligen und sich in Konsortien einzubringen, in denen wechselseitige Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnisse, eine die Projekte überdauernde Zusammenarbeit sowie schließlich eine führende Rolle Europas in Fragen der kerntechnischen Sicherheit angestrebt werden. Dies gilt insbesondere auch für die intensive Zusammenarbeit zur Erhöhung der Sicherheit von Kernkraftwerken russischer Bauart, zunehmend aber auch von fortentwickelten und neuen Reaktorkonzepten.

Der Gefahr eines gravierenden Mangels an qualifiziertem Nachwuchs in der Kerntechnik und eines damit einhergehenden einschneidenden Know-how- und Kompetenzverlustes bei deutschen Behörden, Gutachtern und in Forschungseinrichtungen muss entschieden entgegengewirkt werden. Daher wird die Initiative „Kompetenzerhalt Kerntechnik“ (KEK) des BMWi fortgesetzt Mit ihr wird jungen diplomierten Ingenieuren und Naturwissenschaftlern Gelegenheit gegeben, sich durch Mitarbeit in anspruchsvollen Vorhaben der projektgeförderten Reaktorsicherheitsforschung weiter zu qualifizieren und sich an deren aktuelle Fragestellungen heranführen zu lassen. Dabei zeigt sich, dass exzellenter Nachwuchs nur durch Mitarbeit an innovativen Themen zu begeistern ist.

Durch intensive Mitwirkung deutscher Fachleute in internationalen Institutionen wie der internationalen Atom-Energie-Organisation (IAEO), der Nuklear-Energie-Agentur (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) sowie der Europäischen Union (Euratom) nimmt Deutschland auf die internationalen Sicherheitsdiskussionen zur Kerntechnik als kompetenter Partner gestaltenden Einfluss.

In Forschungsprojekten der OECD-NEA wird das Interesse vieler Länder an der Lösung sicherheitstechnischer Fragestellungen durch eine kostenteilige Nutzung international verfügbarer Versuchsstände gebündelt. Experten aus verschiedenen Ländern diskutieren gemeinsam bis in technische Details die Planung der Projekte, beeinflussen zielgerichtet deren Durchführung und interpretieren die Ergebnisse in ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung. Eine Reihe europäischer und überseeischer Staaten, die bislang über keine eigenen Kernenergieprogramme verfügen, beabsichtigen, fossile Energiequellen zukünftig durch die Umwelt weit weniger belastende Kernenergie zu ersetzen. Es liegt im wohlverstandenen deutschen Sicherheitsinteresse, auch diese Länder durch Zusammenarbeit an den reichhaltigen Erfahrungen und dem hohen Kenntnisstand deutscher Forschungseinrichtungen zur kerntechnischen Sicherheit teilhaben zu lassen.

Literatur:

[1] Bericht der vom BundesministeriumfürWirtschaftundTech- nologie (BMWi) berufenen Arbeitsgruppe (Evaluierungskommission) (2000): Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung in Deutschland

[2] Kompetenzverbund Kerntechnik (2003): Themen der nuklearen Sicherheits- und Endlagerforschung in Deutschland 2002 - 2006, Reaktorsicherheitsforschung

[3] Kompetenzverbund Kerntechnik (2007): Themen der nuklearen Sicherheits- und Endlagerforschung in Deutschland 2007- 2011, Reaktorsicherheitsforschung

3.3 Institutionelle Energieforschung der Helmholtz-Gemeinschaft

3.3.1.1 Aufgaben der institutionellen Förderung

Die Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF), Deutschlands größter Wissenschaftsorganisation, widmen sich in besonderer Weise den großen Fragen der Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft, um die Lebensgrundlagen der Menschen langfristig zu sichern.

Der Forschungsbereich „Energie“, einer von insgesamt sechs Forschungsbereichen, nimmt dabei eine Schlüsselstellung ein. Die HGF leistet mit ihren Empfehlungen einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der Energieforschungspolitik der Bundesregierung2.

Die Zusammenarbeit von Großforschungszentren innerhalb der HGF gestattet es, kritische Massen für langfristig orientierte Forschungsthemen zu generieren und Synergien nutzbar zu machen. Dies wird gewährleistet durch gemeinsame Forschungsprogramme - die sogenannte Programmorientierte Förderung (POF) - und durch eine längerfristig angelegte institutionelle Förderung der Forschungszentren.

Die Helmholtzzentren werden zu 90% durch den Bund und zu 10% durch das jeweilige Bundesland gefördert. Die Bundesfinanzierung der Zentren erfolgt durch das BMBF - mit Ausnahme des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, das in der Zuständigkeit des BMWi liegt. Das für die zweite Periode der Programmorientierten Förderung (POF II) mit einer Laufzeit von 2010 bis 2014 festgeschriebene Forschungsprogramm und die Fördermittel orientieren sich an den forschungspolitischen Vorgaben der Bundesregierung. Sie haben weiterhin Bestand, werden jedoch mit Blick auf die dritte Programmperiode (POF III) einer Evaluierung unterzogen und durch das BMWi in Abstimmung mit den anderen zuständigen Ressorts weiterentwickelt.

Neben der langfristig angelegten institutionellen Förderung gibt es flexible Instrumente, um auch kurzfristig wichtige Forschungsthemen aufzunehmen. Dazu zählen sogenannte Portfoliothemen, der Impuls- und Vernetzungsfonds der HGF und die Einwerbung von Drittmitteln im Rahmen der Projektförderung.

Im Forschungsbereich „Energie“ arbeiten derzeit acht Forschungszentren mit fast 4000 Beschäftigten, davon über 1.000 Wissenschaftler, in fünf gemeinsamen Forschungsprogrammen zusammen. Durch ihre internationale Spitzenstellung in der Forschung ist die HGF in besonderer Weise der Ausbildung junger Nachwuchswissenschaftler verpflichtet. 2009 wurden im Forschungsbereich „Energie“ 424 Doktoranden betreut. Die Zusammenarbeit von Forschungszentren mit universitären Einrichtungen erweist sich bei der Ausbildung als besonders förderlich.

3.3.1.2 Forschungspolitische Vorgaben der Bundesregierung

Die aktuellen forschungspolitischen Vorgaben der Bundesregierung für den Forschungsbereich „Energie“ dienen als Leitlinie für die Ausarbeitung der Forschungsprogramme in der zweiten Periode der Programmorientierten Förderung (POF II). Sie geben vor, dass sich der Forschungsbereich „Energie“ vor allem den Feldern zuwendet, auf denen er ein Alleinstellungsmerkmal besitzt, die größte Kompetenz aufweist und einen besonders wirkungsvollen Beitrag zur Sicherung einer langfristigen Energieversorgung leisten kann. Das betrifft insbesondere1

- Aspekte der Grundlagenforschung, die eine Schlüsselstellung für mögliche Durchbrüche bei der Entwicklung von Energietechnologien besitzen,
- Fragestellungen, die wegen ihrer Komplexität, ihrer Größe und ihres Bedarfs an Forschungsgeräten und Forschungsinfrastruktur am besten in den HGF-Forschungszentren bearbeitet werden können und
- Technologien, die für die langfristige und sehr langfristige Energieversorgung von Bedeutung sind und deren Marktreife nach 2020 bzw. nach 2050 angenommen werden kann.

In diesem Kontext soll auch strukturell die Vernetzung und Kooperation mit Universitäten, außeruniversitären Forschungsinstituten anderer Wissenschaftsorganisationen sowie industriellen Forschungseinrichtungen ausgebaut werden.

Die forschungspolitischen Vorgaben sind Ergebnis eines umfangreichen Konsultations- und Diskussionsprozesses von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Die Vorarbeiten zu den forschungspolitischen Vorgaben für die dritte Programmperiode (POF III) haben bereits begonnen. Ihre Weiterentwicklung wird in Dialogplattformen sowohl auf Forschungsbereichs- als auch auf HGF-Gemeinschaftsebene mit Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Zuwendungsgebern diskutiert.

Mit Blick auf die dritte Programmperiode für den Forschungsbereich „Energie“ wird es darum gehen, die Verfahren der HGF weiter zu vereinfachen und die Reaktionsfähigkeit innerhalb der Programme durch eine höhere Flexibilität zu verbessern. Auch programmübergreifende Aktivitäten und Querschnittsthemen werden stärker in den Mittelpunkt rücken, um einer „Versäulung“ der Forschungsstrukturen entgegenzuwirken. Ein wichtiger Aspekt liegt in der Vernetzung der Energieforschung mit Großforschungsgeräten und den strategischen Ausbauinvestitionen anderer Forschungsprogramme.

Bereits in der jetzigen Programmperiode POFII wird das Thema „Elektrochemische Speicher“ ein wichtiger Forschungsschwerpunkt werden. Als weiteres wichtiges Querschnittsthema wurde das Portfoliothema „Materials Science for Energy“ identifiziert.

Der Forschungsbereich „Energie“ gliedert sich in die fünf Forschungsprogramme Erneuerbare Energien, Rationelle Energieumwandlung und -nutzung, Nukleare Sicherheitsforschung, Kernfusion sowie Technologie, Innovation und Gesellschaft.

3.3.1.3 Forschungsförderung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt

Die Energieforschung ist ein wichtiger Schwerpunkt der DLR-Gesamtstrategie, der von Synergien mit der Verkehrsforschung und der Luft- und Raumfahrt profitiert. Das DLR deckt ein breites Themenspektrum in der Energieforschung ab, das von Energiespeichern, insbesondere thermischen Speichern und Batterien, der Entwicklung und Anwendung von Brennstoffzellen, der Entwicklung von Turbomaschinen und dezentralen Kraftwerkssystemen, der Solarforschung, insbesondere im Bereich solarther-

mischer Kraftwerke, bis hin zur Systemanalyse reicht.

Das DLR beteiligt sich am Portfoliothema „Elektrochemische Speicher“ und wird seine Aktivitäten in den kommenden Jahren ausbauen. Zudem werden beispielsweise thermische Speicherkonzepte für unterschiedliche Temperaturniveaus und Anwendungen wie adiabate Druckluftspeicher, thermische Speicher für solarthermische Kraftwerke und Niedertemperaturspeicher für Nahwärmenetze oder die oberflächennahe Geothermie, untersucht.

In der Solarforschung werden solarthermische Anwendungen als Schwerpunkt weiter an Bedeutung gewinnen und durch ein neues Institut für Solarforschung gestärkt. Der Solarturm Jülich soll in den kommenden Jahren in das DLR integriert werden und als Forschungsplattform für die Entwicklung einer neuen Generation von Kraftwerkssystemen dienen. Untersucht werden Themen wie neue Kraftwerksgenerationen mit solarer Direktverdampfung in Parabolrinnen, die Entwicklung von Hoch- temperatur-Receivern, die Integration von Wärmespeichem oder auch solarhybride Kombikraftwerke. Im Bereich der solarthermischen Forschung engagiert sich das DLR zunehmend auch international.

Die Entwicklung der Verbrennungs- und Gasturbinentechnik zielt auf hohe Effizienz, Emissionsminderung, Verbrennungsstabilität und Brennstoffflexibilität ab. Wichtige Anwendungsbereiche sind dezentrale Kraftwerkssysteme mit Mikrogasturbinen und KWK oder die dezentrale Kopplung von Mikrogasturbine und Brennstoffzelle. Auch die Turbinenentwicklung für wasserstoffreiche Gase wird verfolgt.

Im Rahmen der Systemanalyse entwickelt das DLR Methoden und Instrumente zur Abbildung und Bewertung des Übergangs zu einer nachhaltigen Energieversorgung. Damit wird eine Orientierung bezüglich technischer, ökonomischer und ökologischer Entwicklungspotenziale neuer Technologien gegeben.

Für den Forschungsbereich „Energie“ des DLR stellt das BMWi für den Zeitraum 2010 - 2014 etwa 99,3 Mio. € bereit. Die Aufteilung der Mittel ist in Kapitel 3.4 zusammengestellt.

Literatur:

[1] BMWi, BMBF (2008): Forschungspolitische Vorgaben für den Forschungsbereich Energie, beschlossen vom Ausschuss der Zuwendungsgeber am 8. April 2008

[2] HGF (2009): Eckpunkte und Leitlinien zur Weiterentwicklung der Energieforschungspolitik der Bundesregierung, Empfehlungen der Helmholtz-Gemeinschaft

3.4 Haushaltsmittel

Siehe Tabelle 3.4.

4. Forschungsförderung des BMU

Deutschland soll in Zukunft bei wettbewerbsfähigen Energiepreisen und hohem Wohlstandsniveau eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden. Erneuerbare Energien wie Windkraft, Solarenergie, Geothermie, Wasserkraft und Biomasse sind - neben einer deutlichen Steigerung der Energieeffizienz - der Schlüssel, um dieses Ziel zu erreichen.

Bereits in den vergangenen Jahren konnte der Beitrag der erneuerbaren Energien massiv gesteigert werden. Im Jahr 2010 stammten bereits rund 17 Prozent des Stromverbrauchs und über 10 Prozent des Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien. Innerhalb von 10 Jahren haben sich diese Anteile fast verdreifacht. Durch die Nutzung erneuerbarer Energien sind in Deutschland im Jahr 2010 rund 120 Millionen Tonnen Kohlendioxid vermieden worden. Erneuerbare Energien leisten bereits jetzt einen wichtigen Beitrag zur Verringerung der Treibhausgasemissionen.

In Zukunft sollen erneuerbare Energien den Hauptanteil am Energiemix übernehmen. In den nächsten 10 J ahren -bis2020 - soll ihr Anteil am Bruttoendenergieverbrauch 18 Prozent betragen, der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch 35 Prozent. Nach den Vorstellungen der Bundesregierung wird bis 2050 die Energieversorgung Deutschlands weitgehend auf erneuerbaren Energien beruhen: Ihr Anteil am Bruttoendenergieverbrauch soll auf 60 Prozent steigen, ihr Anteil am Bruttostromverbrauch sogar auf 80 Prozent. Im Energiekonzept der Bundesregierung wird der Weg dahin mit konkreten, zu überprüfenden Maßnahmen unterlegt.

Diese Zielrichtung bedeutet letztlich einen grundlegenden Umbau des heutigen Energieversorgungssystems. Eine solche Modernisierung bietet - neben der massiven Senkung der Treibhausgasemissionen - große Potenziale für Innovation, Wachstum und Beschäftigung. Forschungsförderung für erneuerbare Energien ist vor diesem Hintergrund eine strategische Investition in Zukunftstechnologien, in wirtschaftlich lohnenswertes Wissen und Know-how und damit in die zukunftsfähige wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands.

Ziel der Bundesregierung ist, den Ausbau der erneuerbaren Energien umwelt- und naturverträglich zu gestalten. Neben der Vereinbarkeit mit dem Klimaschutz und Umweltauswirkungen auf Wasser,

Boden und Luft sind der Schutz der biologischen Vielfalt, des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes bis hin zu einem naturverträglichen Hochwasserschutz im Rahmen der Ausbaustrategie wichtig. Damit wird auch eine breite Akzeptanz für den Ausbau der erneuerbaren Energien gewährleistet.

Strategische und operative Ziele

Die Forschungsförderung für erneuerbare Energien des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) trägt dazu bei, die Treibhausgasemissionen zu mindern und die Modernisierung der Energieversorgung Deutschlands voranzubringen.[25] Innerhalb der eingangs genannten Ziele der Energieforschungspolitik legt es in der Förderung von Forschung und Entwicklung erneuerbarer Energien einen Schwerpunkt auf die strategischen Ziele:

- die Treibhausgasemissionen zu mindern und die Ausbauziele der erneuerbaren Energien zu erreichen,
- die Kosten der Technologien der erneuerbaren Energien zu senken. Dies bedeutet zum einen eine Steigerung der Wirkungsgrade der einzelnen Technologien. Zum anderen geht es darum, den gesamten Produktionsprozess effizienter und kostengünstiger zu gestalten, die Anlagen und Systeme langlebig betriebssicherer zu machen,
- die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen gerade auf den Zukunftsmärkten für die erneuerbaren Energien zu stärken und zukunftsfähige Arbeitsplätze zu schaffen,
- die Energiesysteme mit Blick auf einen Hauptanteil erneuerbarer Energien zu optimieren
- und den Ausbau und die Nutzung der erneuerbaren Energien umwelt- und naturverträglich zu gestalten.

Das Bundesumweltministerium legt zudem großen Wert darauf, dass die Ergebnisse der geförderten Forschungsprojekte schnell in die praktische Anwendung überführt werden können.

Das BMU führt regelmäßig Strategiegespräche zur zukünftigen Forschungsförderung in den verschiedenen Schwerpunkten mit Vertretern aus Wirtschaft und Forschung. Die Auswertung dieser Gespräche fließt in die Ausgestaltung und die Schwerpunktsetzung der Forschungsförderung im Bereich der erneuerbaren Energien ein.

Strategisch wichtige Förderbereiche

	Ist	Soll	Plandaten 1)		
	2010	2011	2012	2013	2014
Projektförderung					
Rationelle Energieverwendung	118.276	119.294	120.894	115.144	122.494
Elektromobilität 3)	16.819	21.190 2)			
Energie- und Klimafonds		22.000	28.500	103.250	113.500
Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung	32.980	33.280	33.680	34.080	34.080
Summe	**168.075**	**195.764**	**183.074**	**252.474**	**270.074**
Institutionelle Förderung (DLR in der HGF)					
Rationelle Energieverwendung und -nutzung	12.700	14.200	14.600	15.330	15.987
Erneuerbare Energien	3.500	3.600	4.200	4.470	4.713
Technologie, Innovation, Gesellschaft	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Summe	17.400	19.000	20.000	21.000	21.900
Summe	185.475	214.764	203.074	273.474	291.974

Tab. 3.4: Energieforschung BMWi (Tsd. Euro)

1) Zahlen Bundeshaushalt stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament
Die Fördermittel für den Energie- und Klimafonds stehen noch unter Vorbehalt
2) Enthält Mittel aus dem Konjunkturpaket II
3)Elektromobilität ab 2012 in Energie- und Klimafonds integriert

Die Schwerpunkte der anwendungsorientierten Forschungsförderung bei erneuerbaren Energien liegen in Technologiebereichen mit hohem Ausbau-, Innovations- und Treibhausgasminderungspotenzial.

Der Ausbau der Forschungsförderung im Bereich der Windenergie - sowohl an Land (onshore) wie auf See (offshore) - wird daher fortgesetzt. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf Kosteneffizienz und Berücksichtigung der ökologischen Auswirkungen. Die Photovoltaik bleibt ein zweiter wichtiger Schwerpunkt. Der Fokus liegt hier darauf, durch die Förderung anwendungsorientierter Forschung die Technologieentwicklung aus den Labors in industrielle Prozesse zu bringen, um die deutsche Technologie- und Marktführerschaft zu behaupten. Die Unterstützung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Erdwärmenutzung (Geothermie) wird fortgesetzt, um die in Deutschland regional unterschiedlich verteilten Potenziale der Geothermie zu heben. Sie bietet den Vorteil, dass die hiermit gewonnene Energie stetig zur Verfügung steht und somit eine wichtige Ergänzung zu den fluktuierenden erneuerbaren Energieträgern darstellt Hinzu kommt das große Potenzial der Geothermie für eine emissionsarme Wärmeversorgung. Bei der Förderung der solarthermischen Versorgung mit Wärme und Kälte wird es entscheidend sein, neben der Weiterentwicklung der Kollektortechnik auch die Fragen der Integration im Gebäudebereich, der solaren Kühlung und Prozesswärme sowie der saisonalen Speicherung der Energie anzugehen. Perspektivisch kann auch der Import von Solarstrom v. a. aus den Ländern Nordafrikas einen Beitrag für die zukünftige Energieversorgung in Deutschland leisten.

Daher, aber auch zum Kompetenzerhalt der Wirtschaft, wird auch Forschung und Entwicklung im Bereich solarthermischer Kraftwerke gefördert. Auch Projekte im Bereich Wasserkraft und Meeresenergie werden gefördert, wobei bei Wasserkraft besonderer Wert auf die ökologische Optimierung gelegt wird.

Der kontinuierliche Ausbau der erneuerbaren Energien erfordert die ständige Optimierung des Zusammenspiels der erneuerbaren Energien untereinander und mit den konventionellen Energien sowie eine intelligente Abstimmung von Stromerzeugung und Stromverbrauch. Entsprechend dem klaren Bekenntnis der Bundesregierung zu einem Energiesystem mit einem Hauptanteil erneuerbarer Energien und angesichts der besonderen Herausforderungen einer Energie- und Stromversorgung mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien wird der Förderschwerpunkt Integration erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme ausgebaut. Die Verbesserung der Netzinfrastruktur und -technik, intelligente Netze, Speichertechnologien sowie Systemdienstleistungen durch erneuerbare Energien sind entscheidend für ein Energiesystem, das vorwiegend auf erneuerbaren Energien beruht. Angesichts der umfassenden und energie- trägerübergreifenden Bedeutung von Netzen und Energiespeichern werden hierzu gemeinsame Förderinitiativen mit dem BMWi und dem BMBF durchgeführt (siehe auch Kapitel 4.7).

Auch eine Förderung von Querschnittsthemen und übergreifenden Untersuchungen im Rahmen der Gesamtstrategie zum weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien wird durch das Bundesumweltministerium unterstützt.

Die anwendungsnahe Forschungsförderung des BMU wird durch Grundlagenforschung des BMBF ergänzt.

4.1 Windenergie

Die Windenergie wird in Deutschland und weltweit in erster Linie durch Windenergieanlagen genutzt, bei denen durch Rotorblätter und Generatoren die Bewegungsenergie der Luft in elektrische Energie umgewandelt wird. Dabei haben sich

Windenergieanlagen mit horizontaler Drehachse durchgesetzt, die den aerodynamischen Auftrieb nutzen.

4.1.1.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage und Technologieentwicklung

Die Stromerzeugung aus Wind hat sich in den letzten 10 Jahren verfünffacht, von 7,55 TWh im Jahr 2000 auf rd. 36,5 TWh im Jahr 2010 (1990:0,071 TWh). Gegenwärtig sind in Deutschland mehr als 21.500 Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 27,2 GW fast ausschließlich onshore installiert. Bis 2009 wurde die Windenergie in Deutschland vor allem an Land genutzt. Am 27. April 2010 wurde der erste deutsche Hochsee-Windpark alpha ventus eröffnet.

Die Windenergie dürfte auf absehbare Zeit den größten Beitrag zum angestrebten Ausbau der erneuerbaren Energien im Stromsektor leisten. Die Bundesregierung sieht bis zum Jahr 2020 ein Potenzial von jährlich 104 TWh aus Windenergie bis zum Jahr 2020, davon 32 TWh auf See (bei 10 GW installierter Leistung) und 73 TWh an Land (bei 36 GW installierter Leistung) (Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie). Auch das Energiekonzept der Bundesregierung bescheinigt der Windenergie ein großes Potenzial, dessen Nutzung einen massiven Ausbau der Windkraftkapazitäten on- und offshore erfordert.

Der Ausbau der Offshore-Windenergie in Deutschland hat sich in den letzten Jahren zunächst verzögert. Dabei waren die rechtlichen Rahmenbedingun-

gen für die Entwicklung der Offshore-Windenergie spätestens seit der EEG-Novelle 2009 gut. Nicht zuletzt durch die internationale Finanzkrise, deren Auswirkungen auf den Markt ab dem Jahr 2008 spürbar waren, wurden Verzögerungen bewirkt. Für die nächsten Jahre wird jedoch mit einer Entspannung dieser Situation gerechnet Derzeit werden die ersten kommerziellen deutschen Offshore-Windparks gebaut.

Die Bundesregierung will den Ausbau der Offshore-Windenergie deutlich beschleunigen: Bis 2030 soll die Ollshore-Windleistung auf 25 GW ausgebaut werden.

Die Windenergie an Land bietet kurz- und mittelfristig das wirtschaftlichste Ausbaupotenzial im Bereich erneuerbarer Energien. In der Vergangenheit war der größte Anteil der neu installierten Leistung durch die Erschließung neuer Anlagenstandorte und den Zubau neuer Anlagen erreicht worden. Heute werden jedoch die verfügbaren und für die Windenergie nutzbaren Flächen knapper. Einen zweiten Schwerpunkt setzt die Bundesregierung daher insbesondere bei der Leistungsausweitung an bestehenden Standorten (Repowering).

4.1.1.2 Ziele der Forschungsförderung

Die Förderung für Forschung und Entwicklung im Windbereich hat das Ziel, die technologischen Voraussetzungen für die Nutzung der Windenergie auf See und an Land zu verbessern und zur weiteren Kostensenkung der Windstromerzeugung bei Herstellung und Betrieb beizutragen. Deutsche Unternehmen und Forschungsinstitute sind in Technologiefragen international führend. Um diese Position zu erhalten, muss die Technologieentwicklung auch in Zukunft gezielt ausgebaut werden. Gleichzeitig wird durch ökologische Begleitforschung dazu beigetragen, dass Ausbau und Nutzung der Windenergie umweit- und naturverträglich geschehen.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Schwerpunkte der Forschungsförderung im Windbereich sind die übergreifende Technologieentwicklung für die Nutzung auf See und an Land, die spezifische Technologieentwicklung für die Nutzung der Windenergie auf See sowie die ökologische Begleit- und Akzeptanzforschung.

4.1.2 Weiterentwicklung der Technologien für die Nutzung an Land und auf See

Um die Senkung der spezifischen Kosten, Ertragssteigerungen und die Erhöhung der Verfügbarkeit von Windenergieanlagen zu fördern, werden insbesondere die folgenden Förderschwerpunkte gesetzt:

- Unterstützt wird die Verbesserung einzelner Komponenten der Windkraftanlagen, insbesondere
- die anwendungsorientierte Entwicklung
- und der Einsatz geeigneter Werkstoffe,
- innovative Turmbaukonzepte,
- die Weiterentwicklung des Triebstrangs bei
- Anlagen mit oder ohne Getriebe,

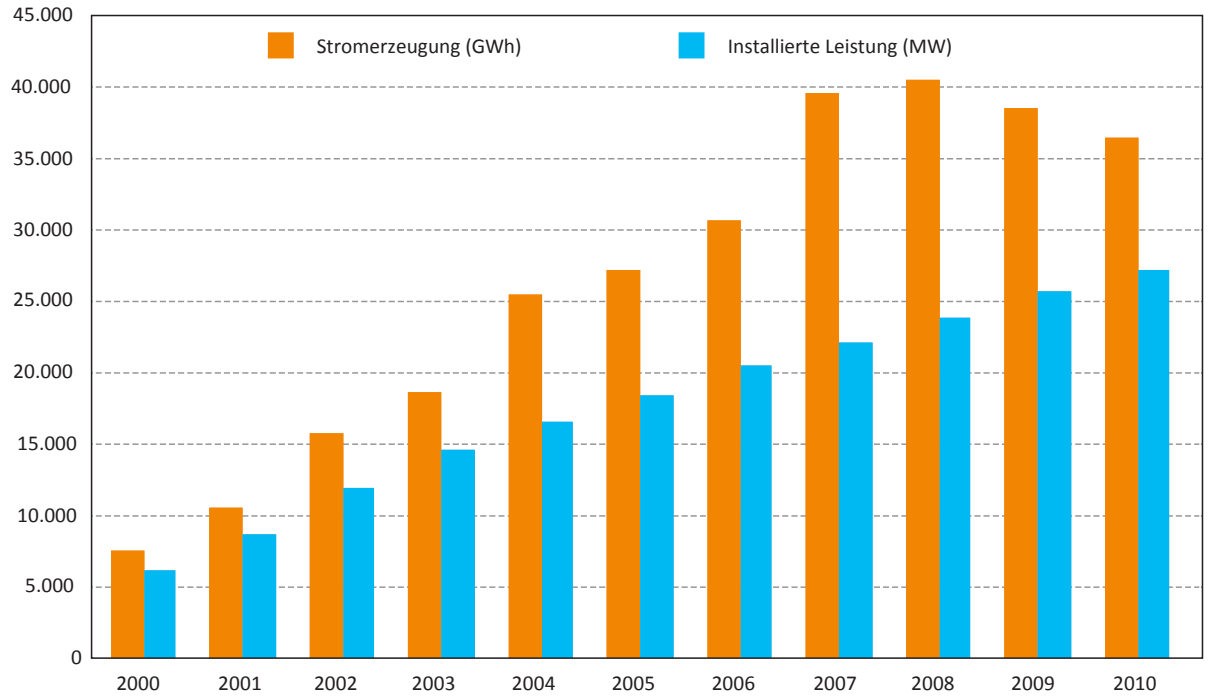


Abb. 4.1 Entwicklung der Windenergie in Deutschland 2000-2010

- die Entwicklung innovativer Konzepte bei
- Gondeln,
- die Weiterentwicklung der Rotorblätter, insbesondere im Hinblick auf die Optimierung von Aerodynamik, Akustik und das leistungsbezogene Gewicht.
- Neben der Weiterentwicklung einzelner Komponenten ist die Verbesserung der Gesamtanlagen entscheidend. Das BMU setzt daher einen weiteren Schwerpunkt auf übergreifende Aspekte, insbesondere
- die Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaften von Windparks (z.B. Nachlaufströmungen),
- die Bestimmung der Strömungsverhältnisse in großen Höhen (> 100 m),
- die Produktionsautomatisierung und Qualitätssicherung in der Produktion,
- die Optimierung von Wartung und Betriebsführung,
- die Verbesserung der Netzeigenschaften von Windenergieanlagen (siehe auch Kapitel 4.7 „Integration erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme“),
- einen umweltverträglichen Anlagenrückbau,
- die Erhebung und Auswertung von Daten und Erfahrungen aus dem Betrieb der Anlagen mit dem Ziel der Systemverbesserung.

Um den Einsatz der Technologien in der Praxis untersuchen zu können, können u. a.:

- Forschungsanlagen und Forschungsfelder, insbesondere Prototypen-Testfelder, die es durch Wechsel der Anlagen ermöglichen, unterschiedliche Prototypen in der Praxis zu erproben, und
- Prüfstände mit flexiblen Testeinrichtungen für einzelne Komponenten

gefördert werden.

4.1.3 Windenergienutzung auf See

Die Forschung und Entwicklung der Windenergienutzung auf See wird u. a. durch den Betrieb der drei Forschungsplattformen FINO1,2 und 3 in Nord- und Ostsee flankiert. Auch durch die Forschungsinitiative am Offshore-Testfeld alpha ventus RAVE (Research at alpha ventus) werden wichtige Fragestellungen untersucht und Daten gewonnen. Aus den Erfahrungen der Planung, Errichtung und dem Test- und Normalbetrieb haben sich bereits jetzt weitere offene Fragestellungen ergeben, für deren Bearbeitung Forschungsförderung durch das Bundesumweltministerium gewährt werden kann und deren Bearbeitung im Rahmen auch von Offshore- Testfeldern am Rande kommerzieller Windparks sinnvoll sein kann. Dies betrifft insbesondere:

- Gründungsvarianten und Tragstrukturen,
- umwelt- und naturverträglicher Anlagenaufbau,
- Windphysik und verbesserte Ertragsprognosen für Windparks auf See,
- rechnergestützte Simulationen der meteorologischen Verhältnisse inklusive der Wellenlasten auf See,
- Logistikkonzepte,
- Optimierung der Konzepte und Technologien für Bau, Betrieb und Instandhaltung,
- Technologien zur Senkung von spezifischen Investitionskosten und Betriebskosten,
- Datengewinnung aus kommerziellen Offshore-Windparks.

4.1.4 Ökologische Begleitforschung, Akzeptanzforschung Windenergie

Der Ausbau der Windenergie soll um weit- und naturverträglich erfolgen. Vor diesem Hintergrund wurde die ökologische Begleitforschung im Rahmen der Forschung für erneuerbare Energien bereits in den vergangenen Jahren verstärkt und wird auch künftig auf hohem Niveau fortgesetzt. Zur ökologischen Begleitforschung gehören die Erprobung und Entwicklung langfristig wirksamer Vorkehrungen und Standards, um einen naturverträglichen Ausbau der erneuerbaren Energien sicherzustellen, einschließlich geeigneter Ausgleichsmaßnahmen sowie die ökologische Optimierung der Technologien. Die ökologische Begleitforschung liefert wichtige Hinweise darauf, wie der weitere Ausbau oder auch die Umgestaltung bestehender Anlagen möglichst naturverträglich gestaltet werden kann. Schwerpunkte bei der ökologischen Begleitforschung liegen insbesondere auf:

- Schallminderungsmaßnahmen insbesondere bei der Errichtung der Anlagen,
- der ökologischen Bewertung neuer Fundamenttypen,
- Vogelzug auch unter Berücksichtigung der Befeuerung von WEA,
- Berücksichtigung der Erkenntnisse zum Fledermausschlag in der Entwicklung von WEA-Regelungskonzepten,
- Wirkung von Windenergieanlagen auf Seevögel und Fische z. B. bezüglich Lebensraumverlust,
- Einfluss des künftigen Offshore-Ausbaus auf das Ökosystem/Mikroklima,
- Standardisierung von Messverfahren,
- Bewertung kumulativer Wirkungen von Windparks, insbesondere zur Entwicklung von Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen und Erarbeitung von Belastungsgrenzen.

Entscheidend für die Nutzung der Windenergie ist auch ihre umfassende Integration in das Energiesystem (siehe hierzu Kapitel 4.7).

4.2 Photovoltaik

Mittels Photovoltaik wird in Halbleitern, sogenannten Solarzellen, das Sonnenlicht direkt in elektrischen Strom umgewandelt. Überwiegend wird dafür das Halbleitermaterial Silizium eingesetzt; aber auch andere Materialen, insbesondere Verbindungshalbleiter, werden genutzt.

4.2.1.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage und Technologieentwicklung

Der Photovoltaik-Weltmarkt hat sich in den letzten Jahren dynamisch entwickelt. Wurden 2005 noch 1,8 GW produziert, sind es 2010 bereits 17-20 GW. Die Entwicklung wird getrieben von unterschiedlichen Mechanismen zur Unterstützung der Markteinführung, von denen sich viele das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zum Vorbild genommen haben. In diesem Kontext ist Deutschland momentan der Leitmarkt für die Photovoltaik. Die Vergütungssätze für Photovoltaik im EEG werden kontinuierlich angepasst, um den Ausbau gesamtwirtschaftlich zu gestalten. Lagen 2005 die Kosten für Strom aus Photovoltaik in Deutschland noch bei 0,50 bis 0,60 €/kWh, wurde das damals für 2010 prognostizierte Niveau von rund 0,30 €/kWh im Jahr 2010 auch tatsächlich erreicht.

Auch wenn Deutschland nicht zu den sonnenreichsten Gebieten der Erde zählt, besteht hier längerfristig noch ein größeres Ausbaupotenzial. Im „Nationalen Aktionsplan für erneuerbare Energien“ der Bundesregierung von 2010 wird für 2020 eine installierte Kapazität von 51,7 GW erwartet, was einer Stromerzeugung von 41,4 TWh entspricht. Entscheidend für die Weiterentwicklung wird auch die Umsetzung der Rahmenbedingungen des zum 1.1.2012 novellierten EEG sein. Daneben ist die Photovoltaik ein Technologiekomplex, der wichtige Exportmöglichkeiten bietet. Die Internationale Energieagentur IEA erwartet in ihrer Studie „Solarphotovoltaic energytechnology roadmap“ ab 2030 weltweit einen jährlichen Zubau von über 100 GW.

Um den Ausbau der Photovoltaik wirtschaftlich und effizient zu gestalten und die Ausbauziele zu erreichen, sind weitere deutliche Kostensenkungen notwendig. Bis 2020 sollen die Kosten für Strom aus Photovoltaik etwa bei 10 ct/kWh liegen. Voraussetzung ist eine kontinuierliche Reduzierung der Systempreise. 2010 wurde bereits ein Niveau von knapp 3.000 €/kW erreicht. Dieses soll bis 2020 noch einmal auf 1.300 bis 1.500 €/kW mehr als halbiert werden.

Langfristiges Ziel ist ein durchaus realistischer Systempreis von unter 1.000 €/kW, der einen Strompreis von unter 10 ct/kWh ermöglicht. Hierzu kann die Forschungsförderung einen entscheidenden Beitrag leisten.

Im globalen Wettbewerb haben deutsche Forschungseinrichtungen und Unternehmen wesentliche Impulse gegeben. Deutsche Forschungsinstitute zählen zu Recht zu den international renommiertesten Entwicklungslabors. Der deutsche Anlagenbau liefert Produktionsanlagen, die weltweit Standards setzen. Die Photovoltaikunternehmen selbst sind eine dynamisch wachsende Branche, deren Umsatz sich seit 2005 mehr als verdreifacht hat und die wichtige Hochtechnologie-Arbeitsplätze in Deutschland schafft.

4.2.1.2 Ziele der Forschungsförderung

Die Forschungsförderung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit hat vor diesem Hintergrund die Ziele,

- die Wirkungsgrade weiter zu erhöhen, insbesondere die Lücke zwischen den im Labor erzielten und in der Produktion erreichten Wirkungsgraden zu schließen,
- die Kosten durch effizientere Produktionsverfahren und den Einsatz neuer Prozessschritte wie Laser oder Automatisierungstechnologien weiter zu senken,
- den Materialeinsatz durch Effizienzmaßnahmen sowie den Einsatz neuer Materialien und Kombinationen zu reduzieren und
- die Lebensdauer der Komponenten von Photovoltaiksystemen zu erhöhen, um deren Wirtschaftlichkeit weiter zu steigern.

Gegenüber kostengünstigeren ausländischen Standardprodukten werden in Deutschland nur Fertigungen bestehen können, die erfolgreich und stetig in Produktinnovationen investieren. Um die Technologieführerschaft Deutschlands auf breiter Basis zu halten, muss der Forschungs- und Entwicklungsaufwand verstärkt werden. Insbesondere müssen Ergebnisse, die auf Laborebene bereits realisiert sind, Eingang in die Fertigung finden. Das Bundesumweltministerium setzt daher darauf, vorwiegend vorwettbewerbliche Forschung zu adressieren, auf deren Forschungsergebnisse möglichst viele deutsche Firmen Zugriff haben.

In diesem Zusammenhang hat die Bundesregierung 2010 auch die „Innovationsallianz Photovoltaik“ gestartet, die insbesondere Wert legt auf eine verstärkte Kooperation innerhalb der Prozessketten und zwischen Ausrüstungs- und Photovoltaikindustrie. Es wird erwartet, dass die Projekte der von BMU und BMBF in gemeinsamer Federführung durchgeführten „Innovationsallianz Photovoltaik“ die Anstrengungen der Industrie unterstützen, eine kontinuierliche Senkung der Fertigungskosten zu erreichen und damit

gleichzeitig die internationale Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten.

4.2.1.3 Strategisch wichtige Förderbereiche

Sowohl die Silizium-Wafertechnologie als auch die Dünnschichttechnologien besitzen das Potenzial, die notwendigen Kostenziele zu erreichen und damit in Zukunft größere Marktanteile zu erobern. Gegenwärtig ist nicht eindeutig, welche der derzeit existierenden Technologien in Zukunft marktbeherrschend sein werden. Die Forschungsförderung orientiert sich einerseits daran, die etablierten Solarzellen aus kristallinem Silizium weiterzuentwickeln, andererseits verschiedene Dünnschichttechnologien mit hohem Potenzial voranzubringen.

4.2.2 Silizium-Wafertechnologie

Die Wertschöpfungskette zur Silizium-Wafertechnologie beginnt beim Rohstoff Silizium und setzt sich fort über die Scheiben- („Wafer"-) und Zellfertigung bis hin zum Modulbau. Es gilt, in allen Prozessschritten Materialeinsatz und Energieaufwand deutlich zu reduzieren. Die wesentliche Kenngröße ist der Einsatz von Siliziummaterial bezogen auf die später im Modul erzielte Leistung. Lag dieser Wert 2005 noch bei 12 t/MW, werden heute bereits 7 t/MW realisiert. Eine weitere Reduktion auf 5 t/MW erscheint notwendig, um die angestrebten Kostenziele zu erreichen. Gegenstand der Förderung ist insbesondere:

- **Rohstoff, Kristallisation und Scheiben- („Wafer"-)fertigung:** Solarsilizium muss ausreichend rein sein, um später in der Zelle und im Modul hohe Wirkungsgrade zu ermöglichen. Gleichzeitig muss aber bereits hier auf eine Kostenreduktion hingearbeitet werden. In der Waferfertigung gilt es, die einzelnen Teilprozesse möglichst materialsparend umzusetzen. Eine mögliche Alternative zum Schneiden des Siliziums in Scheiben ist die Herstellung der Siliziumscheiben durch die Kristallisation in Form von dünnen Bändern direkt aus der Siliziumschmelze.
- **Zellherstellung:** Standard in der Zellfertigung sind heute noch immer relativ einfache Strukturen, die Wirkungsgrade bis 17% erzielen. Zwischenzeitlich wurden auf Laborebene Zellkonzepte entwickelt, die die 20%-Marke deutlich überschreiten. Es wird notwendig sein, diese Konzepte in die Fertigung zu übertragen und gleichzeitig die spezifischen Produktionskosten zu senken. Dies stellt insbesondere Ansprüche an die Prozesstechnologien.
- **Modulherstellung:** Der abschließende Prozessschritt ist die Weiterverarbeitung der Solarzellen

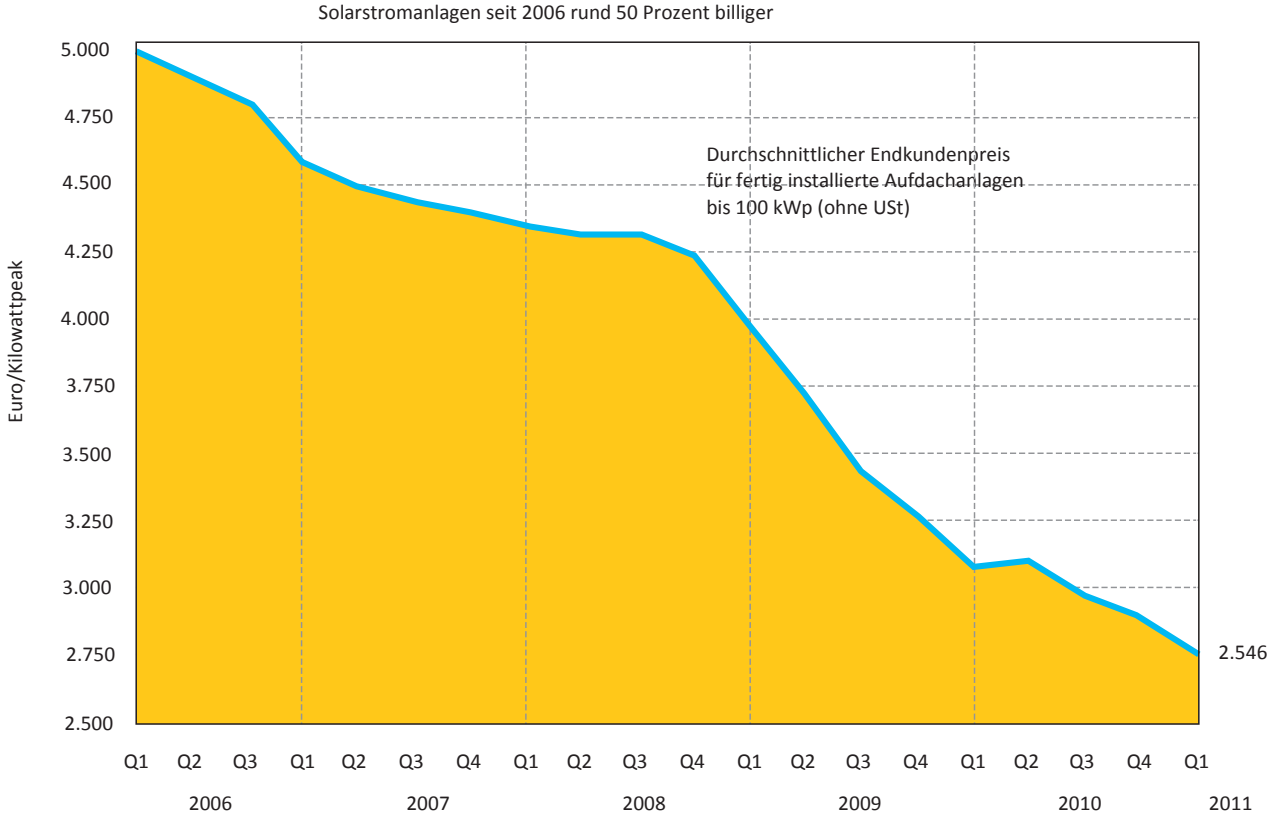


Abb. 4.2: Kostendegression in der PV
Quelle: Unabhängige, repräsentative Befragung von 100 Installateuren durch EUPD-Research im Auftrag des BSW-Solar. Weitere Infos: www.solarwirtschaft.de/preisindex

zu Modulen. Vordringliche Ziele für die kommenden Jahre sind, umweltbelastende Stoffe zu vermeiden, die Qualitätssicherung so zu verbessern, dass eine Lebensdauer von über 25 Jahren bei mindestens 90 % der Produktionsnennleistung erreicht wird und die Modultechnik an neue Zellkonzepte anzupassen.

Übergreifend über alle Teilprozesse ist darauf zu achten, dass durch hohe Prozessausbeuten und Materialeinsparungen die konzeptionellen Kostensenkungspotenziale unterstützt werden. Verbesserte Prozesstechniken sind dabei ein Schlüsselelement. Weiterhin ist die Produktion insgesamt darauf auszurichten, dass der Energieeinsatz reduziert und die Ökologie belastende Stoffe vermieden werden.

4.2.3 Dünnschichtsolarzellen

Der Schwerpunkt der künftigen Forschung zu den Dünnschicht-Technologien wird bei den Fertigungstechniken gesehen. Als wesentlich werden höhere Prozessausbeuten und längere Anlagenstandzeiten erachtet. Dazu zählt auch der Ansatz, Dünnschichtzellen im Rolle-zu-Rolle-Prozess auf flexiblen Substraten kostengünstig und quasi endlos abzuscheiden. Parallel geht es darum, die Abscheideraten zu erhöhen und den Material- und Energieverbrauch weiter zu senken. Wie bei der Silizium-Wafertechnik sind Aspekte der Langzeitstabilität der Module zu untersuchen. Weiter müssen umweltbelastende Stoffe in der Produktion vermieden werden.

Innerhalb der Dünnschicht-Technologien fördert das Bundesumweltministerium schwerpunktmäßig die Herstellung der Solarzellen auf der Basis von Silizium und von Chalkopyriten.

- **Silizium-Dünnschichtsolarzellen** überzeugen vor allem, weil das Basismaterial Silizium fast unbeschränkt verfügbar ist und wehere Entwicklungsfortschritte durch spin-offs beispielsweise aus der Flat-Panel-Industrie erwartet werden. Obwohl die Fertigungskapazitäten zu Zellen aus amorphem und mikromorphem Silizium in den letzten Jahren signifikant ausgebaut wurden und die Fertigungstechnik von Fortschritten aus der Flat-Panel-Industrie profitieren konnte, ist das Wirkungsgradpotenzial dieser Technologie bei Wehem nicht ausgeschöpft. Gute Module erreichen heute 8,5% Wirkungsgrad, 2005 waren es noch 6%. Jedoch sollten Werte von mindestens 12 % erreichbar sein. Damit wäre auch ein deutliches Kostensenkungspotenzial erschlossen.

Kristalline Silizium-Dünnschichtzellen befinden sich nach wie vor im Forschungsstadium; eine Produktionsreife auch unter ökonomischen Gesichtspunkten ist noch nicht absehbar.

- **Chalkopyrit-Dünnschichtzellen (CIS)** haben das Potenzial zu hohen Wirkungsgraden. Mit Wirkungsgraden in der Produktion von bis zu 13 % und einem nachgewiesenen Potenzial über 20 % können CIS-Solarzellen mit dem Wirkungsgrad von kristallinen Siliziumzellen konkurrieren. Primäres Ziel dieser Technologie muss es sein, die Fertigungs- und Prozesstechnik weiter zu verbessern, um einerseits das aufgezeigte Wirkungsgradpotenzial zu erschließen und andererseits eine insgesamt kostengünstige Produktion zu realisieren. Dazu zählt auch die Substitution teurer Materialien.

- **Dünnschichtsolarzellen aus Cadmiumtellurid (CdTe)** sind derzeit in der Dünnschichttechnologie führend bezüglich Kosten und Produktionsmengen. Die Entwicklungspotenziale werden gegenwärtig als geringer eingeschätzt als bei Dünnschicht-Solarzellen auf der Basis von Silizium oder Chalkopyriten. Hinzu kommt, dass die ökologischen Auswirkungen dieser Technologie noch nicht ausreichend geklärt sind.

Diese Schwerpunkte in der anwendungsorientierten Forschungsförderung des BMU werden durch die grundlagenorientierte Förderung des BMBF bei der Entwicklung von Dünnschichtsolarzellen ergänzt (Kapitel 6.4.3). Die Fördermaßnahmen sind aufeinander abgestimmt.

4.2.4 Systemtechnik

Die Systemtechnik zur Einspeisung von Solarstrom ins Elektrizitätsnetz ist technisch weit ausgereift. Fragen des Zusammenwirkens vieler dezentraler Einspeiser mit dem Netz und untereinander werden im Förderschwerpunkt „Optimierung der Energieversorgungssysteme“ (Kap. 4.7) auf genommen.

Die zukünftigen Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich deshalb auf die Weiterentwicklung dezentraler Leistungselektronik für die Netzeinspeisung, beispielsweise hoch effiziente Wechselrichtertopologien und deren Anpassung an künftige Modulgenerationen.

4.2.5 Alternative Solarzellenkonzepte und neue Forschungsansätze

Mit einem Systemwirkungsgrad von 25 % steht die konzentrierende Photovoltaik in Gebieten hoher direkter Solarstrahlung eine interessante Alternative dar. Auch wenn solche Systeme in Deutschland wegen eines hohen diffusen Strahlungsanteils nur in Ausnahmefällen eingesetzt werden, bietet sich ein attraktiver Exportmarkt. Deutsche Forschungseinrichtungen, Zellhersteller und Systemanbieter haben bereits einen hohen Entwicklungsstand erreicht. Beispielsweise konnten GaAsP/GalnP/Ge-Tripelsolar-

zellen mit einem Wirkungsgrad von über 40% gefertigt werden. Vor diesem Hintergrund werden Fragestellungen der konzentrierenden Photovoltaik mit Blick auf eine Erhöhung des Systemwirkungsgrads bei gleichzeitiger Senkung der Fertigungskosten als relevant erachtet.

Eine wichtige Rolle in der Forschung spielen weiterhin neue, innovative Zellkonzepte. Dazu gehören auch organische Solarzellen sowie Farbstoffzellen. Um langfristig diesen Solarzellen-Konzepten eine Entwicklungschance zu bieten, werden die hierzu notwendigen Aktivitäten durch das BMBF (s. Kap. 6.4.3) adressiert. Forschungsziele sind dabei die Übertragbarkeit in einen industriellen Fertigungsmaßstab, eine energietechnisch relevante Lebensdauer und Umweltverträglichkeit.

Insbesondere für Photovoltaikanlagen auf Freiflächen sind Vorhaben der ökologischen Begleitforschung auf die Erfassung von Auswirkungen des Baus und Betriebs der Anlagen, einschließlich ökologische, Mindestanforderungen und begleitende, Akzeptanzforschung, auszurichten.

Technologieübergreifende Forschungsgebiete:

Die Photovoltaik eignet sich hervorragend für die Gebäudeintegration (BIPV - building integrated PV). Dabei übernehmen Photovoltaikmodule Aufgaben der Gebäudehülle. Durch diese Substitution lassen sich bezogen auf das Gesamtgebäude Kosten einsparen. Obwohl ökonomisch und architektonisch potenziell attraktiv, sind gebäudeintegrierte

Photovoltaikanlagen heute noch die Ausnahme. Ziel sollte die Entwicklung standardisierter gebäudeintegrierbarer Module zur Erfüllung der Anforderungen für Null- oder Plusenergiegebäude sein.

Für die Photovoltaik als eine saubere Energieoption sind außerdem übergreifende Fragestellungen bezüglich der Vermeidung Umwelt und Gesundheit belastender Stoffe in allen Systemkomponenten, der Reduzierung des Energieeinsatzes bei deren Herstellung und des Recyclings relevant.

4.3 Tiefe Geothermie

Geothermie bezeichnet die Nutzung von Erdwärme für Nutzwärme oder Stromgewinnung. Bei der tiefen Geothermie wird Erdwärme aus geothermischen Reservoiren in Tiefen ab 400 Meter genutzt, die mittels Tiefbohrungen erschlossen werden. Bei der hydrothermalen Geothermie wird vorwiegend die Energie des im Untergrund enthaltenen warmen bis heißen Wassers genutzt, bei der petrothermalen Geothermie wird die im Gestein gespeicherte Energie genutzt.

4.3.1.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage und Technologieentwicklung

Deutschland verfügt über drei zur geothermischen Nutzung besonders geeignete Regionen: das norddeutsche Becken, den Oberrheingraben und das süddeutsche Molassebecken. Als Ergebnis aus den laufenden Forschungsprojekten ist ersichtlich, dass jede dieser Regionen charakteristische Merkmale aufweist, die zu unterschiedlichen Chancen und Herausforderungen für die Nutzung der geothermischen Wärme führen. Das norddeutsche Becken zeichnet sich durch gemäßigte Fließraten, moderate Temperaturen und zum Teil sehr hohe Salinität (Salzhaltigkeit) des Thermalwassers aus, während das süddeutsche Molassebecken teilweise hohe Fließraten, hohe Temperaturen und zumeist geringe Salinität verzeichnet. Der Oberrheingraben ist durch seine heterogene Geologie mit Störungszonen und der höheren Wahrscheinlichkeit von seismischen Ereignissen schwerer erschließbar und verfügt über oftmals stark korrosive Thermalwasserzusammensetzungen, liefert aber andererseits mit hohen Temperaturen und hohen Fließraten gute Bedingungen für eine wirtschaftliche Nutzung der Geothermie.

Die Erhöhung der EEG-Einspeisevergütung für Strom aus Geothermie im Jahr 2004 führte ab 2005 zu einer starken Ausweitung der Aktivitäten in der tiefen Geothermie. Projekte zur geothermischen Stromerzeugung konzentrierten sich auf das Molassebecken im Raum München und den nördlichen Oberrheingraben. Ende 2006 existierten 80 Projekte der tiefen geothermischen Strom- und Wärmeproduktion, Ende 2007 bereits 150 Projekte in verschiedenen Bearbeitungsstufen.

An mehreren Standorten (Offenbach, Speyer, Unterhaching, Landau) begannen 2004 und 2005 Bohrarbeiten. Es folgten Bohrungen in Groß Schönebeck, Bellheim, Sauerlach, Dürrnhaar, Kirchstockach und Mauerstetten. Bisher wurden aber nur drei dieser Projekte - Landau (2007), Unterhaching (2008/09) und Bruchsal (2009) - bis zur Stromerzeugung entwickelt.

Im Zuge der Finanzkrise und der damit schwierig gewordenen Finanzierung sowie Akzeptanzproblemen aufgrund seismischer Ereignisse in Landau und Basel geriet die Entwicklung der Geothermie in den letzten Jahren ins Stocken.

Die Kosten der tiefen Geothermie variieren sehr stark von Projekt zu Projekt. Aussagen zu Durchschnittskosten sind statistisch noch nicht belastbar gesichert. Kostensenkungspotenziale werden insbesondere bei der Herstellung der produktionstauglichen Bohrungen und den Anlagen zur Förderung des Thermalwassers erwartet. Zusätzlich sind Aspekte des Strahlenschutzes zu beachten, die infolge des Ge-

haltes an natürlichen radioaktiven Stoffen im Fördermedium eine Rolle spielen.

Mittelfristig kann die Wärme- und Stromgewinnung aus der tiefen Geothermie gerade in einem System, das vorwiegend auf erneuerbaren Energien beruht, v. a. regional eine wichtige Rolle spielen, da die so gewonnene Nutzwärme oder der Strom im Gegensatz zu den fluktuierenden erneuerbaren Energien aus Wind und Sonne stetig zur Verfügung steht Die Bundesregierung schätzt das Potenzial der Geothermie zur Stromerzeugung bis 2020 auf 1.654 GWh, ihr Potenzial zur Gewinnung von Wärme und Kälte auf 696.0001RÖE (Rohöleinheiten). Perspektivisch ist ihr Potenzial deutlich höher.

4.3.1.2 Ziele der Forschungsförderung

Entscheidend dafür, dass der Beitrag der Geothermie für die künftige Wärme- und Stromversorgung genutzt werden kann, ist es, in den nächsten Jahren weitere Projekte zu realisieren und damit auf der Basis praktischer Erfahrungen dringend benötigte Erkenntnisfortschritte zu erreichen. Neben einer Erhöhung der Vergütungssätze im EEG und möglichen finanztechnischen Lösungen zur Absicherung des Investitionsrisikos kann auch die Forschungsförderung dazu beitragen, dass diese erneuerbare Energiequelle wirtschaftlich erschlossen werden und zu einer nachhaltigen Energieversorgung beitragen kann.

Ziel der Forschungsförderung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ist es, die kostengünstige Gewinnung und Nutzung von Wärme und Strom aus tiefen geothermischen Reservoiren fortzuentwickeln. Um die Geothermie verstärkt in den Markt zu bringen, steht insbesondere die Wärmegewinnung aus der Geothermie im Mittelpunkt der Forschungsförderung durch das Bundesumweltministerium. Mittelfristig ist dies die beste Möglichkeit, dieser erneuerbaren Energie, die unabhängig von Tages- und Jahreszeit Energie liefern kann, zum Durchbruch zu verhelfen und ihren Absatz auf dem deutschen Energiemarkt nennenswert zu steigern.

4.3.1.3 Strategisch wichtige Förderbereiche

Schwerpunkt der Forschungsförderung im Bereich Geothermie stellt die spezifische Technologie entwickln g in diesem Sektor dar (Bohrtechnologie, Pumpenentwi cklung, Erschli eßungste chniken, Messverfahren). Daneben stehen Projekte zur Verringerung des Fündigkeits- und Erfolgsrisikos im Rahmen der Exploration (neue Methoden, Modellierung, Katalog geothermischer Daten) und der Erhöhung der Akzeptanz (seismische Aktivitäten, Entsorgungsfragen) im Vordergrund.

4.3.2 Systemkomponenten und Explorationstechnologien

- Die Bohrtechnologie ist mit etwa 80 % der Investitionskosten bei der Errichtung eines geothermischen Kraftwerks Kostenverursacher Nummer eins. Entscheidend ist daher die Weiterentwicklung der Bohrtechnologie mit dem Ziel, die Bohrkosten durch die Entwicklung neuer Technologien und die Weiterentwicklung von Verfahren und Methoden aus der Erdöl- und Erdgasexploration zu reduzieren.
- Herkömmliche Pumpen, wie man sie aus der Kohlenwasserstoffexploration kennt, sind den spezifischen Anforderungen im geothermischen System, d. h. hohe Temperaturen, hohe Fließraten, starke Korrosion aufgrund der zum Teil sehr hohen Salzgehalte des Thermalwassers, nicht gewachsen. Konstruktionsbedingt sind der Anpassung der Technologie der Pumpen aus dem Erdölsektor Grenzen gesetzt. Notwendig sind daher die Weiterentwicklung spezieller, für die Geothermie ausgelegter Pumpen, aber auch neue Ansätze in der Auslegung (Durchmesser, Komplettierung usw.) von Bohrungen.
- Weiterhin förderfähig durch das Bundesumweltministerium sind die Durchführung von Stimulationsmaßnahmen, mit denen Wegsamkeiten im Gestein geschaffen, erhalten oder durch beispielsweise die Anbindung an natürliche Störungszonen erweitert werden können (z. B. das Aufbrechen des Gesteins im Untergrund unter Aufbringen hohen Drucks mittels Injektion von Wasser u.Ä. nach dem Hot-Dry-Rock (HDR)-Verfahren, Säuerung sowie anderer Verfahren), sowie die Entwicklung gewässerverträglicher chemischer Zusatzstoffe bei Stimulationsmaßnahmen und
- die Weiterentwicklung von Systemen zur Stromerzeugung in geothermischen Kraftwerken, also Organic-Rankine-Cycle (ORC)- und Kalina-Anlagen.

4.3.3 Daten zum Untergrund

Um das Fündigkeits- und Erfolgsrisiko sowie mögliche Schadensrisiken durch die Bohrung bewerten zu können, ist die kontinuierliche Fortsetzung der Sammlung und -Aufbereitung geologischer, geo- und petrophysikalischer, mineralogischer sowie mikrobiologischer Daten förderfähig, mit dem Ziel, einen möglichst umfassenden Katalog geothermischer Daten für ganz Deutschland zur Verfügung zu stellen.

4.3.4 Seismische Aktivität und Entsorgungsfragen

Das Bundesumweltministerium unterstützt ebenfalls Projekte, die

- zur Klärung des Zusammenhangs zwischen der Errichtung (Exploration) bzw. dem Betrieb geothermischer Anlagen und dem Aufkommen seismischer Aktivität beitragen,
- Lösungen zur Vermeidung, Immobilisierung und schließlich zur Entsorgung schwach- bis mittelradioaktiver Produkte aus dem Betrieb geothermischer Anlagen entwickeln,
- und die die Ergebnisse dieser Untersuchungen für die breitere Öffentlichkeit aufbereiten.
- Ebenso förderfähig sind Projekte, die sich mit der Verminderung möglicher Beeinträchtigungen von Grundwassersystemen und
- den Wirkungen der geologisch begründeten natürlichen Radioaktivität der genutzten Medien befassen.

Weitere Themen, die durch die Forschungsförderung des Bundesumweltministeriums unterstützt werden, sind:

- Vermeidung von Korrosion und Scaling,
- Monitoring geothermischer Anlagen und Anlagenteile wie Pumpen, Wärmetauscher usw., um den Betrieb von geothermischen Kraftwerken zur Wärme- und Stromproduktion zu optimieren,
- die Weiterentwicklung von mathematischen Modellen zur Modellierung und Simulation geothermischer Speicher und deren Betriebsverhalten,
- die Entwicklung von Methoden und Verfahren zur Verminderung des Fündigkeits- und Erfolgsrisikos im Rahmen der Exploration,
- die Entwicklung von Messverfahren und -geräten, die den geothermischen Anforderungen genügen,
- die Entwicklung von Geräten, Apparaten und Maschinen, die unter den geothermal typisch hohen Temperaturen, Drücken und korrosiven Rahmenbedingungen verlässlich und energieeffizient wartungsarm funktionieren, insbesondere Pumpen.

Die Netzintegration von geothermischen Anlagen wird im Forschungsschwerpunkt „Optimierung der Energieversorgungssysteme“ gefördert.

4.4 Niedertemperatur-Solarthermie

Bei der solarthermischen Erzeugung von Wärme wird Sonnenstrahlung mittels Solarkollektoren in Wärme umgewandelt und direkt oder über Zwischenspeicher zur Brauchwassererwärmung, zur Heizungsunterstützung, für solare Prozesswärme, zur Einspeisung in Nahwärmenetze oder zur Kälteerzeugung mittels thermisch angetriebener Kältemaschinen genutzt.

4.4.1.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage und Technologieentwicklung

Über die Hälfte (ca. 54%) des Endenergieverbrauches in Deutschland wird heute zur Wärme- bzw. Kälteerzeugung eingesetzt. Solarthermie kann in Kombination mit anderen erneuerbaren Energiequellen, insbesondere Biomasse, langfristig einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige, versorgungssichere und umweltgerechte Wärme- und Kälteversorgung

leisten. Gegenwärtig beträgt ihr Anteil jedoch erst 0,4% am Wärme-/Kälteverbrauch und ist zu über 90% auf kleine Anlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern konzentriert. Die Technologieentwicklung für Großanlagen zum Einsatz in mehrgeschossigen Wohngebäuden und Wohnsiedlungen in Verbindung mit Langzeitwärmespeichern und Wärmenetzen wurde im Rahmen der bisherigen Forschungsförderung Solarthermie2000/ 2000plus geschaffen und vielfach demonstriert. Dabei werden gegenwärtig zu ca. 90 % Flachkollektoren und ca. 10 % Vakuumröhrenkollektoren für Schrägdachinstallation oder Flachdachaufständerung eingesetzt. Künftig müssen Solarkollektoren großflächig in Dächer und Fassaden integriert werden, um damit zunehmend auch bautechnische und architektonische Funktionen zu übernehmen.

Gleichzeitig kann mit den heute verfügbaren Effizienztechnologien im energieeffizienten Bauen der Wärmeenergiebedarf drastisch reduziert werden.

Wenn Niedertemperatur-Solarthermie und Energieeffizienztechniken konsequent und aufeinander abgestimmt eingesetzt werden, sind Niedrigst- bzw. Null-Energie-Häuser und Solaraktivhäuser technisch und wirtschaftlich umsetzbar, die sehr gut wärmegedämmt und mit hocheffizienter Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung ausgestattet sind und bei denen der benötigte Restenergiebedarf vollständig durch erneuerbare Energien, insbesondere Solartechnik, abgedeckt wird. Während in 2010 bereits zwei von drei Häusern in Niedrigenergiebauweise errichtet wurden, sind Null-Energie-Gebäude bzw. Solaraktivhäuser bisher Gegenstand von Forschungsund Demonstrationsvorhaben.

Unterstützt durch das Marktanreizprogramm der Bundesregierung konnte die installierte thermische Leistung auf ca. 10 GW im Jahr 2010 gesteigert werden. Der Markt wuchs in den letzten 10 Jahren sehr volatil mit starken Einbrüchen in 2009 und 2010 im Mittel um ca. 20% auf etwa 1 Mrd. € Umsatz. Die

solaren Wärmegestehungskosten konnten in den letzten 15 Jahren je nach System auf 0,10 bis 0,20 €/kWh halbiert werden. Die Deutsche Solarthermie-Technologie-Plattform DSTTP erachtet es für möglich, diese bis 2020 nochmals zu halbieren und damit kostengünstiger als fossile Brennstoffe zu werden.

Entscheidend für die Realisierung dieses Potenzials wird es sein, in Zukunft die Einsatzfelder und die

Nutzung der Niedertemperatur-Solarthermie verstärkt auf größere Anlagen für Mehrfamilienhäuser sowie im gewerblichen Bereich auszudehnen. Gleichzeitig muss der Fokus vermehrt auf den Einsatz in der energetischen Bestandssanierung, den Einsatz von größeren Kollektorfeldern in Verbindung mit Wärmenetzen oder Quartierslösungen gelegt werden.

4.4.1.2 Ziele der Forschungsförderung

Ziel der Forschungsförderung im Bereich Niedertemperatur-Solarthermie durch das BMU ist es, durch weitere Kostensenkung und Effizienzsteigerung bei Kollektoren, Speichern und dem Gesamtsystem den Einsatz von Niedertemperatur-Solarthermie signifikant auszuweiten sowie die Niedertemperatur-Solarthermie besser in konventionelle Wärmeversorgungssysteme zu integrieren bzw. mit energieeffizientem Bauen zu verbinden.

4.4.1.3 Strategisch wichtige Förderbereiche

Schwerpunkte der ressortspezifischen Forschungsförderung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktor Sicherheit sind die Weiterentwicklung der Kollektortechnik, insbesondere die Rationalisierung und Automatisierung der Kollektorfertigung, die Weiterentwicklung der Systemtechnik und die Integration solarer Wärmeerzeugung in den Gebäudebereich, insbesondere die Solarisierung von Wärmenetzen, die Erschließung neuer Anwendungsgebiete wie solare Kühlung und solare Prozesswärme sowie die Weiterentwicklung thermischer Speichertechniken.

Insbesondere bei den Punkten Integration in den Gebäudebereich und Speichertechniken greifen die Forschungsförderungen des BMWi und des BMU ressortspezifisch ineinander und sind nach dem Schwerpunktprinzip aufeinander abgestimmt. Um an dieser

Stelle Synergien zwischen der Technologieentwicklung und deren Integration in größere, energieeffiziente Systeme zu nutzen, plant die Bundesregierung eine ressortübergreifende, gemeinsame Forschungsinitiative „Solares Bauen-Energieeffiziente Stadt“.

4.4.2 Kollektortechniken

Nach Schätzungen der DSTTP werden etwa 25 bis 30% der Kosten für ein übliches Solarsystem heute vom Kollektorfeld verursacht. Es wird davon ausgegangen, dass durch Innovationsanstrengungen, vor allem durch Einsatz neuer Materialien für den Absorber und neuartige, Kollektorkonstruktionen und durch den Ausbau industrieller Massenfertigung sich die Kollektorkosten bis 2030 um 50% reduzieren lassen.

Gefördert werden u. a.

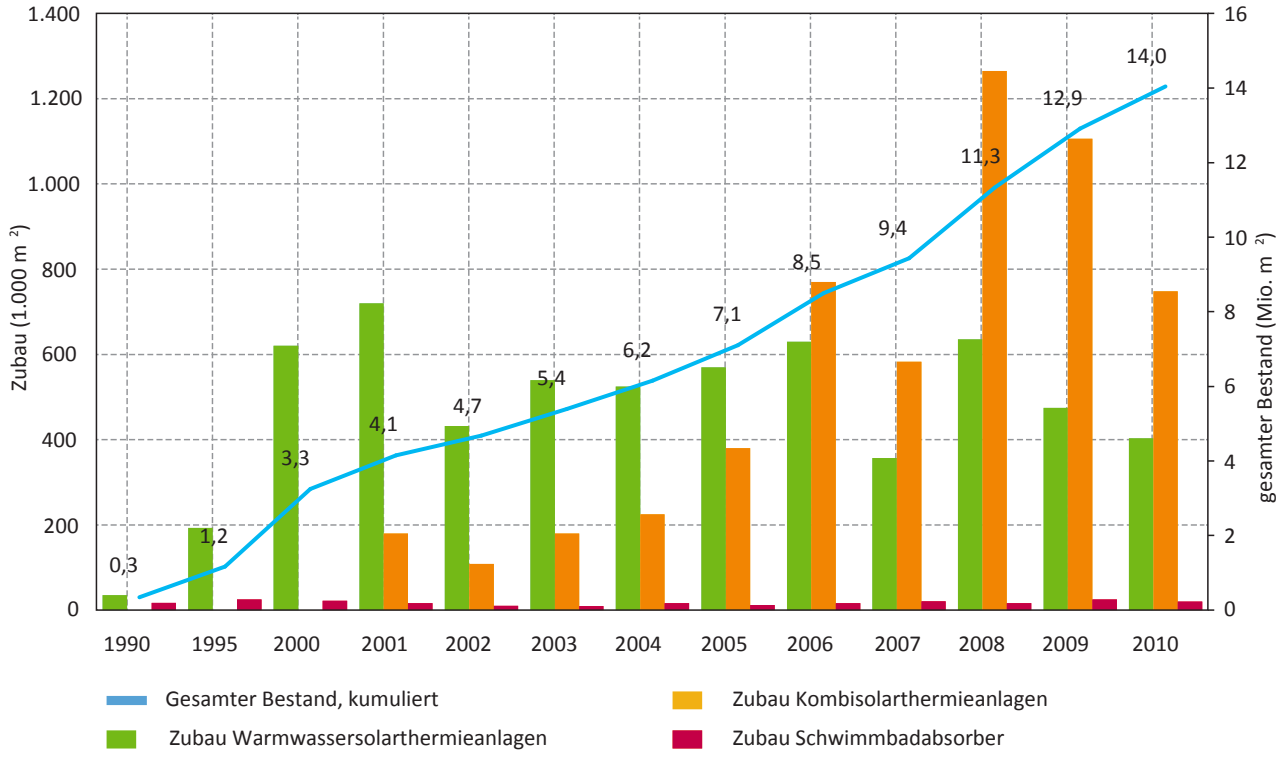


Abb. 4.3: Entwicklung des Zubaus von Solarkollektoren in Deutschland seit 1990

- die Anwendung neuer Materialien, insbesondere Kunststoffe in Verbindung mit neuartigen Konstruktionen und neue Kupfer- und Aluminiumlegierungen für extrem dünnwandige Absorber,
- die weitere Effizienzsteigerung und Reduzierung der Wärmeverluste durch selektive Glas- und Absorberbeschichtungen und Vakuumtechnologien,
- -> die Entwicklung von Methoden zur Temperaturbegrenzung bei Stagnation und zur Verbesserung der Frostsicherheit durch intelligente Regelungssysteme und schaltbare Schichten,
- neue Konstruktionsprinzipien von Kollektoren zur Wirkungsgradsteigerung in Abhängigkeit von der Betriebs- bzw. Einsatztemperatur, wie z. B. Spiegel- oder Hybridsysteme (CPC/Compound Parabolic Concentrator),
- die Rationalisierung und Automatisierung der Kollektorfertigung.

4.4.3 Systemtechnik/Niedertemperatur- Solarthermie im Gebäudebereich

Die Forschungsförderung des BMU in diesem Themengebiet ist komplementär zu Fördergebieten mit

Schwerpunkt im energieoptimierten Bauen und der energieeffizienten Kälte- und Wärmeversorgung (siehe auch Abschnitt 3.1.1 und 3.1.2) und verfolgt gemäß dem Schwerpunktprinzip insbesondere folgende Themen:

- die Entwicklung neuer Systemkonzepte und regelungstechnischer Lösungen für solare Deckungsanteile am Heizenergiebedarf bis zu 100 Prozent, auch in Kombination mit innovativen Nachheizsystemen und der Integration von großen Speichern,
- die Entwicklung geeigneter Tools zur EnEV/ EEWärmeG-kompatiblen Planung und Bewertung von Gebäuden mit solaren Deckungsanteilen von 50-100 % und Demonstration und Monitoring derartiger Systemkonzepte,
- die Solarisierung von Wärmenetzen mit Einkopplung von Solarwärme - in Verbindung mit Wärme aus regenerativer Kraft-Wärme-Kopplung - durch Entwicklung geeigneter Konzepte zur Wärmeeinspeisung und Netzoptimierung sowie Einbindung saisonaler Wärmespeicher und ggf. Wärmepumpen.

Die Integration der solaren Komponenten und der Komponenten der Energieeffizienztechniken im Gebäudebereich ist entscheidend, um die Potenziale der Niedertemperatur-Solarthermie zu heben. Daher ist zum Thema „Solares Bauen - Energieeffiziente Stadt“ eine ressortübergreifende gemeinsame Förderinitiative geplant (vgl. Kapitel 2).

4.4.4 Solare Kühlung und solare Prozesswärme

Solarwärme im Temperaturbereich zwischen 90 °C und 250 °C hat ein hohes Potenzial, um Kältemaschinen solarthermisch anzutreiben und um Prozesswärme oder -kälte für industrielle/gewerbliche Prozesse bereitzustellen. Beide Anwendungsfelder sind von zunehmendem Interesse, um Solarthermie künftig verstärkt im gewerblichen Bereich zu nutzen. Die solare Kühlung hat darüber hinaus ein wachsendes Exportpotenzial in südliche Länder.

Gefördert werden daher:

a) Im Bereich der Solaren Kühlung insbesondere

- Untersuchungen zum Einsatz neuer Materialien für solarthermisch angetriebene Adsorptions- und Absorptionskälteprozesse sowie damit verbundene Wärmeübertragungs- und Stofftransportsysteme,
- die Entwicklung von effizienten Rückkühlwerken,
- die Standardisierung der Systemtechnik und die Entwicklung geeigneter Planungs- und Monitoringinstrumente,
- Feldtests und Monitoring zur Erprobung der Systeme.

b) Im Bereich der Prozesswärme insbesondere:

- die Entwicklung von standardisierten Lösungen für aussichtsreiche Branchen (u. a. für Reinigungs- und Trocknungsprozesse),
- die Entwicklung von hydraulischen und systemtechnischen Konzepten zur Einspeisung von Solarwärme in die Industrieprozesse auch unter Berücksichtigung vorhandener industrieller Abwärmepotenziale,
- die Entwicklung von Auslegungs- und Simulationstools zur integralen Planung und Bewertung sowie Betriebsüberwachung, Steuerung/ Regelung und Monitoring von Prozessen mit Solarwärmeeinbindung.

c) Im Bereich der übergreifenden Qualitätssicherung insbesondere:

- die Entwicklung geeigneter Verfahren und Methoden zur Qualitäts- und Ertragssicherung, zur Erhöhung der Betriebssicherheit und zur Betriebsoptimierung und zur ganzheitlichen energetischen und ökologischen Bewertung von solaren Systemen (Planungs-, Simulations- und Optimierungswerkzeuge).

4.4.5 Wärmespeicherung

Eine weitgehend solare Beheizung von Gebäuden setzt voraus, dass das Gebäude einen geringen Heizbedarf aufweist und dass die im Sommer gewonnene Solarwärme für Zeiten mit Heizbedarf gespeichert wird. Die Wärmespeicherung hat daher eine Schlüsselfunktion für einen hohen Anteil von Solarthermie an der Wärmeversorgung, um eine zeitlich vom Solarstrahlungsangebot entkoppelte und prozessangepasste Nutzung der Solarwärme und anderer Wärmequellen zu ermöglichen. Wärmespeicher sind auch ein Element des Gesamtsystems „Energieoptimiertes Gebäude“ und als solches Gegenstand entsprechender Fördergebiete (s. Abschnitte 3.1.1 und 3.2.2). Die daraus entstehenden Synergien werden im Rahmen der gemeinsamen, ressortübergreifenden Förderinitiative „Energiespeicher“ sinnvoll genutzt (s. Abschnitt 2). Das BMU fördert thermische Speicher in Verbindung mit der solaren Energieversorgung gemäß dem Schwerpunktprinzip in der Projektförderung zu folgenden Themen:

- die Entwicklung thermischer Speichertechniken mit gegenüber Wasser deutlich höheren spezifischen Speicherkapazitäten,
- die Entwicklung von solaren Warmwasserspeichern mit wesentlich verbesserter Wärmedämmung zur Reduzierung der Wärmeverluste insbesondere für Langzeitwärmespeicher,
- neue Konstruktionsprinzipien und neue Konzepte für kostengünstige Behältermaterialien und effiziente Be- und Entladetechnik,
- intelligente Speicherlösungen zur baulichen Integration in bestehende Gebäude oder in den Untergrund bei „solaren Bestandssanierungen“ sowie die Integration in die solaren Wärmeverteilsysteme,
- die Weiterentwicklung der Speicherung bei verschiedenen Temperaturniveaus von unter 0 °C für Kältespeicher und bis ca. 250 °C für Prozesswärmespeicher.

4.5 Solarthermische Kraftwerke

In solarthermischen Kraftwerken wird die Sonnenstrahlung zur Stromerzeugung in einem ansonsten konventionellen Kraftwerksprozess genutzt. Spiegel konzentrieren das Sonnenlicht auf einen Strahlungsempfänger und erhitzen ein Wärmeträgermedium. Die Energie des Wärmeträgermediums wird dann mittels Turbinen und Generatoren in Strom umgewandelt. In trockenen und heißen Zonen mit einem hohen Anteil an direkter Strahlung sind solarthermische Kraftwerke eine effiziente Technik, um Sonnenenergie in Elektrizität umzuwandeln. In Verbindung mit Wärmespeichern oder mit fossiler Zusatzfeuerung (Hybridisierung) ermöglichen sie eine Stromerzeugung nach Bedarf, tragen zur Lastabsicherung in Stromnetzen bei und ermöglichen so auch hohe Einspeisungen anderer fluktuierender Strommengen aus erneuerbaren Energien in die Stromnetze. Solarthermische Kraftwerke haben daher das Potenzial, in Zukunft einen wichtigen Anteil an der weltweiten Energieversorgung zu erreichen.

4.5.1.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage und Technologieentwicklung

Ende 2010 waren weltweit solarthermische Kraftwerke mit einer Kapazität von ca. 1 GW in Betrieb. Über 600 MW befinden sich in Spanien im Bau. 1.300 MW sind entsprechend dem spanischen Einspeisegesetz bis 2013 vorregistriert. Mehrere Staaten im Mittelmeerraum sowie im Mittleren und Nahen Osten (MENA-Region) entwickeln Strategien und Programme zur Nutzung der hohen Sonneneinstrahlung mit dem Ziel, den Anteil der erneuerbaren Energien am Energiemix zu erhöhen. Die EU und die Mittelmeeranrainer arbeiten im Rahmen des „Mediterranean Solar Plan “ der Union für das Mittelmeer an den erforderlichen Voraussetzungen für einen Solarstromimport aus der MENA-Region. Der Südwesten der USA hat ebenfalls ein großes Potenzial für solarthermische Kraftwerke. In Deutschland untersucht auch die Desertec Industrial Initiative (DII), an der namhafte deutsche Unternehmen beteiligt sind, die Möglichkeiten der Versorgung Europas mit Strom aus Sonnenkraftwerken in Nordafrika.

4.5.1.2 Ziele der Forschungsförderung

Aufgrund seiner geografischen Situation ist Deutschland als Standort für solarthermische Kraftwerke nicht geeignet. Der hohe Anteil von diffusem Sonnenlicht, eine durchschnittliche Sonnenscheindauer je nach Ort zwischen 1.300 und 1.900 Stunden und häufige Wolkendurchgänge lassen einen kontinuierlichen Kraftwerksprozess und eine wirtschaftliche Stromerzeugung nicht zu.

Der Import von Solarstrom aus Ländern Nordafrikas kann aber perspektivisch einen wesentlichen Beitrag auch für die Energieversorgung in Europa leisten und ein Baustein für künftige, bedarfsgerechte Energieversorgung durch erneuerbare Energien auch in Deutschland sein. Darüber hinaus hat die Technologie für solarthermische Kraftwerke ein hohes Exportpotenzial. Deutsche Unternehmen und Forschungseinrichtungen sind heute auf dem Gebiet der solarthermischen Stromerzeugung technologisch weltweit führend. Auf der Basis langjähriger Forschungsergebnisse werden Kraftwerke geplant und ausgelegt sowie System- und Standortanalysen erstellt. In Deutschland entwickelte Schlüsselkomponenten der solarthermischen Stromerzeugung erzielen heute hohe Lieferanteile in solarthermischen Kraftwerksprojekten.

Das Bundesumweltministerium fördert daher Maßnahmen, die zu einer weiteren signifikanten Reduzierung der spezifischen Investitionskosten und damit der Stromgestehungskosten führen. Weiter ist auch der Aufwand für Anlagenbetrieb und -Wartung zu minimieren. Von besonderem Interesse sind industriegeführte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben.

4.5.1.3 Strategisch wichtige Förderbereiche

Mit Blick auf die drei Haupttechnologielinien

- Parabolrinnenanlagen,
- Fresnel-Anlagen und
- Turmkraftwerke

sollen durch die Forschungsförderung Kostensenkungen durch Änderungen am Kollektordesign, Verbesserungen beim Aufbau des Kraftwerks sowie durch Optimierung und Automatisierung von Betrieb und Wartung induziert werden. Insbesondere können höhere Betriebstemperaturen durch eine Steigerung des Gesamtwirkungsgrades zu einer Senkung der Stromgestehungskosten beitragen. Dazu werden technologiespezifische Ansätze gefördert, z. B. alternative Wärmeträgermedien für Parabolrinnenanlagen, um das bisher eingesetzte Thermoöl zu ersetzen, oder Receiver für Turmkraftwerke, die Betriebstemperaturen von biszul.000°C erlauben und, z. B. auch in Verbindung mit einer Gasturbine, Kraftwerksprozesse von hoher Effizienz ermöglichen.

4.5.2 Parabolrinnenanlagen

Von den kommerziell betriebenen solarthermischen Kraftwerken sind mehr als 95% Parabolrinnenanlagen. Trotz der maximalen Arbeitstemperatur des bisher verwendeten Wärmeträgermediums Thermoöl von 390 °C und der dadurch begrenzten Frischdampftemperatur von 370 °C hat sich dieser Kraftwerkstyp bewährt und kommt mit verbesserten Komponenten und in verschiedenen Varianten überwiegend zum Einsatz. Die Stromgestehungskosten liegen an allen Standorten noch deutlich über 20 ct/kWh. Das Bundesumweltministerium fördert daher v. a. Projekte, die zu weiteren Kostensenkungen beitragen

- durch Änderungen am Kollektordesign, Verbesserungen beim Aufbau des Kraftwerks sowie durch Optimierung und Automatisierung von Betrieb und Wartung,
- durch die Ermöglichung höherer Betriebstemperaturen und damit einer Steigerung des Gesamtwirkungsgrades. Als alternative Wärmeträgermedien werden derzeit Wasser/Dampf und Flüssigsalz untersucht, um das bisher ausschließlich eingesetzte Thermoöl zu ersetzen.

4.5.3 Fresnel-Anlagen

Eine Variante der Parabolrinnentechnik sind Fresnel- Anlagen, die heute weltweit mit einer Gesamtleistung von ca. 10 MW in Betrieb und weitere 30 MW in Bau sind. Beim Fresnel-Kollektor sind die Fertigungskosten gegenüber der Parabolrinne geringer. Ein deutlicher Unterschied besteht in der Art und Weise der geringeren Konzentration der Sonnenstrahlung, was beim Fresnel-Kollektor zu stärkeren optischen Verlusten und damit zu einer geringeren Effizienz führt. Als Wärmeträgermedium kommt Wasser/ Dampf zum Einsatz. Heutige Fresnel-Kraftwerke produzieren Nassdampf von ca. 280 °C. Gefördert werden insbesondere Projekte, die zu einer Realisierung der erwarteten Möglichkeiten bei Frischdampf-Para- metern von 450 °C und 70 bar beitragen.

4.5.4 Solare Turmkraftwerke

Hohe Betriebstemperaturen bis zu 1.000 °C können von solaren Turmkraftwerken erreicht werden. In Verbindung mit einer geeigneten Gasturbine sind daher solarthermische Kraftwerksprozesse von hoher Effizienz möglich. Das Bundesumweltministerium fördert insbesondere Projekte, die das Kraftwerkskonzept mit volumetrischem Luftreceiver weiterentwickeln und die für ein Turmkraftwerk notwendigen Komponenten weiterentwickeln und testen. Mit dem Versuchskraftwerk Jülich verfügt Deutschland hierfür über die notwendigen technischen Voraussetzungen.

4.5.5 Integrierte Speicher

Ein großer Vorteil solarthermischer Kraftwerke ist die Möglichkeit, Speicher in das Kraftwerk zu integrieren. Die Zwischenspeicherung von Energie ermöglicht eine bedarfsgerechte Stromerzeugung unabhängig von der Verfügbarkeit von Wind oder Sonneneinstrahlung. Solarthermische Kraftwerke können Wärme speichern, was auf absehbare Zeit kostengünstiger sein wird als die Speicherung von Elektrizität. Arbeiten zur solarthermischen Stromerzeugung sind daher eng verknüpft mit der Arbeit zu thermischen Speichern. Stand der Technik sind Salzspeicher, wie sie in den Andasol-Kraftwerken in Spanien eingesetzt werden. Betonspeicher für Temperaturen bis 400 °C wurden in den vergangenen Jahren entwickelt. Das BMU fördert insbesondere die Entwicklung kostengünstiger thermischer Speicher für höhere Temperaturen, die an den jeweiligen Kraftwerksprozess und das Wärmeträgermedium angepasst sind.

4.5.5.1 Übergreifende Fragestellungen

Gefördert werden darüber hinaus

- die Entwicklung von Mess- und Qualifizierungsmethoden einschl. der Entwicklung von Standards und Normen für eine Absicherung der Entwicklung,
- die Entwicklung von Wartungskonzepten, die für einen effizienten, kostengünstigen Anlagenbetrieb wesentlich sind
- sowie die Anpassung von konventionellen Kraftwerkskomponenten an die Betriebsweise solarthermischer Kraftwerke.

In diesem Zusammenhang flankiert die Forschungsförderung des BMU auch die Untersuchung von Fragen des Hybridbetriebs solarthermischer Kraftwerke, d. h. die Ermöglichung einer kontinuierlichen Stromerzeugung durch Zufeuerung aus fossilen oder erneuerbaren Energieträgern.

4.6 Wasserkraft und Meeresenergie

Die Wasserkraft ist für die Stromversorgung neben der Windenergienutzung eine bewährte regenerative Energiequelle in Deutschland. Die Wasserkraft hat im Jahr 2009 über 20 % des Stroms der erneuerbaren Energien erzeugt. Insbesondere im Grundlastbereich nimmt die Wasserkraftnutzung im Energiemix eine wichtige Rolle ein. Ein Vorteil dieser Energiequellen gegenüber der regenerativen Energienutzung aus Wind und Sonne besteht in der zeitlich recht konstanten Bereitstellung von Energie.

Die Technik der Wasserkraftanlagen ist weitgehend ausgereift.

Technische Neuerungen bei Turbinen und der Generatorenanordnung verbessern insbesondere den Wirkungsgrad. Die ökologischen Anforderungen an die Wasserkraftnutzung steigen. So sind Wasserkraftanlagenbetreiber mittlerweile verpflichtet, geeignete Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulation zu ergreifen und die auf- und abwärts gerichtete Durchgängigkeit zu gewährleisten, auch wenn hierfür nicht immer ein entsprechender Stand des Wissens oder der Technik besteht. Im Vordergrund der Forschungsförderung durch das Bundesumweltministerium für die Wasserkraft steht deshalb auch weiterhin die umwelt- und naturverträglichere Gestaltung von Wasserkraftanlagen zur ökologischen Optimierung von Wasserkraftanlagen und zur Verringerung der Auswirkungen auf Fische und auf sensible Auenbereiche.

Im Gegensatz zur konventionellen Wasserkraftnutzung auf dem Festland befindet sich die Nutzung der Meeresenergie weltweit noch in einem Demonstrationsstadium, obwohl das globale Potenzial, aus Gezeiten-, Strömungs- und Wellenkraftwerken Energie zu gewinnen, hoch ist. Sowohl der Tidenhub (das periodische Fallen und Steigen des Meeresspiegels) als auch der Energiegehalt in Strömung und Wellen können für die elektrische Energiegewinnung genutzt werden. Aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeiten, der geringen Wellenhöhe und des geringen Tidenhubs ist die Gewinnung von Energie aus Wellen und Meeresströmung in der deutschen Nord- und Ostsee wirtschaftlich nicht vielversprechend. Die Zukunft solcher Anlagen hegt insbesondere in Regionen mit einem relativ konstanten, starken Strömungsmuster und Wellenklima. Als geeignete Standorte in Europa gelten die Küsten Großbritanniens, Irlands, Norwegens, Spaniens, Frankreichs und Portugals. Für die deutsche Industrie besteht jedoch die Chance auf wachsende Exportmärkte in diesem Bereich. Das Bundesumweltministerium fördert daher in angemessenem Umfang Forschungsprojekte mit den Schwerpunkten der Entwicklung und Demonstration von Meeresströmungsturbinen und Wellenenergiekonvertern. Ein besonderer Schwerpunkt wird auf die ökologische Eignung der Technologien gelegt.

4.7 Integration erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme

4.7.1.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Der Übergang in das Zeitalter der erneuerbaren Energien verlangt eine tief greifende Modernisierung der Energieversorgungssysteme. Das bestehende Energieversorgungssystem ist nur eingeschränkt in der Lage, die künftigen Anforderungen einer modernen, auf erneuerbaren Energien basierenden und zugleich umwelt- und naturverträglich ausgerichteten Energieversorgung zu erfüllen. Das Zeitfenster für eine Modernisierung ist darüber hinaus günstig, da das bestehende Stromsystem aufgrund der Altersstruktur der Netze und des Kraftwerkparks in den kommenden Jahren modernisiert werden muss.

Im Jahr 2020 werden wahrscheinlich allein Windenergie- und Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtnennleistung von etwa 98 GW in Deutschland installiert sein (Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie v. 4.8.2010). Die Stromnachfrage in Deutschland schwankt derzeit im Laufe eines Jahres aber nur in einem Bereich von 40 bis 80 GW. Wind und Photovoltaik werden zukünftig also immer häufiger den aktuellen Strombedarf vollständig alleine abdecken bzw. sogar mehr als den Bedarf produzieren.

Das künftige Energieversorgungssystem muss auf den wachsenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien ausgelegt sein. Es ist daher entscheidend, die regenerative Stromerzeugung und den Verbrauch optimal aufeinander abzustimmen. Einerseits muss sich die regenerative Stromerzeugung besser an der Nachfrage orientieren. Andererseits muss auch die Nachfrageseite flexibler werden, z. B. durch Lastmanagement. Die Speicherung erneuerbarer Energie und die Weiterentwicklung von Netztechno-

logien für hohe Anteile erneuerbar produzierten Stroms wird eine wichtige Rolle spielen. Außerdem müssen die erneuerbaren Energien zunehmend auch Systemdienstleistungen erbringen, die bisher mehrheitlich von fossilen Kraftwerken erbracht werden.

Aufgrund der Zunahme an dezentralen regenerativen Energieanlagen im Verteilnetz wandelt sich das bisherige unidirektionale Energiesystem hin zu einem Energiesystem mit bidirektionalen Leistungsflüssen. So kann es in den Verteilnetzen zunehmend Vorkommen, dass mehr Energie zu einem Zeitpunkt eingespeist als verbraucht wird. Die bisher reinen Verteilnetze werden somit zeitweise zu Einspeisenetzen in höhere Netzebenen. Darauf sind die Verteilnetze heute in der Regel nicht eingestellt. Damit die Versorgungsqualität weiterhin sichergestellt ist, müssen die heute noch passiven Verteilnetze zu flexiblen und aktiven Netzen weiterentwickelt werden.

Die Stromerzeugung der Zukunft ist in technischer, ökonomischer und rechtlich-administrativer Hinsicht für einen hohen Anteil erneuerbarer Energien auszulegen. Dies setzt ein intelligentes Zusammenspiel insbesondere zwischen regenerativer Stromerzeugung und Verbrauch unter Einbeziehung von Energiespeichern und moderner Netztechnik voraus. Das Netz muss im Hinblick auf einen Hauptanteil erneuerbarer Energien zu einem intelligenten Netz („smart grid“) weiterentwickelt werden. Technologische Fortschritte sind hier dringend erforderlich.

Somit ist der Förderschwerpunkt „Integration Erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme“ ein wichtiger Beitrag zur Umsetzung des Energiekonzepts der Bundesregierung (s. auch Abschnitt 1.1). Das Energiekonzept sieht für das 6. Energieforschungsprogramm eine Schwerpunktsetzung auch auf Energiespeichertechnologien und Netztechnik, auf die Integration der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung und auf das Zusammenwirken der Energietechnologien vor.

Die Optimierung der Energieversorgung - insbesondere der Stromversorgung - ist von übergeordneter strategischer Bedeutung und stellt eine zentrale Aufgabe der Bundesregierung dar. Die mit dieser Aufgabe verbundenen FuE-Fragestellungen weisen eine hohe Komplexität auf, die die Zuständigkeiten der am Energieforschungsprogramm beteiligten Ministerien überschreitet. Insbesondere zu den genannten Themen Energiespeicher und Netztechnologien sind ressortübergreifende Kooperationen das geeignete Instrument, um die besonderen Herausforderungen auf diesen Gebieten zu bewältigen (s. Kapitel 2).

Da die drei Ressorts BMWi, BMU und BMBF in diesen Bereichen Forschung und Entwicklung mit unterschiedlichen Schwerpunkten fördern, werden auf diese Weise Synergien optimal ausgenutzt. Dadurch leisten sie aktiv einen Beitrag für den Weg in eine hocheffiziente und überwiegend auf erneuerbaren Energieträgern basierende Energieversorgung.

4.7.1.2 Ziele der Forschungsförderung

Die Forschungsförderung im Bereich „Integration erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme“ zielt vor diesem Hintergrund darauf ab, zu einem innovativen, zukunftsfähigen Energiesystem mit einem Hauptanteil erneuerbarer Energien beizutragen. Dafür muss die Integration der Erneuerbaren Energien optimiert und das Gesamtsystem an die Anforderungen eines regenerativen Energiesystems angepasst werden. Dabei sind Kostensenkungen stets ein wichtiger integraler Aspekt.

4.7.1.3 Strategisch wichtige Förderbereiche

Schwerpunkte der Forschungsförderung im Bereich „Integration erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme“ sind regenerative Kombikraftwerke bzw. virtuelle Kraftwerke, „intelligente“ und auf hohe Anteile fluktuierender Einspeisung erneuerbarer Energien ausgelegte Netze (geeignete Netztechnologien, Netzbetrieb, Lastmanagement), Speichertechnologien zum Ausgleich kurzfristiger Fluktuationen bis hin zur Langzeitspeicherung für saisonale Schwankungen erneuerbarer Energien, Systemdienstleistungen durch erneuerbare Energien sowie die Weiterentwicklung von Prognosewerkzeugen für fluktuierende Einspeiser. Im Folgenden werden die Förderschwerpunkte näher umschrieben.

4.7.2 Regenerative Kombikraftwerke - virtuelle Kraftwerke

Kombikraftwerke oder virtuelle Kraftwerke bieten als Zusammenschlüsse von regenerativen Erzeugungsanlagen mit Speichern und/oder Lastmanagement eine Möglichkeit zur bedarfsgerechten Einspeisung erneuerbarer Energien. Dadurch wird auch eine Direktvermarktung des regenerativ erzeugten Stroms erleichtert. Fluktuierende erneuerbare Energien können dafür mit regelbaren Erzeugungsanlagen, Energiespeichern und Anlagen und Geräten gekoppelt werden, deren Stromverbrauch beeinflussbar ist. Förderschwerpunkte sind:

- die Entwicklung und Optimierung von Regelungskonzepten, Informations- und Kommunikationsstrukturen und deren Standards,
- die Einbindung stromgeführter KWK-Anlagen zur besseren Integration erneuerbarer Energien,
- Last-/Erzeugungsprognosen für Kombikraftwerke sowie
- Systemdienstleistungen durch Kombikraftwerke.

4.7.3 Intelligente Netze - Lastmanagement

Bei einem „intelligenten Netz“ oder „smart grid“ werden Stromerzeuger, -Verbraucher und Netzbetriebsmittel durch Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) intelligent miteinander verknüpft, um das Gesamtsystem optimal zu steuern. Das Ziel ist ein dezentraler Ausgleich von Fluktuationen erneuerbarer Energien. Intelligente Netze ermöglichen neue Energiemärkte und neue Formen von Energiedienstleistungen und -produkten für die Integration erneuerbarer Energien. Dadurch können auch Privatverbraucher und Erzeuger (beispielsweise PV-Anlagenbetreiber) aktiv an den Energiemärkten teilnehmen. Förderschwerpunkte sind daher:

- die Entwicklung intelligenter Steuerungsgeräte und Zähler für das Zusammenspiel von Verbrauch und regenerativer Erzeugung innerhalb des Hauses und mit dem Netz,
- die Etablierung dezentraler intelligenter Subsysteme zum Management des Netzbetriebs bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien,
- innovative Verfahren, Geräte und Konzepte, um das Potenzial des Lastmanagements zur Integration erneuerbarer Energien sowohl im industriellen als auch im privaten Bereich weiter zu erschließen.

Ergänzend werden Fragestellungen zur Einbindung von erneuerbaren Energien in Fernwärme- und Gasnetze betrachtet.

4.7.4 Netztechnologien

Durch die Änderung der Erzeugungsstruktur hin zu einem regenerativen Energiesystem besteht ein Bedarf zur Weiterentwicklung der Netzinfrastruktur und zur Entwicklung eines auf die Eigenschaften der erneuerbaren Energien angepassten Netzbetriebs. Förderschwerpunkte im Bereich der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung sind daher Projekte in folgenden Bereichen:

- Modifizierung bestehender Netzbetriebsmittel, wie Transformatorstationen im Verteilnetz, um flexibel und aktiv auf verschiedene Leistungsflüsse reagieren und damit zur Verbesserung der Versorgungsqualität beitragen zu können,
- Weiterentwicklung der Netzanschlussregeln und des Netzbetriebs für die Erfordernisse eines regenerativen Energiesystems,
- Entwicklung neuer Konzepte zum Netzschutz (adaptive Schutzsysteme) und zur Netzsicherheit in einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien,
- verbesserte Zustandserkennung der Netze und die Entwicklung dazu notwendiger Messtechnik für die optimale Ausnutzung der vorhandenen Netzkapazitäten vor dem Hintergrund hoher Anteile erneuerbarer Energien,
- Betriebsführung von Verteilnetzen mit hohem Anteil erneuerbarer Energien auf Basis von Echtzeitdaten,
- innovative Stromübertragungstechnologien für den Anschluss erneuerbarer Energieanlagen (z. B.

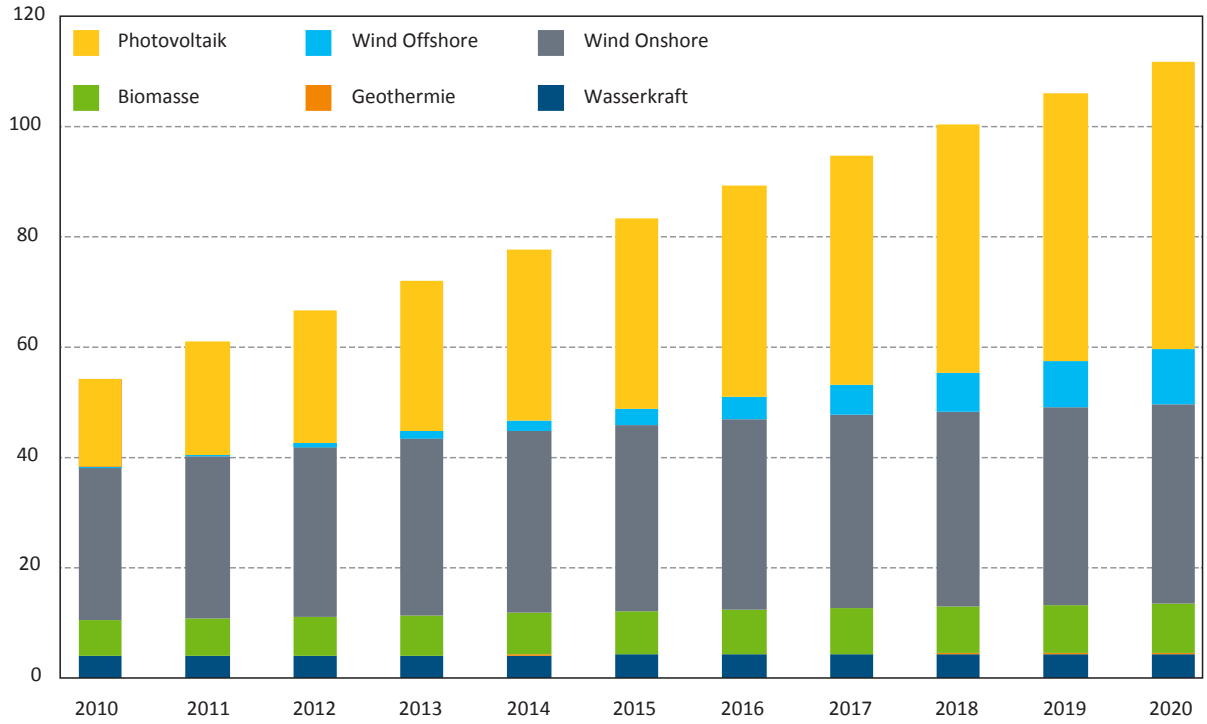


Abb. 4.4: Prognostizierte Entwicklung der installierten Leistung erneuerbarer Energien in Deutschland

Hochspannungsgleichstromübertragungsnetze für Offshore-Windparks),
- Entwicklung von Netzsimulationsmodellen und Planungsinstrumenten für eine ganzheitliche Netzplanung regenerativer Energiesysteme.

Aufgrund der zentralen Bedeutung der Netze für das regenerative Energiesystem der Zukunft ist zur Erfassung der gesamten Wertschöpfungskette eine von den beteiligten Ressorts gemeinsam formulierte Förderinitiative „Netze“ vorgesehen (siehe Kapitel 2).

4.7.5 Speichertechnologien

Energiespeicher sind ein elementarer Bestandteil eines regenerativen Energiesystems. Da die fluktuierenden erneuerbaren Energien (Wind, Photovoltaik) den Hauptanteil der zukünftigen Energieversorgung übernehmen werden, besteht Bedarf an Speichertechnologien mit unterschiedlichen Anforderungen; angefangen vom Ausgleich kurzfristiger Fluktuationen bis hin zur Langzeitspeicherung saisonaler Schwankungen von erneuerbaren Energien. Beispielhaft werden Förderschwerpunkte für Forschung, Entwicklung und Demonstration in diesem Bereich genannt. Diese können auch über die ressortübergreifende Förderinitiative „Energiespeicher“ (siehe Kapitel 2) gefördert werden:

- Weiterentwicklung von Speichertechnologien und Anpassung an fluktuierende Einspeisung erneuerbarer Energien im kurz- und mittelfristigen Zeitbereich (z. B. RedoxFlow-Batterien),
- Weiterentwicklung und Anpassung von Speichertechnologien zur Erhöhung des Eigenverbrauchs von PV-Strom und zur Netzentlastung (z.B. Li-Ionen-Batterien),
- Langzeitspeicherung erneuerbarer Energien, beispielsweise durch Umwandlung von fluktuierender Einspeisung in Wasserstoff bzw. Methan und dessen Speicherung (z. B. im bestehenden Gasnetz),
- Entwicklung von flexiblen Elektrolyseuren für schnelle Lastschwankungen bei fluktuierenden Einspeisungen aus erneuerbaren Energien,
- Koordinierung und Verknüpfung einer großen Zahl von kleinen dezentralen Speichern zu virtuellen Großspeichern,
- Erbringung von Systemdienstleistungen durch Speicher in Verbindung mit erneuerbaren Energien,
- Reduzierung der Investitionskosten und Anfahrzeiten sowie Verbesserung des Wirkungsgrads und der Lebensdauer/Zyklenlebensdauer,
- Nutzung der Speicherkapazität von Elektrofahrzeugen für Lastmanagement und Rückspeisung sowie für Regelenergiedienstleistungen zur Integration erneuerbarer Energien.

4.7.6 Systemdienstleistungen

Zurzeit werden Systemdienstleistungen v. a. durch fossile Kraftwerke erbracht. In einem regenerativen Energiesystem müssen diese Aufgaben aber von Erneuerbare-Energien-Anlagen und Energiespeichern erbracht werden. Obwohl dies schon heute teilweise möglich ist, werden diese Systemdienstleistungen bisher oft nicht abgerufen. Mit der Begründung der fehlenden Systemsicherheit werden Erneuerbare-Energien-Anlagen abgeschaltet und fossile Kraftwerke am Netz gelassen. Förderschwerpunkte sind Forschung und Entwicklung in folgenden Themenfeldern:

- Entwicklung spezifischer Möglichkeiten für Systemdienstleistungen durch erneuerbare Energien und Speicher, z. B. Entwicklung von Konzepten zur Frequenzregelung in einem weitgehend auf erneuerbaren Energien basierendem Energiesystem,
- Entwicklung von Konzepten und Regelungsverfahren für eine Teilnahme von Erneuerbare- Energien-Anlagen am Regelenergiemarkt,
- Weiterentwicklung von Systemkomponenten, wie beispielsweise Wechselrichter für die Netzeinspeisung, um Systemdienstleistungen zu erbringen,
- Entwicklung von Anforderungen und Möglichkeiten für Systemdienstleistungen durch Erneuerbare-Energien-Anlagen, ausgehend von einem weitgehend auf erneuerbaren Energien basierendem Energiesystem.

4.7.7 Prognosen für Erzeugung und Verbrauch

Vorhersagen für die Einspeisung fluktuierender erneuerbarer Energien sind ein wichtiges Element zur Planung, sowohl für den Netzbetrieb als auch den Energiehandel. Die Güte der Prognosen beeinflusst z. B. den Bedarf an Regelleistung und damit die Kosten des Energiesystems. Neben Erzeugungsprognosen werden zukünftig aber auch Lastprognosen an Bedeutung gewinnen, um z. B. Kapazitäten für Lastmanagementmaßnahmen abzuschätzen.

Der Forschungsbedarf umfasst:

- Verbesserungen der Vorhersagen für die Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik,
- Verlängerung des Prognosezeitraums (z. B. 96 Stunden, Woche),
- Verbesserung regionaler Prognosen, Berücksichtigung von Sonderwetterlagen und regionalen Phänomenen,
- Verbesserung der Prognosen von Extremereignissen,
- Entwicklung eines Risikomanagements mit Warnungen und Unsicherheiten,

- Vorhersagen zur Leistungskapazität von Leitungen zur besseren Ausnutzung der Netzkapazitäten, um Abregelungen von Erneuerbare-Energien-Anlagen zu minimieren,
- Lastprognosen, z. B. für die Abschätzung der verfügbaren Kapazitäten für Lastmanagementmaßnahmen (inkl. Elektrofahrzeuge), zur Integration erneuerbarer Energien.

4.8 Querschnittsforschung: Rahmenbedingungen für einen hohen Anteil erneuerbarer Energien

Um die Ziele zum Ausbau der erneuerbaren Energien zu erreichen, ist es notwendig, geeignete politische, soziale, ökologische und ökonomische Rahmenbedingungen zu beachten bzw. zu schaffen.

Dazu ist das bestehende Energieversorgungssystem weiterzuentwickeln. Die Transformation der Energieversorgung hin zu einem weitgehend auf erneuerbaren Energien beruhendem System sowie die Markt- und Systemintegration der erneuerbaren Energien stehen dabei im Mittelpunkt. Dies bedeutet, auch die ökonomischen und ökologischen Rahmenbedingungen für hohe Anteile erneuerbarer Energien in einem optimierten Gesamtsystem aufzuzeigen und jederzeit eine sichere, sozial und ökologisch verträgliche sowie wirtschaftliche Energieversorgung zu gewährleisten. Entsprechende Untersuchungen können im Rahmen der Querschnittsforschung des Bundesumweltministeriums gefördert werden. Die jeweiligen Förderschwerpunkte werden regelmäßig in gesonderten Förderbekanntmachungen zur Gesamtstrategie zum weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien festgelegt.

4.9 Haushaltsmittel

Siehe Tabelle 4.9.

5. Forschungsförderung des BMELV

5.1 Bioenergie - Daten und Fakten

5.1.1.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Die Nutzung von Bioenergie spielt bei der Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen bereits heute eine wichtige Rolle1.

Nach Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energie-Statistik (AGEE-Stat) wurden im Jahre 2009 243,5 TWh Endenergie aus erneuerbaren Energiequellen bereitgestellt. Davon stammten 70 % aus Biomasse. Mit 43,2% wurde über die Wärmeerzeugung aus Biomasse noch vor der Windenergie der größte Einzelanteil erbracht. Biokraftstoffe waren an der Endenergieerzeugung mit 13,9% und die Stromproduktion mit 12,5% beteiligt.

Biokraftstoffe sind derzeit die einzig verfügbaren regenerativen Kraftstoffe. Von den 33,8 TWh an Biokraftstoffen wurden 76,9% über Biodiesel, 20% über Ethanol und 3,1 % über Pflanzenöl erbracht.

Durch den Einsatz von erneuerbaren Energien konnten im Jahr 2009 rd. 109 Mio. t CO_2-Äquivalente vermieden werden. Der Anteil der Biomasse an dieser Vermeidung betrug rund 47 %.

Die Möglichkeiten, Energie aus Biomasse bereitzustellen, sind dabei äußerst vielfältig, wie Abb. 5.1 zeigt.

Auch als Wirtschaftsfaktor ist die Bioenergie im Bereich der erneuerbaren Energien von hoher Bedeutung. So erreichte die Wertschöpfung aus dem Betrieb von Bioenergieanlagen im Jahre 2009 9,15 Mrd. € (insgesamt erneuerbare Energien:

17,1 Mrd. €), es wurden zudem für 12,6 Mrd. € (insgesamt erneuerbare Energien: 37,5 Mrd. €) Investitionen im Bereich Bioenergie getätigt. Verbunden damit waren ca. 110.000 Arbeitsplätze, im Jahre 2004 lag die Zahl der Beschäftigten im Bereich Bioenergie noch bei 57.000.

	Ist	Soll	Plandaten 1)		
	2010	2011	2012	2013	2014
Projektförderung					
Erneuerbare Energien	120.202	128.866	146.866	158.366	158.366
Energie- und Klimafonds	-	22.000	16.000	71.400	91.000
Summe	**120.202**	**150.866**	**164.866**	**229.766**	**249.366**

Tabelle 4.9: Projektförderung BMU (Tsd. Euro)
Zahlen Bundeshaushalt stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament
Die Fördermittel für den Energie- und Klimafonds stehen noch unter Vorbehalt

Diese Entwicklung schlägt sich auch für die heimische Landwirtschaft positiv nieder. Der Anbau von Energiepflanzen wurde von 1.701500 ha im Jahre 2009 auf 1.834.000 ha im Jahre 2010 gesteigert. Neben dem Anbau von Raps für Biodiesel/Pflanzenöl auf 940.000 ha war insbesondere der Anbau von Pflanzen für die Biogaserzeugung mit 650.000 ha an diesem Anstieg beteiligt. Insgesamt wurden in Deutschland im Jahre 2010 rund 2,15 Mio. ha für den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt. Zum Vergleich: Die gesamte Ackerfläche Deutschlands beträgt 12 Mio. ha.

Das am 28. September 2010 durch die Bundesregierung veröffentlichte Energiekonzept stellt die Nutzung von Bioenergie vor neue Herausforderungen. Bei gleichzeitig sinkendem Primärenergieverbrauch - die Szenarien gehen von einem Rückgang von heute 14.000 PJ auf ca. 7.000 PJ im Jahr 2050, also rund die Hälfte, aus - soll der Beitrag der Biomasse zur Primärenergieerzeugung massiv ausgeweitet werden. Die nachfolgende Grafik (Abb. 5.2) veranschaulicht dies.

Von den bis zu 2.200 PJ, welche die Bioenergie im Jahre 2050 erbringen soll, sollen zudem 80% aus heimischer Produktion stammen. Eine besondere Herausforderung stellt in diesem Zusammenhang die Ausweitung der Biokraftstoffnutzung auf bis zu 880 PJ, dem Sechsfachen des heutigen Anteils, dar. Das Energiekonzept der Bundesregierung macht damit deutlich, dass die Forschung, Entwicklung und Demonstration der Bioenergiebereitstellung und -nutzung weiterhin einen wichtigen Bereich darstellen wird.

5.1.1.2 Institutionelle Forschungsförderung

Seit 2008 wurde die Forschungsförderung zusätzlich durch die Gründung des DBFZ (Deutsches Biomasse-Forschungs Zentrum gGmbH) in Leipzig in erheblichem Maße intensiviert, um die fachübergreifende anwendungsnahe Forschung und die Technologiebewertung bis hin zur Politikberatung zu komprimieren. Das DBFZ stellt damit die zentrale deutsche Einrichtung zur Forschung im Bereich Bioenergie dar.

5.1.1.3 Technologieentwicklung und Förderstruktur

Seit 1993 unterstützt das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“2 Forschung, Entwicklung und Demonstration zur energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland.

Als Voraussetzung für eine mögliche Förderung aus dem Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe müssen potenzielle Vorhaben folgende Zielsetzungen erfüllen:

- einen Beitrag zur nachhaltigen Rohstoff- und Energieversorgung leisten,
- die Umwelt durch Ressourcenschutz und Minderung der CO_2-Emissionen entlasten und gleichzeitig den Naturhaushalt schonen,

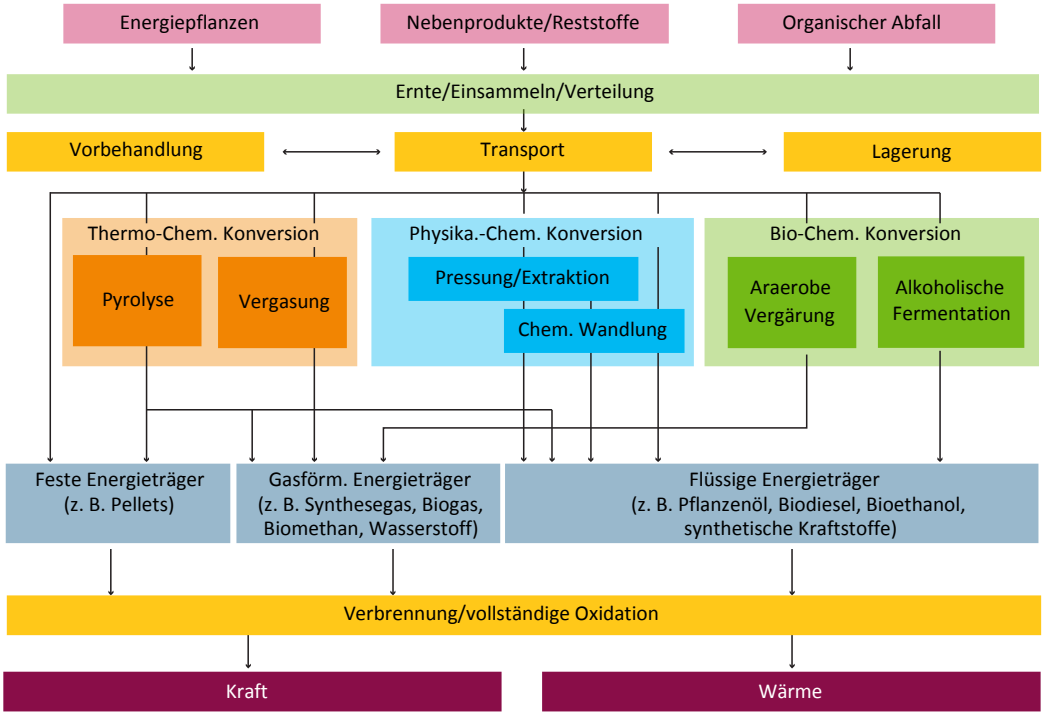


Abb. 5.1: Möglichkeit der Energiebereitstellung aus Biomasse

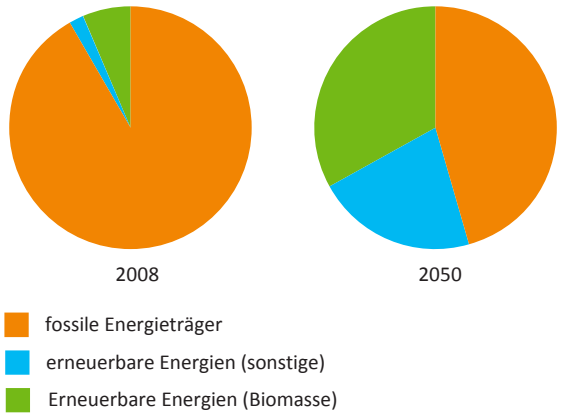


Abb. 52: Anteil der verschiedenen Primärenergieträger am Primärenergieverbrauch in den Jahren 2008 und als Prognose für 2050

- die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Land- und Forstwirtschaft sichern bzw. verbessern.

Berücksichtigt werden können zudem nur nachwachsende Rohstoffe, d. h. gezielt für die stoffliche oder energetische Nutzung durch die Land- und Forstwirtschaft in Deutschland produzierte Biomasse sowie Rest- und Koppelprodukte der land- und forstwirtschaftlichen Produktion wie Stroh, Getreideaus- putz oder Gülle. Industrielle und kommunale organische Rest- und Abfallstoffe können keine Berücksichtigung finden.

Das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe ist kein auf die Energieforschung allein beschränktes Förderprogramm. Der Bereich Energie stellt nur einen Bereich unter anderen dar, ebenso werden aus dem Förderprogramm Maßnahmen zur stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und zur Öffentlichkeitsarbeit gefördert. Der Mittelansatz der heutigen Förderung entfällt zu ca. 40% auf Vorhaben der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, zu ca. 40% auf die stoffliche Nutzung und zu ca. 20% auf Maßnahmen der Verbraucherinformation.

Mit der Schaffung des Sondervermögens „Energie- und Klimafonds“ (EKF)3 stellt die Bundesregierung ab 2011 zusätzliche Mittel zur Forschungsförderung für die Intensivierung der Nutzung erneuerbarer Energiequellen bereit. Im Zuständigkeitsbereich des BMELV stehen zusätzliche Mittel für FuE-Arbeiten zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe zur Verfügung. Über diese Mittel konnten sechs zusätzliche Förderschwerpunkte initiiert werden:

- Züchtung zur Anpassung von Energiepflanzen an den Klimawandel,
- intelligente Lösungen zur kombinierten Nutzung von Bioenergie und anderen erneuerbaren Energien,
- Effizienzsteigerung für dezentrale Bioenergiekonzepte,
- Entwicklung von Konversionsrouten zur Bereitstellung von Energieträgern aus nachwachsenden Rohstoffen mittels Algen,
- Biokraftstoffe,
- Untersuchung zu Humus- und Nährstoffwirkung organischer Reststoffe aus Biomassekonversionsanlagen.

Die Betreuung des Förderprogramms erfolgt durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, als zuständigem Projektträger. Weitere Details zur Gestaltung von Vorhaben sind unter www.fnr.de zu finden.

Die anwendungsorientierte Forschungsförderung des BMELV erfolgt hierbei in Abstimmung mit der Förderung der Grundlagenforschung im Bereich Bioenergie durch das BMBF.

5.1.1.4 Stand der Forschung

Im Vergleich zu anderen Themenfeldern der Energieforschung ist das Themenfeld Bioenergie von einer hohen Vielfältigkeit der Ansätze sowie Flächen- und Nutzungskonkurrenzen als wichtigen Rahmenbedingungen geprägt - ein Königsweg der Nutzung ist aufgrund der Heterogenität von nachwachsenden Rohstoffen oder Reststoffen und Koppelprodukten der Land- und Forstwirtschaft nicht vorhanden. Deshalb wird im Rahmen des Forschungsprogramms Nachwachsende Rohstoffe der Gesamtansatz entlang der gesamten Wertschöpfungskette verfolgt.

5.1.1.5 Anbau und Züchtung - Nachhaltigkeit

Anbau und Züchtung von Kulturpflanzen sind als eine Querschnittsaufgabe2’4im Bereich Bioenergie von zentraler Bedeutung für die zukünftige Rohstoffversorgung aller Konversionspfade. Ohne eine nachhaltige, effektive und vor allem Nutzungskonkurrenzen vermeidende land- und forstwirtschaftliche Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen wird sich der im Energiekonzept der Bundesregierung formulierte Ausbau der Bioenergienutzung nicht verwirklichen lassen. Das BMELV unterstützt diese Entwicklung bereits seit Längerem mit umfangreichen Fördermaßnahmen, stellvertretend für die Entwicklung ist hier das in mehreren Phasen durchgeführte Verbundvorhaben zum Energiepflanzenanbau EVA zu nennen.

Obwohl in der täglichen Praxis der Land- und Forstwirtschaft Deutschlands seit Jahrhunderten verankert, ist durch den erheblich angestiegenen Bedarf an Biomasse zur energetischen Verwertung - und in-

folgedessen auch durch den Import von Biomasse bzw. Produkten wie Palmöl - die Nachhaltigkeitsfrage, d. h. eine auch umweit- und naturverträgliche Biomasseproduktion, ein wichtiges Thema der öffentlichen Akzeptanz geworden. Zudem wird der regional steigende Anbau bestimmter Energiepflanzenarten wie Mais sowohl aus Naturschutzsicht als auch von der breiten Öffentlichkeit kritisch beobachtet.

Es gilt aber auch, die Kriterien der Bewertung der Nachhaltigkeit fortzuschreiben. Die derzeit auf nationaler und europäischer Ebene in Umsetzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie sowie Biokraftstoff-Richtlinie eingeführten Nachhaltigkeitskriterien berücksichtigen viele Elemente der guten landwirtschaftlichen Praxis wie Fruchtfolgen, die zum langfristigen Erhalt der Bodenfruchtbarkeit eingeführt wurden, nicht. Die Anforderungen sind deshalb entsprechend fortzuschreiben, die Anpassungen sind durch Maßnahmen von Forschung und Entwicklung, z. B. bei der Bestimmung der Treibhausgasemissionen, zu unterstützen. Vor diesem Hintergrund wurde durch das BMELV auch die Entwicklung des Zertifizierungssystems ISCC unterstützt. Wegen der fundamentalen Bedeutung von Anbau und Züchtung für die Biomasseproduktion und deren Nachhaltigkeit sieht das BMELV im Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ einen Förderschwerpunkt zur Energiepflanzenproduktion vor (siehe Abschnitt 5.2).

5.1.1.6 Feste Bioenergieträger

Feste Biomasse, den wesentlichen Anteil machen hier Holz bzw. Holzprodukte wie Pellets aus, wird heute vorwiegend zur Wärmeerzeugung für Raumwärme oder in Nahwärmenetzen genutzt. Wie unter dem Abschnitt „Energiewirtschaftliche Ausgangslage“ dargelegt, erbringt die Raumwärmeerzeugung aus fester Biomasse heute einen wesentlichen Anteil der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen.

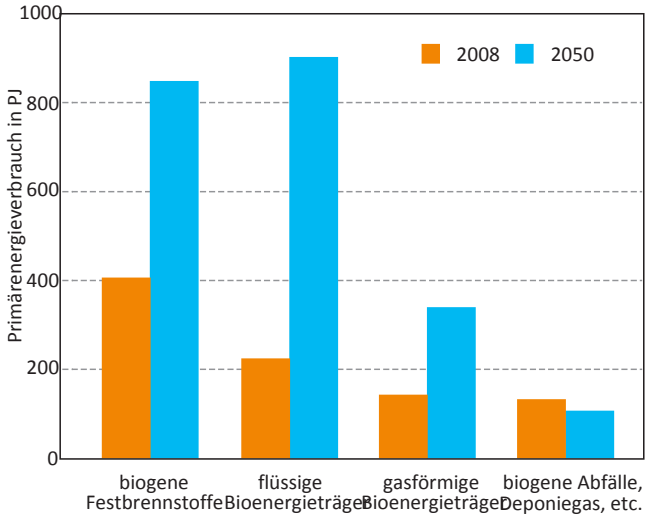


Abb. 5.3: Beitrag der verschiedenen Biomassen als Energieträger zum Primärenergieverbrauch in den Jahren 2008 und 2050

Bei der Wärmeerzeugung besteht insbesondere bei Kleinfeuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Mit der letzten Novellierung der 1. BImSchV wurden verschiedene Emissionsgrenzwerte derart verschärft, dass zukünftig ein deutlicher Rückgang der Nutzung biogener Brennstoffe in Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV zu erwarten ist. Diese zu erwartende Entwicklung ist durch entsprechende Fördermaßnahmen abzufangen. Insbesondere muss die Nutzung von Alternativen zum Holz, d. h. weiterer fester Biomassefraktionen wie Stroh, Getreiderückstände oder Mischpellets, weiter untersucht und entwickelt werden. Aufgrund der derzeit hohen Bedeutung der Nutzung fester Biomasse in Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV stellt die weitere Entwicklung des Bereiches einen Förderschwerpunkt bei den Aktivitäten des BMELV dar (siehe Abschnitt 5.3).

Abb. 5.4: Anbauversuch mit „Durchwachsener Silphie“ (mehrjährige Energiepflanze mit hoher Trockenresistenz und Massenwachstum/Silphium perfoliatum) als Alternative zu klassischen nachwachsenden Rohstoffen5

Im Bereich Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) konzentriert sich aus wirtschaftlichen Gründen die Stromerzeugung heute auf Alt- und Abfallhölzer. Waldholz oder landwirtschaftliche biogene Brennstoffe werden in Großanlagen oberhalb 1 MW Feuerungswärmeleistung kaum genutzt, in kleineren Anlagen können zukünftig auch Waldholz und alternative feste Biomassen eine wesentliche Rolle spielen. Für Holz ist mit dem Dampfkraftprozess ein eingeführter technischer Prozess vorhanden, der eine Stromerzeugung nach dem Stand der Technik ermöglicht.

KWK mit anderen festen Biomassen außer Holz ist bislang an den feuerungstechnischen Eigenschaften alternativer Brennstoffe wie Stroh oder Energiegetreide gescheitert. Zusätzlich wirken sich die Regelungen des deutschen Genehmigungsrechts, das die einfache Übertragung, z. B. technisch funktionierender dänischer Lösungen, nicht zulässt, begrenzend aus (z. B. Emissionsbegrenzungen). Forschungs- und Entwicklungsbedarf ist klar gegeben, um unter deutschen Rahmenbedingungen Verbrennungstechnologien vorantreiben zu können.

Die thermochemische Vergasung, auch in Kombination mit anderen Verfahren wie der Pyrolyse, stellt theoretisch einen weiteren Weg der KWK unter Nutzung fester Biomassen dar. Trotz zahlreicher Entwicklungsansätze in den letzten beiden Dekaden ist festzustellen, dass lediglich ein in Österreich entwickeltes Verfahren, das zuerst am Standort Güssing eingesetzt wurde, den Markt erreicht hat. In Deutschland wird auf Basis dieses Verfahrens am Standort Ulm ein Vorhaben mit Förderung des BMELV umgesetzt. Alle anderen Ansätze in Deutschland haben bislang nicht zu einer Marktwirkung geführt. Die thermochemische Vergasung bleibt als Option der energetischen Nutzung fester Biomassen erhalten, vor dem Hintergrund der langjährigen Entwicklungsgeschichte sind neue Fördermaßnahmen aber sehr sorgfältig zu evaluieren und abzuwägen.

Weitere Nutzungspfade, z. B. über die Pyrolyse oder hydrothermale Verfahren, befinden sich in der Entwicklung. Ob die Umsetzung möglichen Forschungs- und Entwicklungsbedarfes über das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ abgedeckt werden kann, ist im Einzelfall zu prüfen.

5.1.1.7 Gasförmige Energieträger7

Im Bereich der gasförmigen Energieträger, die nicht aus der Vergärung bereitgestellt werden, ist in der letzten Dekade eine rasante Entwicklung der Zahl der Anlagen und deren Leistungsfähigkeit zu beobachten. Eine Vielzahl von Unternehmen konnte sich etablieren. Heute kann die deutsche Biogasbranche als weltweit führend bezeichnet werden. Neben der klassischen KWK hat in den letzten beiden Jahren auch die Einspeisung von aufbereitetem Biogas (sog. Biomethan) in das Erdgasnetz wesentlich an Bedeutung gewonnen. Biomethan kann dabei sowohl für stationäre Anwendungen als auch als Kraftstoff zum Einsatz kommen. Mittlerweile sind neben den klassischen Biogasanlagen mehr als 50 Anlagen mit Einspeisung erfolgreich in Betrieb genommen worden. Es gilt, diesen erreichten hohen Stand der Entwicklung durch die Weiterführung einer angemessenen Förderung von Forschung und Entwicklung zu sichern. Die Anlagentechnik, die Prozessführung und die substanzielle Kostensenkung von Biogasverfahren sind auf neue, unter Beachtung der Agrobiodiversivität durch Züchtung und Anbau bereitzustellende Kulturpflanzen anzupassen und zu optimieren.

Grundsätzlich stellen die Prozessoptimierung und die Prozessverbesserung, angefangen bei der Aufbereitung der Substrate über den Fermentationsprozess bis hin zur Gärrestkonditionierung, wichtige Themen für eine zukünftige Forschung und Entwicklung dar. Die Verfahren sind hinsichtlich einer maximalen Biogasausbeute bei hoher Gasqualität, geringen Gasverlusten (Methanschlupf) und Sicherung der Nachhaltigkeit der Produktion weiterzuentwickeln (siehe Abschnitt 5.4). Die Einspeisung von aufbereitetem Biogas in das Erdgasnetz erlangt verstärkte Bedeutung, so dass auch hier die Aufbereitungsverfahren weiterzuentwickeln sind.

Insgesamt gesehen stellt die Förderung im Bereich Biogas ein gutes Beispiel für das Zusammenspiel unternehmerischer Aktivitäten und öffentlicher Förderung dar.

5.1.1.8 Flüssige Bioenergieträger

Im Bereich Biokraftstoffe stellen (neben Biomethan als gasförmigem Energieträger) flüssige Bioenergieträger heute die einzige marktfähige Alternative zu fossilen Kraftstoffen dar. Durch das Biokraftstoffquotengesetz ist der Einsatz von Biokraftstoffen aus Sicht der Politik verstetigt worden. Getragen wird heute der Einsatz von Biokraftstoffen insbesondere durch die Zumischung von Fettsäuremethylestern (FAME) aus Pflanzenölen sowie Ethanol auf Basis von stärke- und zuckerhaltigen Pflanzen zu den fossil basierten Kraftstoffen Diesel und Benzin. Hinzu tritt die Beimischung von hydriertem Pflanzenöl (HVO = Hydrogenated oder Hydrotreated Vegetable Oils) zu den genannten Kraftstoffen. Durch die politischen

Rahmenbedingungen hat der Einsatz von Pflanzenölen zunehmend an Bedeutung verloren. Die Produktion von konventionellem FAME, Ethanol und HVO ist Stand der Technik, die Produktionsmethoden sind kommerziell etabliert. Für eine öffentliche Förderung von Forschung und Entwicklung bestehen die Ansatzpunkte vor allem in den dynamisch festgelegten Nachhaltigkeitsanforderungen, die in den kommenden fünf bis sieben Jahren eine weitere signifikante Reduktion der Treibhausgasemissionen erreichen müssen. Insbesondere für Reinkraftstoffe besteht aus technischer Sicht durch die sich aus der Verschärfung der Emissionsgrenzwerte ergebenden Anforderungen an zukünftige Motorengenerationen Entwicklungsbedarf. Über den grundsätzlichen Erhalt der Forschung in diesem Bereich hinaus ist aber festzustellen, dass diese Anwendung zunehmend auf Nischen beschränkt ist und auch der Umsetzungsfähigkeit in den Markt eine entscheidende Rolle bei der Gewährung von Fördermitteln zukommt.

Gemessen an den Szenarien zum Energiekonzept der Bundesregierung - diese postulieren in einigen Szenarien eine Vervierfachung der Biokraftstoffnutzung bis 2050 - sind die Verbreiterung der Rohstoffbasis, auch durch Nutzung der ganzen Pflanzen, sowie Alternativen (z. B. Algenbiomasse) und die Entwicklung neuer Nutzungsrouten von Bedeutung. Zu nennen sind hier exemplarisch die Erzeugung von Ethanol aus Lignocellulosebiomasse oder die Gewinnung von synthetischen Biokraftstoffen über thermochemische Prozesse (z. B. Fischer-Tropsch-

Kraftstoffe, Biomethan via Bio-SNG, Dimethylether). Mit der Förderung des bioliq-Verfahrens des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) hat das BMELV in diesem Bereich ein deutliches Zeichen des Engagements gesetzt

Durch die Ausweitung des Handels mit CO_2-Zertifikaten werden zukünftig weitere Sektoren des Verkehrsbereiches, der Luftverkehr zeigt bereits Interesse, auf Biokraftstoffe zurückgreifen. Die Anforderungen dieser Bereiche an Biokraftstoffe unterscheiden sich dabei deutlich von denen des straßengebundenen Verkehrs. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht, es wird das Engagement deutscher Unternehmen über Art und Umfang der zukünftigen Fördermaßnahmen entscheidend mitbestimmend sein.

5.1.1.9 Strategisch wichtige Förderbereiche

Im Rahmen des Förderprogramms ist die Förderung einer breiten Palette von Themenstellungen, angefangen bei Querschnittsaufgaben wie Anbau, Züchtung oder Öffentlichkeitsarbeit bis hin zu besonderen Fragestellungen in den Bereichen feste, flüssige und gasförmige Energieträger grundsätzlich möglich. Die einzelnen Förderschwerpunkte im Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ sowie im EKF werden als generelle FuE-Themen im Folgenden ausführlicher beschrieben.

Durch die Schaffung des EKF sowie die entsprechende Bereitstellung von Fördermitteln konnten u. a. bereichsübergreifende FuE-Schwerpunkte für den Bereich Bioenergie entwickelt werden:

- intelligente Lösungen zur kombinierten Nutzung von Bioenergie und anderen erneuerbaren Energien (in Abstimmung mit den zuständigen Ressorts),
- Effizienzsteigerung für dezentrale Bioenergie-Nutzungskonzepte.

Im Rahmen dieser Schwerpunkte werden insbesondere eine Erhöhung der Effizienz der energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und eine stärkere Integration von Lösungen bei möglichst weitgehender Schonung des Naturhaushalts und der biologischen Vielfalt angestrebt.

Zu den Details der Schwerpunkte wird auch bei den folgenden Ausführungen auf die diesbezüglichen Bekanntmachungen des BMELV verwiesen.

5.2 Nachhaltige Biomasseproduktion

Hierunter fallen die Forschungsthemen Züchtung und Anbau mit Biomasselogistik sowie Mechanismen zur Sicherung der nachhaltigen Produktion, die gleichzeitig den Naturhaushalt schonen. Als übergeordnete Handlungsfelder sind zu nennen:

- Anpassung von Energiepflanzen an den Klimawandel,
- Züchtungsforschung zur Etablierung neuer Kulturpflanzen sowie Entwicklung von Anbauverfahren/Fruchtfolgen,
- Optimierung von Anbauverfahren hinsichtlich Ertrag, Ressourcenverbrauch, Gewässerschutz, Biodiversität und Nachhaltigkeit10,
- Evaluierung, Verbesserung und Anpassung von Mess- und Bewertungsmethoden zur Bestimmung relevanter Emissionen beim Energiepflanzenanbau.

Für das Jahr 2011 wurde durch das BMELV der Schwerpunkt „Energiepflanzenproduktion“ für das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ bekanntgemacht. Im Fokus dieses Schwerpunktes stehen pflanzenbauliche, landtechnische und logistische sowie im Einzelfall auch züchterische Forschungsarbeiten sowie geeignete Maßnahmen zur Evaluierung neuer Kulturarten als Beitrag für die Erweiterung der Agrobiodiversität in der deutschen Landwirtschaft. Daraus ergeben sich als Projektthemen:

- die Optimierung der Energiepflanzenproduktion,
- neue Energiepflanzen für die Biomasseproduktion in Deutschland.

Mit den zusätzlichen Mitteln des EKF konnte ein weiterer Förderschwerpunkt „Züchtung zur Anpassung von Energiepflanzen an den Klimawandel“ festgelegt werden, mit dem die FuE-Arbeiten zu diesem wichtigen Feld intensiviert werden.

Ebenfalls mit Hilfe zusätzlicher Mittel des EKF wurde der Schwerpunkt „Entwicklung von Konversionsrouten zur Bereitstellung von Energieträgern aus nachwachsenden Rohstoffen mittels Algen“ veröffentlicht. Mit der Verbindung nachwachsender Rohstoffe und Algen sollen neue nachhaltige Produktlinien geschaffen werden.

Im Sinne der Kreislaufwirtschaft ist auch notwendig, Reststoffe aus der Biomassekonversion möglichst auf land- und forstwirtschaftliche Nutzflächen zurückzuführen. Hierzu wurde aus Mitteln des EKF der

Schwerpunkt „Untersuchungen zur Humus- und Nährstoffwirkung organischer Reststoffe aus Biomassekonversionsanlagen“ konstituiert. Gegenstand der im Schwerpunkt geplanten Arbeiten sollen insbesondere Gärreste von Biogasanlagen sein.

5.3 Feste Bioenergieträger

5.3.1.1 Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Der FuE-Bedarf bei festen Bioenergieträgern wird, bedingt durch die Bedeutung der aus Biomasse erzeugten Wärme im Kontext der erneuerbaren Energien, durch die aktuellen Änderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen, insbesondere die Novellierung der 1. BImSchV, dominiert.

Für das Jahr 2011 wurde durch das BMELV deshalb ein entsprechender Förderschwerpunkt bekannt gemacht. Der Förderschwerpunkt umfasst anwendungsorientierte Projekte zur Erforschung neuer und innovativer Methoden, Verfahren und Nutzungskonzepte zur energetischen Nutzung fester Biobrennstoffe. Folgende Themenbereiche werden als wichtig ansehen:

- Entwicklung umwelt- und naturschutzfreundlicher, effizienter und wirtschaftlicher Biobrennstoffe zur Wärmeerzeugung als Alternative zu Holzbrennstoffen,
- Umweltverträglichkeit von Kleinfeuerungen der 1. BImSchV mit Biobrennstoffen.

Über den drängenden FuE-Bedarf im Bereich der 1. BImSchV sind als FuE-Themenzu nennen:

- Verbesserung der Energieeffizienz der Nutzung fester Biobrennstoffe,
- Entwicklung, Erprobung und Evaluierung von Mischbrennstoffen, insbesondere die Prüfung der Anwendbarkeit bislang ungenutzter Biomassefraktionen,
- Entwicklung und Erprobung hocheffizienter Prozesse der Kraft-Wärme-(Kälte-)Kopplung im dezentralen Bereich und
- Konditionierung von festen Biomassen, insbesondere durch thermochemische oder hydrothermale Verfahren, als Vorstufe der weiteren Umsetzung, z. B. zu Synthesegas.

5.4 Gasförmige Bioenergieträger/ Biogas

Der FuE-Bedarf bei Biogas ist stark praxisorientiert ausgerichtet, die biotechnologischen Prozessgrundlagen erfordern genauso wie die Reduzierung von negativen Umwelteffekten weitere Forschung. Vor diesem Hintergrund sind die nachfolgend genannten FuE-Felder von Bedeutung:

- Vertiefung des Verständnisses des Biogasprozesses,
- Einsatz von Hilfsstoffen (Enzyme, Mineralien u. Ä.) zur Erhöhung der Umwandlungseffizienz der Gasausbeute,
- Verbesserung der Prozessbeherrschung durch Weiterentwicklung der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik,
- Reduzierung von negativen Umwelteffekten (u. a. durch technische Entwicklungen, aber auch von Konzepten zur effizienten Nutzung des Energieträgers Biogas),
- Optimierung von Technologien und Bereitstellungsketten von Biomethan im großen und kleinen Leistungsbereich.

5.5 Flüssige Bioenergieträger/ Biokraftstoffe

Gemessen an den das Energiekonzept der Bundesregierung begleitenden Energieszenarien ist eine deutliche Steigerung der Nutzung biogener Kraftstoffe in der Zukunft notwendig. Wie oben dargestellt interessieren sich neben dem straßengebundenen Verkehr auch andere Verkehrssektoren für Biokraftstoffe. Zukünftige FuE-Felder müssen dem Rechnung tragen:

- Entwicklung und Erprobung neuer, hoch energieeffizienter Herstellungsrouten zur Erzeugung von Biokraftstoffen,
- Entwicklung, Erprobung und Evaluierung von Kraftstoffmischungen mit variablem biogenen Anteil,
- Evaluierung der Einsatzmöglichkeiten von biogenen Kraftstoffen in Bereichen außerhalb des straßengebundenen Verkehrs wie Luft- und Schifffahrt oder Schienenverkehr.

Im Rahmen des EKF wurde die Förderinitiative „Biokraftstoffe“ durch das BMELV initiiert. Gegenstand der Förderinitiative ist die Förderung:

- innovativer Ansätze zur Effizienzsteigerung sowie zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen bei Biokraftstoff-Altanlagen,
- von Demonstrationsvorhaben für innovative Produktionsverfahren.

Die Förderinitiative „Biokraftstoffe“ ist anwendungsbezogen orientiert.

5.6 Haushaltsmittel

Siehe Tabelle 5.6.

Einen weiteren Schwerpunkt der Forschungsförderung der energetischen Nutzung von Biomasse bildet die institutionelle Förderung des Deutschen Biomasse-Forschungs Zentrums (DBFZ) mit rund 5 Mio. € pro Jahr.

Literatur:

[1] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2009): Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland.

Erhältlich unter: www.erneuerbare-energien.de

[2] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2008): Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe.

Erhältlich unter: www.nachwachsenderohstoffe.de

[3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2011): Förderschwerpunkte Energie- und Klimafonds.

Erhältlich unter: www.nachwachsenderohstoffe.de

[4] Agentur für Erneuerbare Energien e. V. (2009):

Der volle Durchblick in Sachen Bioenergie.

Erhältlich unter: www.unendlich-viel-energie.de

[5] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: Pflanzenportrait Durchwachsene Silphie.

Erhältlich unter: www.energiepflanzen.info

[6] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2005): Leitfaden Bioenergie.

Erhältlich unter: www.fnr-server.de

[7] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2010): Leitfaden Biogas.

Erhältlich unter: www.biogasportal.info

[8] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2007): Biokraftstoff Pflanzen-Rohstoffe-Produkte.

Erhältlich unter: www.bio-energie.de

[9] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2009): Biokraftstoffe - eine vergleichende Analyse.

Erhältlich unter: www.bio-energie.de

[10] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2010): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Erhältlich unter: www.fnr-server.de

6. Forschungsförderung des BMBF

6.1 Neue Forschungsagenda

Deutschland beschleunigt den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Die Energiewende ist eine politische und gesellschaftliche Gestaltungsaufgabe ersten Ranges. Die Größe dieser Aufgabe macht es erforderlich, einen breiten gesellschaftlichen Konsens über das Ziel und den Weg dahin zu erreichen. Neben den technologischen Innovationen werden daher auch gesellschaftliche Innovationen benötigt.

Eine wichtige Rolle in diesem Prozess spielen Wissenschaft und Forschung. Der Prozess der Energiewende ist ohne wissenschaftliche Expertise nicht denkbar. Kurzfristige Lösungsstrategien und langfristig orientierte technologische und gesellschaftliche Optionen sind gleichermaßen gefragt, um den neuen Zielsetzungen der Energiepolitik Rechnung tragen zu können. Das Energiekonzept der Bundesregierung mit seiner langfristigen Orientierung bis 2050 eröffnet auch der Grundlagenforschung einen verlässlichen Orientierungsrahmen.

Die Zukunftsvorsorge im Bereich der Energie und Energieforschung erfordert Kontinuität und Ausdauer, Kreativität und Vielfalt, um der Verantwortung gegenüber künftigen Generationen gerecht werden zu können. Die Bundesregierung forciert deshalb die Forschung für eine neue langfristige Energieperspektive. Der Einsatz von fossilen Energieträgern ist zu reduzieren. Zugleich ist der Ausstiegsprozess aus der Kernenergie und die Neuausrichtung der Ener-

	Ist	Soll	Plandaten 1)		
	2010	2011	2012	2013	2014
Projektförderung					
Bioenergie	23.168	25.000	25.000	25.000	25.000
Energie- und Klimafonds	-	9.000	6.500	29.300	37.000
Summe	**23.168**	**34.000**	**31.500**	**54.300**	**62.000**

Tabelle 5.6: Projektförderung BMELV (Tsd. Euro)
Zahlen Bundeshaushalt stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament
Die Fördermittel für den Energie- und Klimafonds stehen noch unter Vorbehalt

gieversorgung auf erneuerbare Energien kontinuierlich wissenschaftlich zu begleiten.

Das BMBF wird durch gezielte förderpolitische Maßnahmen Grundlagenwissen generieren und für die anwendungsorientierte Energieforschung bereitstellen. Vor allem die langjährige Forschungsförderung der Bundesregierung im Energiebereich einschließlich der institutionellen Förderung des BMBF hat die wissenschaftliche und infrastrukturelle Grundlage dafür geschaffen, dass die Bundesregierung nunmehr in der Lage ist, den nachhaltigen Umbau der Energieversorgung Deutschlands auf der Basis des Energiekonzepts der Bundesregierung anzugehen und auf unvorhergesehene Entwicklungen reagieren zu können.

Das BMBF fördert gezielt Grundlagenentwicklung in dem Bewusstsein, dass Grundlagenforschung und angewandte Forschung zwei Seiten einer Medaille darstellen und eng miteinander verwoben sind. Eine erfolgreiche Innovationsförderung muss alle Glieder der Innovationskette und die zunehmende Multi- und Transdisziplinarität der Energieforschung im Blick haben. Grundlagenforschung behandelt beispielsweise Fragen zur Elektrochemie, Festkörperphysik, Licht-Materie-Wechselwirkung, zu Simulationen und Materialeigenschaften. Oder entwickelt neue Methoden und Instrumente zur Prozessbeschreibung und Zustandserhebung.

Von besonderem Gewicht ist zudem die wirksame Vernetzung von Forschungsgebieten mit Energierelevanz, die für Fortschritte im Bereich der Grundlagenforschung wichtig sind (Materialforschung, Nanotechnologie, Lasertechnologie, Mikrosystemtechnik, mathematische Modellierung). Die Förderaktivitäten des BMBF im Bereich der Querschnittstechnologien werden deshalb mit den Förderinitiativen des Energieforschungsprogramms eng verknüpft.

6.1.1.1 Stärkung der Grundlagenforschung durch gesellschaftswissenschaftliche Forschungsansätze

Das BMBF nimmt Forschungsansätze aus dem Bereich der Gesellschafts- und Geisteswissenschaften in das Energieforschungsprogramm auf, weil eine allein technologisch orientierte Forschung der Wechselwirkung von Mensch und Technik nicht gerecht wird und den Akzeptanzaspekt bei der Umsetzung neuer Technologien nicht hinreichend würdigt. Damit wird die anwendungsnahe Forschung der Ressorts unterstützt.

Der Erfolg bei der Umsetzung neuer Technologien im Energiebereich wird maßgeblich davon abhängen, ob und in welchem Umfang es uns gelingt, technologische mit wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen zu verknüpfen.

Deshalb müssen zukünftige Forschungsfördermaßnahmen verstärkt wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Aspekte aufgreifen. Das BMBF wird sich daher mit Methoden und Verfahren befassen, die für Beantwortung von Akzeptanzfragen, die Schaffung größerer Transparenz bei der Einführung und Verbreitung neuer Energietechnologien sowie das Nutzungs- und Nachfrageverhalten wichtig sind. Die Forschungsförderung des BMBF erfolgt parallel zu den Analysen politischer, soziologischer, ökologischer und ökonomischer Rahmenbedingungen zur Querschnittsforschung der anderen Ressorts.

6.1.1.2 Alternative Lösungswege und neue Optionen für die Zukunft der Energie

Der Ausstieg aus der Kernenergie zeigt, wie wichtig es ist, dass Energieforschung eine breite Palette von Optionen bereitstellt, damit auch bei sich verändernden Rahmenbedingungen die Energieversorgung sichergestellt werden kann.

Daher ist es wichtig, Vorsorge dafür zu treffen, dass alternative Lösungswege und -konzepte rechtzeitig zur Verfügung stehen.

Der Umbau des Energieversorgungssystems in Deutschland wird eine Vielzahl von derzeit nicht bekannten und auch nicht vorhersehbaren Fragestellungen aufwerfen, die nur auf der Basis soliden Wissens in kalkulierbaren Zeiträumen gelöst werden können.

Aus diesem Grund wird das BMBF im Rahmen des Energieforschungsprogramms ein sogenanntes „Energietechnologie-Radar“ etablieren, um Fortschritte im Bereich der Grundlagenforschung frühzeitig identifizieren zu können und Anknüpfungspunkte zur anwendungsnahen Forschung zu schaffen.

Darüber hinaus soll neuen Ideen sowie unkonventionellen Konzepten im Bereich der Energieforschung eine Chance gegeben werden, denn viele äußerst erfolgreiche Innovationen sind außerhalb des Mainstreams entstanden. Das BMBF hält hierfür mit der „Ideenwerkstatt Energie“ ein neues flexibles Instrument der Forschungsförderung vor. Mit diesem Instrument sollen im Bereich der Energieforschung neue Ideen mit erheblichem zeitlichen Vorlauf oder solche, die im konventionellen Bereich noch keine Berücksichtigung gefunden haben, identifiziert und auf gegriffen werden.

6.1.1.3 Systemische Vorgehensweise

Das BMBF wird aktuelles Wissen zum Umbau des Energiesystems durch gezielte Forschungsförderung zur Verfügung stellen. Darüber hinaus wird es Beiträge zur Ermittlung des zukünftigen Forschungsbe-

darfs leisten, die erforderlich sind, um die Ziele des Energiekonzeptes im zeitlichen Rahmen zu erreichen. Das komplexe Umfeld der technisch-wissenschaftlichen, aber auch der politischen, sozialen, wirtschaftlichen und kulturellen Zusammenhänge ist dabei zu berücksichtigen.

Das BMBF wird die Entwicklung von Verfahren und Methoden unterstützen, die eine kontinuierliche Systemanalyse erlauben. Ein wichtiges Element der Systemanalysen ist insbesondere die Szenarienentwicklung, um eine begleitende und kontinuierliche Forschung zu ermöglichen, die frühzeitig Fehlerquellen und Defizite aufspüren hilft. Auf diesem Gebiet stimmt sich das BMBF eng mit den anderen Ressorts ab.

6.1.1.4 Forcierter Fortschritt durch Wissens- und Technologietransfer

Das BMBF wird gezielt den Dialog mit den Akteuren des Innovationsprozesses suchen, um frühzeitig Bedarfe im Energiesektor in die Grundlagenentwicklung einfließen lassen zu können. Umgekehrt soll ermöglicht werden, dass Ergebnisse aus der Forschung in die industrielle Entwicklung in enger Zusammenarbeit mit den anderen Ressorts schnellstmöglich einfließen. Wissenschaftliche Erkenntnisse dürfen nicht darauf warten, „im Bücherregal“ entdeckt zu werden, sondern müssen aktiv und so frühzeitig wie möglich in den Innovationsprozess eingebracht werden.

6.1.1.5 Mehr Kraft für die Forschungsförderung

Die Grundlagenforschung des BMBF umfasst sowohl die Projektförderung als auch zentrale Teile der institutionellen Förderung.

Die Bundesregierung strebt an, die institutionelle Förderung noch stärker als bisher mit der Projektförderung zu vernetzen und an den Zielen des Energiekonzeptes zu orientieren. Das BMBF wird dies für die Grundlagenforschung forcieren. Dazu ist u. a. die Neuausrichtung der programmorientierten Förderung der HGF im Energiebereich im Wege der Formulierung konkreter forschungspolitischer Vorgaben notwendig, bei der sich die betroffenen Ressorts abstimmen.

6.1.1.6 Nachwuchsförderung: Grundlagen für zukünftige Spitzenleistung

Für das BMBF stellt die Nachwuchsförderung eine zentrale Aufgabe dar. Die kontinuierliche Ausbildung von Fachkräften ist von entscheidender Bedeutung für die Zukunft des Standorts Deutschland.

Das BMBF hat mit dem Pakt für Forschung und Innovation sowie der Exzellenzinitiative die Weichen für eine exzellente Nachwuchsförderung gestellt.

Schon jetzt bilden die geförderten Forschungseinrichtungen die entscheidende Basis für die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses im Bereich der Energieforschung. Ein exzellentes Beispiel ist die „KIT School of Energy“, die Studierenden, Promovierenden und Berufstätigen die Möglichkeit gibt, Probleme einer nachhaltigen und zukunftsfähigen weltweiten Energieversorgung zu identifizieren, zu verstehen und zu lösen.

Der thematischen Vernetzung von Universitäten und Fachhochschulen mit Forschungsinstituten und weiteren Akteuren der Energielandschaft kommt eine zentrale Rolle zu. Hier kommen auch spezielle Förderinstrumente wie z. B. Graduiertenkollegs, der Aufbau von Nachwuchsarbeitsgruppen oder spezielle Programme (z. B. „Forschung an Fachhochschulen“) zum Einsatz.

Das BMBF fördert den wissenschaftlichen Nachwuchs auch im Bereich der „Nuklearen Sicherheitsforschung“. Dadurch leisten wir einen wichtigen Beitrag zum Kompetenzerhalt in Deutschland und weltweit, zur Gewährleistung von Sicherheit bei Betrieb und Rückbau sowie der Beurteilung technischer Entwicklungen.

6.1.1.7 Lernendes Programm

Die Förderinitiativen des BMBF sind-wie das gesamte Energieforschungsprogramm - bewusst als offenes und lernendes Forschungsprogramm angelegt (vgl. Kapitel 1).

Dieser Ansatz bietet hinreichende Flexibilität für die notwendige, kontinuierliche Aktualisierung und thematische Ergänzung der Forschungsagenda. Das BMBF wird bei Weiterentwicklungen und Veränderungen in der Akzentsetzung des Programms den Dialog mit Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft systematisch in Form von regelmäßig stattfindenden Agendaprozessen zu Fragen der Grundlagenforschung suchen.

6.1.1.8 Vernetzung mit anderen energierelevanten Initiativen des BMBF

Das BMBF greift energierelevante Themen auch außerhalb des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung in eigenen F ach- und Rahmenprogrammen auf. Von Bedeutung sind hier u. a.:

- nachhaltige Mobilitätskonzepte, mit den Schwerpunkten Batterieforschung, Energiemanagement im Elektrofahrzeug sowie Aus- und Weiterbildung,

- die Aktionsfelder „Nachwachsende Rohstoffe“ und „Biomasse“ in der „Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie 2030“,
- die sozial-ökologische Forschung (SOEF), CO_2-Verwertungsansätze sowie Ressourceneffizienz im Rahmenprogramm „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“,
- die IKT-, Werkstoff-, Material- und Produktionsforschung und
- das Geotechnologien-Programm.

6.2 Handlungsbedarfe

Der geplante nachhaltige Umbau der Energieversorgung in Deutschland bis zum Jahre 2050 wirft Fragen und Probleme auf, die sowohl im wissenschaftlich-technologischen Bereich als auch im wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Bereich liegen. Insoweit besteht die Erfordernis, Energieforschung in einem ganzheitlichen Kontext zu gestalten. Unverzichtbar ist dabei auch eine Einbindung in den Zielekatalog der gemeinsamen europäischen Energiepolitik.

Im Rahmen seiner Zuständigkeit richtet das BMBF seine Forschungsförderung an folgenden, definierten Handlungsfeldern aus:

6.2.1.1 Integration Erneuerbarer Energien in das bestehende Energiesystem

Die Bundesregierung hat sich das ehrgeizige Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 80% des Strombedarfs aus erneuerbaren Quellen zu decken. Dies setzt einen umfassenden Umbau des gesamten Energiesystems und insbesondere der Energieversorgungsnetze voraus.

Die Umstellung der Energieversorgung auf regenerative Energiequellen bedeutet, dass das Stromnetz für Einspeisungen mit dezentralen Einspeiseorten und fluktuierender Leistung ausgelegt sein muss.

Die hierfür erforderlichen Technologien stehen derzeit nur teilweise zur Verfügung. Unter der Voraussetzung, dass der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in dem geplanten Umfang zunimmt, jedoch der Ausbau der Netze hinter den Erwartungen zurückbleibt, besteht die Gefahr, dass mittel- bis langfristig die Versorgungssicherheit gefährdet ist. Die Grundlagenforschung im Bereich der Energiespeicher muss deshalb gestärkt und der Ausbau entsprechender Infrastrukturen forciert werden (vgl. hierzu auch Kapitel 2).

Intensive Forschung wird hier Technologien hervorbringen, die Folgendes ermöglichen:

- Gewährleistung der Versorgungssicherheit, indem Energieüberschüsse aus schwankender Energieerzeugung durch Wind und Sonne abgenommen und gespeichert werden und gespeicherter Strom bereitgestellt wird, wenn der Bedarf die aktuelle Produktion übersteigt.
- Einsparung von Kraftwerken, indem kurzzeitiger hoher Energiebedarf (sogenannte Lastpeaks) nicht durch neue Umwandlung von Energie ausgeglichen werden muss, sondern gespeicherte Energie aus Zeiten von Energieüberschuss (starker Wind, geringer Bedarf) zur Verfügung gestellt wird.

6.2.1.2 Umsetzung von Grundlagenwissen in technologische Lösungen

An deutschen Universitäten und Forschungseinrichtungen werden zahlreiche erfolgversprechende Forschungsergebnisse erzielt, deren kommerzielle Umsetzung nicht immer erfolgt. Die Ursachen hierfür sind vielfältig: Bisweilen fehlt es an Know-how für die Vermarktung. Zudem liegen oftmals keine Analysen zu wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Auswirkungen vor. Hierzu zählen auch Umsetzungsrisiken neuer Technologien in die Wertschöpfungskette. Das BMBF schafft deshalb Anreize, Grundlagenergebnisse kontinuierlich im Kontext des Energiesystems zu bewerten und zu ordnen sowie mit den Bedarfsträgern abzustimmen. Hierzu gehört auch die direkte Einbindung von Kompetenzen zum Technologietransfer in die Grundlagenforschung.

6.2.1.3 Bereitstellung von Systemanalysekapazitäten

Der Umbau des Energiesystems ist mit vielen Unwägbarkeiten verbunden. Bisher ist grundlegendes Systemwissen nur unzureichend vorhanden, das eine Beurteilung der technischen, sozialen, politischen, kulturellen und wirtschaftlichen Wechselwirkungen des Umstellungsprozesses im Hinblick auf künftige Forschungs- und Technologiebedarfe ermöglicht. Die Ergebnisse dieser systematischen Betrachtungen werden über das geplante zentrale Informationssystem der Bundesregierung Wirtschaft und Politik als Entscheidungsgrundlagen an

die Hand gegeben. Um die Herausforderungen zu meistern, vor die der Umbau der Energieversorgung die Bundesrepublik Deutschland und die Staaten der europäischen Gemeinschaft stellt, müssen alle verfügbaren Expertisen gebündelt, Wissen und Erfahrung optimal genutzt und Lösungsoptionen gemeinsam unter Berücksichtigung aller relevanten Systemaspekte bewertet werden. Das BMBF wird dazu im Rahmen seiner Zuständigkeit seinen Beitrag leisten.

6.2.1.4 Koordinierte und konzertierte Forschungsförderung

Das BMBF strebt bei der Umsetzung der eigenen Förderschwerpunkte im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms verstärkt eine enge, ressortübergreifende, wenn eben möglich konzertierte Forschungsförderung in möglichst vielen Förderbereichen an.

6.3 Grundlagenforschung Energieeffizienz

Im Kontext der Klimaproblematik und der Verknappung fossiler Brennstoffe wird der Ausbau der Erneuerbaren Energien präferiert. Um dem steigenden Energiebedarf zu begegnen, gilt es daneben, Energie effizienter einzusetzen, um den Verbrauch zu reduzieren, ohne dabei auf Lebensqualität verzichten zu müssen. Die Maßnahmen reichen von modernen regenerativen und fossilen Kraftwerken über energieeffiziente Motoren, Haushaltsgeräte und Industrieprozesse bis zur Gebäudesanierung. Viele Technologien stehen bereits zur Verfügung und können daher den Ausstieg aus der Kernenergie unterstützen. Weiterführende Optionen müssen für die Zukunft erforscht werden.

Im Bereich der Forschung müssen neue Effizienzpotenziale identifiziert und Konzepte zur Nutzung entwickelt werden, um Effizienzpotenziale möglichst vollständig auszuschöpfen. Priorität hat dabei kurzfristig der effiziente Verbrauch elektrischer Energie. Die Ausrichtung der Forschungsförderung orientiert sich an der Erzielung größtmöglicher Effizienzsteigerungen in der Industrie sowie im Gebäude- und

Verkehrsbereich. Energieforschungspolitik und intelligente Ressourcenpolitik gehen Hand in Hand. Energieforschung zur Verbesserung der Energieeffizienz bedarf in besonderer Weise einer engen Verzahnung von Grundlagenforschung und angewandter Forschung. Das BMBF engagiert sich im Rahmen seiner Zuständigkeit zum Teil innerhalb und zum Teil auch außerhalb des Energieforschungsprogramms (siehe auch Kapitel 3.1). Wichtige Themen sind:

- Im industriellen Sektor liegen nach wie vor enorme Einsparpotenziale. Die Forschung zielt auf eine Analyse der gesamten Prozesskette. Daraus sind innovative Logistik- und Produktionskonzepte abzuleiten. Im gezielten Einsatz von Schlüsseltechnologien - etwa neuer oder verbesserter Materialien und Prozesse oder Elektromotoren - liegen erhebliche Effizienzpotenziale, die es zu nutzen gilt (z.B. energieeffizienter Leichtbau). Materialinnovationen bieten ein hohes Potenzial, industrielle Prozesse auf allen Wertschöpfungsebenen mit erheblich höherer Leistung bei gleichzeitig reduziertem Ressourceneinsatz zu realisieren. Zur Energie- und Ressourceneffizienz wird die Grundlagenforschung auf diesem Weg signifikante Beiträge leisten.

- Im Gebäudebereich brauchen Heizung, Kühlung, Warmwasserbereitung, Beleuchtung, Ventilation und IT zu viel Energie. Die Forschung nimmt diese Herausforderung an und hat die Entwicklung neuer Energieversorgungssysteme sowie die grundlegende Entwicklung neuer Technologien, Komponenten und Materialien (z. B. im Bereich LED und organische LED) als Ziel. In diesem Bereich kommt auch der sozio- ökologischen Forschung (SÖF) eine große Bedeutung zu. Es gilt, sinnvolle Anreize zu entwickeln, damit Effizienzgewinne die Verbraucher nicht zu mehr Energieverbrauch animieren (Rebound-Effekt), und die Wirkung von regulatorischen bzw. informatorischen Maßnahmen zu untersuchen.

- Im Verkehrssektor werden bisher überwiegend fossile Brennstoffe genutzt. Im Rahmen der „Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie“ der Bundesregierung werden die mittel- und langfristigen Potenziale fossiler und alternativer Kraftstoffe sowie innovativer Antriebstechnologien für den Verkehrsbereich ermittelt. Um wertvolle Rohstoffe zu schonen und die CO_2-Emissionen zu senken, liegt ein Schwerpunkt von Forschung und Entwicklung auf dem Thema Elektromobilität (Batterie- und Brennstoffzellentechnologie), alternative Antriebs- und Fahrzeugkonzepte sowie auf der Optimierung des Gesamtverkehrssystems. Erhebliches Einsparpotenzial elektrischer Energie jenseits technologischer Innovation liegt zudem in der Veränderung von Verbraucherverhalten.

- Energieeffizienz ist eng verknüpft mit Ressourceneffizienz. Energieintensive Unternehmen sind besser in die Lage zu versetzen, ihre jeweiligen Produktionsprozesse energieeffizienter zu gestalten und gleichzeitig innovative und weltmarktfähige Produkte zu entwickeln, herzustellen und zu betreiben. Forschungsbedarf ergibt sich bei der Entwicklung einer energieeffizienten Fertigungs- bzw. Verfahrenstechnik und bei der Entwicklung der dazu notwendigen Maschinen- und Anlagentechnik. In Bezug auf chemische Prozesse ist die Erforschung geeigneter Katalysatoren meist der Hebel, Energie in erheblichem Maße einzusparen.

6.3.1 Die CO_2-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt

Das Zukunftsprojekt „Die CO_2-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt“ der Hightech- Strategie ebnet beispielgebend den Weg in eine CO_2-neutrale Gesellschaft. Städte und Kommunen haben eine zentrale Rolle beim Umbau der Energieversorgung. Als Anbieter und Verbraucher sind sie Keim-

zelle und Motor insbesondere beim Aufbau dezentraler Strukturen.

In diesem Schwerpunkt werden Konzepte und deren Validierung gefördert, die es Kommunen, Städten und Gemeinden bereits bis zum Jahr 2020 ermöglichen sollen, CO_2-neutral zu werden. Ziel sind mindestens 30 CO_2-neutrale Kommunen in Deutschland.

Ergebnisse der Grundlagenforschung werden hierbei Beiträge zu folgenden Aspekten leisten: Integration von Energie- und Effizienztechnologien, Planungs- und Bilanzierungsinstrumente, Marktanreize für neue Dienstleistungen, neue Finanzierungsmodelle, z. B. bei der Gebäudesanierung und Überprüfung von Genehmigungsverfahren.

Um Synergien der Grundlagenforschung mit der anwendungsnahen Forschung im Rahmen verwandter Förderbereiche zu nutzen, plant die Bundesregierung eine ressortübergreifende Initiative „Solares Bauen - Energieeffiziente Stadt“, die im Kapitel 2 beschrieben ist.

6.3.2 Klimaschutz: Intelligenter Umgang mit CO_2

Eine moderne Energieforschungspolitik betrachtet alle technologischen Optionen. Dabei gilt es, Wege im Einklang von öffentlicher Meinung, Forschungsinteressen und wirtschaftlichen Chancen zu finden. Hier ist insbesondere der intelligente Umgang mit Kohlenstoffdioxid zu nennen.

Langfristig ist unser Ziel eine CO_2-neutrale Energieversorgung. In vier Bereichen werden Beiträge zur Erreichung dieses Zieles geleistet:

6.3.2.1 Neue Vermeidungsstrategien

Erneuerbare Energien werden ausgebaut, wodurch weniger fossile Brennstoffe zur Deckung unseres Energiebedarfs notwendig sind und weniger CO_2 emittiert wird. In mobilen Anwendungen bieten kohlenstofffreie Energieträger (wie Wasserstoff) oder aus erneuerbarem Strom gewonnenes Methan das Potenzial, fossile Kraftstoffe abzulösen. Entscheidend ist, dass diese Energieträger CO_2-neutral bereitgestellt werden.

6.3.2.2 Geschlossene Kohlenstoffkreisläufe

Nur wenn CO_2 als einzige Quelle zur Produktion von kohlenstoffhaltigen Kraftstoffen („carbon fuels“) verwendet wird, können diese Kraftstoffe klimaneutral genutzt werden. Dies kann zum Beispiel auf Bioenergie zutreffen. Pflanzen nehmen in der Photosynthese CO_2 auf, aus dem sie Biomasse „produzieren“. Gelingt es, diese Biomasse oder daraus hergestellte Kraftstoffe zur Energiegewinnung zu nutzen, ist das frei werdende CO_2 klimaneutral.

6.3.2.3 Zukunftsweisende Nutzungsoptionen

Der Kohlenstoffkreislauf ist nicht auf den Energiebereich beschränkt. Fossile Rohstoffe werden z. B. in großem Umfang als Ausgangsstoff in der chemischen Industrie eingesetzt. Zum einen ist das Wertschöpfungspotenzial von CO_2 weiter zu erschließen, z. B. als chemischer Baustein, aus dem Rohstoffe für die Industrie hergestellt werden können. Die Vernetzung von Energiebereitstellung und stofflicher Nutzung bietet großes Potenzial. Daher kann zum anderen die heimische Braunkohle, nachdem sie nicht mehr als Energieträger genutzt wird, als Rohstoff dienen. Entsprechende Vorbereitungen für eine CO_2-arme Kohlechemie sind daher notwendig.

6.3.2.4 Speicherung

Es muss diskutiert werden, den CO_2-Ausstoß fossiler Kraftwerke und energieintensiver Industrieanlagen drastisch zu senken. Die Speicherung von abgeschiedenem CO_2 (Carbon Capture and Storage, CCS) bietet hierzu eine Option. Nach den erfolgversprechenden Arbeiten am CO_2-Testspeicher Ketzin und mit den Ergebnissen aus standortunabhängigen Forschungsarbeiten (u. a. zu den chemischen Reaktionen des CO_2 mit seinen Umgebungsgesteinen) muss die Forschung vor allem auf Pilot- und Demonstrationsstandorte ausgeweitet werden, damit belastbare Aussagen für großskalige Vorhaben hinsichtlich der Prozesse im Untergrund, der dauerhaften Sicherheit der Speicher und der Machbarkeit getroffen werden können. Diese Ergebnisse sind entscheidend für die Beurteilung über den Einsatz der Technologie in der Zukunft.

6.3.3 Ausrichtung von Querschnittsaktivitäten auf prioritäre Anwendungsbereiche

Grundlagenforschung im Bereich der Querschnittstechnologien umfasst neue Materialien und Werkstoffe, Nanotechnologien, Informations- und Kommunikationstechnologien und Umwelttechnik. Forschungsergebnisse aus diesen Bereichen werden insbesondere auf folgenden Feldern der Energieforschung wichtige Impulse geben:

- Gebäudebereich: Neue Materialien zur Dämmung, dünne, belastbare und transparente Materialien zum Einsatz von Photovoltaik an Fassaden und Fenstern, Mikrosystemtechnik zur Integration energieautarker Mikrosysteme.
- Stromnetze: Informations- und Kommunikationstechnologie zur Realisierung von intelligenten Netzen (z. B. Anpassung von Stromverbrauch an das Angebot).

- Photovoltaik: Nanotechnologie für neue Strukturen bei Grenzflächen, um Licht möglichst effizient einzukoppeln; Einsatz von optischen Technologien zur Umsetzung der Nanostrukturierung, Produktionstechnologie.
- Windenergie: Neue Werkstoffe für Windkraftanlagen, Informations- und Kommunikationstechnologie zur Steuerung von Offshore-Wind- kraftanlagen.
- Thermische Speicher: Neue Materialien und
- Werkstoffe als Basis für neue Technologien (z.B. Hochtemperaturwerkstoffe), Wärmeüberträgermedien.
- Chemische Speicher: Neue Materialien und Prozesse zur Wasserspaltung (die sich für intermittierenden Betrieb eignen).

6.4 Grundlagenforschung Erneuerbare Energien

Die Erreichung der Klimaziele der Bundesregierung erfordert interdisziplinäre Grundlagenforschung in erheblichem Umfang. Die Forschung wird breit aufgestellt, um möglichst viele Optionen für energiepolitische Entscheidungen bereitstellen zu können. Die Förderung des BMBF im Bereich Erneuerbare Energien ergänzt die anwendungsorientierte Forschungsförderung des BMU.

Die Grundlagenforschung

- schafft die Wissens- und Technologiebasis, um Lösungen für den Weg in das Zeitalter der Erneuerbaren Energien zu finden,
- entwickelt zusätzliche Lösungsalternativen, mit denen unvorhergesehenen Entwicklungen begegnet werden kann,
- liefert Ideen für eine Weiterentwicklung oder auch Substitution marktgängiger Technologien, Verfahren und Prozesse,
- verbessert das grundlegende Verständnis von energieübertragenden Prozessen auf molekularer Ebene, da solche Prozesse fast allen Energietechnologien zugrunde liegen. Grundlagenforschung zu diesen Themen bildet die Basis für die Optimierung bestehender Verfahren und die Entdeckung und Entwicklung ganz neuer Technologien.

6.4.1 Neue Techniken und Lösungen für den Netzausbau

Der Ausbau der Energienetze (insbesondere der Stromnetze) schafft die Voraussetzung für weiter steigende Anteile der Erneuerbaren Energien im Energiemix. Fragestellungen zur Energieübertragung, -Verteilung und -Speicherung in einem Energienetz mit dezentraler sowie zeitlich fluktuierender Energieeinspeisung sind zu lösen. Die Reduktion von Übertragungs- und Umwandlungsverlusten sowie die Gewährleistung von Wettbewerb, Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität bilden künftige Herausforderungen. Unter anderem wird die Grundlagenforschung zur Entwicklung von verlustarmen Netzkonzepten gefördert, die es erlauben, auf Schwankungen und Störungen flexibel zu reagieren.

Intelligente Netze bringen fluktuierende Erneuerbare Energiequellen und natürliche Nachfrageschwankungen in Einklang. Zur Realisierung sind auch weitere Forschungsanstrengungen der Grundlagenforschung im Bereich Optimierung der Nachfragesteuerung („Demand Side Management“) sowie des Einsatzes von Informations- und Kommunikationstechnologien notwendig. Der Bedarf an Energie soll so gesteuert werden, dass die Bürgerinnen und Bürger in ihren Verbrauchsgewohnheiten nicht eingeschränkt werden. Ein Kühlschrank der neuen Generation nutzt dann z. B. bevorzugt Energie, wenn sehr viel Energie im Netz zur Verfügung steht, also wenn z. B. starker Wind weht.

Die Förderung der Grundlagenforschung erfolgt im Wesentlichen im Rahmen der ressortübergreifenden Forschungsinitiative „Netze“ (vgl. Kapitel 2).

Förderschwerpunkte umfassen die Bereiche Komponenten, Netzauslegung sowie Sicherheit und gesellschaftliche Aspekte:

6.4.1.1 Komponenten

- Neue Leitermaterialien, neuartige Kernmaterialien, innovative Isolationsverfahren,
- Entwicklung und Erprobung neuer kabelloser Übertragungstechniken,
- Entwicklung und Erprobung neuer hochtemperatursupraleitender Materialien mit hoher Strombelastbarkeit, verbesserter Performance und Kostenreduktion.

6.4.1.2 Netzauslegung

- Weiterentwicklung von Analysemethoden des Netzausbaubedarfs, Einsatz dynamischer Modelle, Einbindung geografischer Informationssysteme, neuartige Modellierungsverfahren,
- Netzauslegung für fluktuierende Energieeinspeisung in Hinblick auf Energieeffizienz und Netzstabilität, ganzheitliche Modellbildung der technischen Funktionsweise des Smart Grids.

6.4.1.3 Sicherheit und gesellschaftliche Aspekte

- Begleitende wissenschaftliche Untersuchungen zu gesellschaftlichen Auswirkungen eines verstärkten Netzausbaus,
- Entwicklung von Vermeidungsstrategien zum Einsatz seltener Ressourcen im Netz- und Komponentenbereich.

- In Ergänzung der anwendungsnahen Forschung sind Beiträge der Grundlagenforschung auch zu folgenden Bereichen vorgesehen:
- Dynamisierung von Übertragungskapazitäten, wie dem Betrieb an der physikalischen Grenze, Hochtemperaturfreileitungsseilen und dem Freileitungsmonitoring,
- Verlustreduktion bei Transport (Leitungstechnik) und Umspannung (Leistungselektronik).

6.4.2 Speicher für mehr erneuerbaren Strom

Energiespeicher ermöglichen die Entkopplung von Stromerzeugung und -nutzung. Energie, die nicht genutzt werden kann, wird gespeichert und in Zeiten von hohem Bedarf (sogenannten Lastpeaks) wieder eingespeist. Auf diese Weise wird Versorgungssicherheit bei reduziertem Kraftwerkspark möglich.

Die Entwicklung neuartiger Speichertechnologien und -konzepte hat daher höchste Priorität. Dabei sind alle Varianten und Kombinationen auszuschöpfen. Aktuell sind dies elektrische, thermische, mechanische und stoffliche Speichertechnologien. Kernaufgabe der Grundlagenforschung ist die Erweiterung und Verbesserung der grundlegenden Verständnisse der Speicherprozesse.

In allen Technologiebereichen wird die Entwicklung und Umsetzung neuer Konzepte und Innovationen mit dem Ziel gefördert, die Speichereffizienz zu erhöhen, die Kosten zu reduzieren und passende Speicher für jedes Einsatzgebiet zur Verfügung zu haben. Aus heutiger Sicht erscheinen z. B. stoffliche Speicher (wie Methan oder Wasserstoff) vielversprechend für eine saisonale Speicherung.

Unter anderem werden folgende Themen adressiert:

Fortschritte im Bereich der Elektrochemie werden zu effizienteren Konversionsprozessen (Speicherung und Verstromung) bei elektrischen und stofflichen Speichern führen. Die Untersuchung von Reaktionen an Grenzflächen ist hier fundamental. Erkenntnisse aus diesem Bereich können auch zur Entwicklung einer flexibleren Prozessführung genutzt werden.

- Ein detailliertes Verständnis thermochemischer Mechanismen und die Entwicklung thermisch stabiler Elektroden sind Voraussetzung, um Schnellladefähigkeit und Sicherheit elektrischer Speicher zu realisieren.
- Neue Materialien können zur Verbesserung zahlreicher Anwendungen führen. So versprechen beispielsweise Phasenwechselmaterialien höhere Speicherdichten von thermischen Speichern und der Einsatz von organischen Materialien im Elektrolyten höhere Zellspannungen und Energiedichten in Redox-Flow-Batterien.
- Ein weiterer wichtiger Schwerpunkt liegt in der Entwicklung von Simulationsverfahren für die Verwendung von Speichern im Stromnetz. Es gilt hier u. a., systemanalytische Untersuchungen zu den Wechselwirkungen der Strom- und Gasnetze unter Berücksichtigung von Speichern mit Umwandlung der Energieform durchzuführen.
- Aufgrund der strategischen Bedeutung der Energiespeicherung für das zukünftige, auf erneuerbaren Energien basierende Energiesystem gibt es hierzu auch eine ressortübergreifende Förderinitiative (siehe Kapitel 2).

6.4.3 Photovoltaik: Strom aus Sonnenenergie

Die Grundlagenforschung umfasst sowohl Projekte im Bereich Silicium-Wafer- und Dünnschichttechnologie als auch in der organischen Photovoltaik. Hauptziele sind allgemein die Erhöhung des Wirkungsgrades (Stichwort: Solarzellen der dritten Generation) und der Lebensdauer (z. B. Verkapselung organischer Solarzellen) sowie die Entwicklung kostensenkender Verfahren über die gesamte Wertschöpfungskette.

Die grundlegenden wissenschaftlichen Herausforderungen liegen in dem Verständnis der Licht-Materie-Wechselwirkungen und der Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie.

Folgende Aspekte stehen im Fokus:

- Optimierung von Lichteinkopplung und Photonenmanagement,
- Optimierung der Absorption z. B. durch hochstrukturierte Absorber und Nanostrukturen (Solarzellen der dritten Generation),
- Entwicklung moderner Zellkonzepte, wie der Entwicklung von Stapelsolarzellen, die eine optimale Ausnutzung des solaren Spektrums ermöglichen,
- Verständnis von Degradationsmechanismen und Entwicklung von Vermeidungsstrategien,
- eine Kombination von Simulationen und physikalischen Analysen.

Dieses Wissen schafft die Grundlage für zukünftige Weiterentwicklungen. Neue Materialien, verbessertes Photonenmanagement sowie optimierte Herstellungsprozesse werden zur Senkung der Kosten, zu einer Steigerung des Wirkungsgrads und letztlich dem Erreichen der Netzparität beitragen. Hiervon wird der Photovoltaik-Markt neue Impulse erhalten. Das Landschaftsbild wird sich durch diese Entwicklungen nicht ändern. Aber der Nutzen der Photovoltaik für Bürgerinnen und Bürger wird steigen. Jedes moderne Photovoltaikmodul wird bei gleicher Flächennutzung mehr Strom produzieren und somit zum Gelingen der Energiewende beitragen. Mit der organischen Photovoltaik werden zudem neue Anwendungsgebiete erschlossen. Flexible, leichte, semi-

transparente Solarzellen werden neue Anwendungsmöglichkeiten in Gebäudefassaden, Fenstern und im mobilen Einsatz eröffnen.

6.4.4 Nutzung biologischer Ressourcen zur Energieerzeugung

Bioenergie kommt unter den erneuerbaren Energien ein besonderer Stellenwert zu, da mit ihr die Stromproduktion gezielt reguliert werden kann. Für Bioenergie ist daher eine geringere Speicherkapazität notwendig als für die fluktuierenden Energiequellen Sonne und Wind. Das quantitative Potenzial der Bioenergie muss hierbei systematisch analysiert werden. Unter anderem ist die Frage zu stellen, wie die Energiebilanz bei Verwendung von Importbiomasse aussieht.

Bioenergieforschung reicht von Biomasseproduktion über die energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse und die Produktion von Biokraftstoffen bis zu systemischen Aspekten, wie der Nahrungsmittel-Konkurrenz, Übernutzung von Böden und Bioökonomie. Die Grundlagenforschung konzentriert sich auf die Untersuchung, Modellierung und Optimierung von Umwandlungsprozessen. Ziel ist es, die grundlegenden Prozesse zur Produktion von Biomasse (Zellmaterial), Biokraftstoffen (z. B. Methan/Wasserstoff) und von stofflichen Verbindungen (chemische Verbindungen für industrielle Prozesse) zu verstehen und auf einander abstimmen zu können. Die Ergebnisse tragen dazu bei, den Gesamtprozess zu optimieren. Auf diese Weise werden auch CO_2-Einsparungspotenziale optimal genutzt.

Weitere Schwerpunkte der Grundlagenforschung werden in folgenden Bereichen gesehen:

- Screening von Mikroorganismen zur Erschließung neuer Substrate,
- Untersuchung des Einflusses der Substrate auf Stoffwechsel- und Produktionswege. Auch der Einfluss auf Emissionen und die Energiebilanz ist hier zu thematisieren,
- Verständnis der Entwicklung mikrobiologischer Lebensgemeinschaften unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen legt die Basis für die Prozessoptimierung,
- Entwicklung innovativer Verfahren zum Recycling von Phosphor- und Stickstoff-Verbindungen.

Die Grundlagenforschung wird unter Berücksichtigung von Skaleneffekten und unter systemischen Gesichtspunkten vorangetrieben. Das schließt die

Forschung zu Nutzungspotenzialen im Hinblick auf die Belastung von Umwelt und Natur sowie Ernährung ein.

6.4.5 Weitere Potenziale der Windenergie erschließen

Windenergie leistet schon heute den größten Beitrag zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen. Im Zuge der beschleunigten Energiewende gilt es gezielt Grundlagenforschung zu fördern, die schnell Relevanz für die Anwendung entfalten kann. Hier liegen die kurzfristig wirkenden Schwerpunkte auf grundlegenden Materialentwicklungen, theoretischen Modellierungen sowie Techniken zur Ferndiagnostik und Reparatur. Damit sollen Beiträge zur Verringerung des Wartungsaufwands, zur Erhöhung der Zuverlässigkeit, zur Effizienzsteigerung und letztlich zur Kostensenkung geleistet werden. Dabei greifen die Forschungsförderung des BMBF und des BMU ressortspezifisch ineinander.

Im On- und Offshore-Bereich bestehen große Ausbaupotenziale, die kurz- bis mittelfristig genutzt werden können. Um langfristig neue Potenziale zu erschließen, werden innovative Konzepte gefördert, die sich noch in einem technologisch vorgelagerten Stadium befinden, wie etwa fliegende Windkraftanlagen.

Aufgrund des zu erwartenden großen Anteils der Windenergie für unsere zukünftige Versorgung ist es außerdem eine Aufgabe der Grundlagenforschung, Beiträge für Zukunftskonzepte für Windkraftanlagen zu entwickeln.

Folgende Förderschwerpunkte werden gesetzt:

- Windphysik: Turbulenzforschung (groß-, meso- und kleinskalige Windturbulenzen),
- Material:
  - alternative Lösungen für die Anlagenkomponenten, mit denen sich die Abhängigkeit von knappen Ressourcen verhindern lässt (Naben, Rotor, Trag- und Gründungsstrukturen sowie für die Peripherie),
  - verbesserte Materialien (z. B. Laminate, Harze, Metallverbünde).
- Netzintegration: Entwicklung neuer Modellierungsansätze der Netzintegration von Windstrom (Leistungsfluktuation mit vielen Extremwerten).

6.4.6 Solarthermie, Photosynthese und Wasserkraft

Die Grundlagenforschung zielt darauf ab, technologische Alternativen verfügbar zu machen, die zum Gelingen der Energiewende beitragen können und die es uns in Zukunft erlauben, auf unvorhersehbare Entwicklungen zu reagieren. Hier sind u. a. folgende Bereiche zu nennen:

6.4.6.1 Thermische Solarenergienutzung, z. B. „concentrated solar power“ (CSP)

Sonnenenergie wird genutzt, um ein Trägermedium zu erhitzen, das anschließend für die Stromproduktion eingesetzt werden kann. In Solartürmen werden beispielsweise Flachspiegel der Sonne nachgeführt, um die Sonnenenergie auf die Spitze eines Turms zu bündeln. Dort werden sehr hohe Temperaturen (>1.000 °C) erreicht, die letztlich über Dampfproduktion zur Stromerzeugung in einer Turbine genutzt werden.

Schwerpunkte der Forschung sind allgemein in den Bereichen Kostensenkung und Effizienzsteigerung zu sehen. Fokus der Förderung im Grundlagenbereich ist auch hier in erster Linie die Materialforschung, aber auch die Entwicklung neuer Konzepte. Beispielsweise hat die Kopplung an einen zweiten Energieträger das Potenzial, einen Wirkungsgradabfall bei schlechten Witterungsbedingungen (oder sonnenarmen Standorten) zu vermeiden.

6.4.6.2 Photosynthetische Energiegewinnung

Die Photosynthese ist die Grundlage des Lebens auf unserer Erde. Pflanzen nutzen in ihren Blättern Sonnenenergie für den Aufbau von Zuckern, die das Wachstum ermöglichen. Als Nebenprodukt entsteht Sauerstoff, der uns erlaubt zu atmen. Forscher arbeiten daran, den Photosynthese-Apparat im Detail zu verstehen und nutzbar zu machen.

Kernaufgabe ist das Verständnis der beteiligten Elementarprozesse zur Wasserspaltung. Eine weitere Aufgabe ist das Verständnis der beteiligten Proteine (in erster Linie Photosystem II), um langfristig eine industrielle Nutzung zu ermöglichen. Die Energiegewinnung kann beispielsweise durch die Kopplung von biomimetischem Nachbau an die Produktion von Wasserstoff oder Strom erfolgen, die in einer Art „biologischen“ Solarzelle erfolgt.

6.4.6.3 Wasserenergie

Pumpspeicher-Kraftwerke stellen derzeit quasi die gesamte Speicherkapazität zur Verfügung. Steht bei starker Sonneneinstrahlung und starkem Wind viel Energie zur Verfügung, speichern sie Energie, die bei Bedarf wieder zur Verfügung steht. Wasserenergie wird in Zukunft auch durch andere technologische Konzepte genutzt werden können. Zum Beispiel könnten langsam laufende Rotoren kontinuierlich Strömungsenergie umwandeln und mit technologischem Fortschritt wird die Nutzung von Wellen- und Gezeitenenergie steigen. Außerdem könnten Kraftwerke an der Mündung von Flüssen ins Meer Energie aus den unterschiedlichen Salzgehalten nutzen. Grundlagenforschung kann helfen, das Potenzial unterirdischer Pumpspeicher (z. B. stillgelegter Bergwerke) zu erschließen.

6.5 Wissensbasierte Systemanalysen

Mit grundlegenden kontinuierlichen Systemanalysen, Technologie-Monitoring und Transformationsforschung ist es möglich, die gegenwärtige Situation und künftige Entwicklungen des gesamten Energiesystems abzubilden. Forschung schafft die Voraussetzung und Wissensgrundlagen, um Änderungen des Zusammenwirkens von technologischen, wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und regulatorischen Aspekten im Energiesystem zu verstehen und hierauf angemessen reagieren zu können. Dabei werden bei der Vorhersage einer sicheren Energieversorgung neben technologischen Entwicklungen auch die soziokulturellen Rahmenbedingungen einzubeziehen sein. Das BMBF wird dazu im Rahmen seiner Zuständigkeiten einen Beitrag leisten.

Systemanalysen und Ansätze der Transformationsforschung werden den technologischen Umbau der Energieversorgung kontinuierlich begleiten. Sie sollen der durch die erneuerbaren Energien erheblich gestiegenen Komplexität Rechnung tragen.

Es geht dabei um folgende Ziele:

- Technologische und systemische Herausforderungen beim Umbau unseres Energiesystems frühzeitig zu identifizieren, Lösungswege zu entwickeln, daraus konkreten Bedarf an Grundlagen- und Vorsorgeforschung abzuleiten sowie Machbarkeit von Technologien auszuloten.
- Vernetzungspotenziale und -notwendigkeiten in Wissenschaft und Wirtschaft sowie den Bedarf an thematischen Wissenschaftsnetzwerken aufzuzeigen und diese - in Abstimmung mit den forschungsfördernden Ressorts - effizient zu strukturieren.
- Szenarien und Prognosen zu entwickeln, die die Auswirkungen des wachsenden Anteils erneuerbaren Quellen auf die Lebens- und Wirtschaftsbedingungen aufzeigen.

Im Rahmen kontinuierlicher Systemanalysen wird das BMBF parallel zu BMU und BMWi einen Energietechnologie-Radar zur Identifizierung grundlegender zukünftiger Forschungsbedarfe etablieren. Dadurch sollen grundlegende technologische Lücken aufgedeckt sowie neue technologische Optionen aufgespürt und bewertbar gemacht werden.

6.6 Energieforschung und Gesellschaft

Die Umsetzung der Energiewende setzt flexible Strategien voraus, die adaptiv auf die kurzfristigen Änderungen der weltweiten ökonomischen, sozialen, kli-

matischen und technologischen Rahmenbedingungen reagieren können.

Der notwendige permanente Transformationsprozess wird sich stärker als bisher auf das gesamte Spektrum von der Energieerzeugung bis zum Transport erstrecken und erhebliche Änderungen der Lebens-, Arbeits-, Konsum- und Produktionsweisen für den Bürger mit sich bringen.

Der langfristig angelegte Umbau unseres Energiesystems kann nur gemeinsam mit den Bürgerinnen und Bürgern gelingen.

An vielen Orten in Deutschland arbeiten Wissenschaftler an Technologien für eine nachhaltige Energieversorgung und einer Antwort auf die Klimaproblematik.

Neue Projekte und neue Technologien treffen oft auf mangelnde Akzeptanz in der Bevölkerung. Die Förderung des BMBF in diesem Bereich zielt darauf ab, die Ursachen und Faktoren hierfür aufzuzeigen sowie Methoden und Instrumente für eine transparente und Vertrauen schaffende Kommunikation mit dem Bürger in Technologiefragen zu entwickeln.

Ein zentraler Aspekt der Forschungsförderung ist die Betrachtung der Relevanz kultureller Faktoren sowie tradierter Lebensweisen bei der gesellschaftlichen Bewertung neuer oder auch etablierter Energietechnologien.

Wissenschaftliche Expertise soll dazu genutzt werden, Methoden und Verfahren zu entwickeln, die darauf abzielen, Bürgerinnen und Bürger an energiewirtschaftlichen Entscheidungsprozessen zu beteiligen sowie deren zentrale Fragen im Bereich von Wissenschaft, Forschung und Technologie beantworten zu können. Umgekehrt soll ermöglicht werden, dass entsprechende Fragen und Wissensbedarf e frühzeitig in die Konzeption und Ausgestaltung von Förderinitiativen einfließen.

Für diese Zielsetzungen sind Konzeptionen für entsprechende Dialogverfahren und Kommunikationsplattformen zu entwickeln. Hierzu wird insbesondere das Instrument der „Bürgerdialog Studien“ erprobt und weiterentwickelt werden. Die Besonderheit der „Bürgerdialog Studien“ liegt darin, dass technologische Fragestellungen unter Berücksichtigung regionaler Randbedingungen sowie des Wissensbedarfes der beteiligten Interessengruppen unter Zuhilfenahme unabhängiger fachlicher Expertise beantwortet werden.

6.7 Nukleare Sicherheits- und Entsorgungsforschung und Strahlenforschung

Durch die Geschehnisse in Japan vom März 2011 hat sich die objektive Sicherheitslage der deutschen Kernkraftwerke nicht verändert. Allerdings hat der Unfall in großen Teilen unserer Gesellschaft eine Neubewertung des akzeptablen Risikos ausgelöst und zu einer breiten Zustimmung zu einem beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland geführt

Die nukleare Sicherheitsforschung wird kontinuierlich fortgesetzt. Das BMBF fördert mit seiner nuklearen Sicherheits- und Entsorgungsforschung die Ausbildung wissenschaftlichen Nachwuchses und trägt auf diese Weise dazu bei, dass Deutschland auch in Zukunft über die nötigen Experten und ausreichend Fachkompetenz verfügt, um:

- Die Sicherheit des Betriebes deutscher Kernkraftwerke bis zum endgültigen Ausstieg der Kernenergie beurteilen sowie gewährleisten und laufend an den jeweils neusten Stand von Wissenschaft und Technik anpassen zu können.
- Bei der Definition von internationalen Sicherheitsstandards und Regelwerken gestaltend Einfluss nehmen und damit deutsche Sicherheitsinteressen bei der Errichtung neuer Kernkraftwerke und anderer kerntechnischer Anlagen außerhalb unserer Grenzen wahren zu können.
- Endlagersysteme so zu entwickeln, dass eine langfristige Sicherheit erreicht wird. Dazu ist ein langfristiger Kompetenzerhalt notwendig. Neue Konzepte der Tiefenlagerung einschließlich der Rückholbarkeit und der oberirdischen Lagerung sind zu entwickeln.

Die Nachwuchsförderung des BMBF in der Reaktorsicherheits- und Entsorgungsforschung ist dabei eng mit der Projektförderung des fachlich verantwortlichen BMWi verknüpft. Vor dem Hintergrund des deutschen Atomausstieges ist es mehr denn je erforderlich, Nachwuchsförderung nicht nur auf nationale Kooperationen zu beschränken.

Im Bereich der Reaktorsicherheit werden die wissenschaftlichen Grundlagen für die sicherheitstechnische Beurteilung des Betriebs von Kernreaktoren vertieft. Hierbei stehen vor allem physikalisch-mathematische Modellierungen sowie die Entwicklung neuartiger Diagnoseverfahren für die Bestimmung des Reaktorzustands im Vordergrund.

Im Bereich der Entsorgungsforschung geht es um die Entwicklung von Konzepten und Technologien für die Behandlung und Entsorgung unterschiedlichster radioaktiver Abfälle. Für die in Deutschland favorisierte Option der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen gilt es sicherzustellen, dass eine Mobili-

sierung der radioaktiven Substanzen weitgehend ausgeschlossen werden kann. Auch Teilschritte von Verfahren zur effektiven Abtrennung von langlebigen Radionukliden aus hochradioaktivem Abfall werden thematisiert. Dies gilt auch für den Rückbau kerntechnischer Anlagen.

Im Bereich der Strahlenforschung als weiterem Bestandteil der nuklearen Sicherheitsforschung wird durch die wissenschaftliche Arbeit in Verbundprojekten zu biologischen, biochemischen, medizinischen und radioökologischen Fragestellungen eine systematische und kontinuierliche Nachwuchsförderung sichergestellt, um das wissenschaftliche Niveau langfristig zu sichern und den zukünftigen Bedarf an Fachleuten mit hoher Kompetenz zu decken.

6.8 Fusionsforschung

Die Kernfusion bildet das Grundprinzip der Energieerzeugung der Sonne nach. Zwei leichte Wasserstoffisotope, Deuterium und Tritium, verschmelzen miteinander und setzen Energie und als Nebenprodukt das Edelgas Helium frei. Gelingt der Schritt in die Anwendung, wären die Vorzüge vielfältig: Der Brennstoff ist nahezu unbegrenzt verfügbar, der Prozess ist praktisch klimaneutral und es entsteht weniger und kurzlebigerer radioaktiver Abfall als in herkömmlichen Kernkraftwerken. Die Kernfusion ist eine Option für die langfristige Energieversorgung unserer Welt, die über die Zeiträume des Energiekonzeptes hinausreichen.

Die Fusionsforschung ist nicht Bestandteil des Energiekonzeptes der Bundesregierung, weil ihre Erforschung über den Zeitraum des Jahres 2050 hinausreichen wird. Verantwortungsvolle Forschungsförderung bedeutet daher aber auch, langfristige Entwicklungen im gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technologischen Bereich zu verfolgen. Vor diesem Hintergrund wird die Erforschung der Kernfusion gefördert. Werden die wissenschaftlichen und technischen Herausforderungen bewältigt, könnte die Kernfusion einen wichtigen und grundlastfähigen Beitrag für die Energieversorgung der Zukunft liefern. Aus diesem Grund arbeitet Deutschland mit europäischen Partnern beim Aufbau des internationalen Forschungsreaktors ITER zusammen, der erstmalig mit einem brennenden Fusionsplasma im 500-MW-Bereich die Machbarkeit der Energiegewinnung aus Fusionsprozessen demonstrieren soll.

Zur technischen Realisierung der Kernfusion werden zwei Konzepte für den magnetischen Einschluss des Fusionsplasmas verfolgt: das Tokamak- und das Stellaratorprinzip. ITER beruht auf dem Tokamakprinzip. Mit dem Bau des weltweit größten und fortgeschrittensten Stellaratorexperiments, Wendelstein 7X, in Greifswald, soll insbesondere die Kraftwerkstauglichkeit dieses Anlagentyps demonstriert werden. Stellaratoren können anders als Tokamaks aufgrund ihres anderen magnetischen Einschlusskonzepts von vorneherein im Dauerbetrieb arbeiten, sind momentan aber noch nicht so gut erforscht.

6.9 Institutionelle Energieforschung

Das BMBF ist für wesentliche Teile der institutionellen Energieforschung federführend. Mit dem Pakt für Forschung und Innovation erhalten die Organisationen der gemeinsam geförderten Forschungseinrichtungen finanzielle Planungssicherheit und den nötigen Spielraum, um trotz steigender Kosten dynamische Entwicklungen weiter voranzutreiben. Durch institutionelle Förderung werden an den beteiligten Forschungseinrichtungen in Deutschland einzigartige wissenschaftliche Arbeitsbedingungen geschaffen. Erst hierdurch wird die kontinuierliche Bearbeitung langfristiger und grundlegender Fragestellungen im Energiebereich möglich, die die Basis für eine nachhaltige Energieversorgung legen.

6.9.1 Institutionelle Förderung im Rahmen des Energieforschungsprogramms

Bei der institutionellen Energieforschung steht die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren im Vordergrund. Sie ist Teil des Energieforschungsprogramms (siehe auch Kapitel 3.2.4). Allein die institutioneile Förderung der HGF durch das BMBF beläuft sich im Energiebereich jährlich auf rund 250 Mio. €, das BMWi fördert das HGF-Zentrum DLR mit knapp 20 Mio. € pro Jahr.

6.9.1.1 Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF)

Im Forschungsbereich Energie arbeiten Helmholtz-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an zentralen Herausforderungen der Energieversorgung:

- die Energieversorgung langfristig und nachhaltig sichern,
- ökonomisch und ökologisch tragbare Lösungen erarbeiten,
- kurz- bis mittelfristig geht es um die Senkung des Energieverbrauchs, die Minderung der Importabhängigkeit sowie die Erforschung neuer Speichertechnologien und Möglichkeiten zum Klimaschutz,
- langfristiges Ziel ist die vollständige Substitution begrenzt vorhandener Energieträger durch nachhaltig, dauerhaft und klimaneutral nutzbare Energieträger.

Zur Bearbeitung werden eigene Forschungsprogramme definiert. Aktuell sind für den Energiebereich relevant: Erneuerbare Energien, Rationelle Energieumwandlung und -nutzung, Technologie, In-

novation und Gesellschaft, Kernfusion, Nukleare Sicherheitsforschung

6.9.2 Weitere institutionelle Förderung

Neben der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren gibt es weitere Einrichtungen, die durch das BMBF gefördert werden, aber außerhalb des Energieforschungsprogramms Energieforschung betreiben. Zu den wichtigsten Institutionen gehören die Fraunhofer-Gesellschaft, Max-Planck- Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften und Leibniz-Gesellschaft.

6.9.2.1 Fraunhofer-Gesellschaft (FhG)

Die FhG setzt im Energiebereich folgende Schwerpunkte:

- Nachhaltigkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung,
- Energieumwandlung,
- Energie- und Ressourceneffizienz,
- Elektromobilität.

Einen zentralen Beitrag leistet hier die „Fraunhofer-Allianz Energie“, in der mehr als 1500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an diesen Themen arbeiten. Innerhalb der Allianz sind die aktuellen Geschäftsfelder: Erneuerbare Energien, Effizienztechnologien, Gebäude und Komponenten, Intelligente Energienetze sowie Speicher- und Mikroenergietechnik. Darüber hinaus werden gezielt Initiativen, z. B. zum Bereich Ressourceneffizienz, durchgeführt (u. a. Innovationscluster „Maintenance, Repair and Overhaul“).

6.9.2.2 Max-Planck-Gesellschaft (MPG)

Die MPG sieht folgende Kernaufgaben:

- bisherige Energiequellen besser auszuschöpfen,
- neue Energiequellen zu erschließen,
- Energieeffizienz zu steigern,
- Vorräte und Ressourcen der Erde besser zu nutzen,
- Kohlenstoffkreislauf und den Effekt auf das Klima zu verstehen.

Zur Zielerreichung fasst die MPG energierelevante Forschungsbereiche unter dem Dach „Forschungsperspektiven 2010+“ zusammen. Hierzu zählen: Forschen für eine nachhaltige Energieversorgung, komplexe technische Systeme, Kohlenstoffkreislauf im Erdsystem, Katalyseforschung, Aufbruch in die Nanowelt sowie Licht & Materie.

6.9.2.3 Leibniz-Gesellschaft (WGL)

Innerhalb der WGL bearbeiten renommierte Institute energie- und klimarelevante Fragestellungen. Aktivitäten sind vor allem in den Bereichen „Energie- und Ressourceneffizienz“ und „Materialentwicklung“ konzentriert.

Weitere Schwerpunkte liegen in der Entwicklung von Nachhaltigkeitsstrategien und gesamtwirtschaftlichen Wirkungsanalysen, der Klimafolgenforschung sowie der Entwicklung von Katalysatoren.

Die Bundesregierung erwartet, dass die institutionell geförderte Energieforschung ihren Beitrag zur künftigen Anpassung und grundlegenden Modernisierung der deutschen Energieversorgung leistet.

Die institutionell geförderten Forschungskapazitäten werden im Dialog zwischen Forschungseinrichtungen, Bund und Ländern auf aktuelle Forschungsbedarfe ausgerichtet.

6.9.2.4 Transparente Forschung

Um die größtmögliche Transparenz zu erreichen, wird das BMBF mit den Ressorts eine „Landkarte der Energieforschung“ erarbeiten. Hierzu wird eine systematische Bestandsaufnahme durchgeführt. Parameter sind beispielsweise: Akteure und Ansprechpartner, Forschungskapazitäten und finanzielle Mittel, Themenschwerpunkte und Grad der Vernetzung mit anderen Wissenschafts- und Wirtschaftspartnern. Ein Aspekt ist beispielsweise die Verzahnung von Universitäten und Helmholtz-Instituten.

6.9.2.5 Ausrichtung der Forschungskapazitäten

Durch Systemanalysen wird das BMBF weitere Forschungsbedarfe ermitteln und diese in die institutionelle Forschungsförderung zur Bearbeitung einbringen. Strukturelle Stärken und Potenziale der Energieforschung, Vernetzungschancen und -notwendigkeiten in Wissenschaft und Wirtschaft sowie der Bedarf an thematischen Wissenschaftsnetzwerken werden aufgezeigt.

Beschleunigte Innovationsprozesse und die Fähigkeit, notwendige Durchbrüche im Energiebereich so schnell wie möglich erzielen zu können, erfordern Brückenschläge zwischen Grundlagenforschung und Anwendung. Sowohl richtungsweisende Pionierforschung als auch rasche Fortschritte in der Kommerzialisierung von Ideen sind wichtiger denn je. Ziel ist es, die Forschungslandschaft auf prioritäre Themen zu fokussieren, Kapazitäten zu bündeln und strukturbildende Impulse für den gesamten Forschungsprozess zu setzen.

Das BMBF wird bei der Formulierung von konkreten forschungspolitischen Vorgaben im Rahmen der programmorientierten Förderung der HGF im Energiebereich mitwirken. Im Rahmen der programmorientierten Förderung (POF) werden in 5-jährigem Rhythmus Forschungsziele für die Helmholtz-Gesellschaft erarbeitet. Die Vorgaben und Ziele orientieren sich an den Themenprioritäten der Bundesregierung, wie sie im Energieforschungsprogramm festgelegt sind.

Das BMBF wird in seinen energierelevanten Bereichen die Projektförderung und institutionelle Förderung stärker als bisher aufeinander abstimmen.

Dazu werden neue Formen der Zusammenarbeit in der Energieforschung entwickelt, um vorhandene Kapazitäten zu bündeln, den Transfer von Ergebnissen der Grundlagenforschung in die Praxis zu beschleunigen und eine neue Qualität in der Kooperation zwischen staatlichen, öffentlichen, privaten und institutionell geförderten Einrichtungen zu erreichen. Eine hohe Flexibilität in der Organisation und im Management sowie eine zeitlich befristete Zusammenarbeit sind Kennzeichen dieses neuen Förderansatzes.

Eine hochskalierte und -integrative Projektförderung ist beabsichtigt, die multi- und transdisziplinär ausgerichtet ist. Dabei sollen die jeweils besten Kompetenzen vernetzt werden, die notwendig sind um konkrete Lösungen für aktuelle Herausforderungen im Energiebereich bereitzustellen. Im Fokus stehen zunächst „No Regret“-Forschungsschwerpunkte (u. a. Effizienz, Speichertechnologien). Die Forschungsthemen sollen insbesondere zur CO_2-Reduktion, zu einer Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung und/oder einer Steigerung der Energieproduktivität beitragen.

Das BMBF wird in einen kontinuierlichen, strategischen Programmdialog mit der Wissenschaftslandschaft eintreten. Durch regelmäßige Dialogforen mit institutionell geförderten Forschungseinrichtungen sowie Akteuren der Energieforschungslandschaft wird die Bearbeitung von Themen koordiniert und kohärent ausgestaltet.

Das BMBF unterstützt die „European Energy Research Alliance“. In dieser sind führende Energieforschungsorganisationen aus zehn europäischen Ländern zusammengeschlossen. Zusammen verfügen die beteiligten Organisationen im Bereich der Energieforschung über ein Jahresbudget von über 1,3 Mrd. €. Deutschland ist durch Forschungseinrichtungen und Universitäten vertreten. Die Initiative versteht sich als Beitrag zum SET-Plan.

6.10 Haushaltsmittel

Siehe Tabellen 6.10.1 und 6.10.2.

7. Leitfaden für die Projektförderung

Die Projektförderung richtet sich an Unternehmen, Forschungsinstitute und Universitäten. Sie erfolgt in Form von Zuwendungen für Forschungsvorhaben, die im Markt nicht realisierbar sind, bzw. für Projekte, die eine erste praktische Anwendung verbesserter oder neuer Energietechnologien demonstrieren wollen. Die Projektförderung ist ein Instrument zur Unterstützung von thematisch und zeitlich abgegrenzten Vorhaben mit hohem Risiko und von bundesweitem Interesse. Sie wird nur in den Fallen eingesetzt, in denen der Markt in absehbarer Zeit die neuen technischen Entwicklungen nicht von selbst erbringen kann.

Die Projektförderung erfolgt häufig in Form der Verbundforschung, bei der Hochschulen und Forschungsinstitute im Verbund mit Unternehmen vorwettbewerblich Zusammenarbeiten. Ziel ist, durch eine arbeitsteilige, übergreifende Bearbeitung komplexer und nur längerfristig zu lösender Problemstellungen bestehende Energietechnologien zu verbessern bzw. neue Energietechnologien zu entwickeln.

7.1 7.1 Voraussetzungen

Dieser Leitfaden soll einen ersten Überblick über die Rahmenbedingungen der Förderung geben. Genauere Einzelheiten zu den Fördermodalitäten werden in ressortspezifischen Förderrichtlinien bzw. Förderbekanntmachungen veröffentlicht, die sicherstellen, dass die Fördermittel im öffentlichen Interesse und nach den gesetzlichen Vorgaben verwendet werden.

Die Themen, die gefördert werden können, sind in dem 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ beschrieben. Allerdings können nicht immer alle aufgeführten Themen auf breiter Front gefördert werden. Das Programm gibt jedoch den Rahmen, formuliert die Grundzüge der Förderpolitik und bildet die Basis, auf deren Grundlage die Förderentscheidungen getroffen werden. Ein Rechtsanspruch auf Gewährung einer Zuwendung besteht nicht. Die Bewilligungsbehörde entscheidet aufgrund ihres pflichtgemäßen Ermessens im Rahmen der verfügbaren Haushaltsmittel.

Für den Antragsteller ist es wichtig zu beachten, dass die Zuständigkeit für die projektorientierte Förderung von Forschung und Entwicklung im Energiebereich bei verschiedenen Ministerien liegt (s. Abschnitt 1.4).

Ob das einer Projektidee zugrunde liegende Thema gefördert wird, können im Einzelfall nur die zuständigen Ministerien und die von diesen mit der Umsetzung des Forschungsprogramms beauftragten Projektträger entscheiden. Die Projektträger prüfen jedes beantragte Vorhaben auf seinen Innovationsgehalt sowie fachliche Kompetenz und Bonität des Antragstellers. Darüber hinaus bewerten sie den möglichen Beitrag, den das Vorhaben zu den förderpolitischen Zielen des Energieforschungsprogramms leisten kann. Sind diese Kriterien in allen Punkten in ausreichendem Maße erfüllt, kommt eine Förderung in Betracht. Die endgültige Förderentscheidung fällt das zuständige Ministerium.

Antragsberechtigt sind in Deutschland produzierende Unternehmen - insbesondere KMU -, Hochschulen sowie in Deutschland ansässige außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und andere Institutionen bzw. juristische Personen. Das Vorhaben muss in der Regel in Deutschland durchgeführt und verwertet werden. Ferner müssen Antragsteller grundsätzlich einen Eigenanteil in das Forschungsprojekt einbringen.

7.2 Ressortübergreifende Förderinitiativen

Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht die Entwicklung und Umsetzung von gemeinsamen Förderinitiativen in Schlüsselthemen oder in Bereichen mit ressortübergreifenden Fragestellungen vor (siehe hierzu auch das Kapitel 2). In einem ersten Schritt werden Förderinitiativen zu den Themen „Speicher“ und „Netze“ sowie „Solares Bauen - energieeffiziente Stadt“ durchgeführt. Weitere Förderschwerpunkte für eine ressortübergreifende Zusammenarbeit sind denkbar. Die gemeinsamen Förderinitiativen zeichnen sich durch ein breites Themenspektrum, hohe Komplexität und durch Fragestellungen aus, die eine intensive Zusammenarbeit von Grundlagenforschung, angewandter Forschung und technologischer Entwicklung für eine erfolgreiche Abwicklung der Maßnahme erfordern.

Aus diesem Grund wird für die konkrete Umsetzung der gemeinsamen Initiativen jeweils ein zentrales Programmmanagement vorgesehen. Ein Element des Programmmanagements ist eine gemeinsame Anlaufstelle, die erste fördertechnische Anfragen beantwortet und alle Projektideen entgegennimmt. Die Projektideen werden entsprechend den vorgeschlagenen inhaltlichen Themen den beteiligten Res-

	Ist	Soll	Plandaten 1)		
	2010	2011	2012	2013	2014
Projektförderung					
Energieeffizienz	12.094	15.300	15.800	16.300	12.300
Erneuerbare Energien	16.291	18.700	18.200	17.700	18.623
Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung	9.055	10.000	10.000	10.000	10.000
Fusionsforschung	8.341	11.000	14.000	14.000	11.000
Energie- und Klimafonds	-	15.000	11.500	47.900	61.000
Summe	**45.781**	**70.000**	**69.500**	**105.900**	**112.923**

Tabelle 6.10.1: Projektförderung BMBF (Tsd. Euro)

	Ist	Soll	Plandaten 1)		
	2010	2011	2012	2013	2014
Projektförderung					
Rationelle Energieumwandlung und -nutzung	46.125	41.080	41.804	42.696	43.479
Erneuerbare Energien	37.739	42.431	43.272	44.290	45.332
Nukleare Sicherheitsforschung	29.508	29.741	30.236	30.850	31.478
Kernfusion	122.690	137.148	138.655	140.611	142.599
Technologie, Innovation, Gesellschaft	7.283	7.745	7.793	7.872	7.950
Summe	**243.345**	**263.341**	**285.437**	**300.581**	**290.365**

Tabelle 6.10.2: Institutionelle Förderung BMBF: Helmholtz-Gemeinschaft (Tsd. Euro)

1) Zahlen Bundeshaushalt stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament
Die Fördermittel für den Energie- und Klimafonds stehen noch unter Vorbehalt

sorts bzw. den jeweiligen Fördertiteln zugewiesen. Die konkrete Bearbeitung der förmlichen Förderanträge erfolgt in der zweiten Stufe des Verfahrens bei den jeweils den Ressorts zugeordneten Einheiten der Projektträger. Hierdurch vereinfacht sich das Verfahren für den Antragsteller und die Gefahr von Doppelförderung kann bereits in einer frühen Phase des Prozesses vermieden werden.

7.3 Finanzielle Modalitäten der Projektförderung

Die Förderung erfolgt anhand von Zuwendungen. Rechtsgrundlage bildet die Bundeshaushaltsordnung (BHO) zusammen mit den Allgemeinen Verwaltungsvorschriften zur Bundeshaushaltsordnung (VV BHO), in denen die Voraussetzungen und Verfahrensabläufe geregelt sind. Darüber hinaus gilt über den Ge-

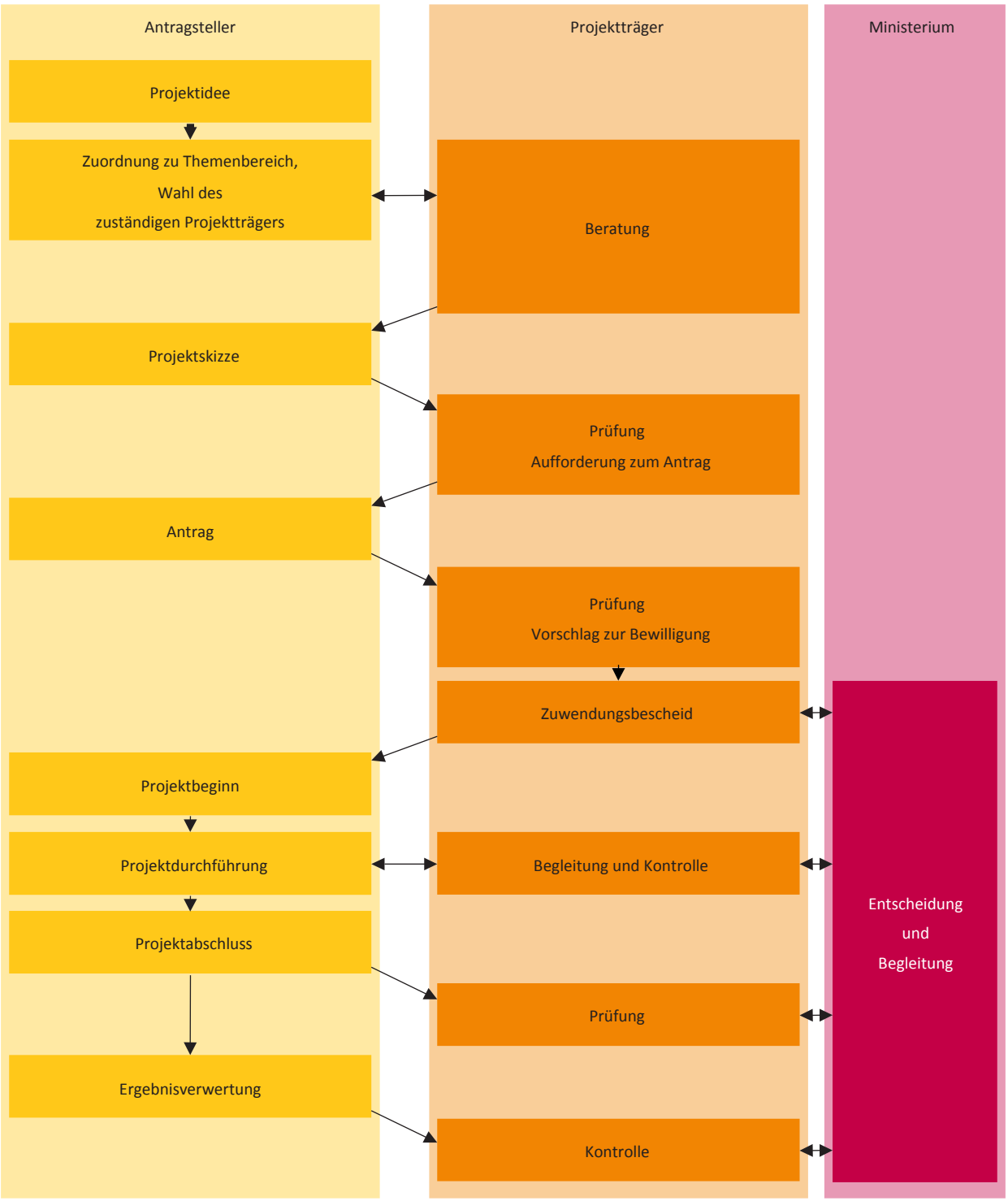


Abb. 7.1: Der Weg eines erfolgreichen Projektes

meinschaftsrahmen für staatliche For- schungs- und Entwicklungsbeihilfen auch das europäische Recht. Die Zuwendungen werden in Form von Teilfinanzierungen zur Anteils-, Fehlbedarfs- oder Festbetragsfinanzierung oder - in Ausnahmefällen - auch zur Vollfinanzierung eines Projektes gewährt.

Bei Antragstellern aus öffentlichen Einrichtungen sind die Projektausgaben Bemessungsgrundlage für die Höhe der Förderung. Bei Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft bilden die Projektkosten einschließlich der Gemeinkosten die Basis für die Förderung.

Die Förderquoten können maximal die durch den Gemeinschaftsrahmen für staatliche Beihilfen für Forschung, Entwicklung und Innovation der Europäischen Union vorgegebene Höhe annehmen, die z. B. bei anwendungsorientierten Projekten, wie sie in der Regel von Industrieunternehmen durchgeführt werden, 50 % der Kosten beträgt. Universitäten können mit einer Förderquote bis zu 100 % unterstützt werden. Ausschlaggebend für die Höhe der Förderquote sind nach dem Grundsatz des wirtschaftlichen und sparsamen Umgangs mit öffentlichen Mitteln auch das technisch-wissenschaftliche Risiko und das Bundesinteresse, das dem Vorhaben beigemessen wird.

7.4 Durchführung eines Projektes

Ein besonderes Anliegen der Bundesregierung ist es, Antragsteller ausführlich und kompetent über die Fördermöglichkeiten im Rahmen des Energieforschungsprogramms zu beraten. Eine erste Adresse für eine solche Beratung sind die Projektträger, die im Auftrag der jeweils zuständigen Ministerien mit der Umsetzung und Durchführung dieses Forschungsprogramms beauftragt sind (Übersicht der Projektträger und Hinweise zu weiteren Informationsstellen siehe Abschnitt 7.6).

Die Projektträger betreuen und begleiten die Projekte sowohl fachlich als auch administrativ von der ersten Kontaktaufnahme des Antragstellers über die Antragsgestaltung, Antragsprüfung, Förderentscheidung, Mittelauszahlung, Erfolgskontrolle, Schlussabrechnung bis zur Verwertung der Ergebnisse. Der Verlauf eines erfolgreichen Projektes von der Idee bis zur Ergebnisverwertung ist in Abb. 7.1 schematisch dargestellt.

7.5 Ergebnisverwertung

Notwendige Voraussetzung für den Erfolg eines Projektes ist die Sicherstellung der bestmöglichen Verwertung der Ergebnisse. Die Förderrichtlinien sehen deshalb bereits bei Antragstellung eine genaue Darlegung der späteren Verwertung der Ergebnisse in Form eines Verwertungsplans vor. Der Projektdurch- führende ist verpflichtet, eine Umsetzung dieses Verwertungsplans anzustreben. Als Gegenleistung erhält er die Rechte an der ausschließlichen Nutzung der Ergebnisse. Allerdings muss er bei Forschungsprojekten, bei denen eine gewerbliche Nutzung zu erwarten ist, gewährleisten, dass die erzielten Ergebnisse schutzrechtlich gesichert werden, denn es liegt im besonderen Interesse der Projektförderung, dass patentfähiges neues Wissen nach Möglichkeit zur Patentierung angemeldet wird. Die damit verbundenen Kosten sind bei kleinen und mittelständischen Unternehmen und öffentlichen Forschungseinrichtungen förderfähig. Darüber hinaus besteht eine generelle Veröffentlichungspflicht in Form von Konferenz- und/oder Fachliteraturbeiträgen.

7.6 Liste der Projektträger

Änderungen während der Programmlaufzeit sind Vorbehalten, da Projektträgerschaften in der Regel ausgeschrieben werden.

7.6.1.1 Energietechnologien einschl. Grundlagenforschung

Projektträger Jülich (PtJ)
Geschäftsbereich ERG Forschungszentrum Jülich GmbH 52425 Jülich
Tel.: 02461 61-4624, Fax: 0246161-2880 PTJ-ERG@fz-juelich.de, www.ptj.de

7.6.1.2 Erneuerbare Energien

Projektträger Jülich (PtJ)
Geschäftsbereich EEN Forschungszentrum Jülich GmbH 52425 Jülich
Tel.: 0246161-3172, Fax: 0246161-2840 PTJ-EEN@fz-juelich.de, www.ptj.de

7.6.1.3 Nukleare Sicherheitsforschung

PT Reaktorsicherheit Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH Postfach 1015 64,50455 Köln Tel.: 02212068-720, Fax: 02212068-629 reinhard.zipper@grs.de, www.grs.de

7.6.1.4 Nukleare Endlagerforschung, Nukleare Sicherheitsforschung und Strahlenforschung

Projektträger des BMBF und BMWi für Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE) Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Postfach 3640,76021 Karlsruhe
Tel.: 0721608-25790, Fax: 0721608-925790
www.ptka.kit.edu

7.6.1.5 Bioenergie

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

Hofplatz 1,18276 Gülzow
Tel.: 03843 6930-0, Fax: 03843 6930-102
info@fnr.de, www.fnr.de

8. Anhang

8.1 Weitere Informationsstellen

Förderberatung „Forschung und Innovation“ des Bundes
Projektträger Jülich (PtJ)
Forschungszentrum Jülich GmbH
Zimmerstraße 26–27, 10969 Berlin
Fax: 030 201 99-4 70

Beratungstelefon Forschungs- und Innovationsförderung
0800 2623-008 (kostenfrei)

Lotsendienst für Unternehmen
0800 2623-009 (kostenfrei)

beratung@foerderinfo.bund.de
www.foerderinfo.bund.de

NOW GmbH
Nationale Organisation Wasserstoffund Brennstoffzellentechnologie
Fasanenstraße 5, 10623 Berlin
Tel.: 030 311 61 16-00
Fax: 030 311 61 16-99
kontakt@now-gmbh.de
www.now-gmbh.de