

## Energieforschung für die Integration des Energiesystems

Das Energiesystem soll bis zum Jahr 2045 vollständig auf erneuerbaren Energien beruhen und die Versorgungssicherheit zu jedem Zeitpunkt und kosteneffizient gewährleisten. Die weitere Entwicklung des Energiesystems muss sich deshalb an den stark wachsenden Mengen wetterabhängiger, nur bedingt regelbarer erneuerbarer Energien orientieren. Die in der Vergangenheit dominierende Energiebereitstellung durch fossile Großkraftwerke wird zukünftig durch ein integriertes Energiesystem ersetzt, in dem das Zusammenspiel verschiedener Flexibilitätsoptionen kontinuierlich Angebot und Nachfrage ausgleicht. Ein solches Energiesystem ist auch die Voraussetzung, um eine grüne Wasserstoffwirtschaft aufzubauen.

Strategien für die nächsten Phasen der Energiewende müssen dafür eine ganzheitliche Betrachtung des Energiesystems mit Verknüpfungen der Wärme-, Strom- und Mobilitätssektoren in den Blick nehmen und neue Lösungen für die Flexibilisierung von Energieangebot und -nachfrage entwickeln. Deshalb muss die Bundesregierung mit Unterstützung der Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft wesentliche Aufgaben für die Integration des Energiesystems in Angriff nehmen.

Der erforderliche Systemumbau löst großen Handlungsbedarf für die technischen Komponenten, die Systemstabilität, die digitale Vernetzung und die regulatorische Steuerung aus. Zugleich braucht es eine breite Akzeptanz und Beteiligung der Gesellschaft für die notwendigen Veränderungen. Die Gesamtaufgabe lässt sich nur durch Kooperation der Akteure aus Forschung, Industrie, Politik und Gesellschaft bewältigen.

Während viele Einzeltechnologien der Energiewende heute schon weitgehend technisch erprobt sind, werden jetzt erst langsam die großen Herausforderungen bei ihrer Integration und der dadurch notwendigen Weiterentwicklung in ein zunehmend sektorenübergreifendes Gesamtenergiesystem deutlich.

Die Akteure der Energieforschung in Wissenschaft und Industrie verfügen über umfangreiche Expertise für diese Aufgaben und stellen Lösungen auf dem Weg zu einem integrierten Energiesystem bereit:

- Entwicklung von technischen Systemkomponenten
- Entwicklung von stabilisierenden Maßnahmen und zur Stärkung der Resilienz
- Entwicklung von Digitalisierungstools zur sicheren datenbasierten Vernetzung der Komponenten
- neue Strategien im Bereich der Regulatorik und des Marktdesigns, die integrierte Systemlösungen anreizen und unterstützen

Die zentrale Rolle der Systemintegration für die erfolgreiche Realisierung der Energiewende und die Lösungsbeiträge der Energieforschung sollten sich aus Sicht des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien (FVEE) auch im 8. Energieforschungsprogramm widerspiegeln.

**Deshalb empfiehlt der FVEE die Einordnung des Themengebiets Systemintegration als eigenständige „Mission“ im 8. Energieforschungsprogramm.**

Der FVEE schlägt vor, den anstehenden Handlungsfeldern bestimmte **Missionsziele** zuzuordnen, an denen sich die Forschungsförderung orientieren kann, um die Projektforschung in Wissenschaft und Industrie zielgerichtet auf die Realisierung der „Mission Systemintegration“ auszurichten.

## **Missionsziel M1: Bereitstellung technischer Lösungen zur Flexibilisierung und Stabilisierung der Energieversorgung**

Durch die Flexibilisierung des technischen Versorgungssystems lassen sich variable Verfügbarkeiten ausgleichen und damit höhere Anteile erneuerbarer Energien erreichen. Hier sind verschiedene technische Komponenten notwendig, die jede für sich, aber auch im Zusammenspiel weiterentwickelt und großskalig etabliert werden müssen. Im Mittelpunkt stehen Energiespeicher und -netze, PtX-Wandlungstechnologien, das Management flexibler Lasten, z.B. in der Industrie, sowie die erforderliche Steuerungs- und Regelungstechnik und die Stromrichtertechnik (s.u.). Forschung in Wissenschaft und Industrie muss diese Systemintegrations- und Sektorenkopplungstechnologien weiterentwickeln und deren Anwendung in realen Zusammenhängen, wie z. B. in den sogenannten Reallaboren und Living Labs, erproben und demonstrieren.

### **Missionsziel M1.1: Neue Stromrichtergeneration für eine stabile und wettbewerbsfähige Stromversorgung entwickeln und deren Markteinführung vorbereiten**

Innerhalb des technischen Versorgungssystems hat die Leistungselektronik eine zentrale Rolle für die zukünftige Stromversorgung. Stromwandler sorgen für eine effiziente und kostengünstige Energie-wandlung sowie eine Systemintelligenz in der Erzeugung (PV-Wechselrichter, Windumrichter), Speicherung (Batterie- & Brennstoffzellen-Wechselrichter, Elektrolyse-Gleichrichter), Übertragung und Verteilung (HGÜs, STATCOMs, Netzbooster), Mobilität (Ladeinfrastruktur für E-Fahrzeug), Wärmever-sorgung (Wärmepumpen-Antriebe), Verbraucher (drehzahlgeregelte Antriebe, IT/Rechenzentren, Be-leuchtung, ...). Strom passiert auf dem Weg von der Erzeugung bis zur Endnutzung zahlreiche leis-tungselektronische Wandlungsstufen. Der Bedarf an Leistungselektronik für Deutschland im Jahr 2045 für Erzeugung, Speicherung und Transport beläuft sich auf ca. 1 Terawatt (heute installiert: ca. 140 Gigawatt).

Mit der heutigen Stromrichtertechnologie stoßen wir bei der Systemintegration bereits heute an technische Grenzen. Um die Energiewende weiter voranzutreiben, müssen diese Grenzen überwun-den werden. Dabei ergeben sich die Hauptziele

- Gewährleistung eines sicheren Netzbetriebs
- Bewältigung des enormen Stromrichterbedarfs
- Erhalt bzw. Ausbau der internationalen Wettbewerbsfähigkeit

Beispiele für Forschungsthemen, die zu den Missionszielen M1 und M1.1 beitragen, sind:

- gemeinsam mit der Industrie und den Energieversorgern Steuerungs- und Regelungstechnik für das intelligente Zusammenspiel der Komponenten entwickeln und standardisieren (so-wohl Hardware als auch Software/Strategien/Konzepte)
- Darstellung der Versorgungssicherheit ohne Kern- und Kohlekraftwerke in allen Systemzu-ständen. Darstellung vollautomatisierter, dezentral erbrachter Systemdienstleistungen unter Einbeziehung von kleinskaligen Elementen wie privaten Endkunden.
- Untersuchung des Systems als kritische Infrastruktur im gesamten Transformationsprozess hinsichtlich Resilienz in Gefährdungs-/Störungsszenarien zur Minimierung der Gefahr eines Blackouts und zur Sicherstellung eines schnellen und effektiven Netzwiederaufbaus
- integrierte Energiesysteme gemeinsam mit Energieversorgern und kommunalen Akteuren auf lokaler Ebene erforschen und entwickeln; Erforschung kommunaler Energiequartiere (sogen. Open District Hubs), die durch digital vernetzte und lokal verankerte Energieversor-gungs- und Speicherkonzepte sowie hohe Anteile lokaler Versorgungsbeiträge bei zugleich systemdienlichem Verhalten gekennzeichnet sind
- gemeinsam mit der Industrie Power-to-X-Komponenten, -Systeme und -Konzepte weiterent-wickeln

- gemeinsam mit den Energieversorgern und den Netzbetreibern die Verknüpfung der Energienetze (Strom, Wärme, Gas) weiterentwickeln / Konvergenzmöglichkeiten von Strom- und Gasnetzen zur Erschließung von Power-to-Gas-Potenzialen erforschen
- Einbindung von Windenergie- und Photovoltaikanlagen für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen
- Stabilisierung und Resilienzsteigerung des Energiesystems durch geeignete Stromrichter- und Anlagenregelung
- multifunktionale Wärmespeicher und Wärmenetze zur nachhaltigen Nutzung von Umwelt- und Abwärme sowie zur Sektorenkopplung
- Quartiersnetze mit großen Wärmepumpen entwickeln
- technische Komponenten und regulatorische Strategien für vehicle-to-grid-Lösungen für Elektrofahrzeuge
- synergetisch wirkende Energiesysteme für klimaangepasste Quartierskonzepte

### **Missionsziel M2: Digitalisierung zur sicheren datenbasierten Vernetzung der Systemkomponenten**

Der effiziente Betrieb des komplexer werdenden Energiesystems basiert auf der umfangreichen Nutzung von Techniken und Methoden der Digitalisierung. Moderne Steuerungstechnik und Prognosemethoden ermöglichen die kurzfristige Abstimmung von Energieerzeugung, -speicherung und -verbrauch. Datenökosysteme schließlich erlauben den sicheren Betrieb des Gesamtsystems durch die Vernetzung sektorenübergreifender Erzeugungs- und Verbrauchslandschaft sowie über Übertragungs- und Transportmöglichkeiten aus technischer und ökonomischer Sicht.

Beispiele für Forschungsthemen, die zum Missionsziel M2 beitragen, sind:

- Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Automatisierungs- und Regelungstechnik für die voll automatisierte Bereitstellung (Erzeugung, Transport, Handel) von Energie
- Entwicklung von KI-gestützten Verfahren zur Prognose von Erzeugung, Verbrauch und Flexibilitätspotentialen unter Berücksichtigung von Nutzerverhalten und -anforderungen, komplexen Wettersituationen sowie dynamischen Veränderungen in der Systemlandschaft (z.B. sukzessive Integration neuer u.a. kleinskaliger Systemkomponenten), Entwicklung von KI-Methoden zur Synthetisierung und Anonymisierung energiewirtschaftlicher Daten
- Erforschung virtueller Kraftwerke als Zusammenschluss von mehreren Strom-Speichern und Anlagen zur Steuerung, Bündelung und bedarfsgerechten Einspeisung; Beiträge von virtuellen Kraftwerken zur Komplexitätsreduktion von verteilten Erzeugern, Speichern und flexiblen Lasten durch Bündelung und Steuerung im Kraftwerksmaßstab
- Entwicklung digitaler Assistenzsysteme für Netzbetriebsführung im Übertragungs- und Verteilnetzbetrieb zur Netzstabilisierung bei Höherauslastung
- Netz- und System- und Anlagenmodelle z.B. als digitale Echtzeit-Zwillinge weiterentwickeln
- Entwicklung von Methoden zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Sicherheit datengetriebener Methoden hinsichtlich automatisierter Erkennung von Fehlern, Qualitätsverlusten sowie Manipulationen
- Entwicklung spezifischer Datenökosysteme (z.B. GAIA-X) zur datenschutz- und rechtekonformen Nutzbarmachung verschiedenartiger Datenquellen, Bereitstellung verbesserter Meta-Informationen sowie Verhaltensprofile und Zeitreihen der aktuellen sektorenübergreifenden

Erzeugungs- und Verbrauchslandschaft sowie realistische Abbildungen zu erwartender Zubauten.

- Anreicherung von 3D-Gebäudemodellen mit Informationen der Heizungstechnologie, des Energieverbrauchs, der Energieerzeugung sowie -speicherung zur Digitalisierung in Wärmeversorgungsstrukturen.
- Verbesserung meteorologischer Mess-, Modell- und Prognosedaten zur Optimierung der Energieversorgung hinsichtlich Erzeugung (z.B. EE-Prognosen), Verbrauch (z.B. Temperaturabhängigkeit) sowie Übertragung (z.B. witterungsabhängiger Freileitungsbetrieb)

### **Missionsziel M3: Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens für die Umsetzung der Systemintegration**

Für ein Gelingen der Systemintegration müssen die Potenziale von intelligenten Gesamtlösungen über die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität hinweg gehoben und der Transaktionsaufwand für Genehmigung und Betrieb substantiell reduziert werden.

Der heutige Rechtsrahmen erweist sich für die Implementierung von Gesamtlösungen in Gebäuden, Quartieren und gewerblichen Betrieben als äußerst hemmend. Es gibt eine Vielzahl an Einzelregelungen, die sich vielfach an den eingesetzten Komponenten orientieren – von der Photovoltaikanlage, dem Blockheizkraftwerk über Speicher, Wärmepumpen bis hin zu Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität. Diese Komponenten-orientierte Logik der Regulierung muss durch eine Schnittstellen-orientierte Logik ersetzt werden: Es gilt das Subsidiaritätsprinzip, nach dem an der Schnittstelle zum übergeordneten Netz bestimmte Regeln und Qualitätsmerkmale einzuhalten sind, unterhalb derer aber eine flexible Systemgestaltung (Anreize, Rechte und Pflichten) erfolgen kann.

Beispiele für Forschungsthemen, die zum Missionsziel M3 beitragen, sind:

- Energiemarkt-Instrumente für Subsidiarität als Teil des Energiesystems entwickeln; Rechte und Pflichten der Betreiber von Vor-Ort-Systemen an den Schnittstellen zur vorgelagerten Ebene klären
- Weiterentwicklung des Marktprämienmodells
- regulatorische Anreize zur Flexibilisierung im Bereich der Biomasseverstromung erforschen
- regulatorische Instrumente für die Marktdurchdringung flexibler Hybridlösungen im Wärmebereich entwickeln
- das geplante Reallabor- und Freiheitszonengesetz konzeptionell mit Blick auf regulatorisches Lernen für Systemintegrations- und Sektorenkopplungstechnologien weiterentwickeln

### **Missionsziel M4: Gesellschaftliche Unterstützung für die Systemintegration**

Neben den geeigneten technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen und Maßnahmen ist die gesellschaftliche Akzeptanz und die Teilhabe eine zentrale Voraussetzung für die Umsetzung der Ziele der Energiewende und entsprechend auch für die hinreichende Flexibilisierung der Energieversorgung. Zielgruppen sind dabei einerseits private Stromverbraucher\*innen und kleine und mittlere Unternehmen (KMU), wenn es z.B. um die Bereitschaft geht, sich an Lastmanagementmaßnahmen zu beteiligen, andererseits mit Blick auf die übergeordneten gesellschaftlichen Fragen die Zivilgesellschaft als Ganzes.

Beispiele für Forschungsthemen, die zum Missionsziel M4 beitragen, sind:

- Erforschung gesellschaftlicher Akzeptanz und Beteiligung für Flexibilisierungstechnologien und -maßnahmen zur Veränderung der Energieerzeugung und -nutzung

- Erforschung von Living-Lab-Konzepten zur Einbindung der Verbraucher\*innen in Flexibilitätsoptionen (nutzerintegrierte Entwicklung von Produkt-Dienstleistungsangebote für Lastmanagement)
- ganzheitliche Bewertung von Flexibilitätstechnologien, insbesondere hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks (z.B. Ressourcenbedarf von Batterien) und das Aufzeigen von Maßnahmen und konkreten Fahrplänen zu dessen Verringerung (z.B. über Materialsubstitute, Recycling)
- Entwicklung niederschwelliger Teilhabemöglichkeiten zur Bereitstellung privater Flexibilitäten durch den Einsatz bestehender oder einfach zu implementierender Smart-Home-Anwendungen

### **Ansprechpartner\*innen in den FVEE-Mitgliedseinrichtungen**

technologische Aspekte:

- Prof. Dr. Carsten Agert | carsten.agert@dlr.de | + 49-441-99906-100
- Dr. Hans-Peter Ebert | hans-peter.ebert@cae-zeroarbon.de | + 49 931 70564-334
- Dr.-Ing. Federico Giovannetti | giovannetti@isfh.de | + 49 5151 999 501
- Prof. Dr. Hans-Martin Henning | hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de | 0761 45 88-51 34
- Torben Jersch | torben.jersch@iwes.fraunhofer.de | + 49 471 14290-408
- Prof. Dr. Marco Jung | marco.jung@iee.fraunhofer.de | + 49 561 7294-112
- Dr.-Ing. Reinhard Mackensen | reinhard.mackensen@iee.fraunhofer.de | + 49 561 7294-245
- Dr. Sönke Rogalla | soenke.rogalla@ise.fraunhofer.de | + 49 761 4588-5454
- Prof. Dr. Jörg Sauer | j.sauer@kit.edu | + 49 721 608-22400
- Prof. Dr. Detlef Stolten | d.stolten@fz-juelich.de | + 49 2461 61-3076
- Dr. Philipp Strauß | philipp.strauss@iee.fraunhofer.de | + 49 561 7294-144
- Prof. Dr. Daniela Thrän | daniela.thraen@ufz.de | + 49 341 2434-435
- Dr. Carolin Ulbrich | carolin.ulbrich@helmholtz-berlin.de | + 49 30 8062-18140

Digitalisierung und Energiesystemdesign:

- Prof. Dr. Veit Hagenmeyer | veit.hagenmeyer@kit.edu | + 49 721 608-29200
- Manuel Wickert | manuel.wickert@iee.fraunhofer.de | + 49 561 7294-369

regulatorischer Rahmen und Marktdesign:

- Juri Horst | horst@izes.de | +49 681 844 972-37
- Norman Gerhardt | norman.gerhardt@iee.fraunhofer.de | +49 561 7294-274

gesellschaftlicher Rahmen:

- Prof. Frank Baur | baur@izes.de | +49 681 844 972-59
- Prof. Dr. Manfred Fishedick | manfred.fishedick@wupperinst.org | +49 202 2492-121
- Dr. Patrick Jochem | patrick.jochem@dlr.de | +49 711 6862-687
- Prof. Dr. Paul Lehmann | paul.lehmann@ufz.de | +49 341 235 1076
- Prof. Dr. Fabian Scheller | fabian.scheller@cae-zeroarbon.de | +49 931 70564-448