

Das Energiesystem der Zukunft



Aktueller Stand

Der Energiesektor trägt trotz aller erzielten Fortschritte am stärksten zu klimaschädlichen Emissionen bei und ist zudem mit Risiken hinsichtlich der Versorgungssicherheit verbunden. Die Transformation des Energiesystems hin zu Klimaneutralität und Resilienz ist daher unerlässlich, bietet aber auch Chancen für den Innovations- und Industriestandort Deutschland.

In den kommenden zehn bis fünfzehn Jahren wird die Transformation des Energiesystems im Wesentlichen auf bereits bewährten Technologien basieren, deren Weiterentwicklung neben **Energieeffizienzsteigerungen** und einer **Reduktion des Energieverbrauchs** essenziell ist. Dazu gehört im Einzelnen:

- Der **schnelle Ausbau der Erneuerbaren** in Deutschland und Europa und die Stärkung der **direkten Stromnutzung** in allen Endenergieanwendungen,
- flankierend der **Ausbau von flexiblen Stromerzeugungseinheiten**, die zunächst mit Erdgas und dann zunehmend mit Wasserstoff betrieben werden,
- die Adressierung von Sicherheits-, Stabilitäts- und Resilienzaspekten durch **Digitalisierung und Automatisierung** der Energieversorgungsinfrastruktur,
- die Herstellung von **Wasserstoff und Wasserstoffderivaten** für Industrie, Mobilität und Energiewirtschaft,
- die **Integration von Batteriespeichern** ins Stromnetz,

- die Dekarbonisierung des Wärmesektors durch die **umfassende Nutzung der Geothermie**, insbesondere zur Deckung des Wärmebedarfs klimaneutraler Fernwärmenetze, sowie
- der **Schutz von kritischer Infrastruktur** des Energiesystems.

Beim Umbau des Energiesystems nimmt der Einsatz von Sonne und Wind zu. Wetterbedingte Schwankungen des Energieangebots erfordern daher eine **Flexibilisierung des Energiesystems**, u.a. durch **Sektorenkopplung, Speichertechniken, Lastanpassung und Lastverschiebung** und **flexible Stromerzeugung**. Hierfür eignen sich auch mit Erdgas betriebene Stromerzeugungseinheiten (Kraft-Wärme-Kopplung, Gas- und Dampf-Kombikraftwerke, reine Gasturbinen), die hochdynamisch betrieben werden können und später eine Umstellung auf Wasserstoff ermöglichen (»H2-ready«). Eine weitere Option sind stationäre Brennstoffzellen.

Viele Produktionsstätten für Komponenten des Energiesystems wurden geschlossen oder ins außereuropäische Ausland verlagert. Um die europäische Produktionsbasis wiederherzustellen und die europäische Souveränität zu stärken, hat der Aufbau eines Ökosystems aus Wirtschaft, Wissenschaft, öffentlichem Sektor und Heimatmarkt für Anwendung und Export höchste Priorität. Besonders die einzigartigen Synergien des differenzierten Wissenschaftssystems in Deutschland sollten durch strategische Forschungsförderung sowie die öffentliche Beschaffung innovativer Lösungen gehoben werden.

Unsere forschungspolitischen Empfehlungen

» Unsere Empfehlungen im Fokus

- Ausbau einer kontinuierlichen **anwendungsorientierten Forschung** zur Leistungssteigerung, Kostensenkung und Umsetzung von zukunftsweisenden Technologien in enger Kooperation zwischen herstellender Industrie und Forschungseinrichtungen, insbesondere auch durch **standardisierte Zertifizierungsprozesse, vereinfachte Genehmigungsverfahren, digitale Technologien und Automatisierung** sowie Bündelung von Know-how durch **Public-Private-Partnerships** und **internationale Kooperationen**.
- Gezielte Unterstützung und Förderung folgender **technologischer Schwerpunkte**:
 - Batterieentwicklung und -Netzintegration und der dafür erforderlichen Material- und Produktionstechnologieforschung, insbesondere Circular Engineering an Produkten und Circular Economy Technologies zur stofflichen Wiedernutzung von Reststoffströmen,
 - Beschleunigung und Skalierung der **Wasserstoffwertschöpfung**,
 - Sicherung der deutschen und **europäischen Rotorblatt- und Solarzellenfertigung**,
 - Förderung von **Geotechnologien inklusive geologischer Speicher** für die grundlastfähige Wärme- und Kälteversorgung,
 - Entwicklung von Hightech-Technologien und Fertigungstechnik für **Fusionskraftwerke** zur langfristigen Sicherung eines wettbewerbsfähigen deutschen Industriestandorts (siehe auch Deep Dives zu Langfristoptionen Wasserstoff, Fusion, Batterieforschung anbei).
- Förderung der Entwicklung von Technologien für einen **sicheren und resilienten Betrieb der Energienetze**,

- Förderung der Entwicklung von Technologien für einen **sicheren und resilienten Betrieb der Energienetze**,
- **Förderung der Entwicklung von Alternativen für umweltschädliche Materialien, die für Schlüsseltechnologien aktuell noch unverzichtbar sind**, beispielsweise Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS),
- Ausbau der **deutschen und europäischen Serienfertigung** zur Kostensenkung in der Produktion von Hardware-Komponenten und zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit kritischer Ressourcen.
- **Rasche Umsetzung eines Reallaborgesetzes als Artikelgesetz**, um die notwendige Flexibilisierung des Energiesystems unter Einbindung von Stakeholdern und neuen Geschäftsmodellen entlang der Netzkaskade über Experimentierklauseln in Fachgesetzen zügig in die Anwendung bringen zu können.
- Schaffung einer gemeinsamen **Vision für die Digitalisierung des Energiesystems** und ihre Realisierung durch richtungsweisende F&E-Projekte und die Förderung von KI und Cyberresilienz.
- Rolle des **öffentlichen Sektors bei der Beschaffung innovativer Lösungen als »Early Adopter«** im Sinne einer innovativen öffentlichen Beschaffung (IÖB) weiter stärken.

» Im Fokus: Verbesserungen in der Performance und Reduktion der Herstellkosten von Technologien

Eine kontinuierliche anwendungsorientierte Forschung ist notwendig, um Leistungssteigerungen und Kostensenkungen von zukunftsweisenden Technologien zu ermöglichen. Die Transformation des Energiesystems erfordert nicht nur technologische Innovationen, sondern auch gezielte strukturelle Maßnahmen, um den Markteintritt und die industrielle Umsetzung zu beschleunigen. Dazu gehört die **Etablierung standardisierter Zertifizierungsprozesse**, die es ermöglichen, neue Technologien schneller zu bewerten und deren Marktakzeptanz zu erhöhen. **Vereinfachte**

Genehmigungsverfahren, wie im Netto-Null-Industrie-Gesetz (EU) vorgesehen, beschleunigen den Ausbau von Infrastrukturen wie Wind- und Solarenergie sowie Wasserstoffanlagen. Ebenso wichtig ist die **Förderung der Entwicklung von Alternativen für umweltschädliche Materialien, die für Schlüsseltechnologien aktuell noch unverzichtbar sind**, beispielsweise Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS). Aufgrund ihrer einzigartigen chemisch-physikalischen Eigenschaften werden PFAS aktuell als essenziell für den Einsatz in Elektrolyseuren, Brennstoffzellen und Lithium-Batterien angesehen, da sie die notwendige chemische und thermische Beständigkeit gewährleisten. Allerdings zeichnen sich nun PFAS-freie Alternativen ab, die systematisch weiterentwickelt werden müssen.

Darüber hinaus trägt die **verstärkte Nutzung digitaler Technologien und Automatisierung** zu Kostensenkungen und Leistungssteigerungen bei, indem Produktions- und Wartungsprozesse optimiert werden. **Public-Private-Partnerships sowie internationale Kooperationen** bieten zusätzliche Möglichkeiten, Know-how zu bündeln und den Technologietransfer zu fördern. Diese Maßnahmen legen die Grundlage für technologische Fortschritte in spezifischen kurzfristig umsetzbaren Bereichen der Energiesystemtransformation, die im Folgenden detailliert beschrieben werden. Unsere Empfehlungen für die **Langfristoptionen Fusionsenergie und Batterien** werden in Fokus 5: Langfristoptionen aufgeführt.

Photovoltaik (PV): Die Förderung zur Weiterentwicklung **innovativer Technologien wie Tandemsolarzellen und bifazialen Modulen**, die signifikant höhere Wirkungsgrade von über 30 % versprechen, sollte priorisiert werden. Integrierte Photovoltaik-Lösungen wie Agri-PV, Floating-PV und Gebäude-PV sind mit Blick auf Flächendoppelnutzung besonders relevant.

Windenergie: Deutschlands Beiträge zur Förderung von Offshore-Windprojekten in Deutschland und Europa sowie schwimmenden Windkraftanlagen im internationalen Kontext sind entscheidend. **Rotorblätter als wesentliche Komponenten von Windenergieanlagen erfordern kontinuierliche Forschung in Deutschland**. Schlüsseltechnologien wie die »12 Stunden Rotorblatt«-Fertigung sowie Konzepte wie »Mosaic Blade« und »Durable Blade« sollten gefördert werden, um die

Wettbewerbsfähigkeit zu steigern.

Wasserstoff: Die **Entwicklung und Skalierung effizienter Elektrolyseure**, insbesondere Proton Exchange Membrane (PEM), Alkaline Exchange Membrane (AEM) und Alkaline Electrolysis (AEL), durch automatisierbare Produktionsverfahren für Massenfertigung sind entscheidend, um die Wirkungsgrade zu verbessern und die Materialkosten für Membranen und Katalysatoren zu senken. Die **Entwicklung der Infrastrukturen und Speicher** für Wasserstoff und dessen Derivate sowie von entsprechenden Planungs- und Betriebsführungstools ist von zentraler Bedeutung für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft. **Dies ist wichtig, um die Teilnahme am globalen, aufstrebenden Wasserstoffmarkt zu sichern.**

Wärmespeicher: Großen Speichersystemen vom Nieder- bis in den Hochtemperaturbereich sowohl in der Industrie als auch in Wärme- und Kältenetzen **kommt eine grundlegende Rolle in einem erneuerbaren und resilienten Energiesystem zu**. Neue Speichermaterialien, Konzepte und Systeme müssen erprobt und hinsichtlich ihrer Effizienz evaluiert werden. Gleichzeitig sind Betriebsführungsstrategien zu entwickeln, die sowohl einen netzdienlichen Betrieb als auch die Versorgung mit Wärme oder Kälte sowohl bei industrieller als auch kommunaler Anwendung sicherstellen. Darüber hinaus sind Speichermaterialien sowohl hinsichtlich ihrer thermischen Stabilität als auch im Hinblick auf eine hohe Speicherdichte weiterzuentwickeln und zu erproben. Für die Nutzung im Zusammenspiel mit Wärmepumpen sind neue Speicherkonzepte zu entwickeln, die bei begrenzten Temperaturspreizungen eine hohe Speicherdichte und hohe Be- bzw. Entladeleistungen zur Verfügung stellen sowie gleichzeitig eine hohe Effizienz von Wärmepumpen ermöglichen.

Geothermie: Die zukünftige Nutzung des tiefen Untergrundes erfordert eine wissenschaftlich fundierte 3D-Raumplanung mit einer Abgrenzung zwischen der geothermalen Energiegewinnung und der Speicherung von Wasserstoff und CO₂. **Eine umfassende Strategie zum Ausbau der Geothermie sollte erarbeitet** und auch auf EU-Ebene vorangetrieben werden, um das Wärmepotenzial

aus oberflächennaher¹ und mitteltiefer Geothermie zu nutzen. Dies erfordert Investitionen in neue Bohrtechnologien wie Multi-Well-Bohrlochdesigns und Hochtemperatur-Bohrlochpumpen. Darüber hinaus sollten Technologien zur Integration großskaliger, untertägiger saisonaler Wärme- und Kältespeicher in urbane Energiesysteme gefördert werden. Zudem bieten geothermale Fluide erhebliche Potenziale zur Gewinnung kritischer Energie-Rohstoffe wie z.B. Lithium, deren Erkundung und Produktion mit innovativen Verfahren massiv ausgebaut werden sollte. Gleichzeitig sollte durch geeignete Informationsbereitstellung die Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber der Geothermie verbessert werden

Energienetze: Sie sorgen als **Rückgrat des Energiesystems** für die sichere Übertragung von Energie. In diese Gesamtinfrastruktur werden viele Millionen an Komponenten (Erzeuger, Verbraucher, Speicher, Steuerung) in allen Energiesektoren eingebunden, was zunehmend **digitale Prozesse und Automatisierung** erforderlich macht. Im Stromnetz erhöht die **flächendeckende Einbindung neuer leistungselektronischer Wandler** die Netzstabilität. Bei der Ausgestaltung von Struktur und Betrieb der Energienetze unter Einsatz neuer Technologien müssen Effizienz, Sicherheit und Resilienz über den gesamten Transformationspfad gewährleistet sein.

» Im Fokus: Energiesouveränität für Deutschland und Europa

In den vergangenen Jahren wurden viele Fertigungsstätten in der Solarenergiebranche und der Rotorblattindustrie in Europa geschlossen oder ins außereuropäische Ausland verlagert. Um Lieferketten resilienter zu gestalten und die Abhängigkeit von importierten Ressourcen zu reduzieren, ist es wichtig, die Industrie in Europa zu halten und wieder anzusiedeln. **Angewandte Forschung spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle, um standortbedingte Nachteile auszugleichen: Serienfertigung** kann dabei Kosten senken und die Recyclingfähigkeit verbessern. Mittelfristig wird der Bedarf an mineralischen und metallischen Rohstoffen deutlich steigen. Diese Rohstoffe sind für Speicher, Transportsysteme und Konverter unerlässlich. **Circular Engineering** zur Verbesserung der Wiederverwertbarkeit von Produkten, sowie die Weiterentwicklung von **Circular Economy**

¹ [Roadmap oberflächennahe Geothermie für Deutschland](#) (PDF, Fraunhofer IEG)

Technologies zur stofflichen Wiedernutzung von Reststoffströmen spielen daher eine Schlüsselrolle, um die Abhängigkeit von kritischen Materialien zu reduzieren und eine vielfache Wiedernutzung von Komponenten und Materialien zu gewährleisten. Forschung in diesen Bereichen ist notwendig, um neue Materialien zu entwickeln und die Effizienz von Produktionsprozessen zu steigern, und das Instrument der Verbundforschung ist hierfür ideal geeignet. Daneben gilt es auch, die Potenziale der Untergrundnutzung zu heben. Die **Erforschung und Anwendung oberflächennaher, mitteltiefer und tiefer Geothermie** ermöglichen die Dekarbonisierung des Wärmesektors unter gleichzeitiger Steigerung der Ressourcensouveränität. Dies umfasst Hochtemperatur-Wärmepumpen, welche sich auch zur Nutzbarmachung nahezu kostenloser industrieller Abwärmeströme eignen, und große Untertagespeicher. Zudem können kritische Rohstoffe wie Lithium und seltene Erden aus geothermischen Fluiden extrahiert werden. Eine verbesserte Datenlage in unterexplorierten Regionen Deutschlands, eine Absicherung gegen Explorationsrisiken in wärmeintensiven Regionen (»Fündigkeitsabsicherung«) und verbesserte Upstream-Technologien sind hierfür notwendig. Durch kontinuierliche Investitionen in Forschung und Innovation kann Europa nicht nur seine Abhängigkeit von importierten Ressourcen verringern, sondern auch die Basis für technologische Souveränität im Energiesystem verbreitern und damit die Resilienz und Nachhaltigkeit seiner Energieversorgung stärken. Dies wird auch einen notwendigen Beitrag zu Umsetzung des Netto-Null-Industriegesetzes und zum Europäischen Gesetz zu kritischen Rohstoffen leisten.

» Im Fokus: Entwicklung von Systemlösungen für die breite Anwendung durch Reallabore

Die **Flexibilisierung des Energiesystems entwickelt sich zu einem neuen Paradigma, dessen Umsetzung auf allen System- und Netzebenen relevant ist.** Dies beinhaltet eine zunehmende **Sektorenkopplung**, die nicht nur durch neue Geschäftsmodelle und Digitalisierung, sondern auch durch spezifische Technologien wie Wärmepumpen (inklusive Hochtemperatur-Wärmepumpen für industrielle Zwecke), Energiespeicher und Elektrolyse-Systeme überhaupt erst ermöglicht wird. Ebenfalls essenziell für die Flexibilisierung des Energiesystems sind der Einsatz

unterschiedlicher Speichertechniken (einschließlich der Verwendung von Speichern in Fahrzeugen zur Netzstützung), die Nutzung von Potenzialen zur Lastanpassung und Lastverschiebung bis hin zum Einsatz flexibler Stromerzeugung auf unterschiedlichen Netzebenen. Zudem spielt die intelligente und zunehmend dezentrale Steuerung von Energiesystemen eine Rolle. Dabei ergeben sich zwei wesentliche Herausforderungen: Die Entwicklung smarter Steuerungssysteme (Digitalisierung) und eine Verlagerung von der Steuerung auf lokale und regionale Ebenen (z.B. findet in Stromverteilnetzen bislang keine Steuerung statt, künftig jedoch voraussichtlich schon). **Diese Transformation geht einher mit der Entwicklung von neuen Geschäftsmodellen** (z. B. zeitabhängigen Stromtarifen). Für eine erfolgreiche Umsetzung bieten Reallabore, Transformationslabore oder Living Labs unter Federführung von Wirtschaftsunternehmen mit wissenschaftlicher Begleitung während Konzeption und Betrieb ein passfähiges Instrument, um gemeinsam eine erfolgreiche Implementierung von Systemlösungen zu entwickeln und voranzutreiben. Diese ergeben sich aus einem Zusammenspiel vieler Aspekte. Technische, regulatorische, finanzielle und soziale Barrieren der Energiewende können in einem Reallabor systematisch erfasst und gezielt Lösungen etabliert werden. **Der Ansatz des Reallabors gilt somit als entscheidende Brücke zwischen Wissenschaft, Industrie, öffentlichem Sektor, Gesellschaft und Politik, da eine direkte Übertragbarkeit ermöglicht wird. Es braucht eine rasche Umsetzung eines Reallaborgesetzes als Artikelgesetz.**

Im Fokus: Digitalisierung des Energiesystems als Enabler

Das Ziel, Deutschland im Energiesektor klimaneutral aufzustellen, erfordert die konsequente Nutzung von dezentralen, erneuerbaren und wetterabhängigen Erzeugern, umfassende Flexibilisierung auf der Lastseite, die Integration von zusätzlichen Komponenten wie leistungsfähigen Speichern sowie die technische und digitale Integration und Steuerfähigkeit all dieser Komponenten und Infrastrukturen. Dieser wachsenden Komplexität des Energiesystems kann also nur mit einer umfassenden Digitalisierung dieser kritischen Infrastruktur unter Beachtung von Resilienzmechanismen begegnet werden. Ohne eine solche weitreichende und konsequente Digitalisierung von der Anlagensteuerung über die gesamte

Netzkaskade bis in die einzelnen Sektoren ist eine ökonomische, sichere und rechtzeitige Energiewende nicht machbar.

Neben dem technischen Fortschritt hat sich über die letzte Legislaturperiode auch die Regulatorik im Bereich der Digitalisierung weiterentwickelt. Für die zielgenaue Förderung der Digitalisierung im Energiebereich sind folgende Leitplanken wesentlich:

- Ein **klares gemeinsames Zukunftsbild der Digitalisierung des Energiesystems** muss die Grundlage bilden, um die Aktivitäten der beteiligten Institutionen in der Regulatorik an einem gemeinsamen Ziel auszurichten. Dies ist zudem erforderlich, um Orientierung und Austausch zwischen den unterschiedlichen Akteuren aus Politik, Wirtschaft, öffentlichem Sektor und Forschung zu schaffen, insbesondere im Schulterschluss mit der EU und ihren Mitgliedsstaaten.
- Akteure aus Politik, Wirtschaft, öffentlichem Sektor und Forschung müssen durch **richtungsweisende F&E-Projekte und systemische Umsetzungsprojekte**, auch im Sinne konkreter Beschaffung, innovative Bausteine schaffen. Auch Reallabore bieten sich hier als Format an. Diese Projekte müssen das Pilotstadium überwinden, um nachhaltige Effekte zu erzeugen.
- Grundlage für die effektive Nutzung und Steuerung von Komponenten sind Daten, Informationen und weitgehende Datenübertragungsmechanismen. Diese setzen die **Offenheit und Bereitschaft, unternehmensübergreifende Anwendungen mit den Systemen unterschiedlicher Akteure und Hersteller zu realisieren**, voraus. Ein Beispiel hierfür ist der Aufbau eines Energiedatenraums als Grundlage für vollautomatisierte Integrations- und Verwertungsprozesse.
- Interpretation und Auswertung der riesigen Menge von Daten kann nur mit **Methoden der Künstlichen Intelligenz** gelingen. Gleiches gilt für die Entscheidungsgestaltung auf Basis dieser Datenmengen.
- Digitalisierung ist integral zur Umsetzung der Energiewende, muss dabei allerdings als kritische Infrastruktur mit der dafür notwendigen

Cyberresilienz gedacht werden. Hier müssen dringend Investitionen getätigt und mehr Kompetenzen für Lösungen aufgebaut werden, um die Abwehrkette zu schließen. Dazu ist es erforderlich die Forschung mit Blick auf Cybersicherheit intensiv voranzutreiben.



Im Fokus: Langfristoptionen

Damit die globalen Energiesysteme ohne fossile Produkte auskommen, ist eine Systemarchitektur notwendig, die eine lokale, direkte Elektrifizierung durch erneuerbare Energien mit einem globalen **Handelssystem für zertifizierte, wasserstoffbasierte Energieträger** kombiniert. So lassen sich Effizienz und Versorgungssicherheit mit der Bereitstellung klimaneutraler Grundstoffe für die Industrie kombinieren. Damit wir in Deutschland und Europa Technologieführer in der Wasserstoffwirtschaft sein können, sind Forschungs- und Entwicklungsbeiträge von grundlegenden Materialfragen bis hin zu innovativen, skalierungsfähigen Produktionsverfahren dringend erforderlich. Nur so können wir unsere Chancen für die deutsche Industrie und den deutschen Mittelstand auf allen Stufen der Wertschöpfungskette wahren und ausbauen. Eine exzellente Vorlaufforschung bei gleichzeitiger Anwendungsnähe wird einen entscheidenden Beitrag leisten, den Transfer von Wasserstofftechnologien in die Industrie über alle Themenfelder hinweg zu begleiten und als Innovationstreiber zu wirken. Um unvermeidbare fossile Emissionen der Atmosphäre zu entziehen, sind **CCU/CCS-Technologien** und deren Weiterentwicklung ein weiterer wichtiger Bestandteil des Energiesystems der Zukunft (siehe Positionspapier zur Kreislaufwirtschaft).

Batterien sind eine Schlüsseltechnologie für die Energiewende. Sie ermöglichen die Speicherung und flexible Nutzung erneuerbarer Energien und sind die Grundlage für Elektromobilität. Fortschritte in der Batterietechnologie wie höhere Energiedichten, schnellere Lademöglichkeiten und niedrigere Kosten steigern die Reichweite und Alltagstauglichkeit von Elektrofahrzeugen und erhöhen somit ihre Akzeptanz. Fortschritte in der anwendungsorientierten Batterieforschung spielen dabei eine herausragende Rolle. Leistungsfähigere Lithium-Ionen-Batterien, innovative Produktionsmethoden sowie zukunftsweisende Ansätze wie Feststoff- oder Natrium-Ionen-Batterien versprechen nicht nur eine signifikante Verbesserung der Performance und Kosten,

sondern auch eine nachhaltigere Herstellung und höhere Sicherheit. Gleichzeitig gewinnt das Recycling von Batterien an Bedeutung, um eine Kreislaufwirtschaft für wertvolle Ressourcen zu etablieren und Abhängigkeiten von kritischen Rohstoffen zu verringern. Besonders Post-Lithium-Konzepte mit umweltverträglicheren Verfahren und höherer Wiederverwendbarkeit bieten große Potenziale. Diese Technologien könnten die Energiewende vorantreiben und Deutschland und Europa eine führende Position im globalen Markt für Batterietechnologien sichern.

Die Fraunhofer-Gesellschaft sieht in der **Fusionsenergie** einen Schlüssel für die Bereitstellung einer grundlastfähigen, sicheren und nachhaltigen Energiequelle, mit dem Potenzial, das globale Energiesystem grundlegend zu transformieren. Für Deutschland stellt die Kernfusion eine vielversprechende Möglichkeit dar, die Abhängigkeit von Energieimporten zu reduzieren und eine zuverlässige Grundlastversorgung zu gewährleisten – insbesondere vor dem Hintergrund des steigenden Energiebedarfs durch Zukunftsbereiche wie Digitalisierung und Data Science. Als nahezu unbegrenzte, saubere Energiequelle könnte die Fusionsenergie gleichzeitig Deutschlands Wettbewerbsfähigkeit auf dem globalen Energiemarkt fördern. Deutschland verfügt über eine führende Position in der Magnetfusionsforschung und exzellentes Know-how in der Laserfusionsforschung. Dank innovativer Technologien – etwa in den Bereichen Hochleistungsmagnete, Tritium-Brennstoffkreisläufe, Blanket-Technologien und Hochleistungsoptiken – hat Deutschland großes Potenzial, durch den **Ausbau seiner Spitzenposition in der Fusionsforschung** als High-Tech-Produktsupplier im globalen Fusionsenergiemarkt eine führende Rolle einzunehmen. Die bestehenden Förderkonzepte des Bundes und der Länder adressieren diesen Bedarf proaktiv. Diese sollten in eine umfassende Fusionstechnologien-Roadmap eingebettet werden, die internationale Kooperationsformate und den Austausch von Technologie und Expertise integriert. Die Einrichtung von nationalen Kernfusions-Hubs mit systemischen Technologieschwerpunkten ist ebenso notwendig wie der Aufbau offener Forschungsinfrastrukturen mit globalen Alleinstellungsmerkmalen. Außerdem sollte ein besonderer Fokus auf der Ausbildung der nächsten Generation von Forschenden in der Fusionsforschung liegen. **Weitergehende Informationen zu den drei Langfristoptionen Wasserstoff, Batterie und Fusion können den jeweiligen Themenpapieren entnommen werden.**

Schnittstellen

	Innovative Gesundheitsforschung	Circular Economy	Zukunftsfähige Wasserversorgung	Energiesystem der Zukunft	Leistungsfähige und nachhaltige Mobilitätswirtschaft	Digitaler Industriestandort	Cybersicherheit	Quantentechnologien	Verteidigungsforschung in der Zeitenwende	Luft- und Raumfahrt	ZukunftsMissionBau. Sicher.nachhaltig.bezahlbar.
● Hauptbezug											
○ Nebenbezug											
Innovative Gesundheitsforschung	●					○					
Circular Economy		●	○	○	○	○				○	○
Zukunftsfähige Wasserversorgung		○	●			○					
Energiesystem der Zukunft		○		●	○	○				○	○
Leistungsfähige und nachhaltige Mobilitätswirtschaft		○		○	●	○				○	
Digitaler Industriestandort	○	○	○	○	○	●	○	○	○		○
Cybersicherheit						○	●	○			
Quantentechnologien						○	○	●			
Verteidigungsforschung in der Zeitenwende						○			●	○	
Luft- und Raumfahrt		○		○	○				○	●	
ZukunftsMissionBau. Sicher.nachhaltig.bezahlbar.		○		○		○					●

Über die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Die gegenwärtig knapp 32 000 Mitarbeitenden, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von 3,4 Mrd. €. Davon fallen 3,0 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung.

Kontakt

Herausgeber

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.
Im Auftrag des Vorstands
Hansastraße 27 c, 80686 München
<https://www.fraunhofer.de>

Ansprechperson

Dr. Simon Kapitza
Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft, Abteilung Wissenschaftspolitik
Telefon: +49 30 688 3759-1607
E-Mail: pierre.prasuhn@zv.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V., München 2024

Verzeichnis der Mitwirkenden

Dr.-Ing. Katharina Ahlbrecht

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT

Prof. Dr. Andreas Bett

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Prof. Dr. Rolf Bracke

Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG

Prof. Dr.-Ing. Martin Braun

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE

Prof. Dr.-Ing. Peter Bretschneider

Institutsteil Angewandte Systemtechnik AST des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB

Dr.-Ing. Robert Daschner

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Prof. Dr.-Ing. Christian Doetsch

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Dr. Sandra Ebert

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Prof. Dr. Christian Elsässer

Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM

Dr.-Ing. Arnold Gillner

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Dr. Hendrik Gorzawski

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Angelika Hackner

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. Anett Hauser

Fraunhofer-Verbund Energietechnologien und Klimaschutz und FSF Ressourceneffizienz und Klimatechnologien

Prof. Dr. Hans-Martin Henning

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Dr. Simon Kapitza

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Jenny Lehmann

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr.-Ing. Reinhard Mackensen

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE

Dr.-Ing. Martin Meiller

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Katrin Mögele

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. Kai-Christian Möller

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. Christoph Neef

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Dr. Benjamin Pfluger

Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG

Jasmin Podszun

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. Simon Phillips

Allianz Energie

Prof. Dr. Mario Ragwitz

Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG

Dr.-Ing. Florian Sayer

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM

Rico Schmerler

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Dr. Helmut Schmidt

Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB

Julia Seitz

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE – H2 Netzwerk Geschäftsstelle

Dr. Frank Sensfuß

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Yasmin Sitarek

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. Annkatrin Sommer

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. Thorsten Spillmann

Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG

Dr.-Ing. Esther Stahl

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Maximilian Steiert

Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Prof. Dr. Jens Tübke

Allianz Batterien, Fraunhofer-Einrichtung
Forschungsfertigung Batteriezelle FFB

Dr. Marijke Welisch

Fraunhofer Cluster of Excellence Integrated Energy Systems
CINES

Manuel Wickert

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und
Energiesystemtechnik IEE

Prof. Dr. Martin Wietschel

Competence Center Energietechnologien und
Energiesysteme am Fraunhofer Institut für System- und
Innovationsforschung ISI