

STELLUNGNAHME DES FRAUNHOFER ISE ZUR WEITER-ENTWICKLUNG DES ENERGIEFORSCHUNGSPROGRAMMS

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE begrüßt die missionsorientierte Ausrichtung des 8. Energieforschungsprogramms, das die Transformation zu einem klimaneutralen, resilienten Energiesystem bis 2045 adressiert.

Gestärkt werden sollten aus Sicht des Fraunhofer ISE insbesondere

- die Systemintegration und Realbetriebs-Perspektive,
- die Skalierung industrieller Technologien,
- die technologische Souveränität Europas,
- die Transformation zu einer klimaneutralen Industrie
- sowie die durchgehende Digitalisierung des Energiesystems.

Durch eine Anpassung der Programm- und Sprinterziele könnte das Energieforschungsprogramm noch stärker auf die entscheidende Phase der Umsetzung bis 2030 ausgerichtet werden. Im Folgenden werden Vorschläge für die Anpassung der Forschungsschwerpunkte sowie der Programm- und Sprinterziele der Missionen aus Sicht des Fraunhofer ISE beschrieben.

1 Forschungsmission Energiesystem

Programmziel 1 (Zielbild und Transformationspfade 2045)

- **Negativ-Emissions-Technologien** sollten als Forschungsthema adressiert und stärker im systemischen Umfeld untersucht werden. Insbesondere die Verknüpfung mit anderen Energietechnologien und Anwendungen ist zu analysieren.
- **Vorschlag für ein neues Unterziel 1.4 „Zielbild für das Energiesystem nach 2045 aufzeigen“:** Es sollten Szenarien eines Netto-Negativ-Pfads nach 2045 entwickelt und explizit die Rolle der dann notwendigen negativen Emissionen analysiert werden.

Programmziel 3 (Resilienz und Versorgungssicherheit)

- **Unterziel 3.3 „Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen reduzieren, Technologiesouveränität stärken“:** Leistungsfähige Innovationsökosysteme aus Forschungseinrichtungen, Industrie, Start-ups und Anwendern beschleunigen die Entwicklung, Skalierung und industrielle Umsetzung strategisch wichtiger Energietechnologien. Dadurch werden Technologieführerschaften in ausgewählten Zukunfts- und Nischenmärkten – beispielsweise bei Batteriedesigns mit unkritischen Materialien, Stromrichter für Mittelspannung oder gebäudeintegrierter Photovoltaik (BIPV) – aufgebaut und gesichert sowie die technologische Souveränität Deutschlands und Europas gestärkt.

Programmziel 4 (Nachhaltigkeit)

- **Unterziel 4.1 „Übergang von der linearen zur zirkulären Wirtschaft voranbringen“:** Emissionsarme Gewinnung sowie Rückgewinnung und Kreislaufführung von Rohstoffen und Wertstoffen sollte stärker berücksichtigt werden, z. B. Rohstoffgewinnung aus geothermalen Solen oder Wertstoffrückgewinnung aus industriellen Abwässern und Prozessfluiden. Hierzu ist FuE zur Prozessentwicklung und für einen emissionsarmen Betrieb von Prozessen notwendig.
- **Vorschlag für ein neues Unterziel 4.4 „Ressourceneffizienz und Kreislaufführung systemübergreifend optimieren“:** Die Transformation des Energiesystems erfordert neben der nachhaltigen Gestaltung einzelner Technologien und Wertschöpfungsketten eine gesamtsystemische Betrachtung von Stoffströmen, Ressourcenbedarfen und Kreisläufen. Forschungs- und Innovationsaktivitäten sollen daher darauf ausgerichtet werden, Ressourceneinsatz, Materialbedarfe und Stoffkreisläufe über Sektoren, Infrastrukturen und Technologiebereiche hinweg zu optimieren sowie Zielkonflikte und Synergien im Energiesystem frühzeitig zu identifizieren und zu nutzen.

Sprinterziele

- **Sprinterziel 1:** CO₂ als zusätzlichen Stoffstrom neben Strom-, Wärme-, Wasserstoffnetzen integrieren.
- **Vorschlag für ein neues Sprinterziel:** Bis 2030 CO₂-Abscheidungsprojekte aus der Atmosphäre im Mt-Maßstab.

2 Forschungsmission Wärme

Programmziel 1 (Wärme- und Kältebedarf in Gebäuden)

- **Solarthermische Großanlagen und hybride Wärmesysteme** sollten als Ergänzung zur bisherigen Fokussierung auf Wärmepumpen und Wärmenetze stärker berücksichtigt werden.
- FuE an Kälte- und Wärmepumpensystemen mit **natürlichen Kältemitteln** sollte gestärkt werden.
- **Vorschlag für ein neues Unterziel 1.6 „Wärmepumpen im Energiesystem systemisch integrieren“:** Dies umfasst die Interaktion dezentraler Wärmepumpen mit Stromsystem und Netzen sowie die Entwicklung netzdienlicher Betriebsstrategien im großen Maßstab.

Programmziel 2 (Wärme- und Kälteversorgung in Industrie und Gewerbe)

- **Solarthermische Großanlagen und hybride Wärmesysteme** sollten als Ergänzung zur bisherigen Fokussierung auf Wärmepumpen und Wärmenetze stärker berücksichtigt werden, bspw. durch stärkere Sichtbarkeit und Förderung großskaliger solarthermischer Systeme (insbesondere Industrie und Fernwärme) und durch Forschung an Kombinationen mit Wärmespeichern und Wärmepumpen.
- Die **Transformation der mittelständischen Industrie** sollte als Ergänzung zur bisherigen Fokussierung auf energieintensive Industrien und Grundstoffindustrien stärker in den Blick genommen werden.
- Forschung für die **Bereitstellung von Industrierwärme über 200 °C** ohne fossile Energieträger sollte stärker berücksichtigt werden. Dies umfasst bspw. die Technologieintegration von Hochtemperatur-Wärmepumpen, Solarthermie und Elektrifizierung sowie Systemanalysen für standortspezifische Lösungen.
- **Vorschlag für ein neues Unterziel 2.6 „Natürliche Kältemittel für ein breiteres Anwendungsspektrum in Industrie und Gewerbe erschließen“:** Forschung und Entwicklung treiben die Nutzung natürlicher Kältemittel in Anwendungen mit hohen Leistungsanforderungen, erweiterten Temperaturbereichen und neuen Einsatzfeldern voran. Dadurch werden klimafreundliche, energieeffiziente und sichere Kälte- und Wärmepumpensysteme verfügbar, die fluorierte Kältemittel zunehmend ersetzen und zur Defossilisierung sowie zur Minderung direkter Treibhausgasemissionen beitragen.

Programmziel 3 (Verteilen und Speichern von Wärme und Kälte)

- **Unterziel 3.1 „Wärmenetze auf regenerative und nachhaltige Wärmequellen umstellen“:** BECCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage), BCR (Biochar Carbon Removal) und WACCS (Bio-Waste Carbon Capture and Storage) sollten als (Fern-)Wärmequelle unter 3.1 verankert werden.
- **Unterziel 3.2 „Wärmenetztechnik und -regelung weiterentwickeln“:** Die Digitalisierung und Flexibilisierung der Fernwärme wird derzeit noch nicht ausreichend adressiert und sollte stärker im Fokus stehen.
- **Unterziel 3.4 „Effiziente großskalige Wärmespeicher entwickeln und optimieren“:** Bei der thermischen Energiespeicherung im saisonalen Maßstab sollte die Skalierung und Systemintegration von Großwärmespeichern sowie Wirtschaftlichkeits- und Betriebsmodelle unter realen Marktbedingungen stärker adressiert werden.

Sprinterziele

- **Sprinterziel 1:** Dieses Sprinterziel ist umstritten und könnte in der vorliegenden Form gestrichen werden. Auszug aus den [Handlungsempfehlungen](#) des 2. Workshops „Industrie- und Großwärmepumpen“ des Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe „Höhere Temperaturen gezielt fördern, gestaffelt von 100 bis 200 °C. Die Marktrelevanz von Anwendungsfällen über 200 °C wird von einem Großteil der Teilnehmenden als gering eingeschätzt.“
- **Vorschlag für ein neues Sprinterziel „Referenzprojekte für Industrierwärmepumpen“** (siehe auch [Handlungsempfehlungen](#) für das BMWE) unter Nutzung natürlicher Kältemittel:
 - Phase 1 – Reallabor Industrierwärmepumpen: Realisierung von ca. 10 Demonstrationsanlagen in Deutschland im Temperaturbereich 100 bis 200 °C mit enger wissenschaftlicher Begleitung.
 - Phase 2 – Weitere Referenzprojekte schaffen: 20-30 Projekte initiieren mit wissenschaftlicher Begleitung für Feldmonitoring und Verbreitung (ggf. 8. Energieforschungsprogramms plus Bundesförderung Industrie und Klimaschutz).
- **Vorschlag für ein neues Sprinterziel „Kälte“:** Bis 2030 sind Klimatisierungslösungen für kritische Gebäude (Krankenhäuser, Altenheime, etc.) verfügbar, die einfach, kostengünstig und gut integrierbar nachrüstbar sind, auf natürlichen Kältemitteln basieren und den europäischen Markt stärken.
- **Vorschlag für ein neues Sprinterziel „Nachhaltige Wärmepumpen“:** Bis 2030 modular aufgebaute Gebäude-Wärmepumpe mit mindestens 20% recycelten Materialien verfügbar.

3 Forschungsmission Strom

Programmziel 1 (Strom aus erneuerbaren Energien)

- **Unterziel 1.1 „Effizienz bei der Stromproduktion steigern und Kosten senken“:** Viele wesentliche Punkte zu diesem Unterziel sind schon gut im aktuellen Forschungsprogramm abgebildet. Die herausragende Rolle der Photovoltaik als Rückgrat des künftigen Stromsystems und als eine industriepolitische Schlüsseltechnologie Europas sollte allerdings noch stärker programmatisch hervorgehoben werden. Im Fokus der Forschung sollten vor allem die folgenden Aspekte stehen:
 - Photovoltaik-Produktion in Europa durch die Entwicklung von integrierten, hocheffizienten Wafer-, Zell- und Modulprodukten sicherstellen
 - Tandem-Photovoltaiktechnologie mit hoher Stabilität und niedrigen Herstellungskosten als nächste Photovoltaik-Generation entwickeln mit besonderem Fokus der auf die sich am schnellsten entwickelnden Perowskit-Siliziumtechnologie
 - Lebensdaueranalyse für neue Photovoltaik-Modulgenerationen stetig weiterentwickeln
 - Lokale Photovoltaik-Stromerzeugungsprognose verbessern, um Netznutzung zu optimieren
 - Einfluss des sich schnell ändernden Klimas auf die Photovoltaik-Erzeugung analysieren
- **Unterziel 1.3 „Nachhaltigkeit und Akzeptanz für Erneuerbare-Energie-Anlagen verbessern“:** Innovationen fördern bei Integrierter Freiflächen-Photovoltaik (Agri-, Biodiv-, Moor-, Schwimmend) zur doppelten Flächennutzung und ökologischen Flächenaufwertung

Programmziel 2 (Stabiles Stromnetz für zuverlässige Stromversorgung)

- **Unterziel 2.1 „Systemdienstleistungen durch erneuerbare Energien und Verbraucher bereitstellen“:** FuE zu bidirektionalem Laden sollte gestärkt werden. Diese betrifft die Wirkung auf die Batterie, auf verschiedene Netzebenen sowie die Netz- und Systemdienlichkeit.
- **Unterziel 2.2 „Netzplanung und -betrieb verbessern“:** Konzepte für effizientere Nutzung von Netzeinspeisepunkten sind zu entwickeln. Zudem sollte die Digitalisierung von Stromnetzen einschließlich des netzbetreiberübergreifenden Flexibilitätsmanagements stärker adressiert werden.
- **Unterziel 2.3 „Netzbetriebsmittel weiterentwickeln“:**
 - Solid State Transformer Technologien sind zur Marktreife zu bringen.
 - Mittelspannung ist ein Schlüssel zur ressourceneffizienten Integration erneuerbarer Energien ins zukünftige Stromnetz. Höhere Systemspannungen ermöglichen erhebliche Material-, Kosten- und Flächeneinsparungen und völlig neue Systemarchitekturen regenerativer Hybridkraftwerke, deren Einzelbausteine über die Mittelspannung miteinander verknüpft sind. Insbesondere Mittelspannungstechnologien für große Erzeuger und Verbraucher sind zu entwickeln.
- **Vorschlag für ein neues Unterziel 2.4 „Resilienz der Stromversorgung auf Verteilnetzebene erhöhen“:** Die Energieforschung schafft die Voraussetzungen, um die Resilienz der Stromversorgung auf Verteilnetzebene gegenüber technischen, cyberbedingten und geopolitisch verursachten Störungen zu erhöhen. Dezentrale Erzeugungsanlagen, Batteriespeicher und flexible Lasten sollen so weiterentwickelt und integriert werden, dass sie im Bedarfsfall eine stabile lokale Stromversorgung ermöglichen. Dazu sind technische, digitale und regulatorische Lösungen für den sicheren Inselbetrieb von Netzabschnitten, deren Wiedereingliederung in den Netzverbund sowie für den Einsatz netzbildender Wechselrichter zu entwickeln. Zudem sind Fragen der Interoperabilität, Standardisierung, Cybersicherheit und Systemintegration zu adressieren. Ziel ist der Aufbau resilienter Verteilnetzstrukturen, die einen Beitrag zur Versorgungssicherheit in einem dezentralen und klimaneutralen Energiesystem leisten.

Programmziel 3 (Strom effizient nutzen und speichern)

- **Unterziel 3.1 „Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe steigern“:**
 - Technologien für einen energieeffizienten und netzdienlichen Betrieb von Rechenzentren sind zu entwickeln.
 - Stromgetriebene CO₂-Abscheidung sollte als steuerbare Last weiterentwickelt werden.
- **Unterziel 3.2 „Stromspeichertechnologien weiterentwickeln“:** Folgende FuE-Aspekte sind essenziell für die Zielerreichung:
 - Entwicklung von Batterien mit PFAS-freien Materialsystemen
 - Verbesserung von Analysetools für die Zustandsbestimmung von Batterien
 - Weiterentwicklung des Batterieökosystems im Hinblick auf Technologiesouveränität sowie Material- und Ressourcensouveränität und Kreislaufwirtschaft auf allen Ebenen vom Material, über Batteriezellen und Module bis ins System
 - Erweiterung der FuE-Aktivitäten auf Materialien, Batteriezellen und Batteriemodule/-packs für mobile Anwendungen.

Programmziel 4 (Dezentrale Stromerzeuger und -verbraucher vernetzen)

- **Unterziel 4.2 „Sichere und effiziente digitale Kommunikation gewährleisten“:** Digitale Netzintegration mit einem Smart Metering 2.0 ist zu etablieren, das allen dezentralen Komponenten eine kostengünstige, standardisierte und sichere Netzintegration gestattet.

Sprinterziele

- **Vorschlag zur Anpassung von Sprinterziel 2:** Der Aufbau einer vollständigen Photovoltaik-Wertschöpfungskette in Deutschland und der EU zur Sicherung der Technologiesouveränität wird in den kommenden fünf Jahren durch intensive FuE-Begleitung insbesondere von skalierter und stabiler Perowskit-Silizium-Tandemtechnologie und hocheffizienten integrierten Modulprodukten unterstützt.
- **Neues Sprinterziel „Netzdienliches Rechenzentrum“:** Bis 2030 wird in Deutschland ein hocheffizientes, netzdienliches Rechenzentrum im industriellen Maßstab in Betrieb genommen, das flexibel auf Stromangebot und Netzanforderungen reagiert, erneuerbare Energien systemdienlich integriert und mindestens 80 % der anfallenden Abwärme für die Wärmeversorgung von Gebäuden, Quartieren oder industriellen Prozessen nutzbar macht. Damit wird ein skalierbares Demonstrationsvorhaben für die sektorübergreifende Kopplung von Strom-, Digital- und Wärmesystem geschaffen.

4 Forschungsmission Wasserstoff

Programmziel 1 (Grünen Wasserstoff und seine Derivate effizient erzeugen)

- Forschung und Demonstration richten sich auf grünen Wasserstoff als Zieltechnologie aus, sollten jedoch **technologieoffene Übergangspfade** berücksichtigen, sofern diese nachweislich zur schnellen Emissionsminderung, Versorgungssicherheit und Skalierung resilienter Wasserstoffwertschöpfungsketten beitragen.
- **Unterziel 1.3 „Alternative Wasserstofferzeugungsverfahren weiterentwickeln“:** Die aufgeführten photokatalytischen, photobiologischen, solarthermischen und solarthermochemischen Herstellungsverfahren werden für die anstehende Skalierungs- und Umsetzungsphase eine untergeordnete Rolle spielen und sollten deshalb de-priorisiert werden. Entwicklungen, die die Effizienz erhöhen oder Sprunginnovationspotential haben, und produktionsbegleitende Forschungsinhalte sollten gezielt gefördert werden.
- **Unterziel 1.4 „Produktion von Wasserstoffderivaten effizienter gestalten“:**
 - Andere C- und H-Quelle (wie Biogas und Abfall) auch via hybride Verfahren (PtX/BtX, etc.) sollten stärker eingebunden werden, um die Umstellung der Rohstoffbasis auf nachhaltige Feedstocks für die stoffliche Nutzung schneller voranzubringen.
 - Zudem sollten Gasreinigungs-, Reformierungs- und Syngasaufbereitungsthemen stärker in den Fokus genommen werden (speziell CO-haltige/-reiche Ströme).
 - Die Skalierung und Demonstration über die gesamte Kette von E-Fuel-Anlagen, der Transport von Methanol und DME als Zwischenprodukt und die Resilienz der heimischen Raffinerien sollten gestärkt werden, um dadurch auch die Versorgungssicherheit zu erhöhen.
 - DAC-Technologien (direct air capture) und dazugehörige Materialentwicklungen sollten gestärkt werden, da in diesem Themenfeld viele offene Forschungsfragen zu adressieren sind. Biogener Kohlenstoff wird perspektivisch nicht ausreichen. Spätestens in den 2030er-Jahren wird DAC benötigt.
 - Die Elektrifizierung/Teilelektrifizierung von Produktionsprozessen in der Chemieindustrie sollte gezielt angereizt werden.
 - Integrierte, prozessintensivierte und energieeffiziente Verfahren sollten gezielt gefördert werden. Deutschland und Europa sollten hier im globalen Wettbewerb Vorreiter sein.

Programmziel 2 (Resiliente Wasserstoffinfrastruktur entwickeln und erproben)

- **Unterziel 2.1 „Die Wasserstoff-Infrastruktur modellieren, planen und entwickeln“:** Neben einer Wasserstoff-Infrastruktur ist auch ein CO₂-Pipeline-Netz für nicht vermeidbare CO₂-Emissionen bis 2040 aufzubauen.
- **Unterziel 2.3 „Wasserstoff effizient speichern“:** LOHC weist nach aktuellem Stand der Forschung nur ein geringes Potenzial für eine wirtschaftliche Speicherung von Wasserstoff auf und sollte dementsprechend hier gestrichen werden. Vorschlag für eine Formulierung: „Für den Transport und auch stationäre Anwendungen sollen kostengünstige und effektive Wasserstoffspeicherlösungen entwickelt werden.“
- **Unterziel 2.3 „Wasserstoff effizient speichern“:** Die aufgeführte Gasreinigung betrifft Brennstoffzellen, nicht aber die Wasserstoff-Verbrennung. Eine Absenkung der bei Brennstoffzellen notwendigen Reinheit ist daher ein zu adressierendes Forschungsziel.

Programmziel 3 (Flexible Rückverstromung von grünem Wasserstoff)

- **Vorschlag zur Anpassung des Programmziel-Titels:** „Effizienz bei der flexiblen Rückverstromung von grünem Wasserstoff **und Derivaten** erhöhen“
- **Unterziel 3.1 „Einsatzbereiche von Brennstoffzellen hochskalieren und erweitern“:** Die Einschränkung auf „schwere Nutzfahrzeuge“ sollte durch Straßenfahrzeuge ersetzt werden (siehe bspw. Förderung für das Vorhaben HyPowerDrive der BMW AG). Offroad-Fahrzeuge sind eine weitere Anwendung zur Nutzung von Wasserstoff im Verkehrssektor (mit Brennstoffzelle oder Verbrennungsmotor).
- **Unterziel 3.2 „Gasturbinen und Gasmotoren durch Umrüstung im Betrieb flexibilisieren“:** Die Rückverstromungsoptionen von Wasserstoffderivaten (wie z. B. NH₃) sollten stärker betont werden.
- **Unterziel 3.3 „Kosteneffiziente Serienfertigung von Brennstoffzellen ermöglichen“:** Die Serienfertigung von Brennstoffzellen ist ein Schlüssel für die Mission Wasserstoff und sollte in einem eigenen Unterziel adressiert werden. In Unterziel 3.1 wird dies kurz erwähnt, aufgrund der immensen Bedeutung scheint ein separates Unterziel angemessen.

Sprinterziele

- **Vorschlag für ein neues Sprinterziel „Brennstoffzellen-Fahrzeuge“:** Bis 2030 einige 1.000 Brennstoffzellen-Fahrzeugen im Straßenverkehr (Lkw, Busse, Coaches) und bis 2035 einige 10.000 Brennstoffzellen-Fahrzeuge.
- **Vorschlag für ein neues Sprinterziel „Wasserstoff-Kernetz“:** Aufbau des Wasserstoff-Kernetzes bis 2035 und Ausbau bis 2040.
- **Vorschlag für ein neues Sprinterziel „Ausbau internationaler Allianzen“:** Deutschland ist auf strategische Partner auch außerhalb Europas wie Kanada, Australien und Brasilien angewiesen (auch hier besteht ein Wettbewerb mit China). Der Forschung und angewandten Forschung kommt hier eine Schlüsselrolle zu, vor allem in Bezug auf Wasserstoff- und Wasserstoffderivat-Importoptionen und die entsprechende Technologie-Entwicklung/Transfer. Binationale Förderformate sind hierfür entscheidend.

5 Forschungsmission Transfer

Programmziel 3 (Agile Prozesse und Formate nutzen)

- **Unterziel 3.3 „Agile Projektförderung“:** Herausragenden Projektkonsortien sollte eine Verlängerung der Projektlaufzeit um 2-3 Jahre angeboten werden. Herausragend definiert sich ggf. über die vollständige Erreichung der genannten Ziele und einen sich abzeichnenden Marktzugang und auch über gut genutzte Transferaktionen.

Programmziel 4 (Innovationspotenzial und Wertschöpfungsketten)

- **Unterziel 4.1 „Deutsche Hersteller und Forschungskollaborationen mit europäischen Partnern fördern“:**
 - Es sollte geklärt werden, welche Folgen (bspw. Sanktionen) es hat, wenn Firmen die Umsetzung ihrer geförderten Entwicklung direkt einstellen oder ins Ausland verlagern.
 - Es sollten stärkere Anreize für Firmen geschaffen werden, um Forschung in Deutschland/Europa zu intensivieren. Internationale Positivbeispiele gibt es bspw. in Brasilien, Neufundland/Kanada, die teilweise sogar feste Quoten haben.

6 Querschnittsthemen

Aus Sicht des Fraunhofer ISE sollte das Querschnittsthema **geschlossene Stoffstromkreisläufe** stärker berücksichtigt werden. Ziel ist ein effektives Ressourcen- und Kohlenstoffmanagement, das Stoffströme möglichst lange im Wirtschaftskreislauf hält. Die Energieforschung soll hierfür die technischen und regulatorischen Grundlagen schaffen:

- Erforschung nachhaltiger Biomasse-Allokationsstrategien unter Berücksichtigung von Kaskadennutzung, Energiebereitstellung und negativen Emissionen.
- Förderfähigkeit von CCU-Technologien im EFP ermöglichen (bisher über BIK)
- Entwicklung robuster MRV-Methoden sowie geeigneter Governance-Ansätze für negative Emissionen. Analyse ökologischer, ökonomischer und regulatorischer Rahmenbedingungen für die Skalierung von Kohlenstoffmanagement und NET.

Kontakt

- Prof. Dr. Andreas Bett (Institutsleiter): andreas.bett@ise.fraunhofer.de
- Dr. Georg Krugel (Wissenschaftlicher Referent der Institutsleitung): georg.krugel@ise.fraunhofer.de