



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Bundesbericht Energieforschung 2023

Forschungsförderung für die Energiewende

Titelbild: Wenn das gesamte System einer Produktion erfasst, vernetzt und aufeinander abgestimmt wird, steigert dies die Energieeffizienz deutlich. Das hat ein Forschungsteam bereits mit der ETA-Fabrik und dem gleichnamigen Forschungsprojekt (Förderkennzeichen 03ET1145A-F) gezeigt. Im Nachfolgeprojekt ETA im Bestand (Förderkennzeichen 03EN2048A-I) sollen die Erkenntnisse nun auf bereits bestehende Produktionen übertragen und angepasst werden. Zu den in der ETA-Fabrik abgebildeten Prozessen zählt auch das Härten von Bauteilen im Gasnitrierofen, wie auf dem Titelbild zu sehen ist.



Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
Öffentlichkeitsarbeit
11019 Berlin
www.bmwk.de

Stand

Mai 2023

Diese Publikation wird ausschließlich als Download angeboten.

Gestaltung

PRpetuum GmbH, 80801 München

Bildnachweis

AdobeStock
adrian_ilie825 / S. 85
Alliance / S. 7
4th Life Photography / S. 15
Karneg / S. 66
Kari / S. 47
malp / S. 53
mrmohock / S. 13
Nana_studio / S. 19
poliki / S. 32, li.
Tamara / S. 26
Yingyaipumi / S. 94
AGO / S. 29
Avacon Netz GmbH / S. 48
Christophe Ramage / S. 80
Forschungszentrum Jülich, Sascha Kreklau / S. 57
Forschungszentrum Jülich / Jansen / S. 59
Fraunhofer IWES / S. 37
Freepik/Flaticon / alle Icons
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) / S. 73
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB) / S. 76, 82
Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V. / S. 80, 81, 82
ISEA – RWTH Aachen / S. 61
IFK Universität Stuttgart / S. 63
Jürgen Lösel für das Fritz-Haber-Institut der MPG, Berlin / S. 68
Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Thorsten Agemar / S. 42
Lorenz et al., Proc. WCPEC-8, Mailand (2022) / S. 35
Meter-Q Solutions GmbH / S. 21
OFFIS – Institut für Informatik, Bonnie Bartusch / S. 17
Pia Wieland, www.salon.io/piwihowland, insta:piwi_howland / S. 30
Projekträger Jülich im Auftrag des BMBF / S. 22
Robert Stümpke / S. 50
Sasol / S. 93
Siemens Energy Global GmbH & Co. KG / S. 23, 45
thyssenkrupp Steel Fotografie / S. 64
TU Darmstadt/PTW/ETA-Fabrik/Hessen schafft Wissen/Foto: Jan Hosan / Titel
TU München / S. 32
Universität Bremen / S. 54
Universität Stuttgart / S. 70
Wohnungsgesellschaft Adorf/Vogtland / S. 25
Wilfried Zörner / S. 38

Zentraler Bestellservice für Publikationen der Bundesregierung:

E-Mail: publikationen@bundesregierung.de

Telefon: 030 182722721

Bestellfax: 030 18102722721

Diese Publikation wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Die Publikation wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

Bundesbericht Energieforschung 2023

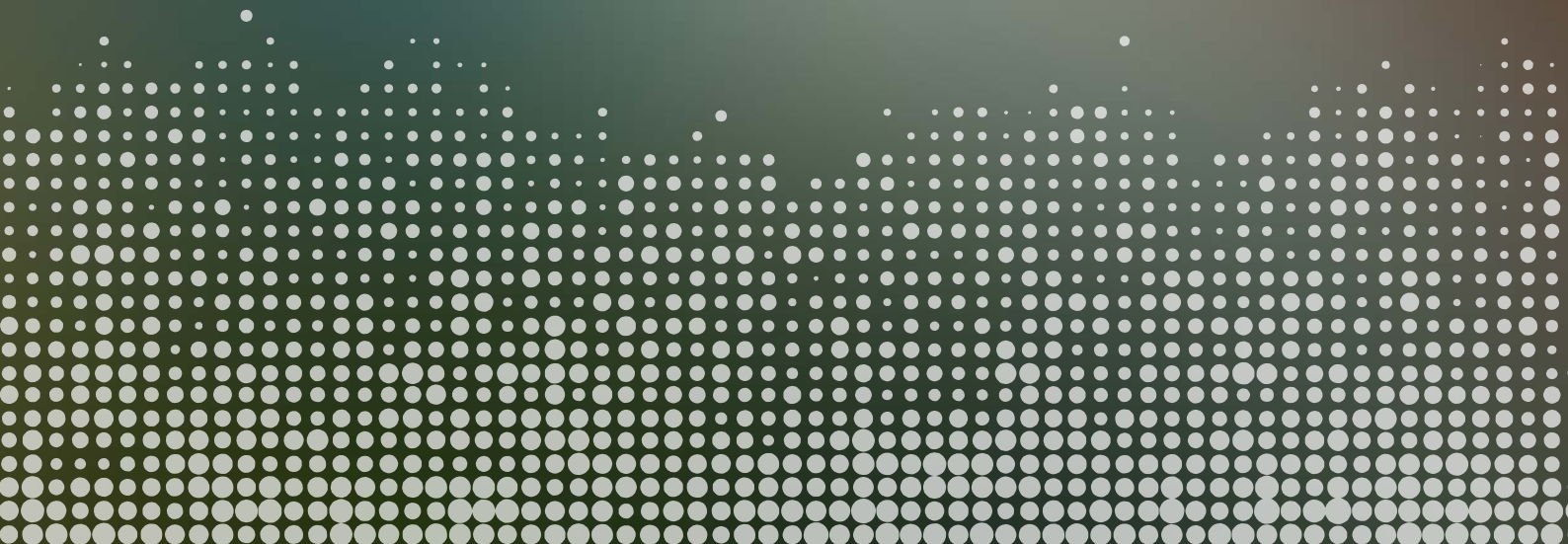
Forschungsförderung für die Energiewende



Inhalt

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Forschungsförderung für die Energiewende | 7 |
| 1.1 Das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung | 8 |
| 1.1.1 Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung | 8 |
| 1.1.2 Mittelentwicklung | 8 |
| 1.1.3 Evaluation und Erfolgskontrolle | 9 |
| 1.2 Strukturen der Energieforschungspolitik | 12 |
| 1.2.1 Koordination der Energieforschungsförderung und Ressortaufgaben | 12 |
| 1.2.2 Nationale Vernetzung | 14 |
| 1.2.3 Forschung für die Innovationssprünge von morgen | 15 |
| 1.2.4 Von der Forschung in die Praxis | 15 |
| 1.2.5 Transparenz und Kommunikation | 16 |
| 2. Projektförderung | 17 |
| 2.1 Strategische Förderformate | 18 |
| 2.1.1 Reallabore der Energiewende | 18 |
| 2.1.2 Wasserstoff-Leitprojekte: Technologien für Wasserstofflösungen im industriellen Maßstab | 20 |
| 2.2 Energiewende in den Verbrauchssektoren | 23 |
| 2.2.1 Energie in Gebäuden und Quartieren | 23 |
| Spezial: Forschung für die Wärmewende | 26 |
| 2.2.2 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen | 28 |
| 2.2.3 Schnittstellen der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr | 30 |
| 2.3 Energieerzeugung | 33 |
| 2.3.1 Photovoltaik | 33 |
| 2.3.2 Windenergie | 35 |
| 2.3.3 Bioenergie | 37 |
| 2.3.4 Geothermie | 41 |
| 2.3.5 Wasserkraft und Meeresenergie | 43 |
| 2.3.6 Thermische Kraftwerke | 44 |
| 2.4 Systemintegration | 46 |
| 2.4.1 Stromnetze | 46 |
| 2.4.2 Stromspeicher | 49 |
| 2.4.3 Sektorkopplung und Wasserstoff | 51 |
| Spezial: Wasserstoffforschung | 55 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.5 Systemübergreifende Forschungsthemen | 56 |
| 2.5.1 Energiesystemanalyse | 56 |
| 2.5.2 Digitalisierung der Energiewende | 58 |
| 2.5.3 Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende | 60 |
| 2.5.4 CO ₂ -Technologien | 62 |
| 2.5.5 Energiewende und Gesellschaft | 65 |
| 2.5.6 Materialforschung für die Energiewende | 67 |
| 2.6 Nukleare Sicherheitsforschung | 69 |
| 2.6.1 Reaktorsicherheitsforschung | 69 |
| 2.6.2 Forschung zu verlängerter Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle | 71 |
| 2.6.3 Forschung zu Endlagerung | 72 |
| 2.6.4 Strahlenforschung | 74 |
| 3. Institutionelle Energieforschung | 76 |
| 3.1 Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft | 77 |
| 3.2 Fusionsforschung | 83 |
| 4. Europäische und internationale Zusammenarbeit | 85 |
| 4.1 Europäische Vernetzung in der Energieforschung | 86 |
| 4.2 Forschungsrahmenprogramm der EU (Horizont Europa) | 88 |
| 4.3 Internationale Zusammenarbeit | 90 |
| 4.4 Internationale Forschungsinitiativen | 91 |
| 5. Weitere energierelevante Förderaktivitäten | 94 |
| 5.1 Forschungsförderung der Länder | 95 |
| 5.2 Innovationsförderung der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms | 98 |
| 6. Tabellen | 101 |
| 6.1 Fördermittel im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung | 101 |
| 6.2 Fördermittel für Energieforschung der Länder | 109 |



1. Forschungs- förderung für die Energiewende



1.1 Das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

1.1.1 Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Das Energiesystem ist ein hochkomplexes Gefüge aus einer Vielzahl verschiedenster Elemente. Der Klimawandel und nicht zuletzt die durch den Krieg in der Ukraine forcierte Energiekrise üben großen Druck auf die Versorgungssituation aus und machen das Beschleunigen des Transformationsprozesses der Energiewende umso dringlicher. Hierbei sind Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft gleichermaßen gefordert.

Wandel wird durch innovative Ideen zum Fortschritt. So ist es auch für den Umbau des Energieversorgungssystems unabdingbar, mit Expertinnen und Experten aus der Forschung und Entwicklung neue Lösungen zu schaffen, damit Deutschland von der Erzeugung bis zum Verbrauch klimafreundlicher, effizienter und geostrategisch unabhängiger von fossilen Energieimporten wird.

Das [Energieforschungsprogramm der Bundesregierung](#) ist konsequent auf die Ziele der Energiewende ausgerichtet. Diese sind das Reduzieren von Emissionen, das Schonen von Ressourcen, der Erhalt der Biodiversität und der Auf- und Ausbau von Technologiesouveränität. Angesichts der globalen Herausforderungen, die die heimische Energieversorgung beeinflussen, müssen Klimaschutz und Versorgungssicherheit auch bei der Forschungsförderung mehr denn je gemeinsam gedacht werden. So unterstützt die Bundesregierung mit dem Energieforschungsprogramm die Klimaschutzziele und setzt gleichzeitig auf das Erschließen von mehr heimischen erneuerbaren Energiequellen, das Erforschen und Entwickeln von Effizienzpotenzialen und das intelligente Verknüpfen von Technologien im Rahmen der Sektorkopplung.

Rund 52 Prozent des deutschen Energieverbrauchs fallen für die Wärme- und Kälteversorgung an. Mehrheitlich stammt diese Wärme nach wie vor

von fossilen Energieträgern. Daher sind Innovationen für den schnellen Ausbau innovativer Wärme- und Kältetechnologien auf Basis regenerativer Energien essenziell für eine klimaneutrale Versorgung. Zudem wird Deutschland damit unabhängiger von geopolitischen Entwicklungen, die Einfluss auf die Preisstrukturen fossiler Energieträger wie Erdgas nehmen. Auch grüner Wasserstoff (H₂) wird im künftigen Energiesystem eine wichtige Rolle spielen. Dieser wird mit Hilfe von Strom aus Erneuerbare-Energien-Anlagen erzeugt. Damit das gelingt, fördert die Bundesregierung Forschung, Entwicklung und Demonstration technischer und nicht-technischer Innovationen entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Beim 7. Energieforschungsprogramm setzt die Bundesregierung auf einen systemorientierten Ansatz mit dem Fokus, Forschungsergebnisse schnellstmöglich für die Praxis verfügbar zu machen. Hierzu zählen auch die Förderformate [Reallabore der Energiewende](#) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und die [Wasserstoff-Leitprojekte](#) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Hinzu kommt die institutionelle Förderung, die für Forschende eine hohe Verlässlichkeit für ihre Arbeit gewährleistet.

1.1.2 Mittelentwicklung

Die Bundesregierung unterstützt durch öffentliche Förderung aus Steuermitteln die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten von Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Hochschulen und weiteren Organisationen für neue Technologien und Anwendungen für die Energiewende.

Im Jahr 2022 hat der Bund im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms 1,49 Milliarden Euro Fördermittel investiert. Damit haben die am Programm beteiligten Ministerien ihre Ausgaben erneut gesteigert und im Vergleich zum Vorjahr um 13 Prozent erhöht. Das zeigt, wie bedeutsam die Energieforschung für eine vorausschauende, klimafreundliche Energiepolitik und den Erhalt der Versorgungssicherheit ist. 2022 haben vor allem die

staatliche Forschungsförderung zu Wasserstoff und für eine nachhaltige Wärmeversorgung im Fokus gestanden.

Die Bundesregierung hat im Jahr 2022 1,11 Milliarden Euro in die Projektförderung investiert. Dabei hat der Bund 7.365 laufende Forschungsvorhaben unterstützt und 1.661 Projekte neu bewilligt. Weitere 319,85 Millionen Euro sind in die institutionelle Förderung des Forschungsbereichs Energie der Helmholtz-Gemeinschaft geflossen.

Forschung, Entwicklung und Demonstration von Energie- und Effizienztechnologien sind vornehmlich Aufgabe der Wirtschaft. Im Bereich der Projektförderung haben Unternehmen daher mit Eigenanteilen von insgesamt 390 Millionen Euro in neu bewilligte innovative Vorhaben investiert.

1.1.3 Evaluation und Erfolgskontrolle

Evaluationen und Erfolgskontrollen sind wertvolle Instrumente, um zu überprüfen, ob Steuergelder für Fördermaßnahmen effizient und wirksam eingesetzt worden sind. Die Erkenntnisse fließen in die finanzielle, administrative, strategische oder inhaltliche Planung künftiger Maßnahmen ein. Die Bundesregierung hält sich dabei an die Bundes-

haushaltsordnung (§7 BHO) und führt Erfolgskontrollen zu allen umgesetzten Maßnahmen durch. Evaluationen ergänzen und unterstützen die Erfolgskontrollen und werden durch unabhängige Dritte durchgeführt.

Für die Förderung der angewandten Energieforschung im 7. Energieforschungsprogramm wurde 2020 eine begleitende Evaluation vorbereitet. Diese ist 2021 gestartet und wurde 2022 fortgeführt. Sie evaluiert die Fördermaßnahmen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gemäß der Förderbekanntmachung „Angewandte nicht-nukleare Forschungsförderung im 7. Energieforschungsprogramm „Innovationen für die Energiewende““ und analysiert die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit der Förderformate in Bezug auf die Ziele des 7. Energieforschungsprogramms.

Abbildung 1: Übersicht der Fördermittel 2022 im 7. Energieforschungsprogramm
(Daten siehe Tabelle 1, Seite 101)

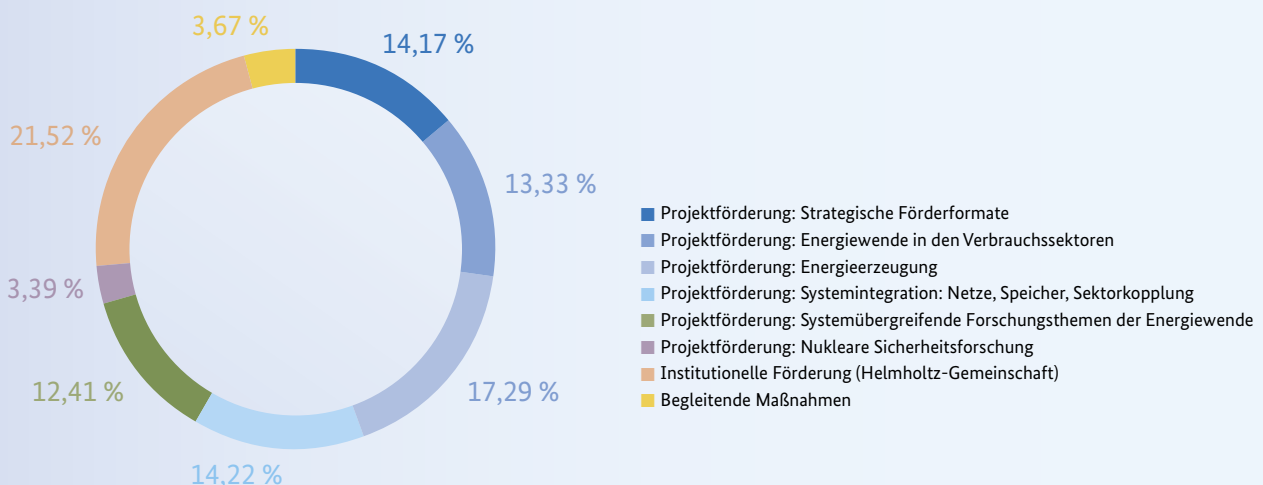
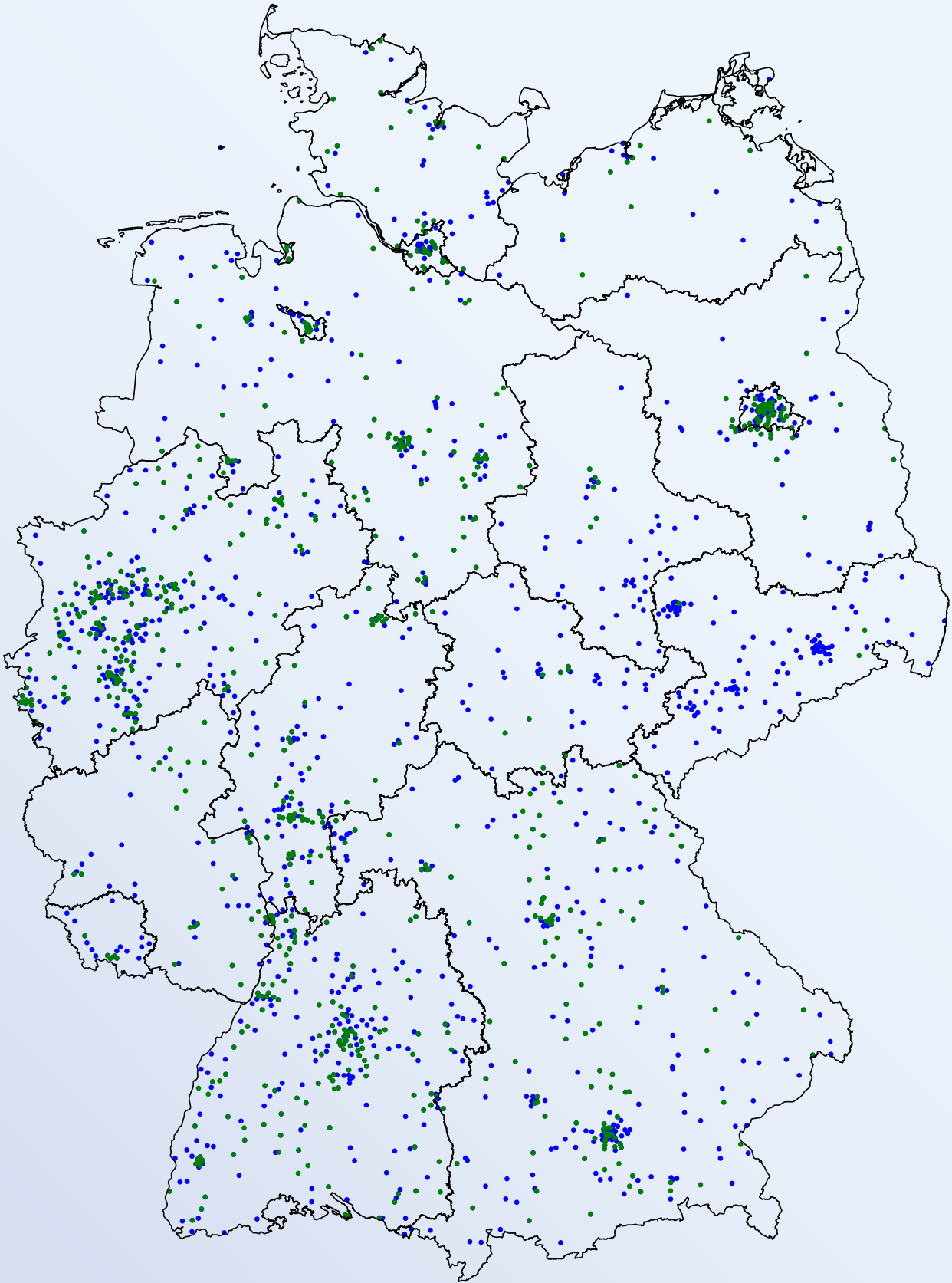


Abbildung 2: Übersicht über die laufenden (blau) und neu bewilligten (grün) Projekte der nicht-nuklearen Energieforschung in Deutschland



Quelle: GeoBasis-DE/BKG 2021 (Daten verändert)/Geodaten des BKG für Adressen der ausführenden Stellen aus der BMBF profi-Datenbank/Projekträger Jülich

Abbildung 3: Die Förderung der Energieforschung auf einen Blick

1,486 Mrd. Euro



Gesamtfördermittel 2022 im 7. Energieforschungsprogramm (Vorjahr: 1,311 Mrd. Euro)

2022 hat der Bund

1.661 Projekte

neu bewilligt (Vorjahr: 2.016)

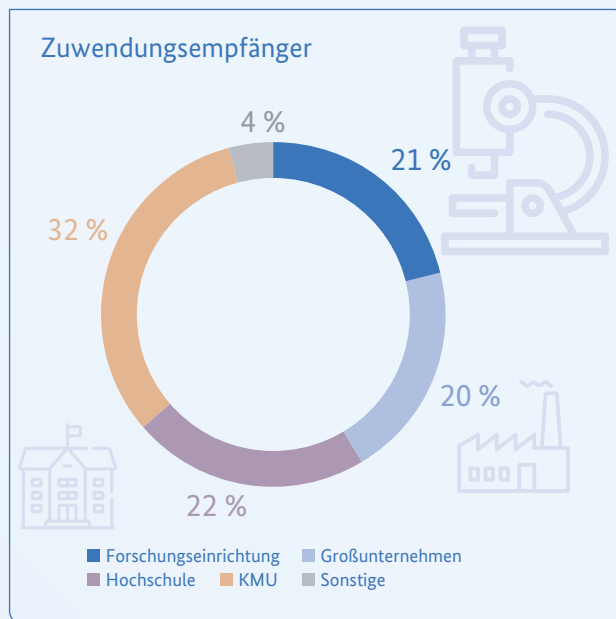


2022 hat die Bundesregierung im 7. Energieforschungsprogramm

7.365 Projekte **gefördert** (Vorjahr: 6.995)

390 Mio. Euro

Eigenanteil deutscher Unternehmen zu bewilligten Forschungs- und Entwicklungsprojekten (Vorjahr: 744 Mio. Euro)



75 Prozent

Fördermittelanstieg im Vergleich zu 2014 und 13 Prozent Fördermittelanstieg im Vergleich zu 2019



302 Mio. Euro

Fördermittel für KMU für 2022 neu bewilligte und laufende Forschungsprojekte der nicht-nuklearen Energieforschung*



473 neu bewilligte Projekte im Rahmen strategischer Förderformate innerhalb des 7. Energieforschungsprogramms

* nach deutscher KMU-Definition

1.2 Strukturen der Energieforschungspolitik

1.2.1 Koordination der Energieforschungsförderung und Ressortaufgaben

Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung ist ein ambitioniertes Förderprogramm für Innovationen für die Energiewende. Es hat einen ressortübergreifenden, technologieoffenen Ansatz. Dabei deckt das Programm den gesamten Innovationszyklus von der Grundlagenforschung bis hin zur Erprobung von Energie- und Effizienztechnologien kurz vor der Markteinführung ab.

Am 7. Energieforschungsprogramm sind die Bundesministerien für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Bildung und Forschung (BMBF), Ernäh-

rung und Landwirtschaft (BMEL) sowie für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) beteiligt. Die Verantwortung für die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik liegt beim BMWK.

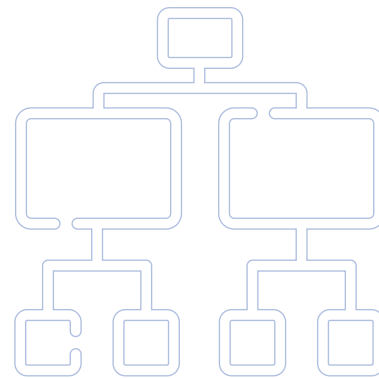
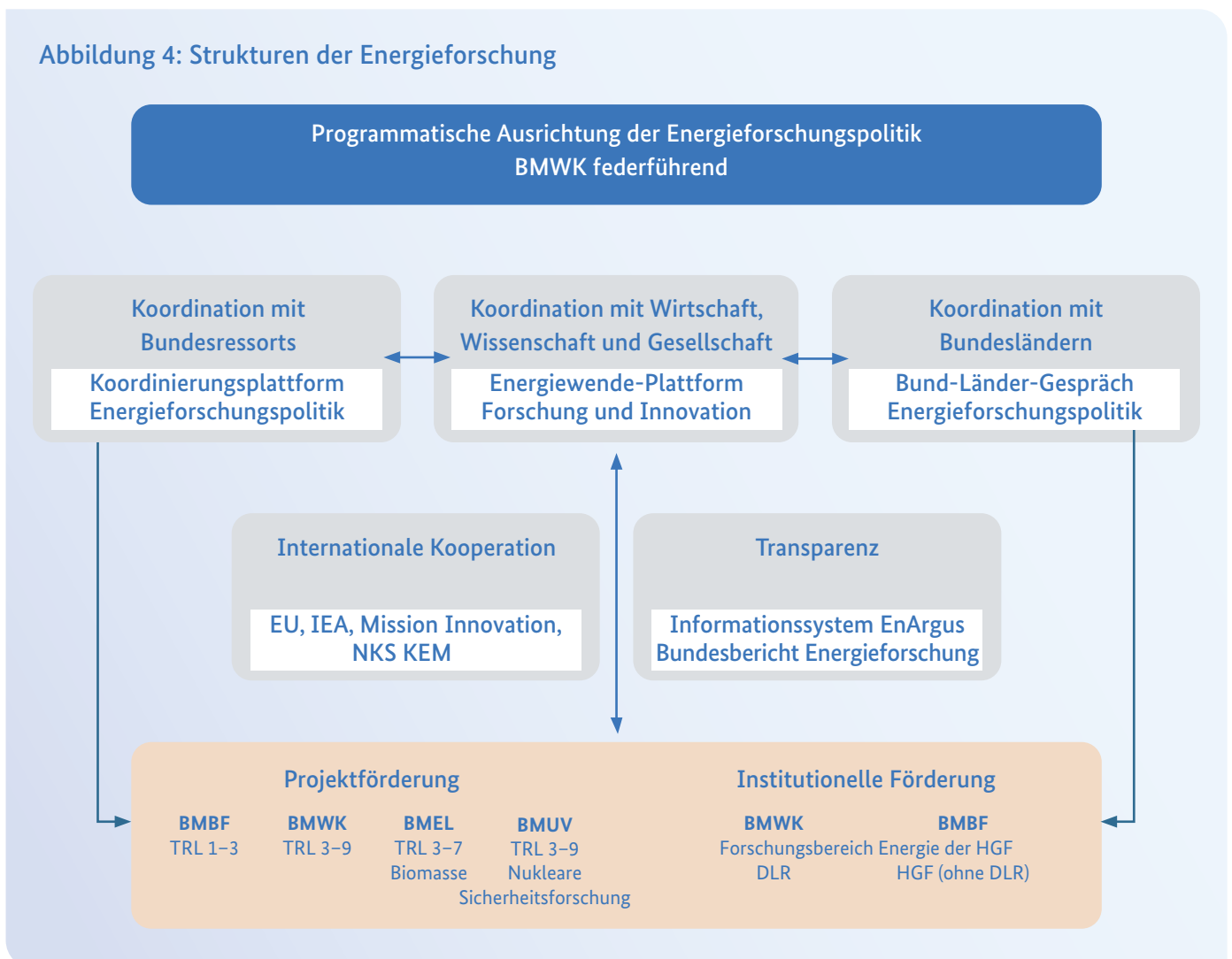


Abbildung 4: Strukturen der Energieforschung





Im Bereich der Projektförderung (siehe Kapitel 2 Projektförderung, Seite 17) ist das 7. Energieforschungsprogramm an der Systematik der sogenannten Technology Readiness Level (TRL) ausgerichtet. Dabei werden für jedes Förderprojekt die Technologien, die in dem Vorhaben erforscht oder weiterentwickelt werden, nach dem angestrebten wissenschaftlich-technischen Reifegrad auf einer Skala von 1 bis 9 eingeteilt. Das BMBF unterstützt Projekte der anwendungsorientierten Grundlagenforschung mit einem TRL von 1 bis 3. Diese legen die Basis für zukünftige Innovationen. Darüber hinaus fördert das Ministerium den wissenschaftlichen Nachwuchs, den akademischen Austausch und Wissenschaftskooperationen auf EU- und internationaler Ebene. Die Förderung des BMWK schließt daran an. Das Ministerium unterstützt anwendungsnahe Forschung und Entwicklung (TRL 3 bis 7). Außerdem fördert das BMWK Real-labore der Energiewende, die bis zu TRL 9 reichen, und multilaterale Forschungsk Kooperationen. Das BMEL hat die Verantwortung für die Förderung anwendungsnahe Forschungsarbeiten im Bereich Bioenergie übernommen. Diese wird ergänzt durch die Forschungsförderung zu energetischer Biomassenutzung durch das BMWK. Das BMUV fördert die nukleare Sicherheitsforschung.

Im Rahmen der institutionellen Förderung wird das BMWK bei der strategischen Ausrichtung des Forschungsbereichs Energie der Helmholtz-Gemeinschaft vom BMBF unterstützt. Darüber hinaus ist das BMWK für die institutionelle Förderung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) verantwortlich. Das BMBF koordiniert die institutionelle Förderung der Helmholtz-Zentren (mit Ausnahme des DLR) (siehe Kapitel 3 Institutionelle Energieforschung, Seite 76).

Die Energiewende und der Klimaschutz sind gesamtgesellschaftliche Aufgaben. Daher setzt die Bundesregierung auf eine enge Zusammenarbeit aller direkt am Energieforschungsprogramm beteiligten Bundesressorts. Darüber hinaus bindet sie alle weiteren Ministerien und Behörden mit energiebezogenen Aufgaben und Verantwortungsbereichen mit ein, wie das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) mit den dort angesiedelten Themen Mobilität und Verkehr. Zudem setzt die Bundesrepublik Deutschland für eine erfolgreiche Forschungsförderung auf die Stärke des Mehr-Ebenen-Systems. Die Förderung und Abstimmung der Energieforschung in Deutschland erfolgen sowohl auf Landes- und Bundesebene als auch im Rahmen der europäischen und internatio-

nalen Zusammenarbeit. Dabei wird die Bundesrepublik Deutschland in europäischen und internationalen Gremien zu diesem Politikfeld durch das BMWK vertreten (siehe Kapitel 4 Internationale Zusammenarbeit, Seite 85).

1.2.2 Nationale Vernetzung

Energieversorgungssicherheit und ein klimafreundliches Energiesystem sind große nationale Aufgaben. Sie umfassen nahezu alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft. Eine technologieoffene Energieforschung legt hierfür die Grundlage. Ein enger Austausch aller beteiligten Akteure durch Vernetzungen und Dialogplattformen ist eine wichtige Voraussetzung, um Innovationen für morgen zu generieren.

Energiewende-Plattform Forschung und Innovation (FuI-Plattform)

Das Forum für den Dialog zur Energieforschung zwischen Bundes- und Landespolitik, Wissenschaft, Wirtschaft, Verbänden und Zivilgesellschaft ist die Energiewende-Plattform Forschung und Innovation (FuI-Plattform) des BMWK. Sie ermöglicht den Austausch zu aktuellen Entwicklungen der Förderpolitik und der Forschung sowie zu neuen Ansätzen für Zukunftsstrategien und dem Zusammenführen von Forschung und energiewirtschaftlicher Praxis. Damit bildet die FuI-Plattform das Dach für die Forschungsnetzwerke Energie des BMWK. Außerdem bündelt und koordiniert sie diese.

Neben der FuI-Plattform tauscht sich das BMWK als federführendes Ressort für die Energiewende regelmäßig mit den 16 Landesregierungen zu den wichtigsten Fragen der Energieforschung aus.

Forschungsnetzwerke Energie

Die Mitglieder der neun Forschungsnetzwerke Energie (www.forschungsnetzwerke-energie.de) des BMWK repräsentieren das breite Spektrum der Wissenschaftscommunity rund um die Forschung für die Energiewende. Die Netzwerke stehen allen

interessierten Fachleuten offen und decken die Themen Bioenergie, Gebäude und Quartiere, Energiesystemanalyse, erneuerbare Energien, flexible Energieumwandlung, Industrie und Gewerbe, Stromnetze, Start-ups und Wasserstoff ab.

Die Netzwerke dienen dem interdisziplinären Dialog zwischen allen Akteuren der Energieforschung und fungieren als fachliche, wirtschaftliche und gesellschaftliche Schnittstellen. Sie werden vom BMWK gefördert und zählen rund 3.700 aktive Mitglieder. Diese arbeiten selbstorganisiert in Arbeitsgruppen zusammen. Eine wesentliche Aufgabe der Forschungsnetzwerke Energie ist es zudem, Ansätze für den Transfer von Forschung in die Praxis zu entwickeln. Außerdem sollen sie den branchen- und technologieübergreifenden Dialog als zentralen Bestandteil einer vernetzten Energieforschungsgemeinschaft unterstützen. So haben die Forschungsnetzwerke beispielsweise übergreifende Webinare zur Akzeptanzforschung und eine Workshop-Reihe zur Wissenschaftskommunikation veranstaltet. 2022 haben die Forschungsnetzwerke Energie insgesamt 53 Veranstaltungen durchgeführt, unter anderem Jahrestreffen der einzelnen Netzwerke, Arbeitsgruppenmeetings sowie Workshops. Darüber hinaus sind von den Expertinnen und Experten der Netzwerke Publikationen erstellt worden, darunter Stellungnahmen sowie Methodenhandbücher. 2022 wurde außerdem die erfolgreiche Kooperation mit der Stiftung Jugend forscht e.V. fortgesetzt.

Akademienprojekt Energiesysteme der Zukunft

Das Akademienprojekt Energiesysteme der Zukunft bündelt die Expertise der Akademien der Wissenschaften. Die vom BMBF geförderte Initiative von acatech, Leopoldina und Akademienunion setzt Impulse für die Debatte über Herausforderungen und Chancen der Energiewende in Deutschland. Im Projekt ESYS entwickeln mehr als 120 Fachleute Handlungsoptionen dazu, wie eine sichere, bezahlbare und nachhaltige Energieversorgung umgesetzt werden kann. 2022 wurden unter anderem Optionen für den Import klimafreundlich erzeug-

ten Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030 analysiert und dabei insbesondere Transportwege, Länderbewertungen und Realisierungserfordernisse erarbeitet. Zudem wurden die Auswirkungen des Ukrainekriegs auf die Energieversorgung in Europa untersucht.

1.2.3 Forschung für die Innovationssprünge von morgen

Die globalen Entwicklungen im vergangenen Jahr, insbesondere die Sorge um die Sicherheit der Energieversorgung in Deutschland und der Klimawandel, zeigen, dass der Innovationsprozess hin zu einer vollständigen Versorgung mit erneuerbaren Energien deutlich beschleunigt werden muss. Hierfür bildet die Grundlagenforschung die Basis. Von ihr gehen Impulse für disruptive Innovationen aus, die durch weitere Forschungsförderung bis zur Marktreife entwickelt werden können.

Die Förderung von Forschung und Entwicklung des BMBF ist konsequent auf einen mittel- und langfristigen Realisierungshorizont ausgerichtet. Ziel ist es, neue Technologien bereitzustellen, die eine vollständige Klimaneutralität möglich machen. Die Förderung des BMBF bringt diese Innovationen zudem schnell in die Umsetzung. So entstehen keine Technologielücken. Exempla-

risch hierfür stehen die Kopernikus-Projekte, die im nächsten Jahr in die abschließende Demonstrations- und Transferphase gelangen.

Diese Innovationspipeline wird auch für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft verfolgt – in der Grundlagenforschung, durch großskalige Transferprojekte bei den Wasserstoff-Leitprojekten und durch internationale Forschungs- und Innovationspartnerschaften. Hinzu kommt der Ausbau der Energieforschungskapazität, unter anderem durch das Helmholtz-Cluster Wasserstoff im Rheinischen Revier.

1.2.4 Von der Forschung in die Praxis

Forschung, Entwicklung und Demonstration von Energie- und Effizienztechnologien werden hauptsächlich von Unternehmen durchgeführt. Somit ist Energieforschung vornehmlich Aufgabe der Wirtschaft. Durch das Energieforschungsprogramm setzt die Bundesregierung allerdings einen förderpolitischen Anreiz für diese wichtigen Arbeiten. Damit unterstützt der Bund das Erforschen und Entwickeln von klimafreundlichen Innovationen für die Energiewende entlang der gesamten Wertschöpfungskette des Energieversorgungssystems – immer mit dem Fokus, effiziente Technologien und Anwendungen zügig für den Markt zur Verfügung



zu stellen und Forschungsergebnisse für die Praxis nutzbar zu machen. Durch Forschungsförderung stärkt die Bundesregierung zudem den deutschen und den europäischen Wirtschaftsstandort im internationalen Wettbewerb. Sie tut dies, indem sie die Forschung für den Aufbau und Erhalt einer modernen Energieinfrastruktur unterstützt und indem sie durch die Entwicklung innovativer Technologien und Lösungen attraktive Exportchancen für heimische Unternehmen ermöglicht.

1.2.5 Transparenz und Kommunikation

Transparenz ist ein wertvolles Gut bei der Umsetzung politischer Maßnahmen. Eine offene Kommunikation über die Ziele und Fortschritte der Energieforschungspolitik gegenüber der Bevölkerung, den Forschenden und den Umsetzenden in der Praxis ist somit ein wichtiges Element der Energieforschungsprogramme des Bundes. Die Bundesregierung informiert umfangreich mittels verschiedenster Formate über Fortschritte, Entwicklungstrends, offene Forschungsfragen sowie Herausforderungen auf dem Weg zu einem klimafreundlichen Umbau und dem Erhalt einer resilienten Energieinfrastruktur.

Auf www.energieforschung.de, der Website zur angewandten Energieforschung, informiert das BMWK über Förderziele und -strukturen und weist auf aktuelle Förderangebote hin. Auf vier Fachportalen können sich Interessierte zudem über Erfolge der Projektförderung und konkrete Forschungsergebnisse aus den zahlreichen Vorhaben informieren. Diese Angebote setzt der Projektträger Jülich im Auftrag des Ministeriums um.

EnArgus (www.enargus.de) ist das zentrale Informationssystem der Energieforschungsförderung. Es gibt einen transparenten Überblick über die durch den Bund öffentlich geförderten Forschungsprojekte im Energiebereich. Außerdem informiert die Seite über Technologien und Fachbegriffe. Zusätzlich lassen sich die Zahlen zur Projektförderung aus dem Bundesbericht Energieforschung über EnArgus transparent nachvollziehen.

2. Projektförderung



2.1 Strategische Förderformate

2.1.1 Reallabore der Energiewende

Mit den Reallaboren der Energiewende hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im 7. Energieforschungsprogramm eine Maßnahme verankert, die gezielt Projekte unterstützt, die Innovationen und Forschungsergebnisse im realen Umfeld und im industriellen Maßstab systemisch erproben. Sie ermöglichen das Beschleunigen des Technologie- und Innovationstransfers, indem sie die Lücke zwischen Forschung und energiewirtschaftlicher Praxis schließen: die Generalprobe vor der Markteinführung. Damit tragen die Reallabore zum Gelingen der Energiewende bei. Sie sind Wegbereiter für neue Technologien und neue Wertschöpfung.

Insgesamt haben mit dem 2022 gestarteten Reallabor der Energiewende JenErgieReal elf Vorhaben ihre Arbeit aufgenommen. Alle Projekte sind aus dem ersten Ideenwettbewerb des BMWK im Jahr 2019 hervorgegangen.

Reallabore der Energiewende im Bereich „Energieoptimierte Quartiere“:

- JenErgieReal
- Großwärmepumpen in Fernwärmenetzen (GWP)
- Darmstädter Energie-Labor für Technologien in der Anwendung (DELTA)

- Integrierte WärmeWende Wilhelmsburg (IW3)
- TransUrban.NRW
- SmartQuart – Smarte Energiequartiere

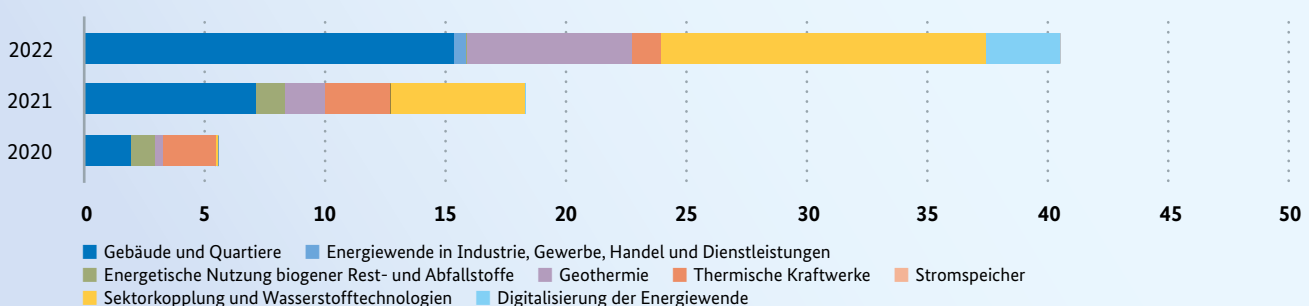
Reallabore der Energiewende im Bereich „Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien“:

- H2-Wyhlen
- Norddeutsches Reallabor (NRL)
- Energiepark Bad Lauchstädt (EPBL)
- H2Stahl
- WESTKÜSTE100

2022 konnten in den Reallaboren wichtige Meilensteine erreicht werden. So wurde etwa im Vorhaben GWP mit dem Bau einer Großwärmepumpe am Standort Mannheim begonnen. Im Wasserstoffquartier im Reallabor SmartQuart werden die Wasserstoffleitungen gelegt und im Projekt H2-Wyhlen ist der Auftrag für die geplante Elektrolyseanlage vergeben worden. In TransUrban.NRW ist am Standort Herne die Technikzentrale eingeweiht worden. Hier soll ein Energiesystem der 5. Generation entstehen.

Die Reallabore der Energiewende zu Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien werden vom Projekt Trans4Real wissenschaftlich begleitet. Mit den gewonnenen Erkenntnissen aus den Reallaboren unterstützt Trans4Real den Aufbau einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und die Integration des Gases in das Energiesystem der Zukunft.

Abbildung 5: Fördermittel für Reallabore der Energiewende in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 2, Seite 101)



Die Reallabore der Energiewende, die das Themenfeld „energieoptimierte Quartiere“ adressieren, werden von der Begleitforschung „Energiewendebauen“ (insbesondere von Modul III „Quartier“) unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT unterstützt.

Das Förderformat Reallabore der Energiewende adressiert themenoffen alle Bereiche der angewandten Energieforschung aus dem 7. Energieforschungsprogramm. Kernziel der systemisch angelegten Projekte ist es, Fortschritte bei der Energiewende und einen Beitrag zur Klimaneutralität zu erzielen. Dazu müssen die Reallabore der Energiewende eine direkte Emissionsminderung von Treibhausgasen nachweisen können, die noch während der Laufzeit einsetzt. Mit dem Konzept

betont das BMWK den hohen Praxisbezug des Förderformats. Das Ministerium will künftige Reallabore der Energiewende mit bis zu 15 Millionen Euro Fördermittel pro Partner und maximal 25 Millionen Euro Fördervolumen für das Gesamtvorhaben unterstützen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Reallabore der Energiewende hat das BMWK im Jahr 2022 189 laufende Vorhaben mit rund 40,5 Millionen Euro gefördert. Zudem hat das Ministerium in diesem Zeitraum 40 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 59,91 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 5).

PROJEKTPORTRÄT

Trans4ReaL – Transferforschung für die Reallabore der Energiewende zu Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien

Trans4ReaL ist das wissenschaftliche Begleit- und Transferprojekt zu den Reallaboren der Energiewende im Bereich Wasserstofftechnologien und Sektorkopplung. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersuchen interdisziplinär deren Ergebnisse und Lernerfahrungen mit dem Ziel, diese flächendeckend nutzbar zu machen. Hierbei werden nicht nur die eingesetzten Technologien und die Integration in das Energiesystem, sondern auch der Wasserstoffmarkthochlauf mit den darin entstehenden Geschäftsmodellen berücksichtigt. Nicht zuletzt wird betrachtet, wie die Reallabore in das regulatorische, gesellschaftliche und internationale Umfeld eingebettet sind.

Die Konzepte der einzelnen Projekte setzen an unterschiedlichen Stellen der Wasserstoff-Wertschöpfungskette an. Außerdem weisen sie im Energiesystem verschiedene Integrationslevel auf. Trans4ReaL setzt daher nicht auf den direkten Vergleich, sondern betrachtet unter anderem Themen, die für alle Projekte eine hohe Relevanz aufweisen – etwa Geneh-



Das Projekt Trans4ReaL begleitet die Reallabore der Energiewende wissenschaftlich, um die aus ihnen gewonnenen Erkenntnisse so breit wie möglich nutzbar zu machen.

migungsverfahren für Elektrolyseure oder die Vorschläge der EU-Kommission in Bezug auf Kriterien für Strom aus regenerativen Energiequellen bei der Produktion von Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen. Anfang 2023 hat das Forschungsteam erste [Ergebnisse und Empfehlungen für Handlungsansätze für den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft](#) präsentiert.

Zuwendungsempfänger: Forschungsstelle für Energiewirtschaft und sechs weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EWT001A-G

Fördermittelansatz: 7 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2021 – 2026

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.1.2 Wasserstoff-Leitprojekte: Technologien für Wasserstofflösungen im industriellen Maßstab

Wasserstoff ist ein vielseitig einsetzbarer Energieträger und Grundstoff, ein wichtiger Energiespeicher und ein wesentliches Element der Sektorkopplung. Langfristig können bestimmte CO₂-Emissionsquellen, wie Prozesse der Stahl- oder Zementindustrie, nur mit dem Einsatz von THG-armem Wasserstoff reduziert werden. Er ist somit ein wesentlicher Baustein einer erfolgreichen Energiewende. Für den industriellen Einsatz von Wasserstoff müssen jedoch ausreichende Mengen und eine zuverlässige Infrastruktur zur Verfügung stehen. Darum hat sich die Bundesregierung in ihrer Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) vorgenommen, Wasserstoff wettbewerbsfähig zu machen und ihn als alternativen Energieträger zu etablieren.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Mit den Wasserstoff-Leitprojekten startete das BMBF im Jahr 2021 eine zentrale Initiative zum Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft. Die drei Leitprojekte sind das Ergebnis eines Ideenwettbewerbs: Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft waren eingeladen, Ideen zu Wasserstoff-Großprojekten einzureichen. Die Projekte forschen bis 2025 an der Serienfertigung großskaliger Elektrolyseure (H₂Giga), der Wasserstofferzeugung auf See (H₂Mare) sowie an Speicher- und Transporttechnologien für Wasserstoff (TransHyDE).

In H₂Giga entwickeln etablierte Elektrolyseurhersteller, Zulieferer und Forschungseinrichtungen bestehende Elektrolyse-Technologien weiter. Sie sollen hochskaliert und für eine industrielle Fertigung vorbereitet werden. Zudem wird die edelmetallfreie und hocheffiziente Elektrolyse mit anionenleitender Membran optimiert.

Querschnittsprojekte zu neuen Materialien, Digitalisierung, Fertigungstechnologien, Recycling und Systemintegration sichern die Innovationsfähigkeit auch für kommende Technologiegenerationen.

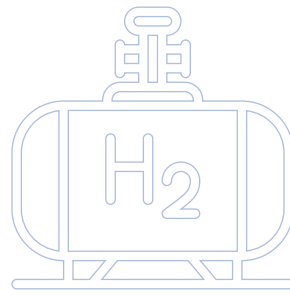
Das Leitprojekt H₂Mare arbeitet daran, klimaneutralen Wasserstoff und weitere Power-to-X-Produkte offshore – auf hoher See – zu erzeugen. Dort kann mehr und regelmäßiger Strom produziert werden als auf dem Festland. Die direkte Verbindung zwischen Windrad und Elektrolyseur kann dazu beitragen, Kosten zu reduzieren sowie das lokale Stromnetz zu entlasten. Zudem arbeiten die Projektpartner an Technologien, um Meerwasser direkt für die Elektrolyse zu nutzen – ohne den bisher notwendigen Zwischenschritt der Entsalzung.

Damit die Wasserstoffwirtschaft auf eine sichere Speicher- und Transportinfrastruktur zurückgreifen kann, testet und bewertet das Leitprojekt TransHyDE verschiedene Technologien. Dabei geht es um den Transport von Wasserstoff in Hochdruckbehältern, in flüssiger Form, in Gasleitungen sowie gebunden in Ammoniak oder dem Trägermedium LOHC (*liquid organic hydrogen carriers*, flüssige organische Wasserstoffträger). Zudem erarbeiten die Forschenden Anforderungen für den systemischen Rahmen.

In ersten Veröffentlichungen hat TransHyDE beleuchtet, wie Raffinerien klimaneutral werden könnten und wie die vorhandene Gasinfrastruktur umgestaltet werden müsste, um die nationale Versorgung zu sichern. Ebenfalls wurden Lücken und Hemmnisse des aktuellen rechtlichen Rahmens insbesondere für grünen Wasserstoff identifiziert.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Wasserstoff-Leitprojekte hat das BMBF im Jahr 2022 335 laufende Vorhaben mit rund 170,14 Millionen Euro gefördert. Zudem wurden zwölf Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 25,47 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 6).



PROJEKTPORTRÄT

TransHyDE-GET H2 – Teilvorhaben der Meter-Q Solutions GmbH zu infrastrukturellen und betriebstechnischen Aspekten bei Neubau von Wasserstoffnetzen oder Umstellung von Erdgastransportleitungen auf Wasserstoff

Das Projekt TransHyDE-GET H2 legt die Grundlagen für öffentlich zugängliche Wasserstoff-Fernleitungen. Forschende untersuchen beispielsweise, welche Techniken sich zum Warten von Fernleitungen eignen oder wie bestimmte Werkstoffe den Wasserstoff vertragen. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung einer validen Qualitäts- und Mengenmessung von Wasserstoff. Das ist eine wichtige Voraussetzung, um Wasserstoff zwischen Erzeugern, Transporteuren und Verbrauchern übergeben zu können. Unter Leitung der Meter-Q Solutions GmbH haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler hierfür einen Nano-Gaschromatographen entwickelt, mit dem sich die Qualität von hundertprozentigem Wasserstoff auf einem eichamtlichen Niveau messen lässt. Das Messgerät MGC hydrogen untersucht Wasserstoff in einer Pipeline im laufenden Betrieb auf Verunreinigungen im ppm-Bereich. Aktuell ist eine eichamtliche Zulassung für das neue Messgerät beantragt worden. Nach der Anerkennung könnte das im TransHyDE-Projekt GET H2 entwickelte Gerät das erste System zur Abrechnung von hundertprozentigem Wasserstoff werden.



Auf der internationalen Leitmesse der Prozessindustrie AICHEM hat TransHyDE-GET H2 Transport- und Speicherstruktur für grünen Wasserstoff präsentiert.

Zuwendungsempfänger: DVGW, Meter-Q Solutions GmbH und acht weitere Partner

Förderkennzeichen: 03HY207A-H

Fördermittelansatz: 11,6 Millionen Euro

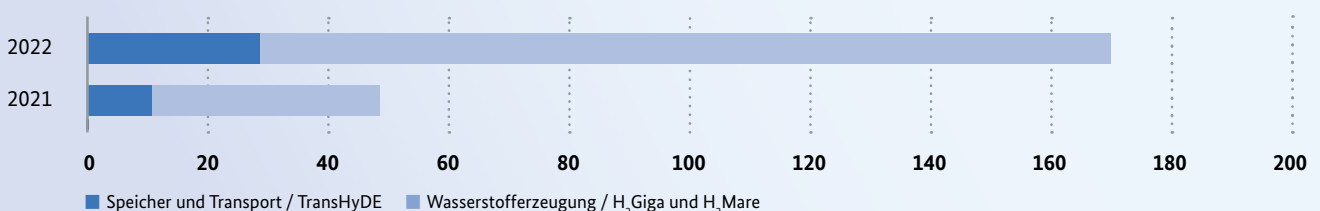
Projektlaufzeit: 2021 – 2025

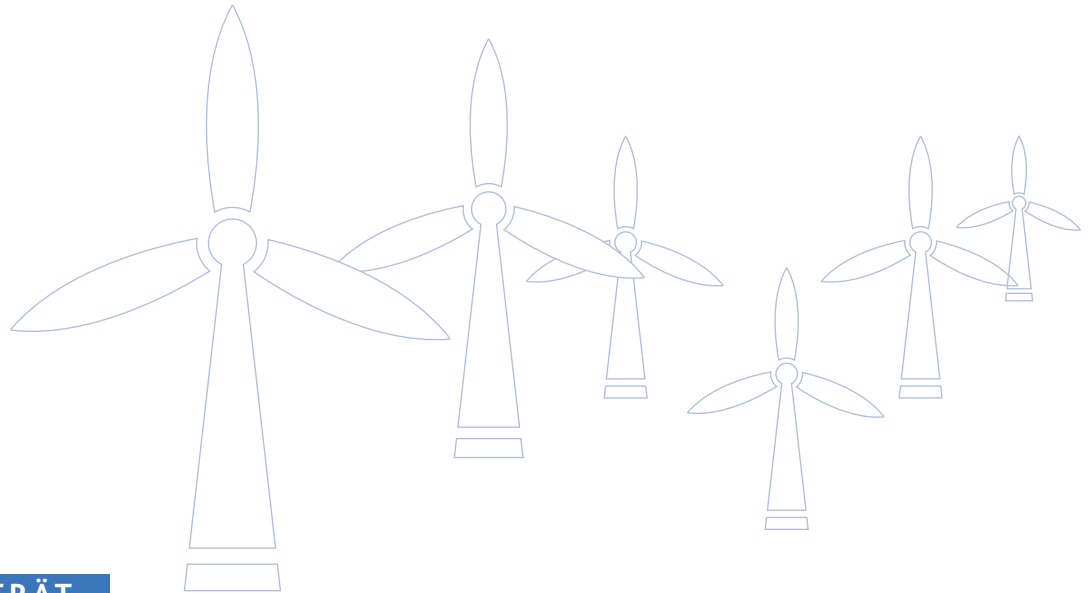
Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



Abbildung 6: Fördermittel für Wasserstoff-Leitprojekte in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 2, Seite 101)





PROJEKTPORTRÄT

H2Mare: PtX-Wind – Offshore Power-to-X-Prozesse

In dem H2Mare-Projekt PtX-Wind wird die Erzeugung von Power-to-X-Produkten wie Methanol, synthetischen Kraftstoffen, Methan oder Ammoniak auf See getestet. Dazu ist neben Wasser auch Kohlenstoffdioxid und Stickstoff nötig. Eine Anlage gewinnt diese Stoffe direkt vor Ort aus der Luft oder dem Meer. Zudem werden in dem Projekt die Themen Wasserdampfelektrolyse und Meerwasserelektrolyse zur Wasserstoffgewinnung adressiert.

Forschende arbeiteten im ersten Schritt an den modularen Prozesscontainern, um die Herstellung synthetischer Kraftstoffe zu testen, bevor sie auf See zum Einsatz kommen. So konnte die für die Offshore-Versuchsplattform geplante Anlage, bestehend aus diesen modularen Prozesscontainern, am Energy Lab 2.0 konfiguriert werden. Sie besteht aus einer Direct-Air-Capture-Anlage, die den Kohlenstoff aus Kohlendioxid aus der Luft gewinnt, einer Festoxid-Elektrolyse und einer Fischer-Tropsch-Synthese-Anlage mit integriertem Produkt-Upgrade, die Kerosin aus CO₂, Strom und Wasser erzeugt.

Im nächsten Schritt sollen alle Anlagenteile auf einer schwimmenden Versuchsplattform aufgestellt werden.



Im Wasserstoff-Leitprojekt H2Mare wird die Offshore-Erzeugung von grünem Wasserstoff und anderen Power-to-X-Produkten erforscht.

Die modularen Prozesscontainer werden nach dem Betrieb am Energy Lab 2.0 zunächst im sicheren Hafen erneut getestet, bevor sie offshore aufgestellt werden.

Zuwendungsempfänger: Karlsruher Institut für Technologie und 17 weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03HY302

Fördermittelansatz: 38,8 Millionen

Projektlaufzeit: 2021 – 2025

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



PROJEKTPORTRÄT

H₂Giga DERIEL – De-Risking PEM-Elektrolyseur

Der Verbund ist Teil der Technologieplattform H₂Giga zur Serienfertigung und Hochskalierung von Elektrolyseuren. DERIEL unterstützt die Entwicklung neuer druckbehafteter PEM-Elektrolyseure durch den Aufbau eines grundlegenden Verständnisses der Degradations-, Fehler- und Schnittstellen-Mechanismen auf allen technischen Ebenen. Dazu werden Elektrolyseurmodule realer Größe von 1 Megawatt in Testständen aufgebaut und im Betrieb untersucht. Forschende unterziehen Materialmuster aus dem Elektrolyseurbetrieb parallel verschiedenen Analysemethoden und testen im Labormaßstab. Numerische Modelle helfen bei der Identifikation der relevanten Belastungsparameter. Daten und Modelle kommen in einem Digitalen Zwilling zusammen und sollen ermöglichen, Lebensdauerprognosen zu treffen, optimale Betriebsstrategien zu entwickeln sowie zukünftige Materialien auszuwählen.

Parallel untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das Recycling der edelmetallhaltigen Elektroden, adressieren die Zwischenspeicherung von Wasserstoff und simulieren die Systemeinbindung des Elektrolyseurs. So entsteht die



Im Projekt H₂Giga DERIEL werden Elektrolyseurmodule in realer Skalierungsgröße von einem Megawatt in Testständen aufgebaut.

Basis für ein optimales Design und eine lange Lebensdauer von Elektrolyseuren als Voraussetzung für eine effiziente und wirtschaftliche Produktion grünen Wasserstoffs.

Zuwendungsempfänger: Siemens Energy Global und acht weitere Verbundpartnerr

Förderkennzeichen: 03HY122A-I

Fördermittelansatz: 98 Millionen Euro (davon 77 Millionen Forschungszentrum Jülich)

Projektlaufzeit: 2021 – 2025

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.2 Energiewende in den Verbrauchssektoren

2.2.1 Energie in Gebäuden und Quartieren

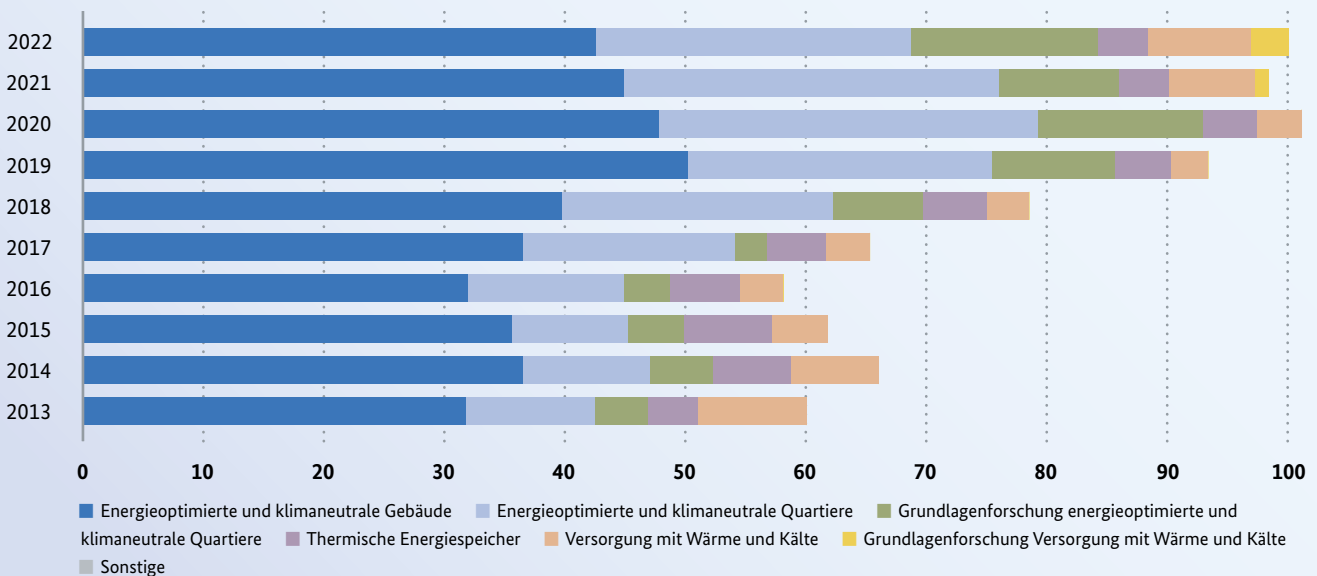
Der Gebäudesektor ist für etwa 40 Prozent der bundesweiten CO₂-Emissionen verantwortlich. Ein Großteil der Emissionen entsteht durch das Verbrennen von fossilen Energieträgern, insbesondere Erdgas. Nur wenn die Sanierungsrate deutlich erhöht und die Wärme- und Kälteversorgung dekarbonisiert werden, können Gebäude und Quartiere mittel- bis langfristig klimaneutral versorgt und betrieben werden. Im Klimaschutzgesetz ist vorgesehen, den Ausstoß bis 2030 auf maximal

67 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente zu begrenzen. Zu den wichtigen Ansatzpunkten dafür gehört der Umstieg auf nachhaltige Wärmesysteme sowie eine Fernwärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energien.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Ziel der Förderung ist es, erneuerbare und energieeffiziente Energieversorgungssysteme für Neubau und Sanierung zu erforschen und in der Praxis zu erproben. Gefördert werden standortangepasste, aber übertragbare Lösungen. Innovative Materialien sowie intelligente Sanierungsmethoden

Abbildung 7: Fördermittel für Energie in Gebäuden und Quartieren in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 3, Seite 102)



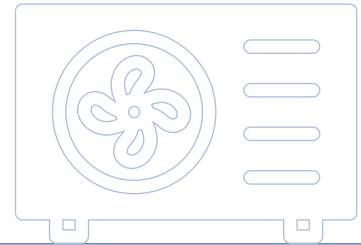
für Gebäude und Quartiere zu entwickeln sind ebenfalls wichtige Schwerpunkte. Dazu zählen außerdem die automatisierte Erfassung von baulichen Zuständen sowie innovative und systemisch gedachte Energieversorgungslösungen. Geförderte Energiesysteme nutzen vor Ort verfügbare erneuerbare Energien, umfassen Speicher- und Verteilsysteme und entwickeln intelligente Steuerungs- und Regelungstechnik, um Kälte, Wärme und Strom bedarfsgerecht zur Verfügung zu stellen.

Der vom BMWK geförderte Solar Decathlon Europe wurde 2022 erstmalig in Deutschland ausgetragen. In Wuppertal konnte sich ein deutsches Team gegen 15 internationale Mitbewerber durchsetzen. Bei dem Wettbewerb haben Studienteams Ideen für den klimafreundlichen Gebäudebestand in Städten entwickelt und umgesetzt. Zusätzlich ist in Jena JenErgieReal als sechstes Reallabor der Energiewende zu Gebäuden und Quartieren gestartet. Hier wird gezeigt, wie Energieerzeuger, -speicher und -verbraucher im lokalen Energiesystem intelligent miteinander verknüpft werden können.

Das BMBF hat die bestehenden Aktivitäten im Bereich Gebäude und Quartiere 2022 fortgesetzt. So konnte das innerhalb der Leitinitiative Zukunftsstadt des BMBF geförderte Verbundprojekt Klimaresiliente Stadt-Umland-Kooperation nun in die abschließende Umsetzungsphase überführt werden. Das Projekt hat Wissenschaft, Kommunen und Praxispartner aus Nordhessen zusammengebracht, um gemeinsam Strategien für eine nachhaltige Bioenergienutzung auf kommunaler beziehungsweise regionaler Ebene zu entwickeln. Im Fokus der Umsetzungsphase stehen jetzt die baulichen Maßnahmen, eine Verstärkung der kooperativen Zusammenarbeit von Kommunen und dem Landkreis und eine mögliche Übertragung der zuvor entwickelten Strategien.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energie in Gebäuden und Quartieren haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2022 1.041 laufende Vorhaben mit rund 100,16 Millionen Euro gefördert. 2022 haben die Ministerien zudem 212 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 83,35 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 7).



PROJEKTPORTRÄT

SolaresBauen: LowEx-Bestand – LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung in Mehrfamilien-Bestandsgebäuden

Rund die Hälfte der Wohnungen in Deutschland befindet sich in Mehrfamilienhäusern. Viele davon sind vor der ersten Wärmeschutzverordnung (1979) gebaut worden und weisen einen hohen Wärmebedarf auf. Energieeffiziente und klimafreundliche LowEx-Systeme für Mehrfamilienhäuser in den Bestand zu integrieren und zu optimieren ist Ziel des Vorhabens. Gemeinsam mit Unternehmen aus der Heizungsbranche haben die Forschenden neue Lösungen für den effizienten Einsatz von Wärmepumpen, Wärmeübergabesystemen und Lüftungssystemen für sanierte Mehrfamilienhäuser entwickelt. In Demonstrationsprojekten wurden diese mit Partnern aus der Wohnungswirtschaft umgesetzt und im Feld erprobt. Ein Schwerpunkt lag auf der Integration von innovativen Wärmepumpensystemen. Die Forschenden zeigten unter anderem, dass Wärmepumpen auch bei der Kombination mit fossilen Systemen wie einem Gasbrennwertgerät einen signifikanten Beitrag zur Wärmeversorgung leisten. In allen betrachteten, simulierten Systemkombinationen konnten über die Lebensdauer kumulierte CO₂,Äq.-Einsparungen von



Energieeffiziente und klimafreundliche LowEx-Systeme für Mehrfamilienhäuser in den Bestand zu integrieren und zu optimieren: Das ist das Ziel im Projekt LowEx-Bestand.

über 50 Prozent im Vergleich zu einem Gasbrennwertgerät bei einem wirtschaftlichen Betrieb erzielt werden.

Zuwendungsempfänger: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und vier weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SBE0001 A-E

Fördermittelansatz: 4,4 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2016 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



Forschung für die Wärmewende Mit klimaneutraler Wärme und Kälte die Energiewende beschleunigen



Für die Ziele der Energiewende ist ein klimaneutraler Wärme- und Kältesektor essenziell.

Rund 52 Prozent des deutschen Energieverbrauchs entfallen auf Wärme und Kälte: etwa die Hälfte auf Raumwärme und mehr als ein Drittel auf Prozesswärme. Zumeist werden diese noch durch fossile Brennstoffe erzeugt. Deshalb plant die Bundesregierung einen zügigeren Ausbau der Wärme- und Kälteversorgung aus regenerativen Energiequellen. Die Energieforschung kann dabei helfen. Sie generiert dringend benötigte Innovationen und kann neuartige, aber noch nicht am Markt etablierte Technologien in den flächendeckenden Einsatz bringen.

Die Wärmequellen und -bedarfe in Gebäude und Quartieren unterscheiden sich hinsichtlich des Temperaturniveaus, der Verfügbarkeit oder Nutzbarkeit. Regionale Besonderheiten und verschiedene Netztypen stellen eigene Anforderungen.

Niedertemperaturnetze könnten etwa in Kombination mit Wärmepumpen als besonders effiziente Wärmequelle für unterschiedliche Gebäude und Temperaturbedarfe dienen. Zukünftig spielt die Optimierung und Integration von Wärmepumpen eine immer wichtigere Rolle im Gebäudebereich. Ebenfalls Technologien zur Energieeinsparung oder intelligenten Regelung sind hier, aber auch bei Wärmenetzen und Speichern, gefragt. Diese müssen systemisch zusammengedacht und umgesetzt werden. Bei Bestandsgebäuden bieten Sanierungen ein hohes Einsparpotenzial. Die digitale Infrastruktur in komplexen Wärmesystemen muss ebenfalls optimiert werden, etwa bei Betriebsführung, Diagnosen oder Auswertung. Innovative Materialien und die Reduktion der „grauen Energie“ der Werkstoffe sind weitere wichtige Schwerpunkte.

In der Industrie wird der Großteil der Wärmeenergie für Prozesswärme benötigt. Über ein Drittel davon liegt bei Temperaturen von über 1.000 Grad Celsius. Während die Defossilisierung bei niedrigen Temperaturniveaus mittels bereits verfügbarer Standardlösungen denkbar ist, sind bei höheren Temperaturen geeignete Ansätze erst individuell zu entwickeln. So gilt es, Produktionsprozesse effizienter zu gestalten oder neue Prozesse zu erforschen, Bioenergiequellen (insbesondere biogene Rest- und Abfallstoffe) oder Großwärmepumpen einzubinden und darüber hinaus auch an der Elektrifizierung von Prozessen zu arbeiten, die bislang auf fossile Brennstoffe angewiesen sind. Außerdem rückt die bei Industrieprozessen entstehende (Ab-)Wärme weiter in den Fokus. Sie kann am Standort als Prozesswärme weiter genutzt oder über Wärmenetze Gewerben oder Quartieren zur Verfügung gestellt werden. Gerade im Bereich der niedrigen Abwärmepemperaturen und bei Wärmekaskaden gibt es deutschlandweit große Potenziale für heimische, klimafreundliche Energie.

Als grundlastfähige Wärmequelle ist zudem die Geothermie bedeutsam. Sie kann mithilfe der großen unterirdischen Speichervolumina potenziell einen systemischen Beitrag zur saisonalen Langzeitspeicherung leisten und damit auch zu einer höheren Versorgungssicherheit beitragen.

Im Oktober 2022 hat das BMWK den Förderaufruf „Klimaneutrale Wärme und Kälte“ veröffentlicht. Dieser soll dazu beitragen, die genannten Aktivitäten weiter zu beschleunigen. Neu sind im Förderaufruf die sogenannten Mikroprojekte. Diese dienen zur Vorbereitung klassischer Förderprojekte oder führen abschließende Entwicklungsschritte kurz vor der Markteinführung durch.

Eine nachhaltige und diversifizierte Wärmeversorgung ist bei der derzeitigen Knappheit fossilen Erdgases unabdingbar. In sechs vom BMBF geförderten Leuchtturmprojekten erforschen Partner aus Wissenschaft, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Politik, wie die Energiewende in Städten und Kommunen am Beispiel eines Quartiers umgesetzt werden kann. Um den Wärmeverbrauch von Gebäuden zu reduzieren, ist neben Sanierungen auch die Digitalisierung von großer Bedeutung. Deshalb werden intelligente Strom-, Wasser- und Gaszähler an ein Kommunikationsnetz angebunden und so eine digitale Wärmewende-Plattform bereitgestellt. Der Brückenschlag zwischen Gebäuden und Industrie wird durch Forschungsförderung unter Einbeziehung von großen industriellen Wärmeproduzenten in der Nähe von Quartieren abgedeckt. So wird erforscht, wie beispielsweise die Abwärme der Stahlproduktion zur Defossilisierung der Wärme- und Kälteversorgung im urbanen Umfeld beitragen kann.

2.2.2 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

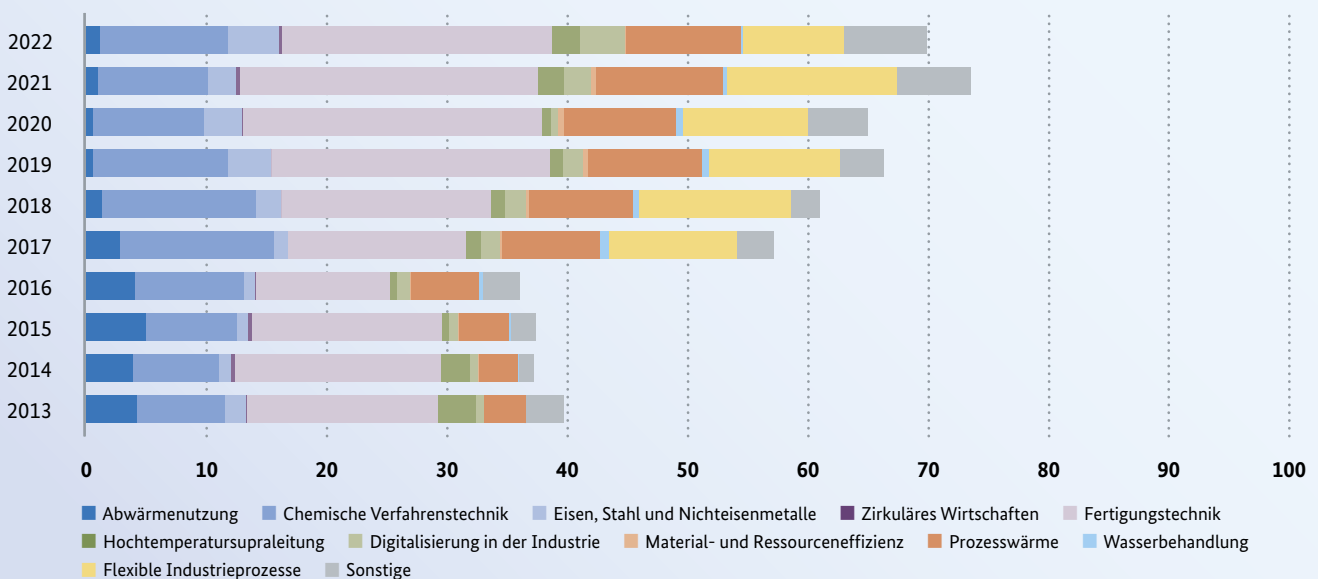
Die vier Sektoren Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen machen zusammen fast 45 Prozent des Energieverbrauchs aus; in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen insbesondere durch Raumwärme und Stromverbrauch. In der Industrie entfällt der größte Energieanteil auf Prozesswärme und mechanische Energie. In den vergangenen Jahren sind Wirtschaftswachstum und realisierte Energieeffizienz meist parallel gestiegen, weshalb die Verbrauchswerte nahezu konstant geblieben sind. 2020 haben die Corona-Pandemie und 2022 die Energiepreissteigerungen die Produktionsentwicklung gedrückt und den Energieverbrauch vorübergehend gesenkt.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Noch ist Erdgas der wichtigste Energieträger in der Industrie und wird insbesondere in energieintensiven Industriezweigen eingesetzt. Zur Dekarbonisierung des Industriesektors muss die Wärmeversorgung auf klimaneutrale Alternativen umgestellt

werden. Dabei gilt es, Anlagen und Prozesse weiter zu elektrifizieren, Erdgas durch Wasserstoff zu ersetzen sowie Wärme- und Kältetechnologien zu optimieren und Abwärme auf allen Temperaturniveaus nutzbar zu machen. Das BMWK hat dazu im Herbst 2022 einen Förderaufruf zur klimaneutralen Wärme und Kälte veröffentlicht (siehe Forschung für die Wärmewende, Seite 26). Auch in der Technologieoffensive Wasserstoff (siehe Kapitel 2.4.3 Sektorkopplung und Wasserstoff, Seite 51) sind erneut Forschungsprojekte gestartet, die Wasserstoff im Industriesektor einsetzen. Weitere Forschungsschwerpunkte sind die Steigerung der Energieeffizienz bei mechanischer Energie sowie Technologien für den material- und ressourcensparenden Umgang mit energieintensiven Rohstoffen und Wertstoffen, wodurch dauerhaft weitere Lasten aus dem Energiesystem genommen werden. Im Mai 2022 hat der Kongress Energieeffizienzforschung für Industrie und Gewerbe Fachleute aus Forschung, Industrie und Politik zusammengebracht. Geboten wurden Berichte über erfolgreiche Markteinführungen von Forschungsergebnissen aus der Vergangenheit und die Gelegenheit, sich über aktuelle Effizienztechnologien und künftige Förderbedarfe auszutauschen.

Abbildung 8: Fördermittel für Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 3, Seite 102)



Das Kopernikus-Projekt für die Energiewende SynErgie adressiert die steigende Einspeisung von fluktuierenden erneuerbaren Energien. Mit den Forschungsergebnissen soll insbesondere die energieintensive Industrie (Papier, Glas, Metall und weitere) befähigt werden, ihren Energiebedarf maßgeblich mit dem volatilen Energieangebot zu synchronisieren. Hierzu wurden verschiedene digitale Tools entwickelt, mit denen Energieflexibilitätsmaßnahmen identifiziert, charakterisiert und bewertet werden können. In der Modellregion Augsburg geschieht genau das: Hier erproben die Akteure die Flexibilisierung der Energienachfrage (siehe Highlightprojekt Seite 30).

Im Fokus des Kopernikus-Projekts steht nun, die Energieflexibilitätspotenziale umzusetzen und zu

demonstrieren. Dabei werden neben technischen Lösungen zur Vermeidung von CO₂-Emissionen auch Konzepte zur Effizienzsteigerung des Strommarktdesigns einbezogen, die aufgrund veränderter Systemanforderungen angepasst werden müssen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2022 770 laufende Vorhaben mit rund 69,30 Millionen Euro gefördert. 2022 haben die Ministerien zudem 152 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 66,18 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 8).

PROJEKTPORTRÄT

HT Wärmepumpe – Entwicklung einer Hochtemperaturwärmepumpe für Temperaturen bis zu 160 Grad Celsius auf Basis eines Kältekreisprozesses mit Lösungsumlauf

In Branchen wie der Chemie-, Lebensmittel- und Papierindustrie, aber auch für die Fernwärmeversorgung, wird viel Wärme auf einem hohen Temperaturniveau zwischen 100 und 160 Grad Celsius benötigt. Aktuell wird diese meist aus fossilen Brennstoffen gewonnen. Im Projekt HT Wärmepumpe haben Forschende nun eine Kompressionswärmepumpe mit Lösungskreislauf entwickelt, die den Temperaturbereich von 160 Grad Celsius erreichen kann. Sie gilt damit als Hochtemperatur-Wärmepumpe. Als Kältemittel kommt ein Ammoniak-Wasser-Gemisch zum Einsatz, das gute thermodynamische Eigenschaften und kein Treibhauspotenzial aufweist und somit klimaneutral ist. Einen Demonstrator dieser Hochtemperaturwärmepumpe hat das Projektteam bei den Stadtwerken Neuburg getestet und auch nach der Projektlaufzeit weiter optimiert. Die Anlage wertet die Motorkühlwärme eines Blockheizkraftwerks auf und speist so ein Heißwassernetz mit einer Temperatur von bis zu 140 Grad Celsius. Mit einer Heizleistung von rund 1 Megawatt erfüllt die Hochtemperatur-



Im Projekt HT Wärmepumpe haben Forschende eine Kompressionswärmepumpe mit Lösungskreislauf entwickelt.

wärmepumpe industrielle Ansprüche und könnte zukünftig auch in anderen Anwendungsgebieten eingesetzt werden. Zwei ähnliche Anlagen – mit Temperaturniveaus um die 85 beziehungsweise 120 Grad Celsius – sind in Lemgo und Münster bereits realisiert beziehungsweise in Fertigung.

Zuwendungsempfänger: AGO AG Energie + Anlagen

Förderkennzeichen: 03ET1588A

Fördermittelansatz: 483.000 Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

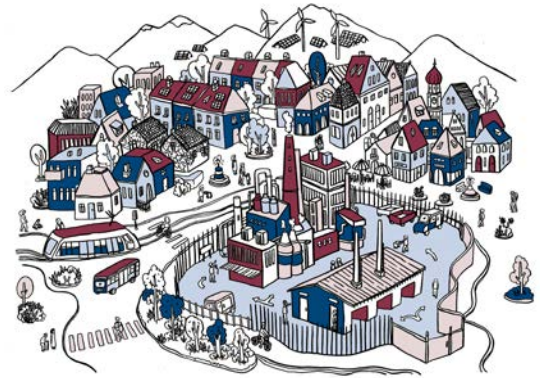
MEHR INFO



PROJEKTPORTRÄT

SynErgie – Erfolgreicher Test der Energiesynchronisationsplattform in der Energieflexiblen Modellregion Augsburg

Als Teil der Kopernikus-Projekte hat SynErgie zum Ziel, bis 2026 alle technischen und marktseitigen Voraussetzungen in Einklang mit rechtlichen und sozialen Aspekten zu schaffen, um den Energiebedarf der deutschen Industrie effektiv mit dem volatilen Energieangebot zu synchronisieren. Gelingt es der Industrie, ihre Stromnachfrage flexibel und binnen kürzester Zeit bewusst zu erhöhen oder zu senken, kann sie das deutsche Stromnetz massiv entlasten. In der Energieflexiblen Modellregion Augsburg zeigt SynErgie seit 2016, wie das gelingen kann: Dort haben sich 38 Partner aus Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft zusammengeschlossen, um erstmalig zu demonstrieren, wie Energieflexibilität als Dienstleistung angeboten, verkauft und genutzt werden kann. Die technische Grundlage bildet dabei eine digitale Energiesynchronisationsplattform. Sie steuert und überwacht die Energieverteilung und stellt Services für die Bewertung, Bereitstellung und Vermarktung von Energieflexibilität bereit. Testbetriebe belegen, dass verbrauchsseitige Energieflexibilität unter Einbezug aller relevanten Stakeholder



In der Energieflexiblen Modellregion Augsburg haben sich 38 Partner zusammengeschlossen, um Energieflexibilität als Dienstleistung anzubieten.

regional umsetzbar ist und die technischen Voraussetzungen für den Kauf und Verkauf von Energieflexibilität gegeben sind.

Zuwendungsempfänger: Universität Stuttgart und 57 weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SFK3A0-2 - 03SFK3Z2-2

Fördermittelansatz: 37,5 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2023

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.2.3 Schnittstellen der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr

Im vergangenen Jahr hat der Einsatz erneuerbarer Energien im Verkehrssektor kaum zugenommen. Wasserstoff spielt eine untergeordnete Rolle, und der Anteil an Biokraftstoffen ist im Vergleich zum Vorjahr etwa gleich geblieben. Nur der Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien stieg um etwa 15 Prozent an. Um die Klimaziele zu erreichen, braucht es deshalb weitere innovative Lösungen im Individual- oder Schwerlastverkehr, auf langen wie kurzen Strecken, auf der Straße, auf der Schiene, zu Wasser und in der Luft.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

In einem dekarbonisierten Energiesystem ist die direkte Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien in elektrischen Fahrzeugantrieben meist die energieeffizienteste und wirtschaftlichste Option. Das BMWK fördert daher Arbeiten zu einer nachhaltigen batterie-elektrischen Elektromobilität entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Dazu entwickeln Forschungsteams günstige Akkus mit hoher Energiedichte und langer Lebensdauer und befassen sich mit der Industrialisierung der Fertigung und dem Recycling am Ende der Lebens-

dauer. Netzdienliche Ladepunkte sind praktische Beispiele für Sektorkopplung in Projekten.

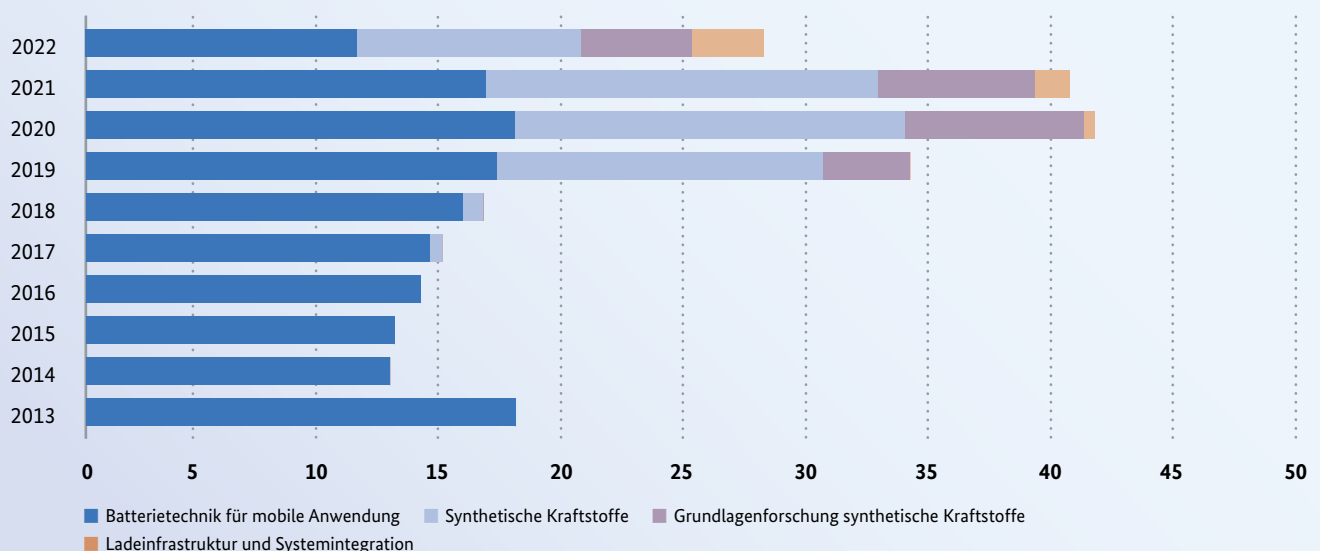
Daneben ist Wasserstoff ein weiterer Baustein zur Dekarbonisierung des Verkehrs. Er ermöglicht ebenso die Sektorkopplung zwischen Stromwirtschaft und Verkehr. Sowohl durch Elektrolyse von Wasser mit Strom aus erneuerbaren Energien als auch mittels thermochemischer Verfahren aus Biomasse lässt sich grüner Wasserstoff gewinnen. Dieser kann direkt genutzt werden, zum Beispiel in Brennstoffzellen-Antrieben. Darüber hinaus ermöglicht er über weitere Prozessschritte das Herstellen flüssiger oder gasförmiger Kraftstoffe als sogenannte Derivate, die fossile Brennstoffe ersetzen können. Das BMWK fördert Forschung für strombasierte Kraftstoffe, auch für den schwer zu elektrifizierenden Schiffs- und Flugverkehr, unter anderem mit der Initiative „Energiewende im Verkehr“. Die Begleitforschung BEniVer erstellt dazu eine Roadmap mit weiteren Handlungsoptionen für den Sektor. BEniVer hat 2022 zudem eine Statuskonferenz organisiert, auf der Expertinnen und Experten über den Beitrag synthetischer Kraftstoffe für die Energiewende diskutierten.

Das BMBF fördert innerhalb verschiedener Fördermaßnahmen Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu nachhaltigen und erneuerbaren Kraftstoffen. Diese umfassen sowohl die Herstellung als auch den Einsatz der Kraftstoffe in Brennstoffzellen, Verbrennungsmotoren oder Turbinen sowie systemische Analysen hinsichtlich deren Wechselwirkungen mit dem restlichen Energiesystem. Die Projekte adressieren dabei sowohl die Herstellung der Kraftstoffe aus Strom aus erneuerbaren Energien und Kohlenstoffdioxid, Industrieabgasen oder auch aus Biomasse.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Schnittstelle der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr haben das BMBF und das BMWK im Jahr 2022 284 laufende Vorhaben mit rund 28,16 Millionen Euro gefördert. 2022 haben die Ministerien zudem 30 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 20,29 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 9).

Abbildung 9: Fördermittel für Energieforschung zu Mobilität und Verkehr in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 3, Seite 102)



PROJEKTPORTRÄT



Strombasiertes Kerosin soll künftig einen Beitrag dazu leisten, den Flugsektor zu dekarbonisieren.

KEROSyN100 – Entwicklung und Demonstration einer dynamischen, effizienten und skalierbaren Prozesskette für strombasiertes Kerosin

Synthetisches Kerosin auf Basis von Strom aus erneuerbaren Energiequellen kann einen Beitrag für das Einsparen von Treibhausgasemissionen in der Luftfahrt leisten. Im Forschungsprojekt KEROSyN100 haben daher sechs Projektpartner aus Industrie und Forschung daran geforscht, strombasiertes Kerosin einer Markteinführung anzunähern. Dazu hat das Konsortium ein Konzept für die erste Power-to-Liquid-Anlage zur Herstellung von synthetischem Kerosin über die Methanol-Route entwickelt. Dabei hat das Team unter anderem die mögliche Integration in eine konventionelle Erdölraffinerie und in das Energiesystem betrachtet. Im Fokus steht das ausschließliche Nutzen von Strom aus erneuerbaren Energiequellen für die künftige Produktion von klimafreundlichem Kerosin. Auf der Basis des Konzepts soll in einem Anschlussprojekt eine Demonstrationsanlage an der Raffinerie Heide in Schleswig-Holstein entstehen. Außerdem haben die Forschenden Vorschläge für geeignete regulatorische Rahmenbedingungen synthetischer Kraftstoffe für die Luftfahrt erarbeitet.

Zuwendungsempfänger: Universität Bremen und fünf weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EIV051A-G

Fördermittelansatz: 4,4 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



PROJEKTPORTRÄT



NAMOSYN zeigt: Geringe Beimischungen von bestimmten synthetischen Kraftstoffen sind ohne Motoranpassungen möglich.

NAMOSYN – Nachhaltige Mobilität durch synthetische Kraftstoffe

Im Forschungsprojekt NAMOSYN untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler synthetische Kraftstoffe auf Basis von C1-Oxygenaten, und zwar alle Schritte der Prozesskette von der Produktion bis zur Verbrennung im Motor. Neben der Minderung der CO₂-Emissionen verbrennen diese Kraftstoffe besonders sauber und fallen durch sehr geringe Feinstaubemissionen auf. NAMOSYN wird im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2030 gefördert. Die Forschenden haben ihre Ergebnisse in einer Abschlussbroschüre vorgestellt. Daraus geht hervor, dass für eine Anwendung der C1-Oxygenate als Reinkraftstoff in Bestandsfahrzeugen Anpassungen in den Motoren erfolgen müssen, was eine erhebliche Hürde darstellt. Wenn allerdings nur ein geringer Anteil des konventionellen Kraftstoffs durch C1-Oxygenate ersetzt wird, zum Beispiel fünf bis 15 Volumenprozent, ist eine Bestandskompatibilität durchaus gegeben. Darüber hinaus stellen diese synthetischen Kraftstoffe in Mischungen mit hohen Anteilen oder als Reinkraftstoff eine interessante Option für geschlossene Flottenverbände dar, wenn in diesen eine technische Anpassung der Motoren vorgenommen wird.

Zuwendungsempfänger: Dechema und 32 weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SF0566A-V0

Fördermittelansatz: 24,9 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2023

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.3 Energieerzeugung

2.3.1 Photovoltaik

Im April 2022 hat das BMWK einen umfangreichen Gesetzentwurf veröffentlicht, der die Umsetzung der Klimaziele der Bundesregierung konkretisiert und dem Klimawandel sowie der Notwendigkeit nach schnellstmöglicher Autonomie im Energiebereich Rechnung trägt. Ein wesentlicher Punkt im Entwurf ist die nahezu vollständige Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2035. Hierbei fällt der Photovoltaik weiter eine Schlüsselrolle zu. Um die Ziele zu erreichen, soll neben jährlichen Ausbauplänen und der Entbürokratisierung die eigene Anlagenproduktion wieder erstarken. So kann die vorhandene, aber schwindende internationale Technologieführerschaft wieder im eigenen Land verstärkt werden, um die Ausbauziele zu unterstützen. Denn viele Photovoltaik-Innovationen kommen, auch bedingt durch intensive Forschungsförderung, weiterhin aus Deutschland.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Um die zuvor genannten Ziele zu erreichen, decken die aktuellen Forschungs- und Förderschwerpunkte folgende Prioritäten ab: die Unterstützung beim Wiederaufbau einer nationalen Produktion entlang der gesamten Wertschöpfungskette durch Projekte zur industriellen Massenproduktion, Photovoltaikanlagen als sichere und zuverlässige Komponenten für die Energieversorgung (der Förderaufruf StRiLeb adressiert beispielsweise die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der benötigten Wechselrichter) und die Integration von Photovoltaik zur dezentralen Energieerzeugung für eine doppelte Nutzung geeigneter Flächen (zum Beispiel in die Gebäudehülle integriert, auf Acker- und Wasserflächen oder durch im Verkehrssektor integrierte Photovoltaikmodule). Doch die verfügbaren Flächen sind begrenzt. Um diese optimal zu nutzen, fokussieren Forschung und Industrie vermehrt auf die Entwicklung von Hoch-effizienz solarzellen. Ein vielversprechender Ansatz dafür sind Tandemsolarzellen mit Perowskiten.

Hierbei wird eine leicht modifizierte, herkömmliche Siliziumzelle durch eine Perowskitzelle erweitert. In der vergangenen Dekade konnten Wissenschaftsteams die Effizienz dieser Tandemzellen von unter 10 Prozent auf mittlerweile über 30 Prozent steigern – und damit deutlich über den Wirkungsgrad von einfachen Siliziumzellen. Fast alle Rekordwirkungsgrade wurden dabei von geförderten Instituten oder Firmen in Deutschland erreicht – ein internationales Alleinstellungsmerkmal. Aktuell arbeiten Forschende sowohl an der Langlebigkeit als auch an der industriellen Skalierung sowie Realisierung einer Massenfertigung dieser Zellen. Erste Produzenten in Deutschland rechnen mit einer Markteinführung in den kommenden Jahren.

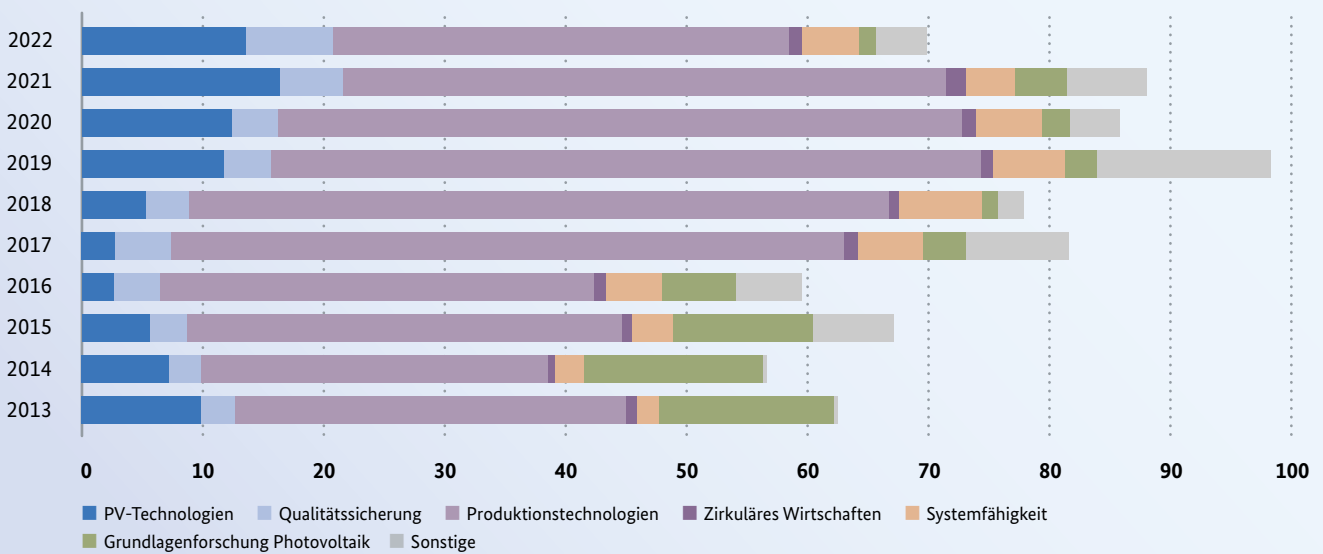
Ein Förderschwerpunkt des BMBF ist die direkte Kopplung von Solarzellen mit einem Elektrolyseur, um Sonnenlicht in Form von Wasserstoff zu speichern. Hierfür müssen jedoch Solarzellen entwickelt werden, die nicht nur einen möglichst hohen Wirkungsgrad besitzen, sondern darüber hinaus auch ausreichend Spannung und Strom liefern. Auch hierzu gibt es Bestrebungen, die Wasserspaltungsbauteile an die vor Ort vorhandenen klimatischen Randbedingungen anzupassen, um eine möglichst effiziente, direkte solare Wasserstoffherzeugung zu ermöglichen.

Die Analyse und Optimierung von Solarzellen und der dazugehörigen Infrastruktur spielt nicht nur in Deutschland eine große Rolle, sondern auch auf dem afrikanischen Kontinent. Hierbei werden in der BMBF-Förderung viele verschiedene Schwerpunkte beleuchtet – unter anderem Ertragsanalysen der Photovoltaik für die Nahrungsmittelerzeugung, Energieversorgung oder auch für Elektromobilität.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Photovoltaik haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2022 478 laufende Vorhaben mit rund 70,14 Millionen Euro gefördert. 2022 haben die Ministerien zudem 105 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 61,64 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 10).

Abbildung 10: Fördermittel für Photovoltaik in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 103)

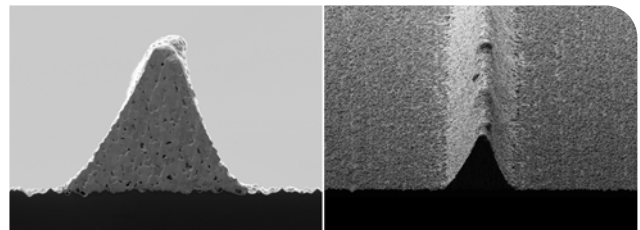


PROJEKTPORTRÄT

INNOMET – Entwicklung innovativer Drucktechnologien für die Feinlinien-Metallisierung von Si-Solarzellen

Die weltweit meistproduzierten Solarzellen basieren auf dem Ausgangsstoff Silizium. Um die Effizienz der Solarzellen weiter steigern zu können, erforschen Wissenschaftsteams neue Technologien und optimieren Verfahren – so auch im Projekt INNOMET.

Die Ergebnisse der Forschenden zeigen vielversprechende Ansätze auf, um die nächste Generation von Siliziumsolarzellen zu realisieren. Sie haben unter anderem innovative Druckprozesse und neue Druckschablonen entwickelt, die auf dünnen, strukturierten Glasfolien basieren. Mit ihnen können Feinlinienkontakte mit einem dreieckigen Querschnitt auf kristalline Solarzellen gedruckt werden. Dadurch bieten die Kontakte eine ideale Geometrie, um Reflexionsverluste zu vermeiden und so den Wirkungsgrad der Zelle zu steigern. Gleichzeitig sind Glasfolien von Vorteil, da mit der Technologie gezielt die Strukturen an die Anwendung angepasst werden können. Darüber hinaus hat das Wissenschaftsteam mit dem Multidüsen-Dispensdruck ein kontaktloses Druckver-



Den Innomet-Wissenschaftsteams ist es mit innovativen Schablonen gelungen, im Querschnitt dreieckige Kontakte auf kristalline Solarzellen zu drucken.

fahren untersucht, das perspektivisch den vorwiegend genutzten Siebdruck ersetzen könnte. Mit diesem Verfahren kann in der Produktion von Siliziumsolarzellen ein höherer Durchsatz erzielt und der Silberverbrauch für die Kontakte reduziert werden.

Zuwendungsempfänger: LPKF Laser & Electronics AG und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 0324308A-C

Fördermittelansatz: 980.000 Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.3.2 Windenergie

Die Windenergie ist ein elementarer Bestandteil eines auf erneuerbaren Energien basierenden Energieversorgungssystems. Im Jahr 2022 hat die Windenergie erneut den größten Beitrag der Stromversorgung aus erneuerbaren Energien geleistet. Im gesamten deutschen Strommix bleibt sie mit 25,9 Prozent der wichtigste Energieträger, noch vor der Braunkohle. Zusammen haben die Anlagen an Land und auf dem Meer etwas mehr als 125 Milliarden Kilowattstunden Strom produziert, rund 10 Prozent mehr im Vergleich zum Vorjahr.

Der Zubau von neu installierten Anlagen stieg gegenüber dem Vorjahr erneut leicht an. Die ans Netz angeschlossene Leistung durch Windenergie ist netto um rund 2,5 Gigawatt gestiegen, also um rund 850 Megawatt mehr als 2021. 342 Megawatt stammen von neuen Offshore-Windenergieanlagen.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Förderprojekte des BMWK sollen dazu beitragen, die Kosten von Strom aus Windenergie weiter zu senken. Dazu gehört unter anderem, die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Anlagen zu erhöhen. Die Ergebnisse der Windenergieforschung sollen zudem helfen, die Umsetzung der Energiewende zu beschleunigen, indem bestehende Hemmnisse identifiziert und behoben werden.

Vor diesem Hintergrund spielen etwa Fragestellungen zur Akzeptanz durch die Bevölkerung eine bedeutende Rolle. Ebenso der Themenbereich Windphysik: Durch besseres Verständnis der Ressource Wind kann dieser Energieträger bestmöglich genutzt werden. Dieses Wissen fließt wiederum bei der Entwicklung der Anlagentechnik und der Standortsuche ein. Beide Aspekte sind maßgeblich für die Höhe der Stromerzeugungskosten. Bei den zunehmend größeren und leistungsfähigeren Anlagen können Verbesserungen beispielsweise an Rotorblättern, Turm, Triebstrang und Generator Kosten senken und die Zuverlässigkeit steigern.

Bauteile müssen aufgrund der zunehmenden Größe leichter und nachhaltiger sein, etwa durch neue, gut verfügbare Materialien. Der Entwurf der Anlagen soll insgesamt nachhaltig angelegt sein: Bereits in der Designphase soll berücksichtigt werden, welcher Aufwand für Herstellung, Bau, Betrieb sowie für Rückbau und Recycling nötig ist. Ebenfalls soll bedacht werden, wie die Anlagen in das Stromnetz integriert werden können.

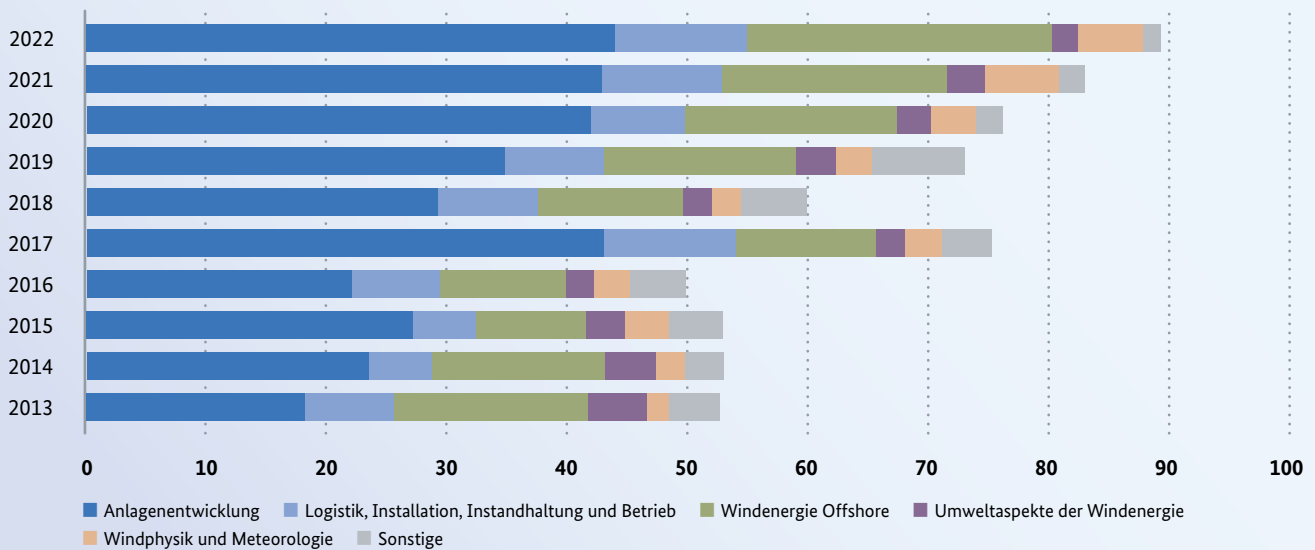
Speziell für Offshore-Windparks sind Logistik und Instandhaltung maßgeblich. Die Anlagen sind schwer zu erreichen, die Kosten für Reparaturen und Ausfälle entsprechend hoch. Innovative Netz-anbindungs- und Logistikkonzepte sind daher wichtig. Diese müssen die Verfügbarkeit der Anlagen, den Transport von Personen und Material sowie Fragen rund um Betrieb und Wartung berücksichtigen. Auch das sogenannte Pooling spielt eine Rolle: Dabei werden spezialisierte Werkzeuge oder Einsatzfahrzeuge beziehungsweise -schiffe von mehreren Unternehmen gemeinsam genutzt.

Das BMBF fördert Forschungsarbeiten, wie aus Meerwasser Wasserstoff erzeugt werden kann, indem die Wasser-Elektrolyse in die Offshore-Windenergieanlagen integriert wird. Da die Windenergie dadurch direkt für die Elektrolyse genutzt wird, muss die Anlage nicht an das Stromnetz angebunden werden – die Infrastrukturkosten sinken. Wenn das Stromnetz und die Elektrolyse voneinander entkoppelt sind, werden zudem öffentliche Netzstrukturen entlastet. Neben der Wasserstofferzeugung offshore steht auch im Fokus, wie Folgeprodukte wie Methanol oder Ammoniak offshore hergestellt werden können (siehe Kapitel 2.1.2 Wasserstoffleitprojekte, Seite 20, und das Highlightprojekt H2Mare, Seite 22).

Projektförderung

Im Schwerpunkt Windenergie haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2022 469 laufende Vorhaben mit rund 89,19 Millionen Euro gefördert. 2022 haben die Ministerien zudem 97 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 59,75 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 11).

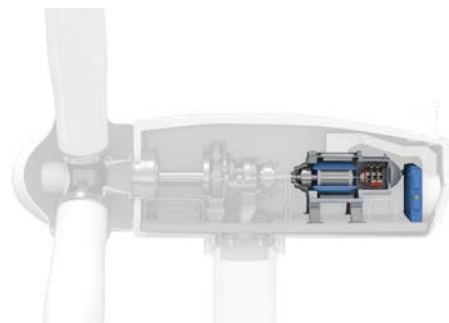
Abbildung 11: Fördermittel für Windenergie in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 4, Seite 103)



PROJEKTPORTRÄT

HiL-GridCoP – Hardware-in-the-Loop-Prüfung der elektrischen Netzverträglichkeit von Multi-Megawatt-Windenergieanlagen mit schnelllaufenden Generatorsystemen

Um die Netzverträglichkeit neuer Windenergieanlagen nachzuweisen, benötigen Hersteller Prüfzertifikate. Diese belegen, dass die aktuell gültigen Gesetze, Normen und Richtlinien eingehalten werden. Dafür sind bisher kostenintensive und langwierige Zertifizierungstests im Feld notwendig. Um diese durch Labortests zu ersetzen, hat das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES) gemeinsam mit den Windenergieanlagen-Herstellern Nordex, Vestas und anfangs Senvion einen Prüfstand entwickelt, der die elektrischen Eigenschaften von Windenergieanlagen realitätsnah im Labor nachbildet. Es wird ein Minimalsystem der späteren Anlage geprüft, bestehend aus Umrichter, Generator, Transformator und Hauptsteuerung. Der Rest des Systems wird mit Hilfe spezieller Hard- und Software in Echtzeit im HiL-Verfahren simuliert, kurz für „Hardware-in-the-Loop“. Ein Fokus der Forschungsarbeiten lag darin, reale Daten von Drehmoment und Drehzahl der Anlage exakt abzubilden. Das neue Prüfverfahren spart Zeit und Kosten – verschiedene Wind- und Netzbedingungen können nach



Im HiL-GridCoP-Teststand wird das Minimalsystem einer Windenergieanlage geprüft: Umrichter, Generator, Transformator und Hauptsteuerung.

Bedarf direkt und reproduzierbar simuliert werden. Neue, leistungsstarke Anlagen und Komponenten können somit schneller auf den Markt gebracht werden, die Energiewende wird vorangetrieben.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 0324170A-D

Fördermittelansatz: 8,7 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2017 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.3.3 Bioenergie

Mit etwa zwei Dritteln stellt Bioenergie aktuell den größten Teil der erneuerbaren Energien in Deutschland und ist damit ein wichtiger und unverzichtbarer Bestandteil der Energiewende. Die aktuelle Forschungsförderung im Bereich Bioenergie umfasst dabei Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die sich mit der Bereitstellung von Rest- und Abfallstoffen, dem nachhaltigen Biomasseanbau sowie der Strom-, Wärme- und Kraftstoffherstellung aus Biomasse und deren Integration in vorhandene Energiesysteme wissenschaftlich auseinandersetzen.

Von der gesamten Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien werden aktuell über 89 Prozent allein durch Biomasse erzeugt. Auch bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien spielt der Beitrag der Bioenergie mit etwa 19 Prozent eine bedeutende Rolle, im Wesentlichen durch die Nutzung von Biogas und Biomethan. Durch ihre Speicherfähigkeit und die flexiblen Einsatzmöglichkeiten trägt Biomasse zu einer regionalen und nachhaltigen Energieversorgung bei und kann so einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten.

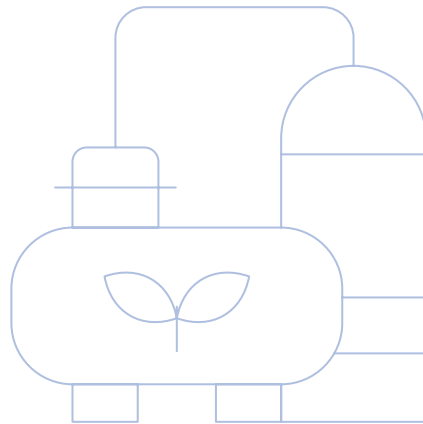
Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Energieforschung des BMEL umfasst Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben zur energetischen Nutzung von Rest- und Koppelprodukten sowie nachwachsenden Rohstoffen der land- und forstwirtschaftlichen Erzeugung. Gefördert werden die Forschungsvorhaben über das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe, das von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) betreut wird. Zu den Schwerpunkten zählen unter anderem die nachhaltige Bereitstellung biogener Ressourcen, die Entwicklung innovativer Konversionsverfahren, die Reduzierung von Umweltauswirkungen und Treibhausgasemissionen und die Integration der Bioenergie in

das Energiesystem in Verbindung mit Sektorkopplung, zur Erhöhung der Effizienz des Einsatzes der knappen Ressourcen und der Maximierung ihres Beitrages zum Gelingen der Energiewende.

In der BMBF-Förderung wird die Konversion von biogenen Abfallstoffen zu hochreinem, klimaneutralem Biowasserstoff beleuchtet. Der Fokus liegt hierbei, neben der Auswahl geeigneter Reststoffe, auf einer stabilen, kontinuierlichen, wirtschaftlichen und skalierbaren Abtrennung des Wasserstoffs aus thermochemisch hergestelltem Synthesegas.

Im Förderschwerpunkt „energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe“ des 7. Energieforschungsprogramms stellt das BMWK die Entwicklung und Erprobung zukunftsweisender Technologien sowie Verfahrens- und Prozessoptimierungen in den Mittelpunkt. Diese sollen eine effiziente, wirtschaftliche und vor allem nachhaltige Bereitstellung der Bioenergie ermöglichen. Das Ministerium fokussiert sich bei der Förderung auf praxisorientierte Lösungen mit Demonstrations- und Pilotcharakter, die die flexible Erzeugung von Strom und Wärme aus Biomasse, die Bereitstellung von Biokraftstoffen sowie die Erschließung biogener Rest- und Abfallstoffe unterstützen. Die Systemintegration, Sektorkopplung und Digitalisierung sind weitere Aspekte. Außerdem rücken Vorhaben zur biogenen Wasserstoffproduktion in den Fokus. Im Wärmebereich werden vor allem Lösungen zum Dekarbonisieren von Hochtemperaturprozessen gesucht. Im Niedertemperaturbereich stehen die Suche nach Lösungen für das Beheizen von Gebäuden beziehungsweise Quartieren sowie Wärmenetze, Ansätze zur Kopplung von zwei oder mehreren unterschiedlichen Energieanlagen (für Hybrid- oder Multibridsysteme) im Zusammenspiel von Strom, Wärme und Mobilität im Vordergrund. Damit verbunden ist auch die praktische Demonstration der CO₂-Abscheidung inklusive der notwendigen Verwendungs- und Nutzungsoptionen mit BECCUS (bioenergy with carbon capture and storage or utilization).

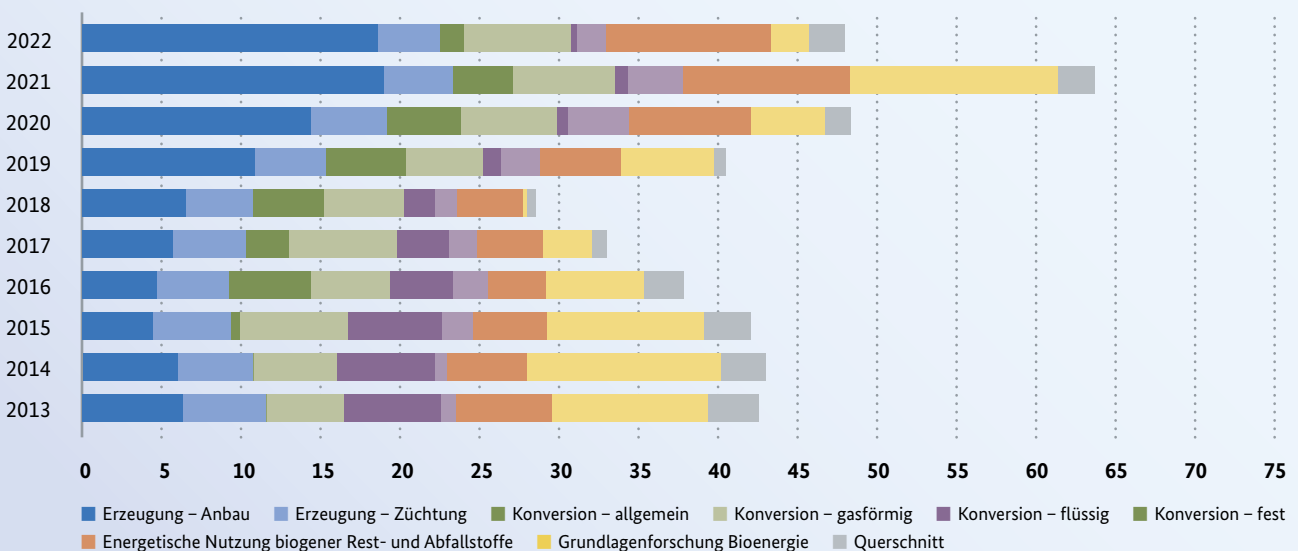


Klassische Forschungseinrichtungen, aber auch klein- und mittelständische Unternehmen, die Markteinführungen innovativer Technologien verfolgen, gehören zu den Fördermittelempfängern. Mit dem Ziel der Vernetzung und des Wissensaustauschs wird der Förderschwerpunkt vom DBFZ – Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinsame GmbH – wissenschaftlich begleitet. Ein aktiver Austausch zwischen den Forschenden wird durch das Forschungsnetzwerk Bioenergie ermöglicht.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Bioenergie hat die Bundesregierung im Jahr 2022 739 laufende Vorhaben mit rund 48 Millionen Euro gefördert. 2022 hat der Bund zudem 131 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 34,21 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 12).

Abbildung 12: Fördermittel für Bioenergie in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 103)



PROJEKTPORTRÄT

NETFLEX – *Verbundvorhaben: Entwicklung einer selbstlernenden Steuerung zur Integration von Biogasanlagen in Netze mit hohem Anteil fluktuierender Stromerzeuger*

Im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien ist mit dem Auftreten von Engpässen in den Verteilnetzen zu rechnen. Bisherige Lösungen wie der Lastausgleich, die Lastspitzenkappung, der Netzausbau und der Einsatz von Stromspeichern sind planungs- und kostenintensiv. Eine Alternative ist die an die Bedürfnisse der Verteilnetze angepasste regelbare, dezentrale Stromerzeugung durch Biogasanlagen. Dazu wurde eine Biogasanlagensteuerung zur bedarfsgerechten Stromproduktion und Vermeidung lokaler Netzüberlastung entwickelt. Damit können je nach Anwendungsfall strommarkt-, wärmebedarfs- und verteilnetzorientierte Fahrpläne für den Betrieb von Biogas-Blockheizkraftwerken erstellt werden. Mit der entwickelten Steuerung kann zusätzlich die Stromerzeugung aus Biogasanlagen auf tageszeitliche Schwankungen von Photovoltaik-Einspeiseprofilen kurzfristig und selbstlernend angepasst und damit eine höhere Einspeisung umliegender Photovoltaik-Anlagen ermöglicht werden. Hierzu sind laufend Wetterprognosen aus Modellen und modernen Nowcasting-Verfahren in das Steuerungssystem integriert. Durch das Vorhaben wird die Integration von Biogasanlagen als Systembaustein in intelligente Energienetze gefördert.



Im Forschungsprojekt NETFLEX haben Forschende eine Biogasanlagensteuerung zur bedarfsgerechten Stromproduktion und Vermeidung lokaler Netzüberlastung entwickelt.

Zuwendungsempfänger: Technische Hochschule Ingolstadt – Institut für neue Energie-Systeme, Ludwig-Maximilians-Universität München – Fakultät für Physik – Lehrstuhl für Experimentelle Meteorologie und Burghart GmbH & Co. KG

Förderkennzeichen: 22400318, 22405217, 22400418

Fördermittelansatz: 560.000 Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



PROJEKTPORTRÄT

EmissionPredictor – *Verbundvorhaben: Vorhersage und Reduktion von Schadstoffemissionen in Biomassefeuerungen durch Einsatz intelligenter Regler*

In dem Vorhaben wurde die Bildung der gasförmigen Emissionen Kohlenmonoxid und Stickoxide in einer Biomassefeuerung mittels numerischer Simulation beschrieben und damit eine Online-Optimierung der Verbrennungsführung ermöglicht. Es wurden zunächst Modelle zur Schadstoffbildung in numerische Simulationstools integriert und die Emissions-Vorhersage für instationäre Betriebsweisen der Feuerung validiert. Darüber hinaus wurden erstmals Regelungsmechanismen auf Basis statistischer und selbstlernender Methoden für Biomasseheizkraftwerke entworfen und damit eine Online-Feuerungsoptimierung während des Betriebs mit schwankenden Brennstoffeigenschaften erreicht. Diese Vorgehensweisen wurden zu einem Emissionskontrollsystem kombiniert und in einem Heizkraftwerk erprobt. Das Kontrollsystem agiert als zusätzlicher Rechner in der Leitwarte. Es liefert dem Betreiber erweiterte Informationen bezüglich der aktuellen Betriebsparameter und schlägt aktive Eingriffe vor. Die entwickelte Steuerung leistet einen Beitrag zur Senkung der Schadstoffemissionen und trägt zum vermehrten Einsatz von landwirtschaftlichen Reststoffen bei.



Forschende im Projekt EmissionPredictor haben unter anderem ein Emissionskontrollsystem entwickelt und in einem Heizkraftwerk erprobt.

Zuwendungsempfänger: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg – Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik, aixprocess GmbH und Heizkraftwerk Altstadt GmbH & Co. KG

Förderkennzeichen: 22040318, 22039218, 2219NR006

Fördermittelansatz: 420.000 Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.3.4 Geothermie

Erdwärme ist eine verlässliche Energiequelle. Zur Wärmenutzung ist die hydrothermale Geothermie in Deutschland mit aktuellen Technologien marktfähig. Die Stromproduktion spielt hierzulande hingegen eine untergeordnete Rolle. Erdwärme wird daher verstärkt für die Wärme- und Kälteversorgung von Haushalten, Quartieren und Unternehmen eingesetzt. Die Stadtwerke München beispielsweise planen, ihre Fernwärmenetze bis 2040 überwiegend mit Erdwärme zu versorgen. Im Bereich der tiefen Geothermie werden in Deutschland laut Bundesverband Geothermie aktuell über 40 Heiz- und Kraftwerke sowie kombinierte Heizkraftwerke mit einer Wärmeleistung von rund 350 Megawatt und einer elektrischen Leistung von knapp 50 Megawatt betrieben. Im Bereich der oberflächennahen Geothermie sind etwa 440.000 Anlagen – etwa Erdwärmesonden oder -kollektoren in Verbindung mit Wärmepumpen – mit einer Wärmeleistung von rund 4.400 Megawatt installiert.

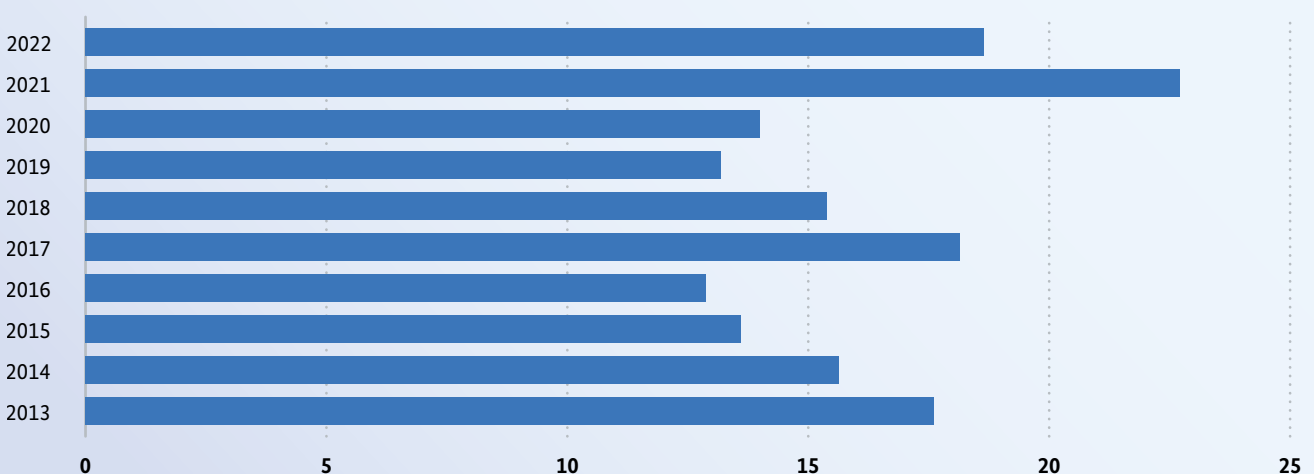
Strategisch soll die Nutzung der Geothermie zur Wärme- und Kälteversorgung sowie zum Spei-

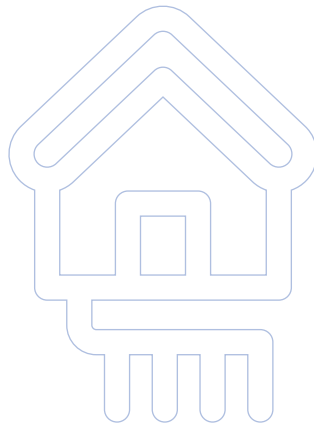
chern von Wärme in Deutschland weiter ausgebaut werden. Forschungsprojekte, die nach dem 7. Energieforschungsprogramm gefördert werden, sollen dazu beitragen, die Geothermie schnell einsetzbar zu machen, Kosten und Risiken beim Erschließen und Nutzen zu reduzieren sowie Bekanntheit und Akzeptanz der Geothermie zu steigern. Ein besonderer Fokus auf Demonstrations- und Pilotvorhaben soll zudem den Praxistransfer neuer Technologien beschleunigen. Um das Potenzial der Geothermie für die Wärmewende noch besser auszuschöpfen, benennt das BMWK in einem Eckpunktepapier darüber hinaus weitere konkrete Maßnahmen. Als Ergebnis des begleitenden Konsultationsprozesses sollen bis 2030 mindestens 100 zusätzliche geothermische Projekte angestoßen werden.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Geothermie hat das BMWK im Jahr 2022 110 laufende Vorhaben mit rund 18,64 Millionen Euro gefördert. 2022 hat das Ministerium zudem 22 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 20,69 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 13).

Abbildung 13: Fördermittel für Geothermie in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 103)





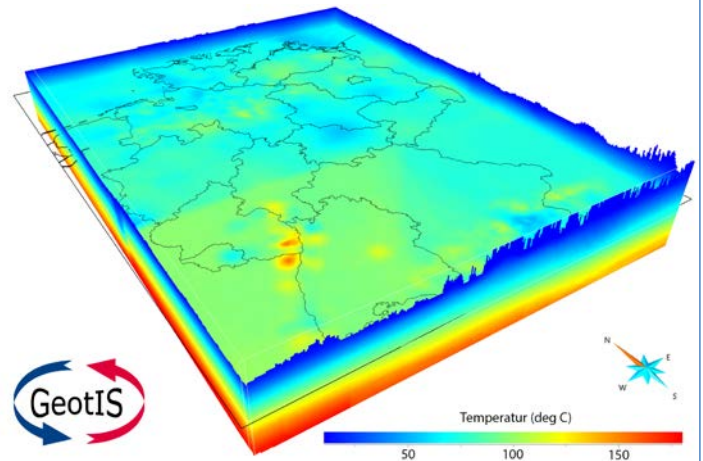
PROJEKTPORTRÄT

WärmeGut und Warm-Up – Bundesweit einheitliche Geoinformationen zur oberflächennahen Geothermie in Deutschland und Kriterienkatalog zur Auswahl von Explorationsmaßnahmen und -standorten für mitteltiefe Geothermie

Die Geothermie kann bedeutend zur Versorgung mit klimaneutraler Wärme beitragen. Ungenutzte Erdwärmepotenziale zu erschließen ist Ziel von Forschungsprojekten der BMWK-Erdwärmekampagne „Geothermie für die Wärmewende“.

Um die oberflächennahe Geothermie in Deutschland umfassender zu nutzen, vereinheitlichen Forschende im Projekt WärmeGut unter Koordination des LIAG bestehende geologische Daten der Länder und integrieren diese in das geothermische Informationssystem GeotIS. Das Nutzungspotenzial der oberflächennahen Geothermie wird anhand von Ampelkarten deutschlandweit dargestellt. Indem die Wissenschaftsteams die Erdwärmepotenziale mit Wärmebedarfsdichten abgleichen, werden ökologisch verträgliche Effizienzsteigerungen und wirtschaftliche Ausbaupfade der Erdwärme ermöglicht.

Forschende im Projekt Warm-Up entwickeln unter Koordination der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Kriterien, um Explorationsmaßnahmen sowie -standorte für die mitteltiefe Geothermie wissenschaftlich valide auswählen und bewerten zu können. Explorationsstandorte sollen dabei geologisch und infrastrukturell aussichtsreiche Voraussetzungen bieten. Anhand der erarbeiteten, bundesweit gültigen Kriterien werden hydrothermale Projekte mit hohen Erfolgsaussichten identifiziert, untersucht und Erschließungs- und Nutzungskonzepte entwickelt.



In GeotIS vereinheitlichen Forschende geologische Daten und integrieren diese in ein geothermisches Informationssystem.

WärmeGut

Zuwendungsempfänger: Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EE4046A-D

Fördermittelansatz: 13,8 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2022 – 2025

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



Warm-Up

Zuwendungsempfänger: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EE4049A-D

Fördermittelansatz: 2,8 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2022 – 2026

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.3.5 Wasserkraft und Meeresenergie

Wasserkraft macht etwa 3 Prozent der deutschen Stromproduktion aus. Gegenüber Wind- und Sonnenenergie bietet sie einen entscheidenden Vorteil: Wasserkraft ist weitgehend witterungsunabhängig und somit kontinuierlich verfügbar. Geeignete Standorte sind mit vorhandenen Technologien jedoch nahezu ausgeschöpft. Forschende setzen daher auf innovative Technologien, um die bestehenden Anlagen leistungstärker zu machen und neue Standorte zu erschließen. Auch wird erforscht, wie Wasserkraft dazu beitragen kann, besser auf

einen schwankenden Energiebedarf zu reagieren. Im Bereich Meeresenergie werden Entwicklung und Demonstration von Meeresströmungsturbinen sowie Wellenenergiekonvertern gefördert.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Wasserkraft und Meeresenergie hat das BMWK im Jahr 2022 4 laufende Vorhaben mit rund 0,31 Millionen Euro gefördert. 2022 hat das Ministerium zudem 3 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 1,33 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 14).

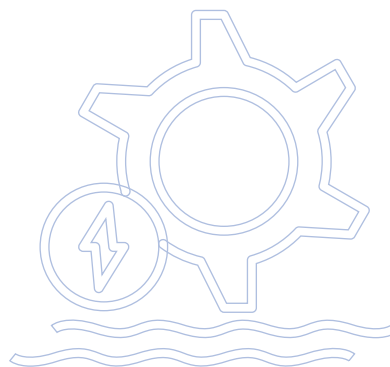
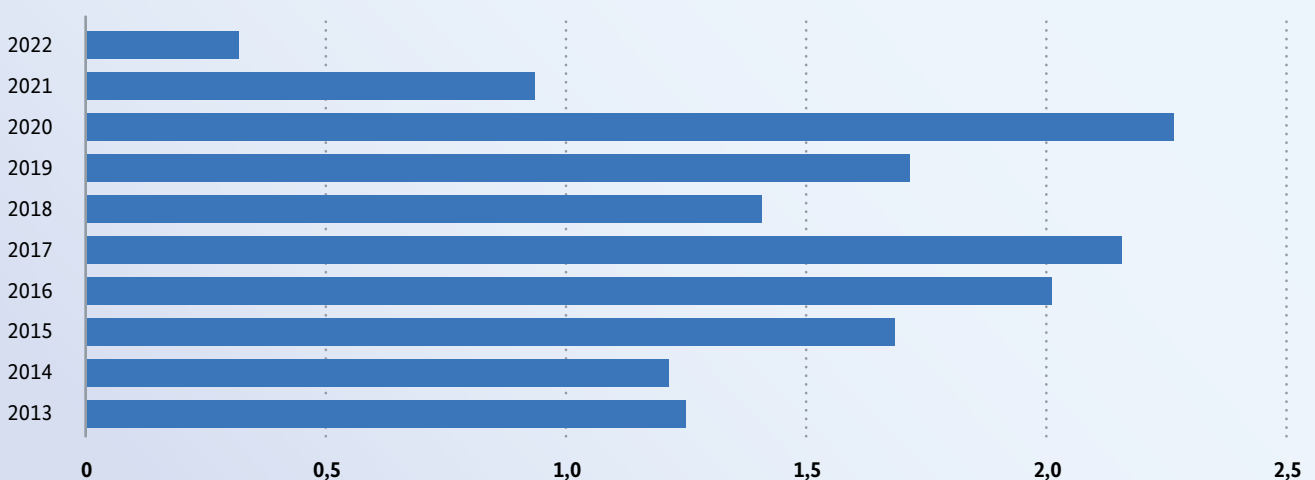


Abbildung 14: Fördermittel für Wasserkraft und Meeresenergie in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 103)



2.3.6 Thermische Kraftwerke

Weg von fossilen Brennstoffen hin zu synthetischen Gasen wie Wasserstoff oder anderen alternativen Brennmaterialien: Damit sollen thermische Kraftwerke in Zeiten der Energiewende effizient und emissionsarm arbeiten. Zudem müssen die Kraftwerke schnell und verlässlich Strom produzieren, wenn die Sonne nicht scheint oder kein Wind weht.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Der Einsatz alternativer Brennstoffe stellt Gasturbinen vor große Herausforderungen. Er geht mit anderen Verbrennungseigenschaften als bei Erdgas einher. So unterscheiden sich beispielsweise die bei der Verbrennung auftretenden Temperaturen, Flammgeschwindigkeiten oder Zündverzugszeiten. Daher müssen die Verbrennungssysteme fit für die nächste Gasturbinengeneration gemacht werden. Benötigt werden angepasste Anlagenkonzepte und Betriebsprozesse, auch für Power-to-X-to-Power-Prozesse. Zudem müssen die verwendeten Werkstoffe optimiert werden. Hintergrund ist, dass

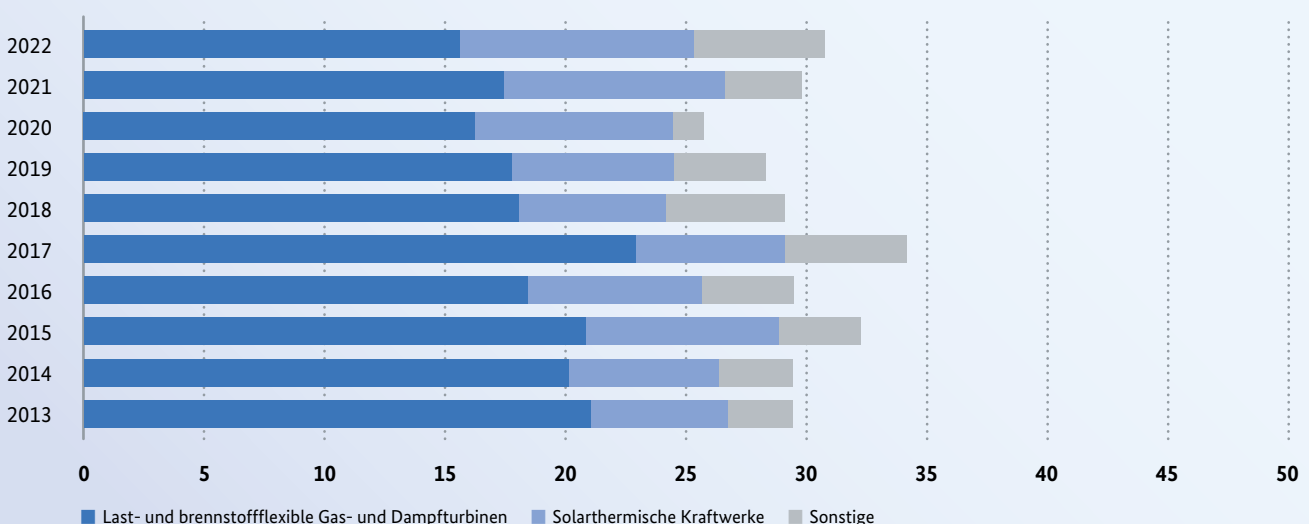
die Turbinenbauteile immer häufiger starken Last- und Temperaturwechseln durch eine zunehmend flexiblere Betriebsweise der Kraftwerke ausgesetzt sind.

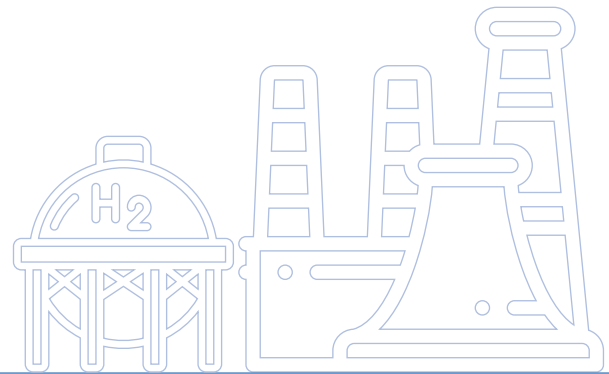
Solarthermische Kraftwerke nutzen hingegen konzentrierte Sonnenenergie, um Strom zu produzieren. Diese Form der Stromerzeugung wird in Ländern wie Spanien, Marokko oder den Vereinigten Arabischen Emiraten mit vielen Sonnenstunden weiter an Bedeutung gewinnen. Deutschland besitzt lediglich Demonstrationsanlagen zu Forschungszwecken. Seine große Kompetenz im Anlagen- und Maschinenbau soll jedoch für den Export weiter gestärkt werden – etwa mit Forschungsarbeiten an neuen Wärmeträgermedien wie Flüssigsalz oder der Receivertechnologie.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Thermische Kraftwerke hat das BMWK im Jahr 2022 356 laufende Vorhaben mit rund 30,72 Millionen Euro gefördert. 2022 hat das Ministerium zudem 86 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 41,65 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 15).

Abbildung 15: Fördermittel für Thermische Kraftwerke in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 103)



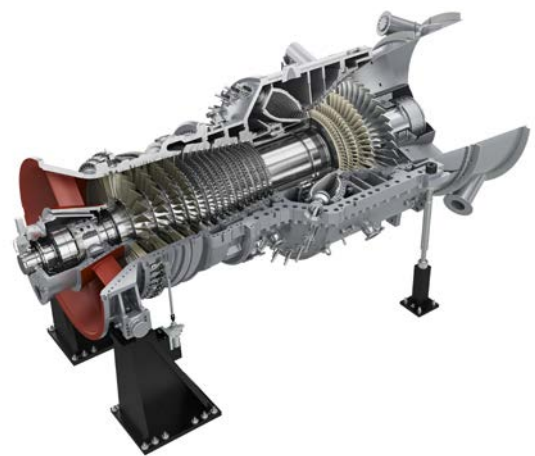


PROJEKTPORTRÄT

4FH2Max – Optimierung des bestehenden Verbrennungssystems der Siemens Energy Gasturbine 4000F für den sicheren Betrieb mit Wasserstoffanteil >50%vol zur CO₂-Emissionsreduktion

Bei stationären Gasturbinen kann die Brennstoffzusammensetzung prinzipiell von reinem Erdgas in Richtung Wasserstoff verschoben werden. Da sich die Verbrennungseigenschaften von Wasserstoff und Erdgas stark unterscheiden, stellt das Beimischen von Wasserstoff allerdings hohe Anforderungen an den Brenner. Ein zunehmender Anteil an Wasserstoff im Brenngas beeinflusst entscheidende Verbrennungsparameter, wie die Flammgeschwindigkeit, Flammenlänge und lokale Wärmefreisetzung. Wie sich der Wasserstoff im Brenngas auswirkt, soll im Projekt 4FH2Max unter Einsatz laseroptischer Messverfahren analysiert werden. Die Ergebnisse tragen dazu bei, wasserstofffähige Gasturbinenbrenner zu optimieren.

Die Siemens Energy SGT5/6-4000F Gasturbine ist mit über 350 betriebenen Anlagen weltweit im Einsatz. Ziel des 4FH2Max-Wissenschaftsteams ist es, den Brenner so weiterzuentwickeln, dass der Betrieb der Gasturbine mit Wasserstoffanteilen von mehr als 50 Prozent bei gleicher Leistung möglich wird. Die Lösung soll vollständig kompatibel zur installierten 4000F-Flotte sein. Damit wird gewährleistet, dass



Im Projekt 4FH2Max wird unter anderem durch laseroptische Messverfahren analysiert, wie sich Wasserstoff im Brenngas auswirkt.

die Betreiber die erforderlichen Anpassungen an der Gasturbine ohne großen wirtschaftlichen Aufwand nachrüsten, aber auch in Neuanlagen verwenden können.

Zuwendungsempfänger: Siemens Energy Global und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Antriebstechnik

Förderkennzeichen: 03EE5119A+B

Fördermittelansatz: 2,6 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2022 – 2026

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.4 Systemintegration

2.4.1 Stromnetze

Im Zuge der Energiewende wird das Energiesystem nicht nur von fossilen auf erneuerbare Energiequellen umgestellt. Auch die Infrastruktur selbst muss umgebaut werden. Während der Strom früher über kurze Transportwege von Großkraftwerken zu den umliegenden Industriebetrieben und Privathaushalten geleitet wurde, muss der Strom inzwischen von der Erzeugungsanlage bis zur Steckdose längere Wege zurücklegen. Ein Grund für den notwendigen Ausbau der Netzkapazitäten ist, dass Energie hauptsächlich in Windkraftparks an der Nordseeküste und auf dem Meer gewonnen und von dort in die bevölkerungsreichen und verbrauchsintensiven Ballungszentren in West- und Süddeutschland gebracht wird. Ein weiterer Grund: Stromleitungen sind keine Einbahnstraßen mehr wie früher. Stattdessen können sie mit vielbefahrenen mehrspurigen Autobahnen verglichen werden. Weil immer mehr Verbraucherinnen und Verbraucher selbst zu Stromproduzierenden werden und zum Beispiel über Photovoltaikanlagen auf Gebäudedächern Energie einspeisen, entwickelt sich das

Energiesystem zu einem feinmaschigen Netz, das an unzähligen Punkten optimal und flexibel miteinander verknüpft und aufeinander abgestimmt werden muss. Dabei gilt das NOVA-Prinzip: Netz-Optimierung vor Verstärkung vor Ausbau.

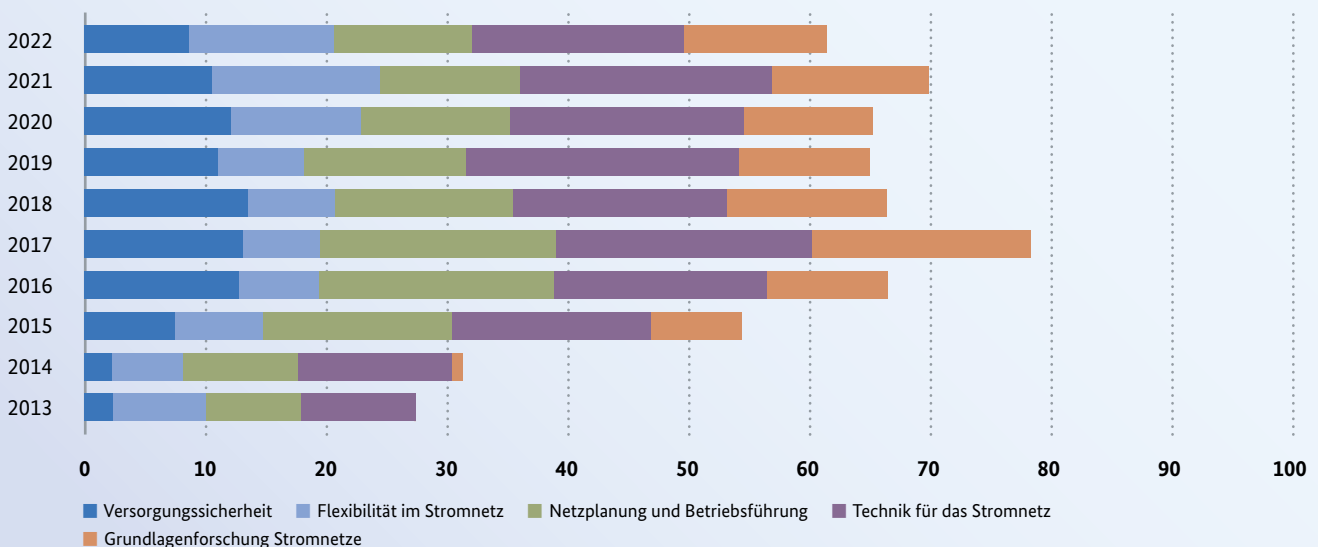
Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Um die Forschung für ein zukunftsfähiges Energiesystem zu stärken, hat das BMWK 2022 einen Förderaufruf zu Stromrichtern veröffentlicht. Der Förderaufruf Stromrichter Lebensdauer (StRiLeb) hat zum Ziel, Verbundprojekte zu fördern, in denen Fachleute die Ursachen für Stromrichterausfälle erforschen, die Lebensdauer von Stromrichter-Systemen verlängern und die Betriebsführung von Erneuerbare-Energie-Anlagen mit höherer Resilienz verbessern.

Das BMBF setzt die erfolgreiche Förderung von ganzheitlichen inter- und transdisziplinären Lösungsansätzen fort. So erforscht das Kopernikus-Projekt ENSURE Bausteine für eine im Zuge der Energiewende bis 2045 veränderte, mehr dezentrale Energieversorgung. Dabei werden kontinuier-

Abbildung 16: Fördermittel für Stromnetze in Mio. Euro

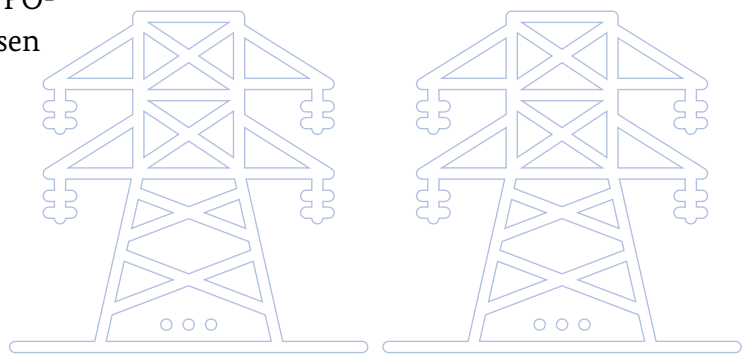
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 104)



lich auch die gesellschaftlichen, ökonomischen, ökologischen und politischen Rahmenbedingungen betrachtet. Technischer Schwerpunkt sind die zukünftigen Netzstrukturen unter Berücksichtigung von Digitalisierung, Sektorkopplung und hoher Leistungsverfügbarkeit für neue Anwendungsfälle wie der Elektromobilität. Der Forschungscampus Flexible Elektrische Netze (FEN) zielt auf die Nutzung von DC-Technologien für eine Energieversorgung mit einem hohen Anteil an dezentralen und erneuerbaren Energiequellen. In HYPOWER wird die Integration von Groß-Elektrolysen in das Stromnetz untersucht.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Stromnetze haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2022 568 laufende Vorhaben mit rund 61,28 Millionen Euro gefördert. 2022 haben die Ministerien zudem 130 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 56,77 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 16).



PROJEKTPORTRÄT

RegEnZell – Zellenübergreifende Regionalisierung der Energieversorgung durch betrieboptimierte Sektorkopplung

Das Verteilnetz in puncto Betrieb und Sektorkopplung optimieren: Das war das Ziel des Projektteams in zwei Energiezellen der benachbarten Städte Kirchheimbolanden und Alzey in Rheinland-Pfalz. Dabei untersuchten die Fachleute deren Energieströme und verbesserten das zellenübergreifende Zusammenspiel. Gleichzeitig schaute das Team, wie mehr regionaler Strom aus erneuerbaren Energien genutzt werden kann. Dabei war zum einen eine Maßgabe, dass im Realbetrieb Flexibilitäten intelligent genutzt werden. Zum anderen simulierten die Forschenden, wie sich die Residualleistung in den Energiezellen, also die Last, die aus dem vorgelagerten Netz bezogen werden muss, verringern lässt. Eine zentrale Technologie war hier, überschüssigen Strom aus erneuerbaren Energien in synthetisches Methan für die lokale Energieversorgung umzuwandeln. Dieser Power-to-Gas-Prozess hat sich auch in realen Experimenten als gut geeignet erwiesen, um schnell und flexibel auf Lastwechsel zu reagieren. Das heißt: Wenn künftig mehr Erneuerbare-Energien-Anlagen einbezogen würden,



Beim Feldtest in der Energiezelle Alzey wurde auch Öko-Strom aus Windenergie einbezogen (Symbolbild).

ließe sich dieses Potenzial nach Einschätzung der Fachleute vervielfachen und das erneuerbar erzeugte Methan ins Netz integrieren und vermarkten.

Zuwendungsempfänger: EWR Netz und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 0350062A-D

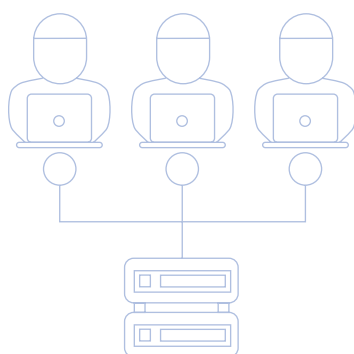
Fördermittelansatz: 2,2 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO





PROJEKTPORTRÄT

BEAUTIFUL – Belastungsoptimierte Arbeitsgestaltung für Netzleitstellen kritischer Infrastrukturen – Kognitive Ergonomie, Assistenzsysteme und Leitwarten-Simulatoren

In den Netzleitstellen der Verteilnetzbetreiber verantwortet das Leitstellenpersonal den zuverlässigen Betrieb der Strom- und Gasnetze. Jedoch führen die voranschreitende Sektorkopplung sowie die Zunahme dezentraler Energiesysteme zu einem signifikanten Anstieg von relevanten Prozessinformationen, die das Leitstellenpersonal bei der Netzbetriebsführung berücksichtigen muss. Ziel des Projekts BEAUTIFUL ist es, die Arbeitsbedingungen des Leitstellenpersonals so zu optimieren, dass es auch zukünftig bei steigender Informationsmenge handlungsfähig bleibt. In einem ersten Schritt werden hierfür Leitwartensimulatoren zur realitätsnahen Abbildung verschiedener Betriebssituationen sowie ergonomische Assistenzsysteme entwickelt, um kritische Entscheidungen sicher treffen zu können. Anschließend werden diese am Beispiel der Energieversorgung in regionalen Verteilnetzen unter realen Bedingungen getestet. So können im zunehmend vernetzten Energiesystem Netzleitstellen durch soziotechnische Systeme



Das Leitstellenpersonal verarbeitet Informationen für die Strom- und Gasversorgung.

ergänzt und eine belastungsoptimierte Arbeitsgestaltung für das Leitstellenpersonal in den kritischen Infrastrukturen realisiert werden.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT und neun weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SF0694A-I

Fördermittelansatz: 7 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2023 – 2025

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.4.2 Stromspeicher

Ob groß oder klein, mechanisch oder chemisch, unter- oder überirdisch, Stromspeichertechnologien dienen alle dem Zweck, den Stromverbrauch von Ort und Zeit der Erzeugung abzukoppeln. Das macht sie zu wesentlichen Bausteinen des künftigen Energiesystems, das auf Strom aus erneuerbaren Energien setzt. Da dessen Anteil im Energiesystem stetig steigt, wird es auch immer herausfordernder, die zunehmende, fluktuierend erzeugte Menge Strom aus regenerativen Energiequellen zu speichern. Deswegen werden leistungsstarke und kostengünstige Stromspeicher benötigt – mit einer hohen Energiedichte, Lebensdauer und Betriebssicherheit. In den vergangenen Jahren sind zudem die Kriterien einer nachhaltigen Herstellung sowie einer Wiederverwertbarkeit kritischer Rohstoffe wichtiger geworden. Abhängigkeiten von bestimmten Rohstoffen sollen gesenkt werden. Das geschieht beispielsweise, indem die eingesetzten Zellmaterialien recycelt und die Haltbarkeiten erhöht werden.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Der Fokus liegt auf der Förderung stationärer Stromspeicher. Um Forschungsteams zu unterstützen, hat das BMWK im Jahr 2022 den Förderaufruf „Innovative Materialien für die optimierte Systemintegration von stationären Stromspeichersystemen (IMSES)“ veröffentlicht. Angesprochen hat das Ministerium damit Fachleute, die Zellen und Batteriesysteme weiterentwickeln. Dabei sollten folgende Aspekte besonders berücksichtigt werden: Ressourcen- und Rohstoff-Verfügbarkeit, etwa im Falle eines großdimensionierten Rollouts von Stromspeichern, Klimaneutralität und Umweltfreundlichkeit der Materialien („Grüne Chemie“), Material-, Zell- und Batterie-Recycling, Material-

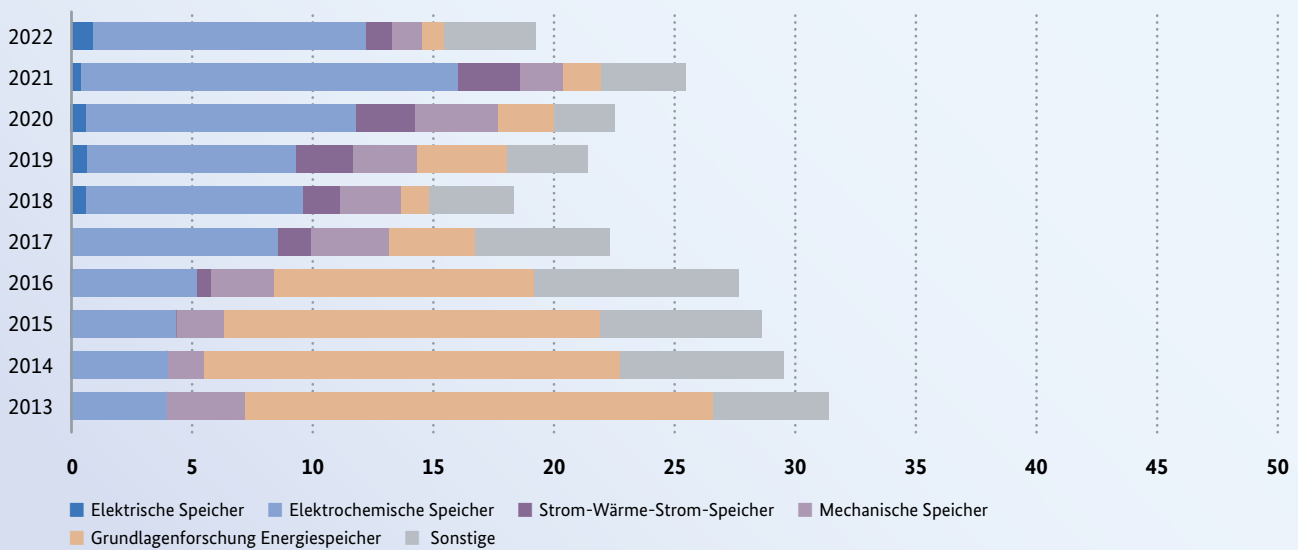
und Betriebssicherheit, Kostenreduktion auf Komponenten- und Speicherebene, Alterungsprozesse sowie Synergiepotenziale für mobile Stromspeicher. Damit dient der Förderaufruf dem Ziel des BMWK, dem steigenden Bedarf an stationären Energiespeichern im Stromnetz gerecht zu werden und deren Einsatz in Bezug auf das Energiesystem zu verbessern. So können mögliche Potenziale gehoben werden – etwa indem die Elemente und Komponenten stärker vernetzt werden und so besser interagieren können. Daher ist es besonders wichtig, dass sich betroffene (Verteil-)Netzbetreiber aktiv beteiligen und die Anforderungen von Endverbraucherinnen und Endverbrauchern berücksichtigt werden.

Neben der Optimierung der Lithium-Ionen-Batterie sieht das BMBF vor dem Hintergrund der Bemühungen um Unabhängigkeit der Energieversorgung einen hohen Forschungsbedarf bei neuartigen Batterietypen. Ziele sind langlebige stationäre Batterien und der Verzicht auf kritische Rohstoffe sowie eine signifikante Kostensenkung. Das BMBF fördert mit einer Initiative zur deutsch-französischen Forschungskoooperation beispielsweise eine hochinnovative Polymerbatterie oder ein Konzept für eine Zink-Mangandioxid-Batterie, das mit einer besonders leistungsfähigen und stabilen Mangandioxid-Elektrode einen Durchbruch erzielt hat. Weiterhin stößt das BMBF mit dem Innovationswettbewerb „Weltspeicher“ die Entwicklung eines besonders kostengünstigen Hausspeichers auf Zink-Ionen-Basis an.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Stromspeicher haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2022 192 laufende Vorhaben mit rund 19,28 Millionen Euro gefördert. 2022 haben die Ministerien zudem 18 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 12,57 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 17).

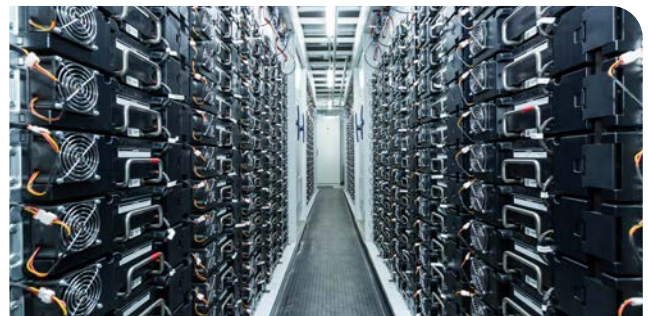
Abbildung 17: Fördermittel für Stromspeicher in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 104)



PROJEKTPORTRÄT

HyReK – HybridRegelKraftwerk 2.0 – Entwicklung, Optimierung und Validierung eines sektorenkopplenden Hybridspeichersystems zur Bereitstellung von Primärregelleistung

Für ein funktionierendes Stromsystem wird flexible Regelernergie benötigt. Sie gleicht Schwankungen im Netz aus, indem sie bei Bedarf als Reserve eingespeist oder entnommen wird. Derzeit wird Regelernergie überwiegend durch fossil betriebene Kraftwerke bereitgestellt. Werden diese abgeschaltet, sind neue Lösungen nötig. Hier setzte das Forschungsteam an, indem es mithilfe eines Hybridregelkraftwerks die Flexibilität der Energieabgabe erhöhte und damit das Stromnetz stabilisierte. Die Fachleute untersuchten, wie der Betrieb eines Bremer Kraftwerks, das um eine Großbatterie und eine Power-to-Heat-Anlage erweitert wurde, optimiert werden kann. Dafür schauten sie nicht nur auf die einzelnen Kraftwerkskomponenten Stromspeicher, Wärmespeicher und Elektrokessel, sondern auch auf das Zusammenspiel des Gesamtsystems. Nach Einschätzung der Projektpartner könnte ihr Modell dazu beitragen, konventionelle Kraftwerke künftig durch neue Technologien zu ersetzen. Damit diese wirtschaftlich und nachhaltig betrieben werden



Der Batteriespeicher trägt dazu bei, den Betrieb des Hybridregelkraftwerks Bremen-Hastedt zu optimieren.

können, analysierte das Forschungsteam auch ökologische, ökonomische und soziale Fragen zu dem neuen Kraftwerkstyp und erarbeitete Empfehlungen, die die Chancen für eine Umsetzung in Deutschland volkswirtschaftlich einordnen.

Zuwendungsempfänger: swb Erzeugung AG & Co. KG und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ET6147A-C

Fördermittelansatz: 2,5 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



INFO

Forschung und Entwicklung im Bereich der Batteriezellen und -systeme

Mobile und stationäre Energiespeicher sind von entscheidender Bedeutung für eine erfolgreiche Transformation der Energie- und Mobilitätssysteme. Insbesondere bei der Elektromobilität entfällt ein größerer Teil der Wertschöpfung zukünftig auf das Batteriesystem. Um Investitionen in diese Schlüsselbranche in Europa anzustoßen, den Rohstoff- und Energieeinsatz in der Batteriezellfertigung zu reduzieren, das Batterierecycling technisch voranzubringen und in diesen Zukunftsfeldern künftig unabhängig von Importen sein zu können, stehen die verschiedenen elektrischen und elektrochemischen Speicher (wiederaufladbare Batterien ebenso wie Superkondensatoren) im Mittelpunkt der BMWK-Forschungsförderung. Das ökonomische Ziel: Technologische Kompetenz zur Batterie-zelle, ihrer Produktion sowie dem Recycling in Deutschland zu bündeln und zu stärken sowie europaweit eine großskalige Produktion auf Basis von Forschung und Innovation zu etablieren. Dafür hat das BMWK neben der Initiative zum Aufbau einer Batterie-Wertschöpfungskette im

Rahmen zweier europäischer IPCEI-Projekte („*Important Projects of Common European Interest*“) auch einen Förderaufruf zur Batterieforschung unter dem 7. Energieforschungsprogramm veröffentlicht, der die beiden IPCEIs ergänzt und flankiert. Im Rahmen dieses Förderaufrufs werden insbesondere Maßnahmen im Bereich der Nachhaltigkeit und Digitalisierung gefördert. Schwerpunkte der Förderung liegen auf innovativen und anwendungsnahen Lösungen für effiziente Material- und Energienutzung im gesamten Batterie-Wertschöpfungskreislauf sowie auf Zweitnutzungs- und Recyclingkonzepten. Weitere Schwerpunkte sind Forschungs- und Entwicklungsprojekte in den Bereichen Batterietest, Zertifizierung, Industrie 4.0 und Anwendungen von Batteriezellen der nächsten Generation. Übergeordnetes Ziel ist eine nachhaltige, ressourcenschonende Kreislaufwirtschaft für eine hochqualitative und wettbewerbsfähige Batterieproduktion in Deutschland.

2.4.3 Sektorkopplung und Wasserstoff

Im Zuge der Energiewende gilt es, erneuerbar erzeugte Energieträger in alle Sektoren des Energiesystems einzuführen. Aus erneuerbaren Energien hergestellter Wasserstoff kann Sektoren wie Industrie, Verkehr und Wärme dekarbonisieren, die sich auf anderem Weg nur schwer klimaneutral gestalten lassen. Wasserstoff ist dafür ein Schlüsselement. Er kann etwa in der Stahlproduktion oder der chemischen Industrie als Rohstoff genutzt werden, im Verkehrssektor in Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb zum Einsatz kommen oder Bestandteil synthetischer Kraftstoffe, etwa für Flugverkehr, sein. In einem vernetzten Energiesystem ist er Speichermedium für erneuerbare Energie.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

BMWK und BMBF fördern Forschung und Entwicklung zu einem breiten Spektrum von Themen entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette. Diese spiegeln auch die Schwerpunkte der Nationalen Wasserstoffstrategie wider. Das sind die Wasserstoff-Leitprojekte, die Grundlagenforschung grüner Wasserstoff sowie die angewandte Energieforschung im Rahmen der Technologieoffensive Wasserstoff und der Wasserstoff-Reallabore der Energiewende.

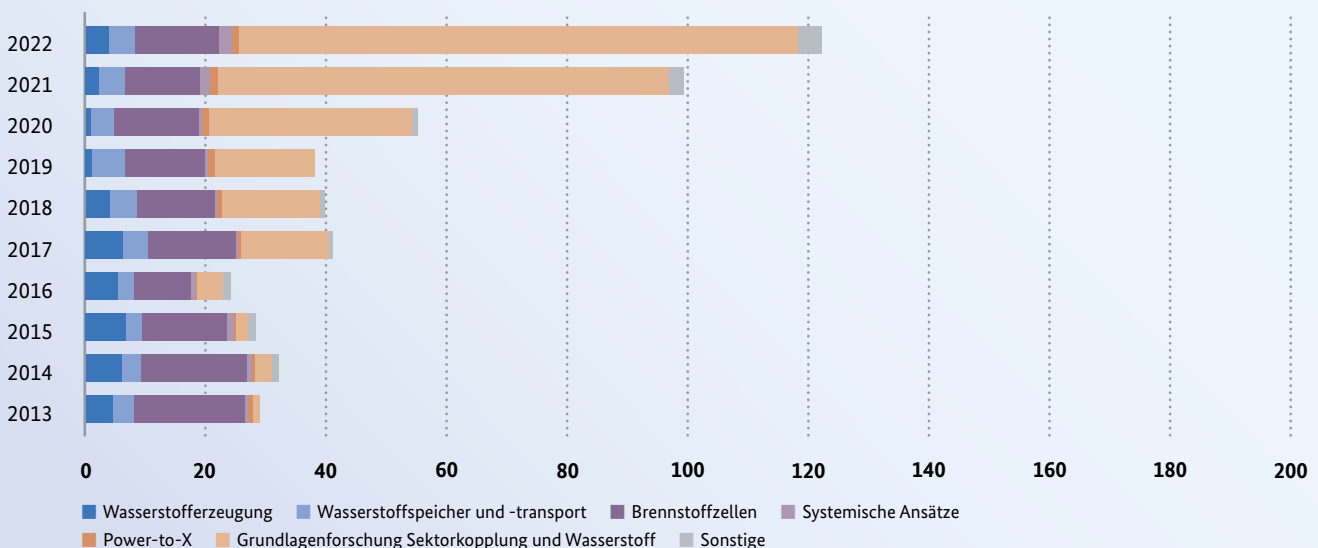
In der anwendungsnahen Forschungsförderung des BMWK stehen im Kontext von Wasserstoff-

technologien zahlreiche zukunftsfähige Arbeitsplätze, neue Wertschöpfungspotenziale und ein globaler Milliardenmarkt im Fokus. Mit der im Juni 2020 von der Bundesregierung beschlossenen Nationalen Wasserstoffstrategie als Grundstein für den Markthochlauf ist ein kohärenter Handlungsrahmen für die künftige Erzeugung, den Transport und die Nutzung von Wasserstoff geschaffen worden. In diesem Rahmen fördert das BMWK Forschung und Entwicklung, die diese Ziele unterstützen. Zusätzlich treiben die „Important Projects of Common European Interests“ (IPCEI) für Wasserstofftechnologien und -systeme auf europäischer und die Internationalen Wasserstoffprojekte auf globaler Ebene den Markthochlauf voran (siehe Kapitel 5.2 Innovationsförderung der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms, Seite 98). Mit der Technologieoffensive Wasserstoff spricht das BMWK zudem Unternehmen und Forschungsgruppen an, die so ihre Entwicklungsanstrengungen zur Wasserstofferzeugung sowie die Nutzung von Wasserstoff in industriellen Prozessen, zur Speicherung und zum Transport in Gasnetzen sowie auf Straßen und Schienen ausweiten. Systemanalytische Arbeiten begleiten die Offensive für eine globale Wasserstoffwirtschaft. Ergänzend unterstützt das vom BMWK koordinierte, ressort-

übergreifende Forschungsnetzwerk Wasserstoff den Austausch von Fachleuten aus Industrie, Hochschule und Forschungsinstituten über die Erzeugung, Speicherung, Verteilung und sektorenübergreifende Nutzung von Wasserstoff. 2022 hat das Forschungsnetzwerk eine ausführliche Version der im Vorjahr veröffentlichten Expertenempfehlung des Netzwerks vorgestellt. Der darin dargelegte Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Bereich der Wasserstoffinnovationen bis 2025 wurde im Oktober 2022 auf dem Wasserstoff-Dialog bekräftigt, der gemeinsam mit dem Projekt Wasserstoff-Kompass durchgeführt wurde. Dieses von BMWK und BMBF geförderte Vorhaben erarbeitet die Basis für eine deutsche Wasserstoff-Roadmap.

Das BMBF unterstützt im Bereich der Grundlagenforschung den Wasserstoffhochlauf. Im Mittelpunkt stehen hier die Wasserstoffleitprojekte. Daneben entwickelt das Kopernikus-Projekt P2X neue Produktionsrouten für die Chemie- und Grundstoffindustrie auf Basis von mit erneuerbaren Energien erzeugtem Wasserstoff. P2X hat Fortschritte bei der Wasserstofferzeugung und der Entwicklung von Kraftstoffen, Kunststoffen und bei der Glasproduktion erzielt. Die intelligente Verknüpfung zwischen Strom, Verkehr, Wärme und

Abbildung 18: Fördermittel für Sektorkopplung und Wasserstoff in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 104)



Kälte untersuchen Forschende im Projekt SEKO am Beispiel einer Forschungsinfrastruktur mit realen Komponenten und setzen dabei stark auf Informations- und Kommunikationstechnologien.

Auch Carbon2Chem setzt, neben CO₂ aus industriellen Quellen, Wasserstoff aus erneuerbaren Energien ein, um chemische Rohstoffe herzustellen. Das Projekt trägt so zur Sektorkopplung bei (siehe Kapitel 2.5.4 CO₂-Technologien, Seite 62). Das Projekt hyBit baut eine Wasserstoffökonomie im Bremer Industriehafen auf und adressiert die Wechselwirkungen zwischen Wasserstoffherzeugung, Industrie, Mobilität, Logistik und urbanen Strukturen (siehe Highlightprojekt, Seite 54). Die Industrieforschungsplattform WAVE-H2 integriert Erzeugung, Verteilung und Speicherung von Wasserstoff mit der Nutzung in flexiblen industriellen Produktionsprozessen, die wahlweise mit Strom

oder mit Wasserstoff betrieben werden können. Mit den Ergebnissen kann die Industrie nicht nur ihren CO₂-Ausstoß senken, sondern auch das Stromnetz stabilisieren.

In der Grundlagenforschung tragen sowohl technologische Innovationen als auch Systemstudien zur Sektorkopplung mit Wasserstoff bei.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Sektorkopplung und Wasserstoff haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2022 552 laufende Vorhaben mit rund 130,83 Millionen Euro gefördert. 2022 haben die Ministerien zudem 191 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 187,20 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 18).

PROJEKTPORTRÄT

OffsH2ore – Wasserstoffherzeugung Offshore mittels Offshore-Windenergie als Insellösung

Mit Strom aus erneuerbaren Energien erzeugter Wasserstoff soll eine tragende Säule bei der Dekarbonisierung des Energiesystems werden. Eine Standortoption für die Wasserstoffproduktion hierzulande ist auf See mithilfe von Offshore-Windstrom. Diese Option haben die OffsH2ore-Projektpartner näher untersucht. Sie erforschten, wie es technisch und wirtschaftlich bestmöglich gelingen könnte, Wasserstoff auf dem Meer herzustellen und per Schiff an Land zu bringen. Ausgangspunkt war ein fiktiver Offshore-Windpark in der Nordsee, der mit einer Elektrolyseplattform verbunden ist. Auf dieser kann grüner Wasserstoff produziert werden. Ein Schiff liefert diesen an die Küste. Neben den Herausforderungen bei den Betriebsbedingungen auf See analysierten die Fachleute Fragen der Speicherung, des Transports und der Logistik, des Betriebs und der Wartung der Offshore-Anlagen sowie regulatorische Aspekte. Die größte Herausforderung war, dass grüner Wasserstoff bislang noch nicht auf See



Wasserstoff auf dem Meer produzieren und an Land transportieren: Wie das technisch und wirtschaftlich optimal gelingen könnte, haben die OffsH2ore-Projektpartner untersucht.

produziert worden ist. Die Empfehlungen des Forschungsteams könnten als Musterlösung für die Entwicklung von Pilot- und Großprojekten dienen.

Zuwendungsempfänger: PNE AG und vier weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EI3031A, C-F

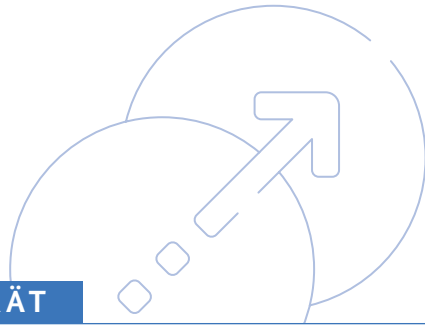
Fördermittelansatz: 2 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO





PROJEKTPORTRÄT

hyBit – *Hydrogen for Bremen's industrial Transformation. Ein Initialimpuls für die Entwicklung einer norddeutschen Wasserstoff-Ökonomie*

In hyBit wird im Bremer Industriehafen beispielhaft untersucht, wie der Aufbau einer nachhaltigen Wasserstoff-Ökonomie und deren Integration in das regionale und deutsche Energie- und Wirtschaftssystem geschehen kann. Die notwendige Wasserstofftransformation rund um das Bremer Stahlwerk wird dabei sowohl sektorenübergreifend als auch bezüglich der Wechselwirkungen auf unterschiedlichen soziotechnischen, ökonomischen, ökologischen und regulatorischen Ebenen erforscht. Da die Transformationen der einzelnen Sektoren aufwändige, kostenintensive und langfristig wirksame Entscheidungen bedingen, sollen Wechselwirkungen und Synergien herausgearbeitet werden, um diese Entscheidungen optimal aneinander auszurichten und eine gegenseitige Behinderung zu vermeiden. Zentrales Element ist eine digitale Transformationsplattform, welche die Wechselwirkungen auf unterschiedlichen Ebenen erfasst und gleichzeitig dem Monitoring dienen soll. Wenn der Transformationsprozess in hyBit fachübergreifend erforscht, vorbereitet und begleitet wird, kann der Umbau zu



Im Bremer Industriehafen wird der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft erprobt.

einer Wasserstoff-Ökonomie in Bremen gesamtgesellschaftlich erfolgreich gelingen und auch als Beispiel für andere Standorte dienen.

Zuwendungsempfänger: Universität Bremen und 16 weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SF0687A-S

Fördermittelansatz: 29,8 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2022 – 2026

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



Wasserstoffforschung

Die Bedeutung von Forschung für Wasserstofftechnologien und die Sektorkopplung für die Energiewende

Bereits heute sind Unternehmen und Forschungseinrichtungen in Deutschland mit vielen Entwicklungen im Bereich der Wasserstofftechnologien und Sektorkopplung führend – auch dank der langfristig ausgerichteten und verlässlichen Forschungsförderung durch Bund und Länder. Damit das Potenzial der Zukunftstechnologie für eine nachhaltige Energieversorgung ausgeschöpft werden kann, sind noch einige Hürden zu nehmen. Denn noch sind Erzeugungs-, Speicher- und Transporttechnologien und die benötigte Infrastruktur zu teuer, um mit fossilen Energieträgern wettbewerbsfähig zu sein. Zügiges Handeln auf allen politischen Ebenen ist gefragt. Durch Forschung, Entwicklung und Innovation entlang der gesamten Wertschöpfungskette können Kosten weiter gesenkt, die eingesetzten Technologien langlebiger und effizienter und somit der Markthochlauf einer Wasserstoffwirtschaft beschleunigt werden. Auch für den Aufbau einer Importinfrastruktur sind Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich.

Vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung im Juni 2020 die Nationale Wasserstoffstrategie beschlossen. Sie zeigt, wie in Deutschland mithilfe von Wasserstoff in Industrie, Verkehr und Energiesystem Wettbewerbsfähigkeit erhalten, Klimaschutzziele erreicht, neue Märkte erschlossen und Wirtschaftspotenziale geschaffen werden können. Dabei wird ein systemischer Ansatz verfolgt: Erzeugung, Transport, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff – auch auf internationaler Ebene – wird zusammengedacht.

Immer im Fokus: der Brückenschlag von der Forschung in die Anwendung und die Umsetzung im industriellen Maßstab. Hierzu wurden auf For-

schungsebene die Reallabore der Energiewende als neue Säule der Energieforschung etabliert. Sie sollen bei Schlüsseltechnologien – allen voran im Wasserstoffbereich – den Innovationstransfer beschleunigen und den Technologien schneller als bislang zur Marktreife verhelfen. Daneben setzt die Bundesregierung auf bewährte Förderformate wie Verbundprojekte mit starken Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft. Insbesondere die langen Vorlaufzeiten von der Forschung bis in die Praxis machen es hinsichtlich der immer drängenderen Fragen des Klimaschutzes unabdingbar, die anwendungsnahe Energieforschung zu stärken und zu beschleunigen. Auch die Implementierung von Technologien „Made in Germany“ im Ausland wird mit Fördermitteln unterstützt, um die Voraussetzungen für eine Importstruktur für grünen Wasserstoff zu schaffen.

Das 7. Energieforschungsprogramm stärkt aber auch die vorwettbewerbliche Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Als Flaggschiffe sind Carbon2Chem und die Kopernikus-Projekte Vorbilder für eine erfolgreiche Zusammenarbeit von exzellenter Wissenschaft und innovativen Unternehmen. Projekte der Grundlagenforschung Grüner Wasserstoff sichern die Innovationspipeline für die nächste Technologiegeneration. Wasserstoff ist ein Bildungsthema: Die Wasserstoffwirtschaft braucht Fachkräfte. Neue Wege in der Zusammenarbeit von Bildung und Forschung sowie Initiativen im Bereich der beruflichen Bildung unterstützen dies.

2.5 Systemübergreifende Forschungsthemen

2.5.1 Energiesystemanalyse

Systemanalytische Forschung liefert wertvolle Planungsgrundlagen für eine robuste, bezahlbare und umweltfreundliche Energiepolitik und eine vorausschauende Klimapolitik. Die jüngsten energiewirtschaftlichen Entwicklungen erfordern ein Neudenken und -bewerten von Versorgungssicherheit. Modelle und Analysen schaffen dafür eine unverzichtbare Wissensbasis für Entscheidungsträger.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz hat im November ein Eckpunktepapier zu Open Science (offene Forschung) in der Systemanalyse veröffentlicht – als Teil seiner Open-Science-Strategie für das Forschungsfeld. Der Sammelbegriff umfasst offen zugängliche Daten (Open Data), offen lizenzierte Programmcodes (Open Source) sowie den kostenfreien Zugang zu wissenschaftlichen Publikationen (Open Access). Durch

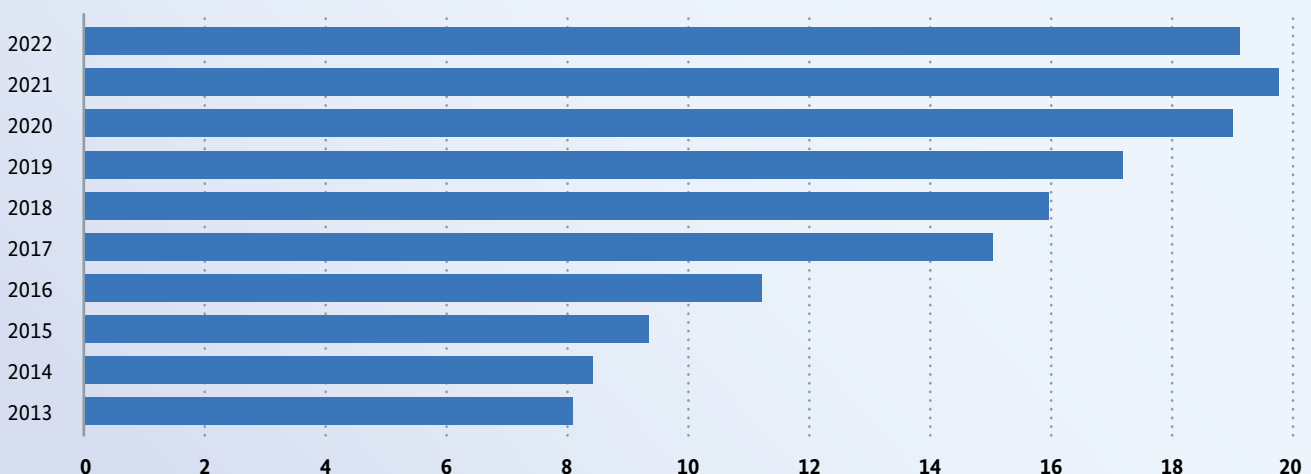
einen wirksamen Open-Science-Ansatz können systemanalytische Modelle transparent miteinander verglichen werden und somit die Energieversorgung planbarer machen. An der Strategieentwicklung haben rund 150 Fachleute des Forschungsnetzwerks Systemanalyse mitgewirkt.

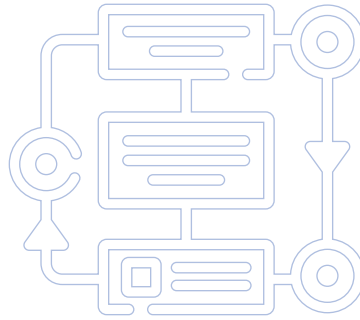
Ein weiterer Fokus des BMWK in der Forschungsförderung liegt auf dem Transfer systemanalytischer Arbeiten in die energiewirtschaftliche Praxis. So sollen Modellrechnungen, Szenarioanalysen und techno-ökonomische Untersuchungen von der Energiebranche besser genutzt werden. Gelingen soll dies, indem Unternehmen stärker im Forschungsnetzwerk und in Forschungsprojekten integriert werden, beispielsweise in Form von Beiräten.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiesystemanalyse haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2022 213 laufende Vorhaben mit rund 19,09 Millionen Euro gefördert. 2022 haben die Ministerien zudem 53 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 21,37 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 19).

Abbildung 19: Fördermittel für Energiesystemanalyse in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 105)





PROJEKTPORTRÄT

METIS – *Entwicklung von neuen interdisziplinären methodischen und analytischen Verfahren zur Implementierung der Komplexität der Energiewende in Energiesystemmodellen*

Das Forscherteam hat im Vorhaben das Ziel verfolgt, sektorübergreifende Modelle so weiterzuentwickeln, dass sie die zunehmende Komplexität des Energiesystems genauer als bisher abbilden. Denn durch den Ausbau erneuerbarer Energien, die Vernetzung von Strom, Wärme, Verkehr und Industrie sowie die Digitalisierung wird das Energiesystem täglich vielschichtiger. Heutige Modelle müssen dies berücksichtigen, damit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft wissenschaftlich fundierte Einschätzungen mit Blick auf die Energiewende erhalten. Gleichzeitig sollen die Anwendungen verständlich und mit praxisgerechten Rechenzeiten zu lösen sein. Dazu wurden Methoden zur Komplexitätsreduktion sowie Optimierungsalgorithmen entwickelt. Die Modellierungswerkzeuge wurden auf den Hochleistungsrechnern des Forschungszentrums Jülich eingesetzt, um Energieversorgungsvarianten analysieren zu können. Die Forschenden haben die entwickelten Softwaretools Open Source zur Verfügung gestellt. Die Modelle und Werkzeuge werden bereits in neuen Forschungsprojekten sowie teilweise in anderen Energiesystem-



Die METIS-Forschenden haben auch Supercomputer arbeiten lassen, wie etwa JUWELS im Forschungszentrum Jülich.

modellen genutzt, mit denen Entwicklungen des deutschen und europäischen Energiesystems bis zum Jahr 2050 untersucht werden.

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Jülich und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ET4064A-C

Fördermittelansatz: 1,8 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.5.2 Digitalisierung der Energiewende

Die Energiewende gilt zu Recht als größtes nationales Transformationsprojekt. Gleichzeitig ist sie auch ein hochkomplexes IT-Projekt im Zuge des notwendigen digitalen Umbaus der Energiewirtschaft. So steuert Software moderne Energieinfrastruktur, digitale Anwendungen unterstützen die Sektorkopplung und smarte IT-Lösungen ermöglichen mehr Energieeffizienz.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Im Forschungsbereich Digitalisierung fördern das BMWK und das BMBF Projekte, die Informations- und Kommunikationstechnologien für die Energieversorgung entwickeln, neue Geschäftsmodelle und Dienstleistungen erarbeiten, Industrieprozesse mit Hilfe von IT-Lösungen optimieren und Sicherheits- und Resilienzkonzepte ausarbeiten.

Im Juli 2022 hat das BMWK den zweiten Förderaufruf zur Weiterentwicklung und Anwendung der Smart-Meter-Gateway-Kommunikationsplattform für die Digitalisierung von Energienetzen (DigENet II) veröffentlicht. Mit der Maßnahme will das Ministerium die weitere Digitalisierung der Energie-

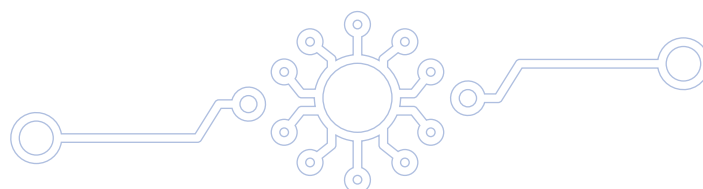
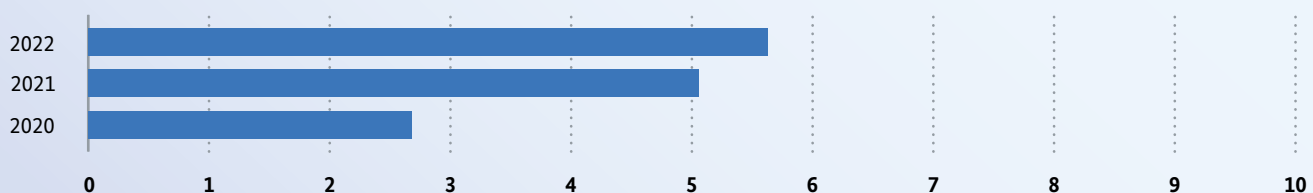
wende beschleunigen. Das Ziel ist, möglichst viele intelligente Messstellen mit Smart-Meter-Gateways auszustatten und möglichst viele Energiewende-relevante Anwendungen darüber laufen zu lassen. Aufgrund der durch die derzeitigen weltpolitischen Krisen gestiegenen Gefahr von Cyberangriffen auf kritische Infrastrukturen wie die Energieversorgung ist die Bedeutung von Smart-Meter-Gateways als sichere Kommunikationsplattformen weiter gestiegen.

Digitalisierung ist auch ein wichtiger Treiber in der Grundlagenforschung zu neuen Materialien für die Energieversorgung der Zukunft. Simulationen helfen dabei, Entwicklungszyklen deutlich zu verkürzen, zum Beispiel von neuen Katalysatoren zur Wasserstoffherstellung (siehe Projekthighlight CatLab, Seite 68).

Projektförderung

Im Schwerpunkt Digitalisierung der Energiewende haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2022 97 laufende Vorhaben mit rund 5,63 Millionen Euro gefördert. 2022 haben die Ministerien zudem 56 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 15,13 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 20).

Abbildung 20: Fördermittel für die Digitalisierung der Energiewende in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 105)



PROJEKTPORTRÄT

HC-H2 – Helmholtz-Cluster für nachhaltige und infrastrukturkompatible Wasserstoffwirtschaft

Im Helmholtz-Cluster werden neue innovative Wasserstofftechnologien entwickelt und großskaliert demonstriert. Die Akteure wollen zeigen, dass die Ideen für eine klimaneutrale Energiewirtschaft der Zukunft im industriellen Maßstab funktionieren. Dabei stehen Technologien im Mittelpunkt, die Wasserstoff wirtschaftlich speicher- und transportierbar machen. Unter anderem soll die Entwicklung flüssiger organischer Wasserstoffträger dazu beitragen, eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft im Rheinischen Revier zu etablieren.

Das Cluster besteht aus zwei Säulen: einem H2-Innovationszentrum als Forschungseinrichtung der Helmholtz-Gemeinschaft am Standort Jülich und einer H2-Demonstrationsregion als Netzwerk von Stakeholdern aus Industrie, Wissenschaft und Kommunen des Rheinischen Reviers.

Das für die übergreifende Organisation und Vernetzung zuständige Startprojekt arbeitet seit 2021. Auch eine Geschäftsstelle und der Aufbau einer Laborinfrastruktur werden finanziert. Das erste Demonstrationsvorhaben ist Multi-SOFC. Es erprobt die Strom-



Im Helmholtz-Cluster werden neue innovative Wasserstofftechnologien entwickelt.

und Wärmeversorgung des Krankenhauses Erkelenz mittels einer Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC). Neu ist, dass die SOFC mit Wasserstoff aus flüssig-organischen Trägern (LOHC) versorgt wird.

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Jülich GmbH und weitere Verbundpartner aus dem Rheinischen Revier

Förderkennzeichen: 03SF0629, 03SF0701

Fördermittelansatz: 860 Millionen Euro, davon ca. 100 Mio. Euro für die Projektförderung

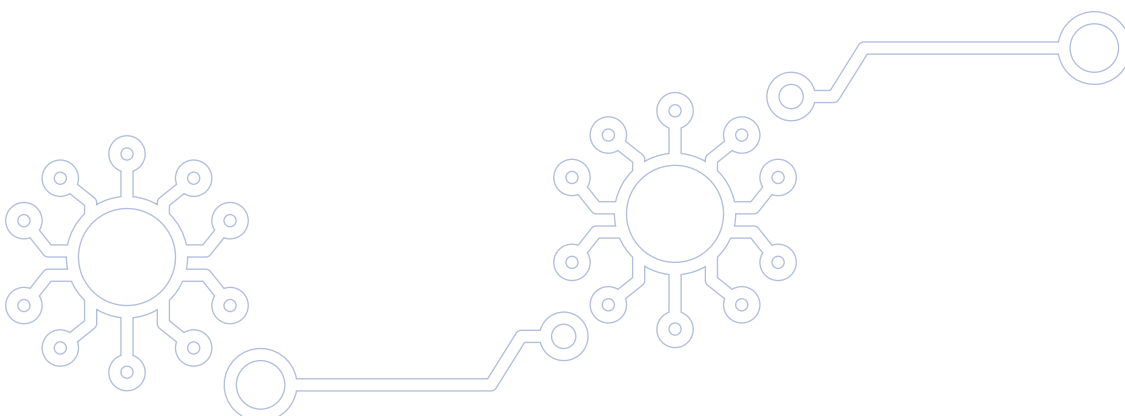
Projektlaufzeit: 2021 – 2038

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



MEHR INFO



2.5.3 Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende

Energieintensive Materialien ersetzen, weniger seltene Rohstoffe verbrauchen und den Wert von Produkten so lange wie möglich erhalten: Damit die Energiewende ein Erfolg wird, ist es von entscheidender Bedeutung, insgesamt sparsamer mit den vorhandenen Ressourcen umzugehen und weniger zu verbrauchen.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

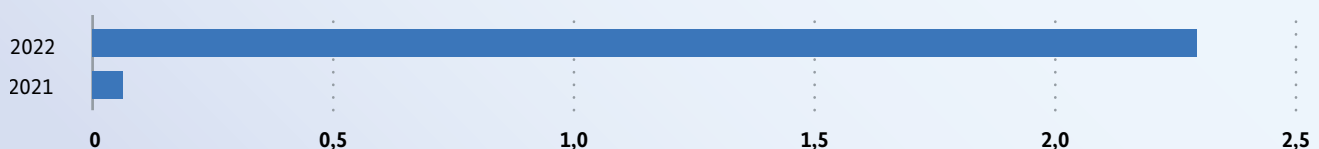
Im Jahr 2022 hat das BMWK einen Förderaufruf zu Ressourceneffizienz veröffentlicht. Damit unterstützt das Ministerium insbesondere interdisziplinäre Projekte mit einem systemübergreifenden Ansatz. Das Ziel: den Primärenergiebedarf und die energiebedingten Kohlenstoffdioxid-Emissionen nachhaltig zu senken. Im Zentrum steht dabei eine Wiederverwendung von Gütern vor einer Weiterverwendung. Zu den geförderten Vorhaben gehören Projekte, in denen Fachleute Energiedienstleistungen oder Geschäftsmodelle im Sinne einer

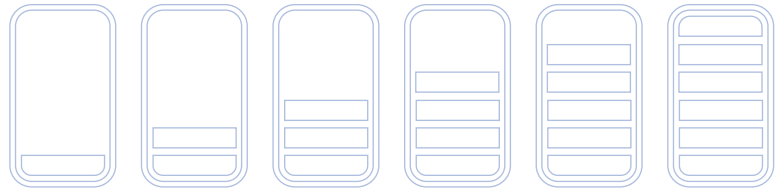
zirkulären Wirtschaft vorbereiten, entwickeln und erproben. Als Beispiel sind hier Bilanzierungsinstrumente im Zusammenhang mit Treibhausgasemissionen und ökonomischen, soziologischen, ökologischen Auswirkungen kreislauffähiger Produkte zu nennen. Zudem untersuchen Forschungsteams im Rahmen der geförderten Vorhaben, wie energieintensive oder kritische Rohstoffe und Materialien durch besser verfügbare oder Sekundärrohstoffe ersetzt werden können. Des Weiteren werden in den Projekten Konzepte und Lösungsansätze entwickelt, die beispielsweise Informationen über verbleibende Abfallströme, Daten über Stoffflüsse sowie über die Beschaffenheit von Produkten und Komponenten liefern.

Projektförderung

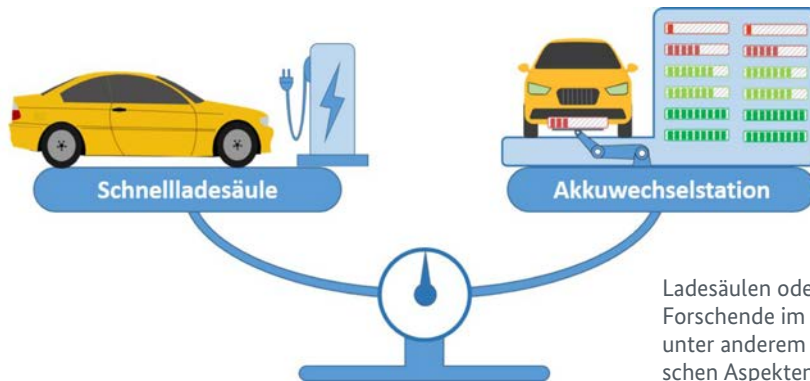
Im Schwerpunkt Ressourceneffizienz für die Energiewende hat das BMWK im Jahr 2022 55 laufende Vorhaben mit rund 2,29 Millionen Euro gefördert. 2022 hat das Ministerium zudem 25 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 6,38 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 21).

Abbildung 21: Fördermittel für Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 6, Seite 105)





PROJEKTPORTRÄT



Ladesäulen oder der Gebrauch von mobilen Akkusystemen: Forschende im Projekt KreislaufAkkus vergleichen beide Systeme unter anderem unter ökonomischen, ökologischen und technischen Aspekten.

KreislaufAkkus – Effizienz- und Kreislaufpotenziale von Akkusystemen in der Elektromobilität

Im Projekt KreislaufAkkus vergleicht ein Forschungsteam die vorherrschenden vollintegrierten Batteriesysteme für Elektroautos inklusive der Ladesäuleninfrastruktur mit einem Wechselakkusystem an Elektro-Tankstellen oder mit modularen Tauschkonzepten. Im Fokus stehen ökologische Wirkung, Ressourcenintensität, Kreislaufeigenschaften, Einfluss auf das Energiesystem und Wirtschaftlichkeit. Neben Technologie und Infrastruktur werden Geschäftsmodelle, Rahmenbedingungen sowie soziale und Akzeptanzfragen interdisziplinär erforscht. Für die vielversprechendsten Dienstleistungen und Geschäftsmodelle erfolgt eine vertiefende Analyse der technischen Implikationen. Hierbei beleuchtet das Team sowohl die Auswirkungen auf den Fahrzeugbau als

auch auf die Ladeinfrastruktur. Damit wollen die Forschenden dringend benötigte Grundlagen für weiterführende strategische Diskussionen bereitstellen. Mit den Ergebnissen können Akteure frühzeitig richtungsweisende strategische Entscheidungen treffen, welche, ökonomisch und ökologisch gesehen, weitreichende Folgen haben. Mehrere Fahrzeughersteller, Energieunternehmen und Verbände unterstützen das Vorhaben als assoziierte Partner.

Zuwendungsempfänger: RWTH Aachen und Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)

Förderkennzeichen: 03EI5006A+B

Fördermittelansatz: 500.000 Euro

Projektlaufzeit: 2022 – 2024

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.5.4 CO₂-Technologien

CO₂-Technologien bieten ein großes Emissionsreduktionspotenzial, vor allem für Branchen, in denen unvermeidbar Kohlenstoffdioxid (CO₂) entsteht. Es gibt dabei zwei Ansätze: die Speicherung des CO₂ (carbon capture and storage, CCS) und dessen Nutzung als Rohstoff (carbon capture and usage, CCU).

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das BMWK und das BMBF fördern die Forschung und Entwicklung einer ganzen Reihe technologischer Ansätze, mit denen CO₂ abgetrennt, gespeichert, transportiert und als Rohstoff weiterverwendet werden kann.

Das BMWK fördert anwendungsorientierte Forschungsvorhaben. Bei manchen Industrieprozessen, wie etwa der Kalk- und Zementproduktion, lassen sich CO₂-Emissionen nur schwer oder gar nicht vermeiden. In solchen Fällen sind die CCU- und CCS-Technologien gefragt. Mit dem Abscheiden, Weiterverwerten und gegebenenfalls

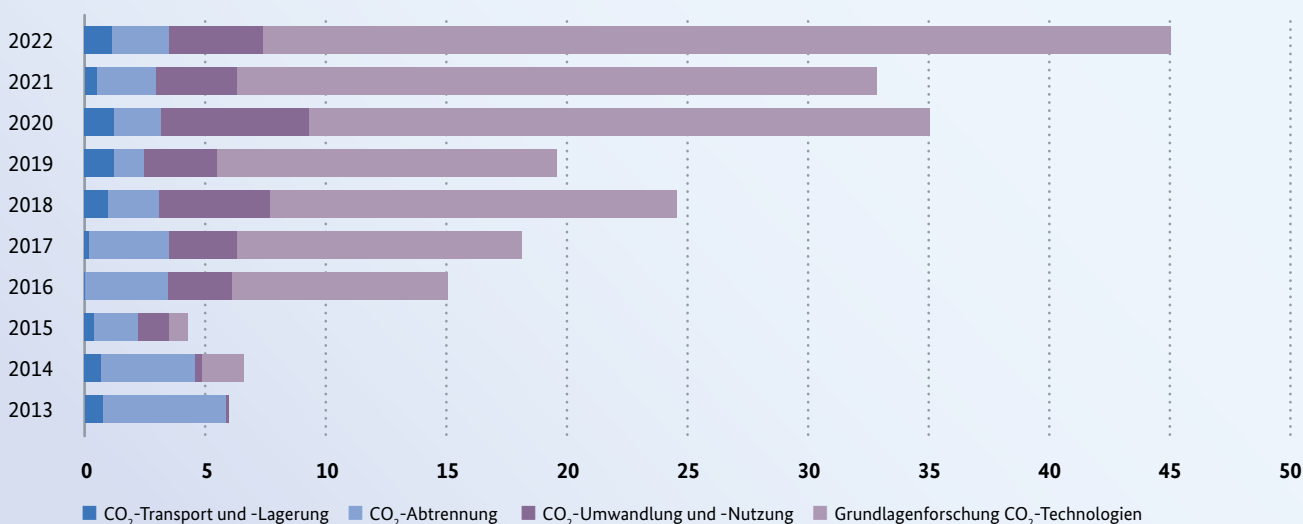
Speichern von CO₂ entstehen wichtige Kohlenstoffkreisläufe. So kann abgetrenntes CO₂ beispielsweise in der chemischen Industrie als Bestandteil für Grundstoffe oder für synthetische Kraftstoffe verwendet werden.

Im BMBF-Projekt Carbon2Chem werden bei der Stahlerzeugung anfallende Hüttengase durch die branchenübergreifende Zusammenarbeit von Stahl-, Chemie- und Energieindustrie erfolgreich in Vorprodukte für Kraftstoffe, Kunststoffe oder Düngemittel umgewandelt. In diesem Projekt werden die Hüttengase gereinigt und schließlich mit Wasserstoff, der mit Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt wurde, zum Beispiel zu Methanol umgewandelt. Dies kann unter anderem als Ausgangsstoff in der Chemieindustrie genutzt werden.

Projektförderung

Im Schwerpunkt CO₂-Technologien haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2022 143 laufende Vorhaben mit rund 45,09 Millionen Euro gefördert. 2022 haben die Ministerien zudem 40 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 13,76 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 22).

Abbildung 22: Fördermittel für CO₂-Technologien in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 105)

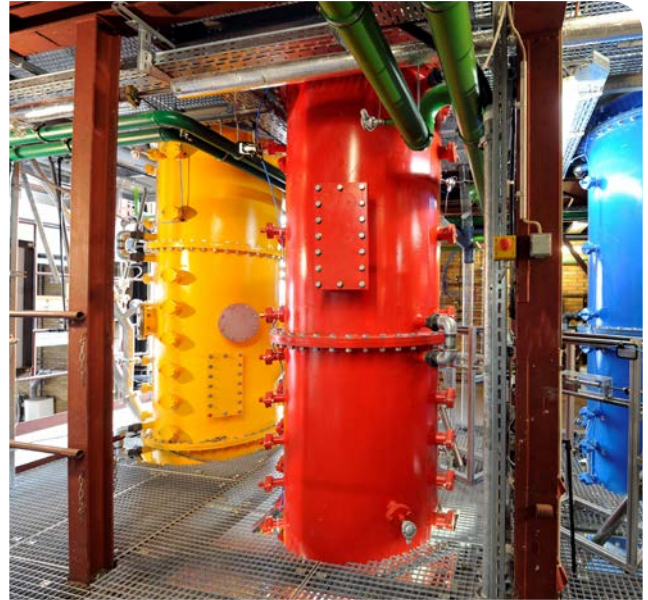


PROJEKTPORTRÄT

NuCa – Nachhaltige und CO₂-arme Abfallbehandlung

Waste-to-Energy-Anlagen, kurz WtE-Anlagen, nutzen Müll, um Strom oder Wärme zu erzeugen. Im Gegensatz zu Deponien bieten Müllverbrennungsanlagen die Möglichkeit, das CO₂ für neue Produkte zu recyceln. Für das Verbrennen von Müll gibt es verschiedene Verfahren. Im Forschungsprojekt NuCa optimieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zwei davon: das Oxy-Fuel- und das Oxy-SEG-Vergasungsverfahren. Beide thermische Verfahren ermöglichen das Abscheiden von CO₂. Während im Oxy-SEG-Verfahren geeignete Abfallstoffe in einem Wirbelschichtvergasungsverfahren in ein Synthesegas umgewandelt werden, wird beim Oxy-Fuel-Verfahren im Verbrennungsprozess mit Sauerstoff CO₂ als Wertstoff abgetrennt. Dieses Verfahren ließe sich als Retrofit-Maßnahme an bereits bestehenden Müllverbrennungsanlagen durchführen.

Das NuCa-Wissenschaftsteam analysiert und optimiert nicht nur im Labor. Geplant ist unter anderem auch, das Oxy-Fuel-Verfahren und das Oxy-SEG-Vergasungsverfahren an 200-kWth-Pilotanlagen zu demonstrieren. Außerdem stehen die Forschenden in einem intensiven Erfahrungsaustausch mit Kolleginnen und Kollegen aus einem vergleichbaren Forschungsprojekt in Norwegen.



Im Projekt NuCa optimieren Forschende zwei thermische Verfahren zum Abscheiden von CO₂ bei Müllverbrennungsprozessen.

Zuwendungsempfänger: Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik – IFK, Universität Stuttgart und REMONDIS GmbH & Co. KG

Förderkennzeichen: 0324342A+B

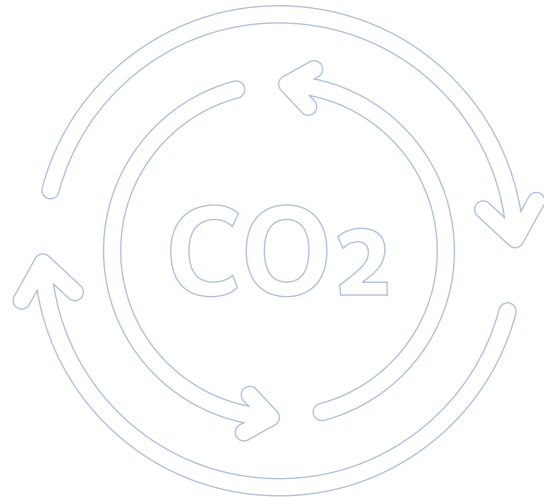
Fördermittelansatz: 1,4 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO





PROJEKTPORTRÄT

Carbon2Chem L-0 – Systemintegration

Carbon2Chem nutzt Prozessgase aus der Grundstoffindustrie für die Produktion von chemischen Rohstoffen. Ziel des Teilverbunds L-0 ist es, die Ergebnisse zu möglichen CO₂-Quellen, der Gasreinigung und -aufbereitung sowie diverser chemischer Synthesen mit theoretischen Methoden so zu verknüpfen, dass klimaschonende Produktionsverbünde entstehen, die ökonomisch konkurrenzfähig sind. Eine eigens entwickelte Plattform für verteilte CO-Simulationen ermöglicht detaillierte systemische Analysen von Prozesskonzepten für unterschiedliche Produkte und Kohlenstoff-Quellen. Die Validierung der untersuchten Prozesse erfolgt durch den Abgleich mit Realgasen aus der Stahlproduktion am Carbon2Chem-Technikum, Duisburg. Carbon2Chem L-0 stellt ökonomische und ökologische Systembewertungen als Grundlage für nachhaltige Technologieoptionen in der Industrie und deren Umsetzung in den industriellen Maßstab bereit. Als Nächstes erarbeitet das L-0-Wissenschaftsteam die technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für eine erste Umsetzung des Carbon2Chem-Konzepts im industriellen Maßstab.



Im Carbon2Chem® Technikum in Duisburg werden experimentelle Kampagnen durchgeführt, um die Robustheit der Technologie zu validieren.

Zuwendungsempfänger: thyssenkrupp und 4 weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EW0004A-E

Fördermittelansatz: 29,5 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2024

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.5.5 Energiewende und Gesellschaft

Die Energiewende ist mehr als eine technologische und ökonomische Transformation. Sie ist eine Gemeinschaftsleistung der Gesellschaft: Bevölkerung, Verwaltung, (Energie-)Wirtschaft und Politik. Viele Akteure nehmen mehrere Rollen ein, beispielsweise können sie zugleich Energieverbraucher und -bereitsteller sein. Forschung in diesem Bereich betrachtet die Interessen- und Zielkonflikte der involvierten Gruppen und Ebenen (kommunal, regional, national) und erarbeitet Lösungswege.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

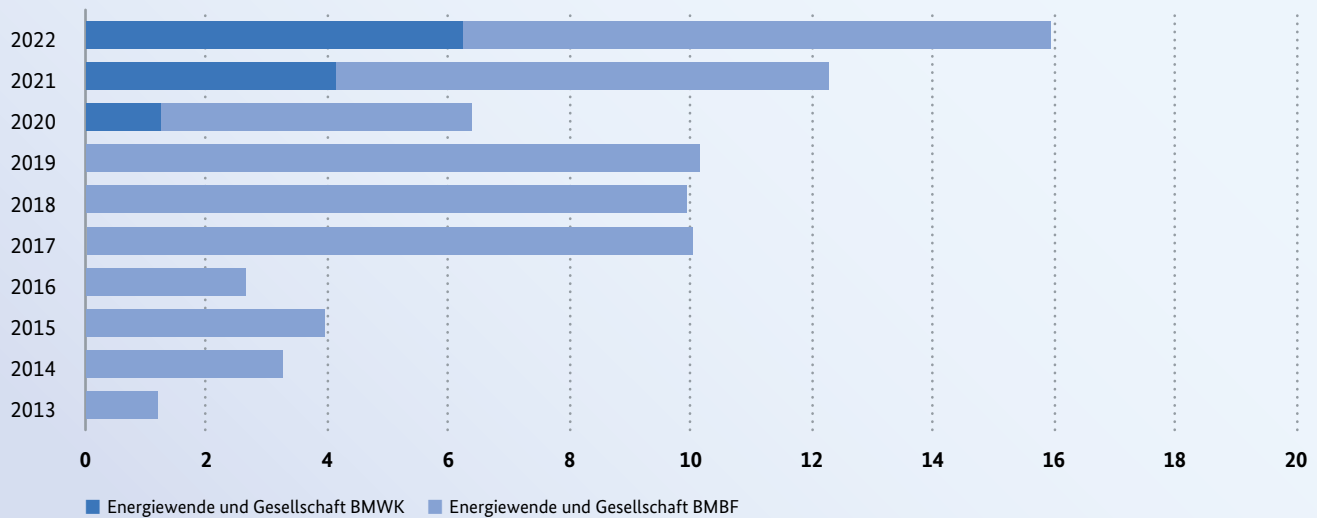
Im Februar hat das BMWK einen Förderaufruf veröffentlicht, mit dem das Ministerium Vorhaben fördert, die gesellschaftliche Fragen im Zusammenspiel mit system- und technologieübergreifenden Aspekten erarbeiten. Im Fokus stehen außerdem interdisziplinäre Projekte, die gesellschaftliche Rahmenbedingungen der Energiewende hinsichtlich ihrer technischen, ökonomischen, sozialen, institutionellen und gesetzlichen Dimensionen untersuchen. Auch das sozioökonomische Erforschen gesellschaftlicher Bedürfnisse in Strukturwandelregionen zählt dazu. Simulations-, Visualisierungs- und Kommunikationsstrategien unter gesellschaftlicher Beteiligung waren im Förderaufruf ebenfalls gefragt sowie positive Narrative einer gelingenden Energiewende. Auch eine zielgerichtete Forschungskommunikation steht stärker im Zentrum der Forschung. Hinzu kommen Projekte, die besonders erfolgreiche Formen der Zusammenarbeit zwischen institutionellen und weiteren gesellschaftlichen Akteuren erforschen und fördern und dabei auch gezielt junge Generationen ansprechen, um die Erkenntnisse auf weitere Handlungsbereiche der Energiewende übertragen zu können.

Seit 2020 entwickelt das vom BMBF geförderte Kopernikus-Projekt Ariadne verschiedene Dekarbonisierungsszenarien und untersucht in einer systemischen Perspektive Politikinstrumente auf ihr Wirksamkeitspotenzial für das Erreichen der Klimaziele. Gemeinsam mit Akteuren aus Politik, Energiewende und Gesellschaft identifiziert das Projekt sinnvolle Strategien und Maßnahmen für die Energiewende und ermittelt deren Akzeptanz bei Bürgerinnen und Bürgern. Ein Fokus liegt dabei auf der Integration der deutschen Energiewende in einen europäischen Rahmen. Im Jahr 2022 reagierte das Vorhaben mit einer Anpassung diverser Arbeitsschwerpunkte auf die durch den Ukraine-Krieg und die Energiepreisexplosion neue globale Gesamtsituation. Das Ariadne-Wissenschaftsteam widmete sich unter anderem der Wirksamkeit von Entlastungsmaßnahmen sowie der Vereinbarkeit von Klimaschutz und Energiesouveränität. Gesellschaftliche Aspekte werden darüber hinaus in Forschungsprojekten zu Mobilität, urbaner Energiewende und Strukturwandel im Zuge des Kohleausstiegs untersucht. So wirken die Vorhaben der Initiative „Wissenschaftliche Unterstützung und Begleitung der Transformation in der Lausitz“ aktiv am Strukturwandel in der Lausitz mit.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiewende und Gesellschaft haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2022 131 laufende Vorhaben mit rund 15,95 Millionen Euro gefördert. 2022 haben die Ministerien zudem 40 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 9,63 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 23).

Abbildung 23: Fördermittel für Energiewende und Gesellschaft in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 105)



PROJEKTPORTRÄT

Akzept – Wirkungen von Eigenversorgung und Mitgliedschaft in Bürgerenergiegesellschaften auf soziale Ungleichheit und deren Beitrag zur gesellschaftlichen Akzeptanz der Energiewende

Das Forschungsteam hat untersucht, wie finanzielle Beteiligung dazu beiträgt, dass Bürgerinnen und Bürger die Energiewende stärker unterstützen. Zum Hintergrund: Viele Menschen unterstützen zwar in Umfragen die Energiewende an sich, lehnen jedoch vor Ort den Bau von Windparks und Stromleitungen ab. Aufgrund dieses Widerspruchs erforschten die Fachleute, inwieweit Bürgerinnen und Bürger lokalen Projekten öfter zustimmen, wenn sie finanziell davon profitieren. Sie analysierten, was sich ändert, wenn Bürgerinnen und Bürger einer Energiegenossenschaft angehören, an Windparks und Windenergiefonds teilhaben oder selbst Strom aus erneuerbarer Energie erzeugen, zum Beispiel mithilfe einer Solaranlage. Das Team hat verschiedene Zustimmungformen geprüft: eine generelle Akzeptanz der Energiewende, eine passive Akzeptanz negativer Folgen, wie etwa höherer Energiekosten, eine lokale Akzeptanz von Wind- und Solarkraftparks nahe an Wohnsiedlungen sowie eine aktive Unterstützung der Energiewende, etwa durch energiesparendes Verhalten im Alltag oder Teilnahme



Die Analysen des Akzept-Wissenschaftsteams belegen: Finanzielle Beteiligung und Akzeptanz der Energiewende hängen zusammen.

an Bürgerinitiativen. Die Ergebnisse bestätigen, dass finanzielle Beteiligung und Akzeptanz zusammenhängen. Um die Energiewende voranzubringen, empfehlen die Fachleute daher mehr Beteiligungsmöglichkeiten ohne großen administrativen Aufwand und ohne Risiko.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung und Women Engage for a Common Future

Förderkennzeichen: 03EI5210A+B

Fördermittelansatz: 190.000 Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.5.6 Materialforschung für die Energiewende

Zum Gelingen der Energiewende ist es essenziell, auch bestehende Technologien weiterzuentwickeln und ihre Effizienz zu steigern. Innovative Materialien sind dafür ein wichtiger Baustein. Das BMBF fördert dazu Materialinnovationen in der Grundlagenforschung.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Projekte haben 2022 einen weiten Bereich in der Materialforschung abgedeckt. Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler gehen beispielsweise der White-Etching-Crack-Problematik nach, untersuchen also Risse im Mikrogefüge des Lagerstahls von Windkraftanlagen. Die Industrie hat die Erkenntnisse bereits auf-

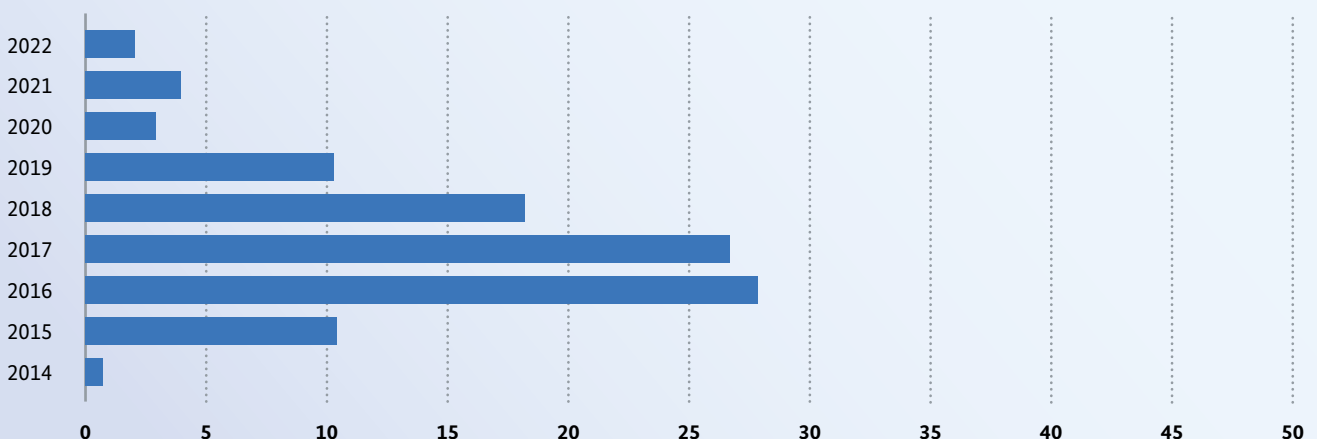
gegriffen. Eine weitere Nachwuchsgruppe arbeitet an nanostrukturierten Kohlenstoffmaterialien für elektrochemische Energiespeicher, die nachhaltig durch Mechanochemie hergestellt werden. Weiterhin werden in einem Vorhaben maßgeschneiderte Materialsysteme für elektrochemische Energiesysteme sowie ihre Fertigung im Rolle-zu-Rolle-Verfahren erforscht.

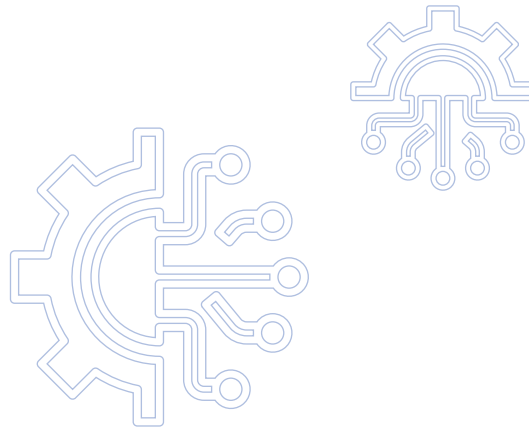
Projektförderung

Im Schwerpunkt Materialforschung für die Energiewende hat das BMBF im Jahr 2022 drei laufende Vorhaben mit rund 2,05 Millionen Euro gefördert (vgl. Abb. 24). Darüber hinaus nimmt die Materialforschung auch außerhalb des Förderschwerpunkts in der Forschungsförderung des BMBF eine zentrale Rolle ein, beispielsweise in der Forschungsplattform CatLab.



Abbildung 24: Fördermittel für Materialforschung für die Energiewende in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 105)





PROJEKTPORTRÄT

CatLab – *Catalysis Laboratory – Wasserstoff weitergedacht: Dünnschichtkatalysatoren für eine nachhaltige Chemie mit erneuerbaren Energien*

Um bis 2050 eine weitgehende Treibhausgasneutralität Deutschlands zu erreichen, ist ein tiefgreifender Umbau aller Erzeugungs- und Verbrauchssektoren innerhalb des Energiesystems notwendig. Das Helmholtz-Zentrum Berlin, das Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft und das Max-Planck-Institut für chemische Energiekonversion bündeln dazu ihre Expertisen und lassen die einzigartige Forschungsplattform CatLab entstehen. Am Standort Berlin-Adlershof entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neuartige, maßgeschneiderte, auf Dünnschichttechnologie basierende Katalysatoren. Diese Katalysatoren sind für die Erzeugung und die Umwandlung von transport- und speicherfähigen Wasserstoff-basierten chemischen Energieträgern und synthetischen Kraftstoffen notwendig. Sie sollen im Vorhaben für den Einsatz im industriellen Maßstab vorbereitet werden. Die Arbeitspakete decken dabei das Themenspektrum von katalytischen Reaktionen über Schichtsysteme und Operando-Analysen bis hin zur digitalen Katalyse ab. Ein eigenes Arbeitspaket zur Nachwuchsförderung untermauert diesen interdiszi-



In Berlin-Adlershof entwickeln Forschende maßgeschneiderte, auf Dünnschichttechnologie basierende Katalysatoren.

plinären Ansatz. Erste Ergebnisse zeigen, dass Dünnschichtkatalysatoren über deutlich bessere Eigenschaften verfügen als etablierte pulverbasierte Industriekatalysatoren.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB) und zwei Institute der Max-Planck-Gesellschaft

Förderkennzeichen: 03EW0015A+B

Fördermittelansatz: 58,8 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2025

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.6 Nukleare Sicherheitsforschung

2.6.1 Reaktorsicherheitsforschung

Aufgabe der Reaktorsicherheitsforschung war es im 7. Energieforschungsprogramm, die Kenntnisse über die Sicherheit von Leistungs- und Forschungsreaktoren im In- und Ausland zu vertiefen und den Stand von Wissenschaft und Technik voranzubringen. Zusätzlich sollte die Kompetenz- und Nachwuchsentwicklung in Deutschland auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit gefördert werden.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die bei der Reaktorsicherheitsforschung gewonnenen Erkenntnisse betreffen neben der Sicherheit von Leistungsreaktoren auch die von Forschungs-

reaktoren. Die Reaktorsicherheitsforschung ist stark international ausgerichtet. So werden sicherheitsgerichtete Forschungsprojekte zu im Ausland betriebenen oder in Entwicklung befindlichen Reaktoren gefördert. Dabei waren auch Sicherheitsaspekte von neuen Reaktoren und Anlagenkonzepten Gegenstand der Forschung. Geforscht wird zur Bewertung der Sicherheit von Komponenten und Strukturen, zu Transienten, Stör- und Unfällen sowie zu Wechselwirkungen zwischen Mensch-Technik-Organisation und zu probabilistischen Sicherheitsanalysen.

Die Einbindung deutscher Forschungsarbeiten in sicherheitsgerichtete internationale Aktivitäten war dabei von hoher Bedeutung und wurde durch die Beteiligung an herausragenden multilateralen Forschungsprojekten oder die Unterstützung internationaler Kooperationen gestärkt.

Abbildung 25a: Fördermittel für Reaktorsicherheitsforschung 2021 – 2022 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 7b, Seite 106)

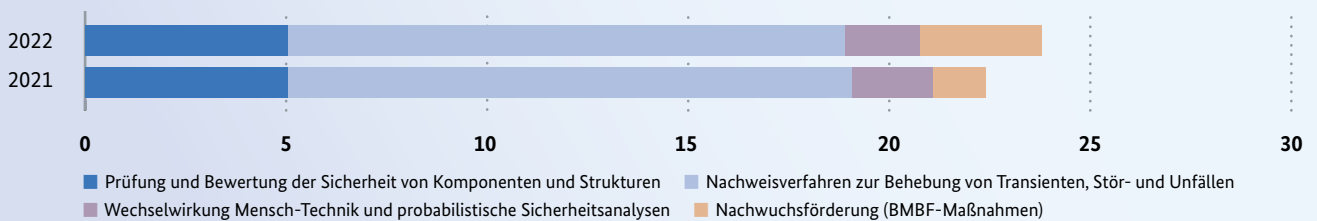
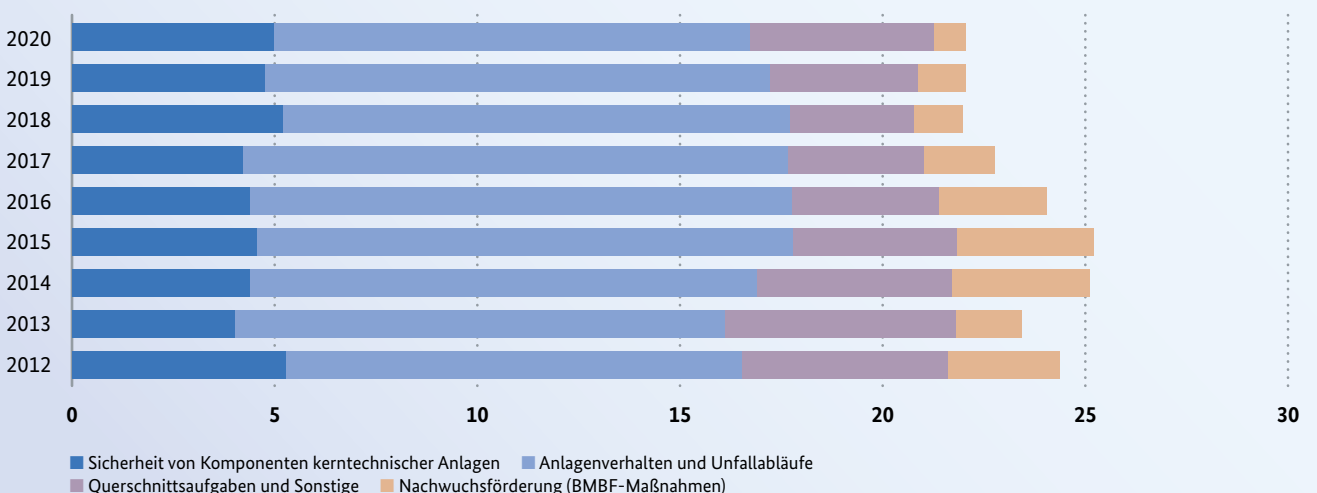


Abbildung 25b: Fördermittel für Reaktorsicherheitsforschung 2012 – 2020 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 7a, Seite 106)



Ein wesentliches Ziel der Förderung war zudem die nachhaltige Stärkung von Kompetenzen und die Nachwuchsentwicklung in der nuklearen Sicherheit und dabei insbesondere Reaktorsicherheit. Hierfür ist aktuell die Initiative Nano zur Förderung von Nachwuchsgruppen an Hochschulen mit jeweils einer Gruppe an der Universität Stuttgart (SiFeKo) und der Technischen Universität Dresden (RIMANUS) gestartet. In konzertierter Aktion zu Nano wurde durch die Bekanntmachung „NukSi-Futur“ des BMBF ebenfalls eine Nachwuchsgruppe in der Reaktorsicherheitsforschung bewilligt (iCFD4NS, Universität der Bundeswehr).

Projektförderung

Die Projektförderung in der Reaktorsicherheitsforschung erfolgte im Jahr 2022 durch das BMUV und wird laufend durch ein Programm zur Nachwuchsförderung des BMBF ergänzt. Das BMUV hat in dieser Zeit 141 laufende Vorhaben mit rund 20,77 Millionen Euro gefördert und 21 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 15,96 Millionen Euro neu bewilligt. Das BMBF hat 15 Projekte mit 3,03 Millionen Euro gefördert, davon drei Neubewilligungen mit einem Fördermittelansatz von 4,25 Millionen Euro (vgl. Abb. 25a und b).

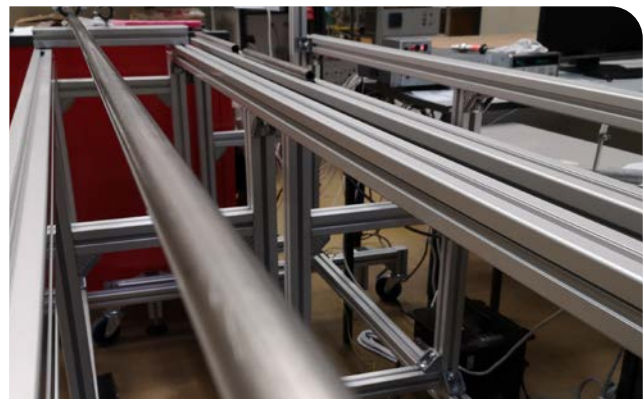
PROJEKTPORTRÄT

MISHA – Modellierung von innovativen Micro Modular Reactors mit Kalium Heat Pipes mit der nuklearen Rechenkette der GRS

Auf internationaler Ebene entwickeln unter anderem die USA und Großbritannien neue Reaktorkonzepte, wie Micro Modular Reactors (MMR). Die etwa containergroßen Kraftwerke sollen per LKW oder Flugzeug flexibel an ihren Einsatzort transportiert werden – etwa zu abgelegenen Siedlungen oder in Katastrophengebiete ohne Strom- und Wärmeversorgung. Die ersten Prototypen sollen noch in dieser Dekade zum Einsatz kommen.

Neu an diesen MMR ist die Verwendung von Heat Pipes, in denen ohne Pumpe die Wärme aus dem Reaktorkern an ein Turbinen-Kompressor-System (ähnlich einem Abgasturbolader beim Auto) zur Stromerzeugung geleitet wird. Der Reaktor und die Heat Pipes werden beim Hersteller gefüllt, dann an den Einsatzort gebracht und nach Gebrauch von dort wieder abgeholt.

Ziel des interdisziplinär ausgerichteten Verbundvorhabens MISHA ist es, durch Experimente und Validierungen die benötigte Expertise zur Sicherheitsbewertung dieser neuen Reaktorkonzepte aufzubauen. Damit sollen Unfälle, beispielsweise beim Transport, und Stö-



Am Heat-Pipe-Versuchsstand der Universität Stuttgart laufen Versuche des Misha-Forschungsprojekts.

rungen des Betriebs beurteilt werden können. Das BMBF fördert dieses Vorhaben der nuklearen Sicherheitsforschung, um die Experten und Expertinnen der zukünftigen Generation auszubilden und die wissenschaftlich-technischen Kompetenzen zu stärken.

Zuwendungsempfänger: Universität Stuttgart und Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH

Förderkennzeichen: 02NUK074A-B

Fördermittelansatz: 2,4 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2022 – 2026

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.6.2 Forschung zu verlängerter Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle

Ziel des Forschungsgebietes ist es, wissenschaftliche Grundlagen und Erkenntnisse für die absehbar notwendige verlängerte Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle sowie für die Behandlung dieser Abfälle bis zur Endlagerung fortzuentwickeln und die Kompetenz- und Nachwuchsentwicklung in Deutschland auf diesem Gebiet zu fördern.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

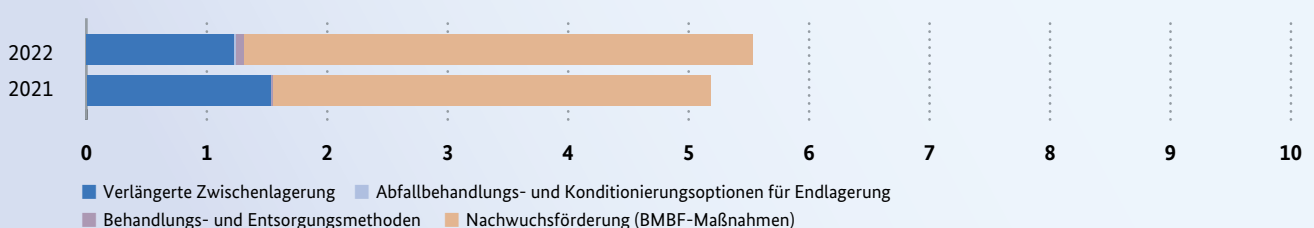
Im Mittelpunkt der Forschung stehen der Zustand der eingelagerten hochradioaktiven Abfälle und Behälter, die Auswirkungen der Lagerung auf deren Transportier- und Handhabbarkeit, die Schutzwirkung der Gebäude über die verlängerten Nutzungsdauern sowie die (Weiter-) Entwicklung von Methoden zur sicherheitstechnischen Bewertung der Zwischenlager und der eingelagerten Inventare. Hierzu kann oftmals auf Erkenntnisse aus der Reaktorsicherheitsforschung zurückgegriffen werden. Beispielsweise wird derzeit in mehreren Vorhaben (z. B. ProCast und MCGUSS) an neuen Methoden zur Analyse des Behälterwerkstoffverhaltens geforscht. Um die Abfälle optimal auf die Endlagerung vorzubereiten, werden für die Zeit nach der Zwischenlagerung zudem wissenschaftliche Grundlagen zu möglichen Behand-

lungs- und Konditionierungsoptionen erarbeitet. Ergänzend werden internationale Entwicklungen verfolgt, die potenziell einen Einfluss auf die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland oder im nahen Ausland haben können. Die Förderung des Nachwuchses und die Kompetenzentwicklung sind für die Entsorgungsforschung von hoher Bedeutung und werden besonders unterstützt. Ein aktuelles Beispiel stellt die kürzlich gestartete, BMUV-geförderte Nachwuchsgruppe RIMANUS dar, die sich u. a. auch mit Monitoring-Verfahren für die verlängerte Zwischenlagerung befasst. Durch die einmalige Bekanntmachung des BMBF zur Förderung von Nachwuchsgruppen „NukSiFutur“ konnte zusätzlich in diesem Jahr das Vorhaben TecRad am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf initiiert werden.

Projektförderung

Die Projektförderung zur verlängerten Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle erfolgte im Jahr 2022 durch das BMUV und wird laufend durch ein Programm zur Nachwuchsförderung des BMBF ergänzt. Das BMUV hat 15 laufende Vorhaben mit rund 1,31 Millionen Euro gefördert und vier Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 2,43 Millionen Euro neu bewilligt. Das BMBF hat 29 Projekte mit 4,22 Millionen Euro gefördert, davon drei Neubewilligungen mit einem Fördermittelansatz von 3,71 Millionen Euro (vgl. Abb. 26).

Abbildung 26: Fördermittel für Forschung zur verlängerten Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 7b, Seite 106)



2.6.3 Forschung zu Endlagerung

Aufgabe der Endlagerforschung ist die Bereitstellung und Fortentwicklung naturwissenschaftlicher, technischer und soziotechnischer Grundlagen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle. Sie orientiert sich hierbei an den Vorgaben der Sicherheitsanforderungen sowie des Standortauswahlgesetzes. Darüber hinaus wird der Kompetenzerhalt auf diesem Gebiet gesichert und ausgebaut.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Durch Projekt-Neubewilligungen im Jahr 2022 wird neben der kontinuierlich fortgesetzten Forschung zur Wirksamkeit des Barriersystems, Behälterentwicklung, Monitoring, Safeguards und Querschnittsfragen ein besonderer Fokus auf die Forschungs- und Entwicklungsbereiche Sicherheitsnachweis, Standortauswahl und Endlagerkonzepte gesetzt. Im Detail geht es bei den Neuvorhaben um die Weiterentwicklung des Verständnisses der im jeweiligen Endlagersystem ablaufenden Prozesse und ihrer Kopplungen sowie um die Entwicklung prozessbeschreibender Modelle durch die Generierung belastbarer experimenteller Daten und deren Modellierung.

Die Forschung auf genannten Gebieten erfolgt auch im internationalen Kontext durch die Einbindung der Arbeiten in die internationale Projektlandschaft. Dies umfasst sowohl die Durchführung von Experimenten in den europäischen Untertage-

laboren (Grimsel, Äspö, Mt. Terri), die Beteiligung an internationalen Task Forces und Networks zu spezifischen Themen, die Mitgliedschaft in Clubs der OECD/NEA als auch die Mitwirkung beim European Joint Programme EURAD.

Weiterhin wird durch die Einbindung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in die Forschungsarbeiten ein großer Beitrag zum langfristigen Erhalt und Ausbau der Kompetenz für die nukleare Entsorgung in Deutschland geleistet.

Projektförderung

Die Projektförderung des BMUV wird von der Forschungsförderung des BMBF flankiert, welche ebenfalls den Kompetenzerhalt/-ausbau durch Nachwuchsförderung unterstützt. Im Schwerpunkt Endlagerung ergänzt um die Forschung zu Querschnittsfragen hat das BMUV im Jahr 2022 117 laufende Vorhaben mit rund 13 Millionen Euro gefördert. 2022 hat das Ministerium zudem 22 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 12,8 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 27a, b).

Abbildung 27a: Fördermittel für Forschung zur Endlagerung in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 7b, Seite 106)

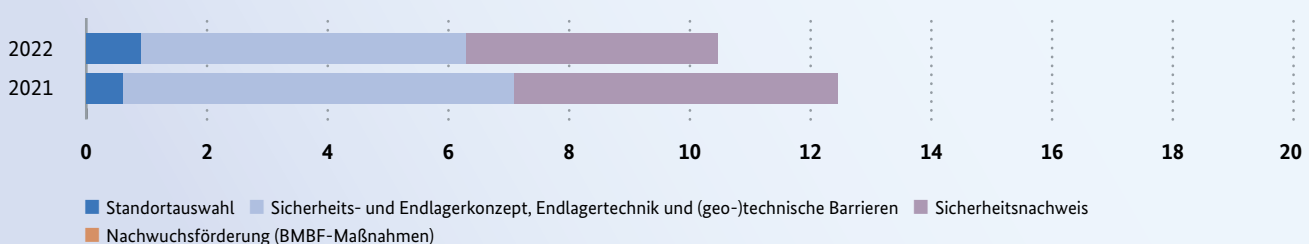
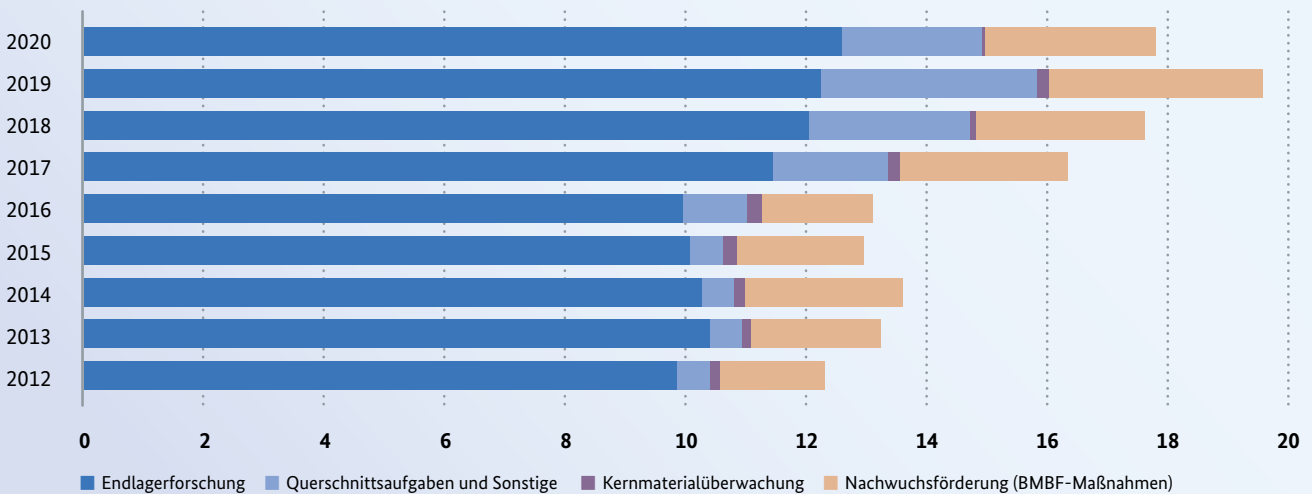


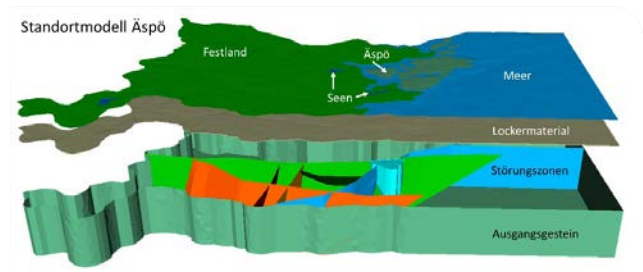
Abbildung 27a: Fördermittel für Endlager- und Entsorgungsforschung 2012 – 2020 in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 7a, Seite 106)



PROJEKTPORTRÄT

HYMNE – Hydrogeologische Modellierung im regionalen Maßstab

Die Bewertung der Langzeitsicherheit eines Endlagers für radioaktive Abfälle erfordert ein umfangreiches Systemverständnis und ein erprobtes und leistungsfähiges Instrumentarium. Im Rahmen des Vorhabens HYMNE wird ein solches Instrumentarium entwickelt, welches die relevanten Prozesse beschreiben kann, die bei dem Transport durch das Wirtsgestein bzw. durch die darüber liegenden geologischen Formationen eine Rolle spielen. Die Anwendung modernster numerischer Verfahren und die dadurch ermöglichte effektive Nutzung von Hochleistungsrechnern erlauben eine hohe Genauigkeit der Modelle bei akzeptablen Rechenzeiten. So wird mit dem hier entwickelten Code d^3f++ einerseits die Simulation der dichtegetriebenen Grundwasserströmung in Gebieten mit komplexer hydrogeologischer Struktur auch in regionalem Maßstab ermöglicht. Andererseits kann die Berechnung des Transportes von Radionukliden und anderen Schadstoffen im Grundwasser mit allen für die Endlagersicherheitsforschung relevanten Wechselwirkungen erfolgen.



Hydrogeologisches Modell des Anwendungsfalles Äspö Site Descriptive Model

Zuwendungsempfänger: Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH und Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt

Förderkennzeichen: 02E11809 A und B

Fördermittelansatz: 2,13 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.6.4 Strahlenforschung

Das BMBF förderte im Berichtsjahr 2022 über seine Förderrichtlinie zur nuklearen Sicherheitsforschung und Strahlenforschung im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms sowie über die Richtlinie zur Förderung von Nachwuchsgruppen aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften: „Kreativer Nachwuchs forscht für die Nukleare Sicherheits-, Strahlen- und Rückbauforschung (NukSiFutur)“ weiterhin Verbünde und Projekte zur Strahlenforschung.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das BMBF fördert Vorhaben zu strahlenbiologischen, strahlenphysikalischen, epidemiologischen und radioökologischen Fragestellungen im Bereich der anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Dies dient der Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik und leistet damit einen substantiellen Beitrag zum Aufbau, zur Entwicklung und zum Erhalt der wissenschaftlich-technischen Kompetenz. Diese Expertise wird in Deutschland auf den genannten Gebieten in Behörden, Industrie, Forschung und in der Medizin weiterhin benötigt. Insgesamt unterstützte das BMBF 2022 im Rahmen dieser Projekte circa 150 Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler in ihrer Ausbildung.

Dieser BMBF-Förderschwerpunkt trug somit substantiell zu Kompetenzbildung und Kompetenzerhalt in der Strahlenforschung in Deutschland bei. Insbesondere konnte der neu hinzugekommene Schwerpunkt der materialrelevanten Strahlenforschung gestärkt werden, welcher die Grundlage für gesellschaftlich brisante sowie wissenschaftlich hochrelevante Anwendungsbereiche schafft, wie zum Beispiel den radiologischen Notfallschutz. In ihrer Gesamtheit liefert die Strahlenforschung die wissenschaftliche Grundlage, um zum einen das von Strahlung ausgehende Risiko für die Gesundheit und zum anderen den Nutzen für den technischen und medizinischen Fortschritt bewerten zu können. Durch die Bekanntmachung NukSiFutur konnte die Nachwuchsgruppe TOGETHER an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg etabliert werden, die die immunologischen Effekte von Strahlung erforscht.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Strahlenforschung hat das BMBF im Jahr 2022 52 laufende Vorhaben mit rund 6,98 Millionen Euro gefördert. 2022 hat das Ministerium zudem zehn Forschungsprojekte (davon zwei Nachwuchsgruppen) mit einem Fördermittelansatz von rund 7,45 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 28a, b).

Abbildung 28a: Fördermittel für Strahlenforschung (BMBF) in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 7b, Seite 106)



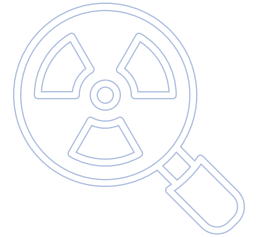
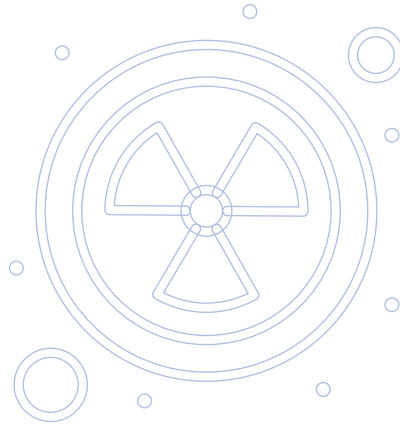
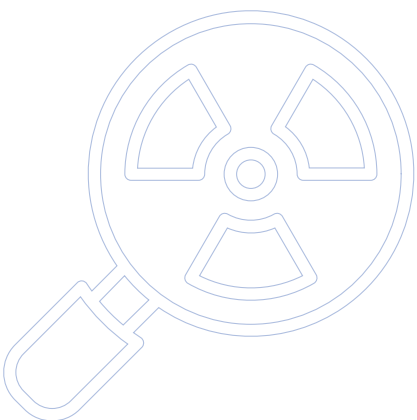
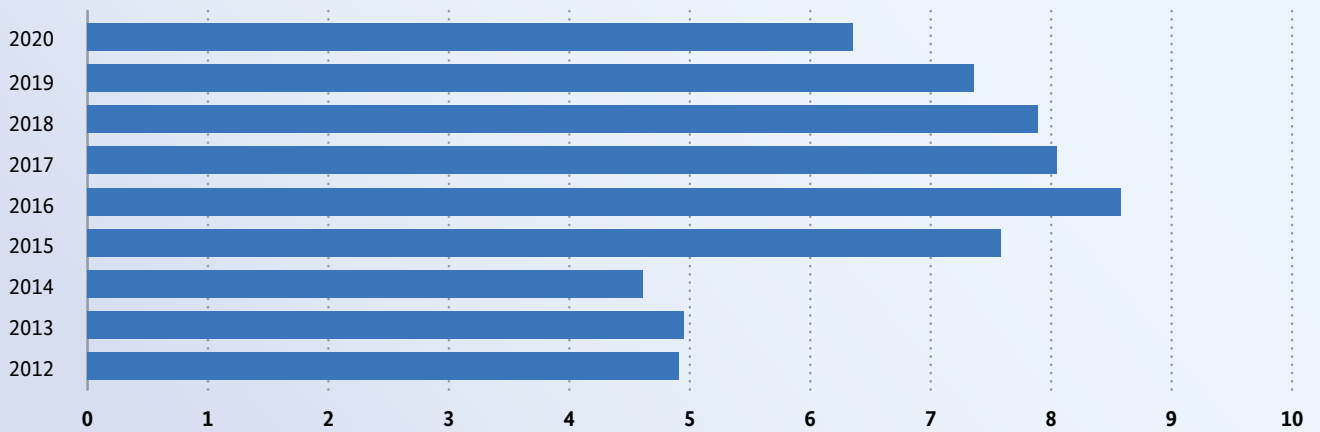
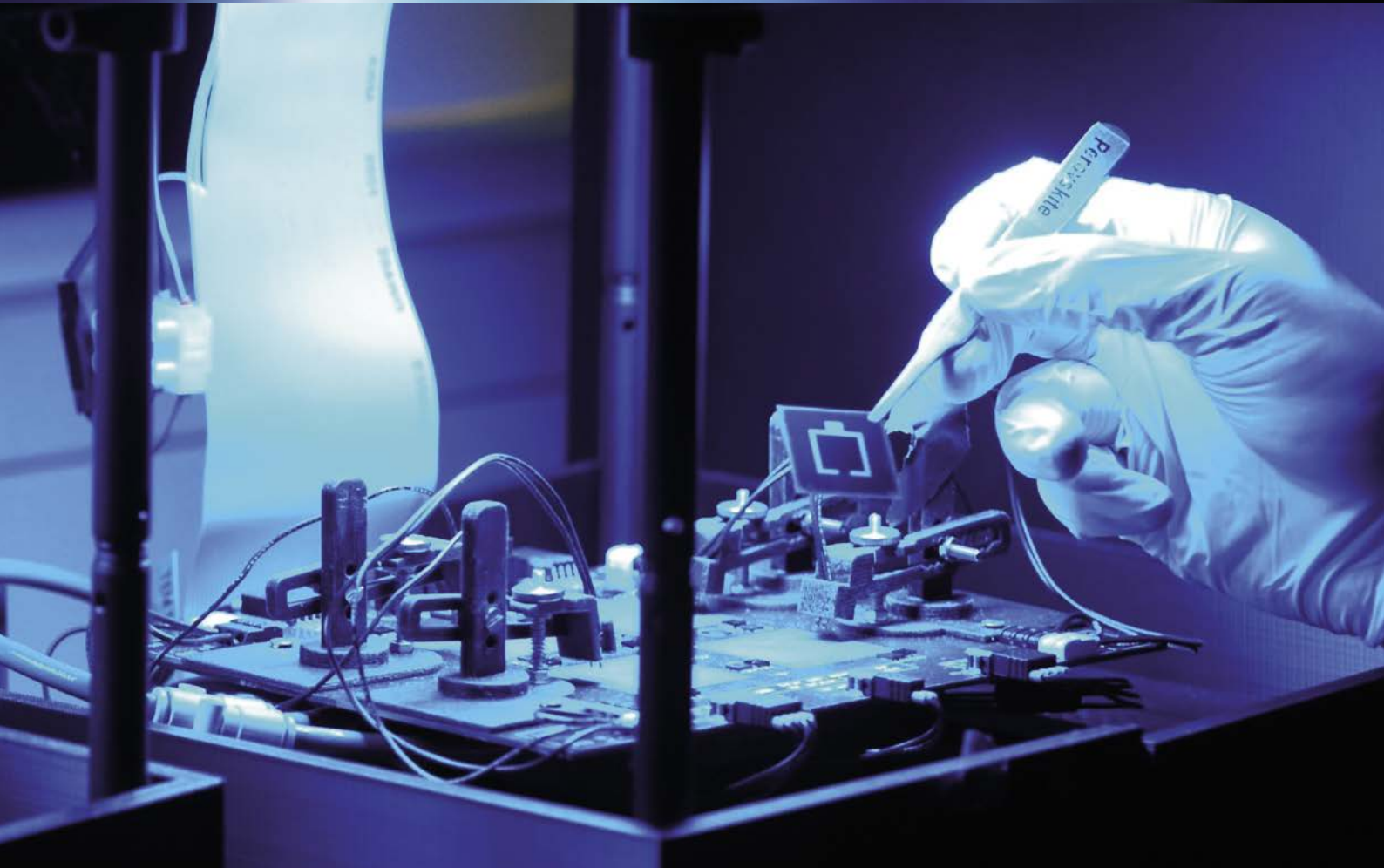


Abbildung 28b: Fördermittel für Strahlenforschung (BMBF) in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 7b, Seite 106)



3. Institutionelle Energieforschung



3.1 Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft

Mit Forschung von den Grundlagen bis zur Anwendung schafft Helmholtz Energy, der Helmholtz-Forschungsbereich Energie, die wissenschaftlichen Voraussetzungen für eine klimaneutrale Energieversorgung, die ökonomisch und gesellschaftlich getragen wird. In interdisziplinären Programmen entwickeln die Forschenden zukunftsweisende Lösungen für die Energiewende in Deutschland und für den nachhaltigen Umbau der Energieversorgung weltweit.

Dafür erforschen und entwickeln sie innovative Wandlungs-, Verteilungs- und Speichertechnologien. Unter Einbezug aller relevanten Ketten zur Energiewandlung und zukunftssicherer technologischer Optionen erarbeitet Helmholtz Energy ganzheitliche, sektorenübergreifende Konzepte und Lösungen für ein Energiesystem der Zukunft.

Seit 2021 setzt Helmholtz Energy seine Forschung für die Energiewende im Rahmen der vierten Periode der programmorientierten Förderung (PoF IV) mit seiner wissenschaftlichen Schwerpunktsetzung in vier Programmen fort:

Das Programm „Energiesystemdesign“ forscht mit einem ganzheitlichen Ansatz zum Aufbau eines nachhaltigen Energiesystems. Neben der Analyse von Energiesystemen stehen auch deren Digitalisierung sowie die Entwicklung von Systemtechnologien im Fokus.

Das Programm „Materialien und Technologien für die Energiewende“ widmet sich der Entwicklung neuer Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette – von der Erschließung der Rohstoffe und der Entwicklung von Hochleistungsmaterialien über die Erzeugung, Umwandlung, Speicherung und Verteilung bis hin zur Anwendung komplementärer Energieträger wie Strom, Biomasse und Wasserstoff.

Das Programm „Fusion“ erforscht und entwickelt als Teil der europäisch koordinierten und geförderten Fusionsforschung die physikalischen und technischen Grundlagen für die Auslegung und den Bau von Fusionskraftwerken.

Das Programm „Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung“ befasst sich mit den wesentlichen Fragen zur Zwischen- und Endlagerung radioaktiver Abfälle, zum Rückbau kerntechnischer Anlagen, zur Sicherheit der Kernreaktoren sowie zum Strahlenschutz.

Im Rahmen der vollständigen Zurückführung der Strahlenforschung am renommierten Helmholtz Zentrum München (HMGU) konnten 12 Mitarbeitende des früheren Instituts für Strahlenschutz vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) übernommen werden.

Die in PoF IV am Forschungsbereich Energie beteiligten Zentren sind das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), das Forschungszentrum Jülich (FZJ), das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB), das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT); das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) ist wissenschaftlich assoziiertes Zentrum.

Ausgewählte Highlights aus der Forschung von Helmholtz Energy sind:

- Eine Solarturm-Kraftstoffanlage zur Herstellung von nachhaltigem Kerosin (siehe Steckbrief zum Projekt SUN-to-LIQUID des DLR auf Seite 80).
- Helmholtz Energy nimmt in der Erforschung und Entwicklung künftiger hocheffizienter, kostengünstiger und nachhaltiger Photovoltaiktechnologien weltweit eine Spitzenposition ein. Ein wesentliches Zielsystem sind Tandemsolarzellen auf der Basis von kristallinem Silizium in Kombination mit neuartigen Halbleitern mit großer Bandlücke aus der Klasse der Metall-Halid-Perowskite. Dies wird durch drei For-

schungshighlights auf dem Gebiet der Perowskit-Solarzellen eindrucksvoll demonstriert:

- **Ein Wiki für die Perowskit-Solarzellenforschung:** Aus mehr als 15.000 Fachveröffentlichungen hat ein internationales Expertenteam unter der Leitung des HZB Daten zu Metallhalogenid-Perowskit-Solarzellen gesammelt und eine Datenbank dafür entwickelt. Die Datenbank mit ihren Visualisierungsoptionen und Analysetools ist Open Source und soll den Überblick über rasch anwachsenden Wissensstand sowie die offenen Fragen in dieser spannenden Materialklasse ermöglichen.
- **Perowskit-Solarzelle mit ultralanger Haltbarkeit:** Forschende des Helmholtz-Instituts Erlangen-Nürnberg des FZ Jülich haben eine Variante der Perowskit-Solarzelle vorgestellt, die durch ihre besondere Stabilität hervorsteht. In Tests bei erhöhter Temperatur und Beleuchtung über 1.450 Betriebsstunden behielt die Zelle auf Perowskitbasis 99 Prozent ihres anfänglichen Wirkungsgrads bei.
- **Weltweit erstes Perowskit/Perowskit-Tandem-Solarmodul:** Am KIT wurden innovative Materialwissenschaften und Prozess-Know-how kombiniert. Das erlaubte die Entwicklung einer Technologie für die Produktion erster vollständig mit industriell skalierbaren Methoden hergestellter Perowskit/Perowskit-Tandem-Solarmodule, die Wirkungsgrade von bis zu 19,1 Prozent aufweisen – und das bei geringen Skalierungsverlust von weniger als fünf Prozent (rel.).
- Mit dem Ziel der Ressourceneffizienzsteigerung in der Metallindustrie haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) am HZDR das Optimierungspotenzial im Recycling unterschiedlicher Legierungsarten durch die Nutzung neuartiger Sortiertechniken (Kamera-/Sensorsysteme) bestimmt. Die innovativen Techniken ermöglichen eine sortenreine Trennung von Legierungen und damit eine hohe Qualität an Rezyklaten. So kann eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft entsprechend dem Green Deal erreicht, CO₂ eingespart und die Versorgungssicherheit mit Metallrohstoffen deutlich erhöht werden.
- Das Helmholtz-Cluster Wasserstoff HC-H2 soll wesentliche Impulse setzen, um das Rheinische Revier zu einer zukunftsweisenden Wasserstoff-Modellregion zu entwickeln. Ein Jahr nach dem Startschuss feierte das vom FZ Jülich koordinierte, aktuell größte deutsche Wasserstoff-Infrastruktur-Projekt im September 2022 seine Eröffnung im Brainergy Park Jülich.
- Das Projekt HyReK 2.0 liefert wichtige Erkenntnisse zum Betrieb und zur Auslegung einer innovativen Primärregelleistungserbringung durch eine Kombination von Batteriespeicher und Fernwärmeauskopplung. Das DLR erforschte dabei Betriebsstrategien, Batteriealterung, Anwendungsfälle und die systembedingten Umweltbelastungen. Dadurch wurden Forschungsergebnisse erzielt, die mittels intelligenter Betriebsführung den Systemnutzen mehren und das Konzept als wichtigen Baustein für die Erbringung dekarbonisierter Stromnetz-Systemdienstleistungen auf einen hohen technischen Reifegrad gehoben haben.
- Ein wesentliches Element beim Planen zukünftiger Energiesysteme sind Schwankungen im Stromverbrauch. Forschende des KIT haben hochaufgelöste Verbrauchsdaten von Haushalten analysiert und schlagen ein neues Lastmodell vor, das die Planung und den Betrieb von Stromnetzen stabiler und günstiger machen soll. Neben dem Verständnis des Verbrauchs ist der Netzausbau für eine erfolgreiche Energiewende essenziell. Entgegen der Erwartung können aber manche neuen Leitungen dazu führen, dass Netze nicht wie erwartet stabiler, sondern instabiler werden. Dieses Phänomen nennt sich Braess-Paradoxon. Ein internationales Team, an dem auch Forschende des KIT beteiligt sind, hat dieses Paradoxon erstmals für Stromnetze im

Detail simuliert, in größerem Maßstab demonstriert und ein Vorhersageinstrument entwickelt, das Netzbetreiber bei Entscheidungen unterstützt.

- Der Stellarator Wendelstein 7-X am IPP hat seine volle Ausbaustufe erreicht und startete mit deutlich verbesserter Ausstattung im Herbst 2022 wieder mit wissenschaftlichen Experimenten. In wenigen Jahren sollen in der Fusionsanlage Hochleistungs-Plasmaentladungen mit einer Dauer von bis zu 30 Minuten demonstriert werden.

Zeitenwende Energieversorgungssicherheit

Als direkte Reaktion auf den russischen Angriffskrieg gegen die Ukraine hat Helmholtz Energy vier Initiativen zur Sicherheit der Energieversorgung entwickelt. Sie werden als Beitrag zur Zeitenwende aus ungebundenen Pakt-Mitteln mit insgesamt 25

Millionen Euro gefördert und beschleunigen innerhalb von drei bis fünf Jahren die Entwicklung von Technologien zur Marktreife.

Die vier Initiativen im Überblick:

- Beschleunigter Transfer der nächsten Generation von Solarzellen in die Massenfertigung (HZB, FZJ, KIT)
- Geotechnologien für eine Zeitenwende in der Energieversorgung in Deutschland (KIT, GFZ)
- Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung (KIT, FZJ (DLR assoziiert))
- Rohstoffsicherung durch flexible und nachhaltige Schließung von Stoffkreisläufen (HZDR, KIT)

Abbildung 29a: Fördermittel für Institutionelle Energieforschung (PoF IV) 2021 – 2022 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 8, Seite 107)

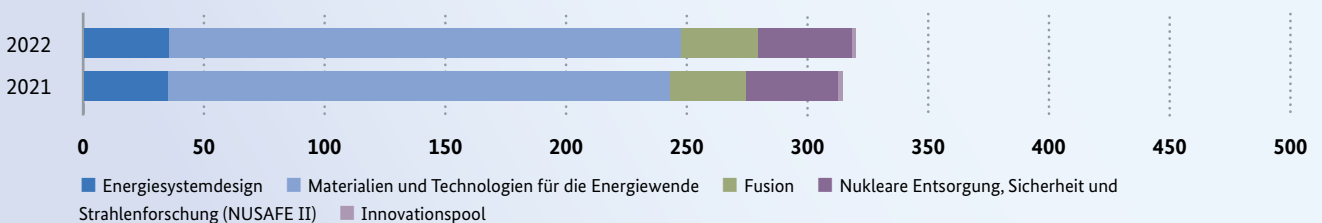
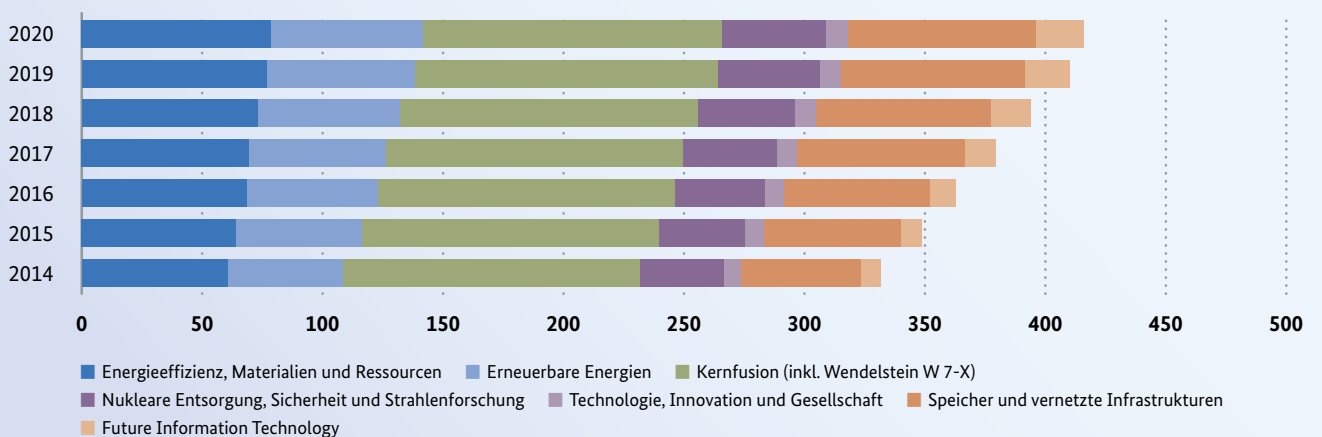


Abbildung 29b: Fördermittel für Institutionelle Energieforschung (PoF III) 2014 – 2020 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 8, Seite 107)



PROJEKTPORTRÄT

SUN-to-LIQUID – Solarturm-Kraftstoffanlage zur Herstellung von nachhaltigem Kerosin

Forschende aus dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) konnten gemeinsam mit Partnern in einer Solarturmanlage in Spanien erfolgreich ein solar-thermochemisches Verfahren zur Gewinnung von synthetischem Kerosin aus Wasser und CO₂ demonstrieren. Ein Solarspiegelfeld, bestehend aus 169 Heliostaten, sammelt solare Strahlung und reflektiert sie zu einem Empfänger im Solarturm. Durch die konzentrierte Wärmeenergie startet in einem dort installierten Reaktor ein thermochemischer Kreislauf, welcher Wasser und CO₂ in ein Gasgemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid aufspaltet. Dieses Synthesegas dient in einem weiteren Schritt als Grundlage für synthetisches Kerosin. Mit einem erreichten Wirkungsgrad von 4,1 Prozent für die Umwandlung von Sonnenenergie in Synthesegas ist das Verfahren ein



Die Solarturmanlage bei IMDEA Energía in der Nähe von Madrid: Hier haben Forschende erfolgreich demonstriert, wie synthetisches Kerosin aus Wasser und CO₂ gewonnen werden kann.

technologischer Meilenstein auf dem Weg zur industriellen Produktion von nachhaltigem Flugkraftstoff.

Beteiligtes Helmholtz-Zentrum: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Beteiligtes Programm: Materialien und Technologien für die Energiewende (MTET)

MEHR INFO



Beschleunigter Transfer der nächsten Generation von Solarzellen in die Massenfertigung: Zukunftstechnologie Tandem-Solarzellen

Um die Grundlage für eine klimaneutrale Kreislaufwirtschaft zu schaffen, ist ein massiver Ausbau von Photovoltaik und Windenergie nötig. Diese beiden erneuerbaren Energiequellen haben weltweit, aber auch EU- und deutschlandweit, das höchste technische Umsetzungspotenzial und das niedrigste Kostenniveau. Der erforderliche Ausbau der Solarenergie kann nur mit einer neuen Generation der Photovoltaik gelingen: Die Forschenden setzen auf eine innovative Tandemtechnologie, die mit mehr als 30 Prozent Wirkungsgrad, einer hohen Stabilität und wettbewerbsfähigem Kosten- und Umweltprofil deutlich effizienter und kostengünstiger ist als die derzeit marktdominierende PV-Technologie, die auf Silizium basiert. Dazu muss die innovative Tandemtechnologie mit beschleunigten Ansätzen in den kommenden fünf Jahren zur Marktreife entwickelt werden.

Ziele

- Anpassung der bestehenden Siliziumzellen-Prozesse für die optimale und effektive Tandemintegration

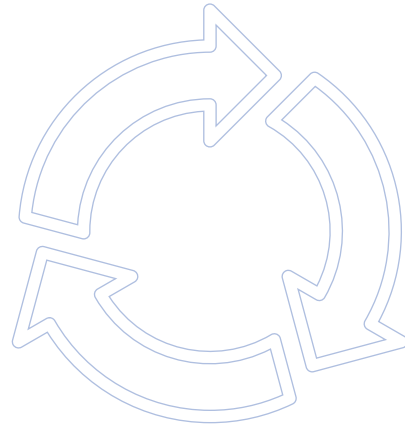


Innovative Tandemsolarzellen sollen dazu beitragen, dass der Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien weiter steigt.

- Entwicklung industriell skalierbarer Abscheidungsprozesse für hocheffiziente und großflächige Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen
- Untersuchung der Stabilität von großflächigen Tandemsolarzellen
- Ausbau der Analytik für das bessere und beschleunigte Verständnis der Solarzell-Eigenschaften
- Entwicklung von Tandemsolarzellen mit besseren zirkulären Recyclingeigenschaften

Beteiligt:

- Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB)
- Forschungszentrum Jülich (FZJ)
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT)



PROJEKTPORTRÄT

Rohstoffsicherung durch flexible und nachhaltige Schließung von Stoffkreisläufen

Die deutsche und europäische Industrie ist bei vielen stofflichen Rohstoffen von Importen abhängig. Der Umstieg auf erneuerbare Energien verstärkt diese Abhängigkeit und den Energiebedarf, da Erneuerbare-Energie-Systeme deutlich mehr Rohstoffe pro erzeugter Einheit Energie benötigen als fossile. Deshalb müssen heimische Rohstoffquellen erschlossen und der Energiebedarf der Rohstoffbereitstellung gesenkt und flexibilisiert werden. Hier setzt das Projekt mit seiner Entwicklung von neuen Recyclingverfahren an, da die Rückgewinnung von Rohstoffen deutlich weniger Energie erfordert als ihre primäre Gewinnung. Die größte Herausforderung besteht in der Komplexität und Variabilität dieser Rohstoffquellen. Viele verschiedene Rohstoffe treten in immer neuen Strukturen gemischt auf und können nur durch Verfahren zurückgewonnen werden, die flexibel auf die Besonderheiten der jeweiligen Materialquelle eingehen. Eine energieeffiziente Rückgewinnung erfordert eine effiziente mechanische Vortrennung der Stoffströme. Gleichzeitig müssen unvollständig getrennte Stoffströme für die Wiederverwendung zurückgewonnen werden. Ziel des Projekts ist es, in den nächsten zwei bis drei Jahren neue



Um unabhängiger von Rohstoffimporten zu werden, gilt es, neue Recyclingtechnologien für Stoffkreisläufe zu entwickeln.

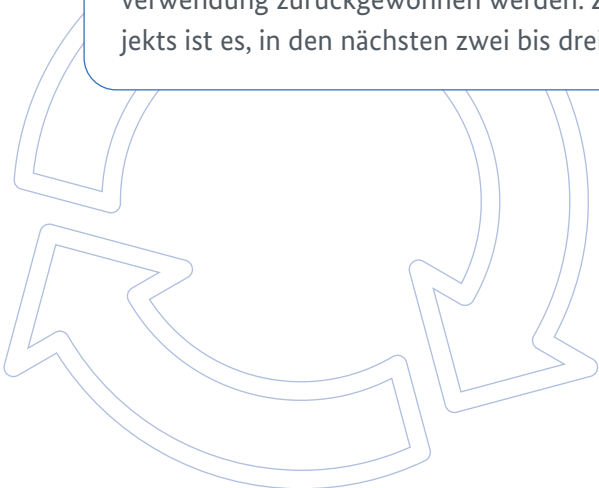
Recyclingtechnologien zu entwickeln, die dazu beitragen werden, die Stoffkreisläufe nachhaltig zu schließen.

Ziele

- Weiterentwicklung der Aufbereitungstechnik zur Verbesserung der Produktreinheit, des Anlagendurchsatzes und der Flexibilität
- Errichtung von zwei Demonstrationsanlagen im Pilotmaßstab
- Anwendung einer Mehrphasenmesstechnik zur Charakterisierung von Stoffströmen
- Erarbeitung eines aktiven Lastenmanagements zur Flexibilisierung des Betriebs

Beteiligt:

- Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT)



PROJEKTPORTRÄT

RESUR – Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung

Das Energiesystem der Zukunft wird maßgeblich von erneuerbaren Energien bestimmt sein. Eine schnellere und bessere Transformation hin zur Klimaneutralität bedeutet eine signifikant erhöhte Unabhängigkeit von Importen fossiler Energieträger.

Die Komplexität dieser Transformation schafft sehr große Herausforderungen. RESUR stellt (Co-)Simulationen und Analysen zur Verfügung, die es den Energieversorgern und Entscheidenden erlauben, komplexe Zusammenhänge vorab zu untersuchen, wie zum Beispiel das „Re-bundling“. Darunter versteht man die gemeinsame Betrachtung von Stromerzeugung und Stromnetzen unterschiedlicher Betreiber und Netzebenen unter der gleichzeitigen Betrachtung der fortschreitenden Kopplung von Strom- und Gasnetz. Der Fokus von RESUR liegt auf der kurzfristigen, pro- und reaktiven Bereitstellung von Entscheidungsgrundlagen, vor allem zu aktuellen Ereignissen. Es wird angestrebt, RESUR langfristig zu betreiben und die Modelltoolbox im stetigen Dialog mit der Politik und den Industriepartnern an neue Herausforderungen anzupassen.



Im Projekt RESUR entwickeln Forschende eine Toolbox, die es unter anderem Energieversorgern ermöglicht, komplexe Zusammenhänge zu analysieren und zu bewerten.

Ziele

- „Bottom-up“-Modelle für den Strom- und Gassektor zur Bewertung der Versorgungssicherheit und der Robustheit der Transportnetze
- Modelle und Werkzeuge zur Co-Simulation für Wärme, Strom und Gas
- Bereitstellung einer Meta-Datenbank und Toolbox zur Analyse und Bewertung von Handlungsmöglichkeiten von Wirtschaft, Gesellschaft und Politik bei disruptiven Ereignissen der Energie- und Rohstoffmärkte

Beteiligt:

- [Karlsruher Institut für Technologie \(KIT\)](#)
- [Forschungszentrum Jülich \(FZJ\)](#)
- [Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt \(DLR\)](#) – assoziiert

PROJEKTPORTRÄT

Geotechnologien für eine Zeitenwende in der Energieversorgung in Deutschland – GEOZeit – Energetische und stoffliche Speicher im tiefen Untergrund

Der tiefe Untergrund bietet enorme Potenziale sowohl für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung als auch für den immer größer werdenden Bedarf an Energiespeichern. Um diese Potenziale zu nutzen, entwickeln Forschende Lösungen zur umweltgerechten Nutzung der Tiefengeothermie sowie der geobasierten energetischen und stofflichen Speicherung. Notwendige nächste Schritte sind der Ausbau geologischer Porenspeicher für Wärme und energierelevante Gase im TWh-Bereich sowie ein Markthochlauf geothermischer Technologien. Mit Hilfe der Forschungsbohrungen DeepStor-1 und -2 und des Umbaus des Pilotstandortes Ketzin zur Wasserstoffspeicherung entwickeln Forschende neue Speichertechnologien, die ausgeförderte Kohlenwasserstoffspeicher nachhaltig nutzen und so eine kurzfristige Lösung zur heutigen Frage der Energiespeicherung darstellen werden. In den kommenden zwei bis drei Jahren sollen folgende Ziele erreicht werden:

Ziele

- Validierung technischer Machbarkeit der Speichertechnologien in ausgeförderten Kohlenwasserstoffspeichern über die Forschungsinfrastruktur DeepStor am KIT
- Bewertung und Gewährleistung stabiler Reservoirigenschaften zur Vorbereitung eines H₂-Demonstrators im salinen Aquifer, um einen zyklischen und sicheren Belade- und Entladebetrieb umsetzen zu können
- Entwicklung geobasierter Lösungen für hydrothermale Aquifere zur Deckung von Grund- und Mittellast
- Hochskalierung der Untergrundspeicherung im technischen Maßstab
- Entwicklung von Lösungen im Co-Design und mit einem Citizen-Science-Projekt

Beteiligt:

- [Karlsruher Institut für Technologie \(KIT\)](#)
- [Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches Geoforschungszentrum \(GFZ\)](#)

3.2 Fusionsforschung

Das Programm „Fusion“ (FUSION) erforscht und entwickelt die physikalischen und technischen Grundlagen für Auslegung und Bau eines Fusionskraftwerks. Es ist Teil der europäisch koordinierten und geförderten Fusionsforschung.

Highlights aus der Forschung des Programms FUSION

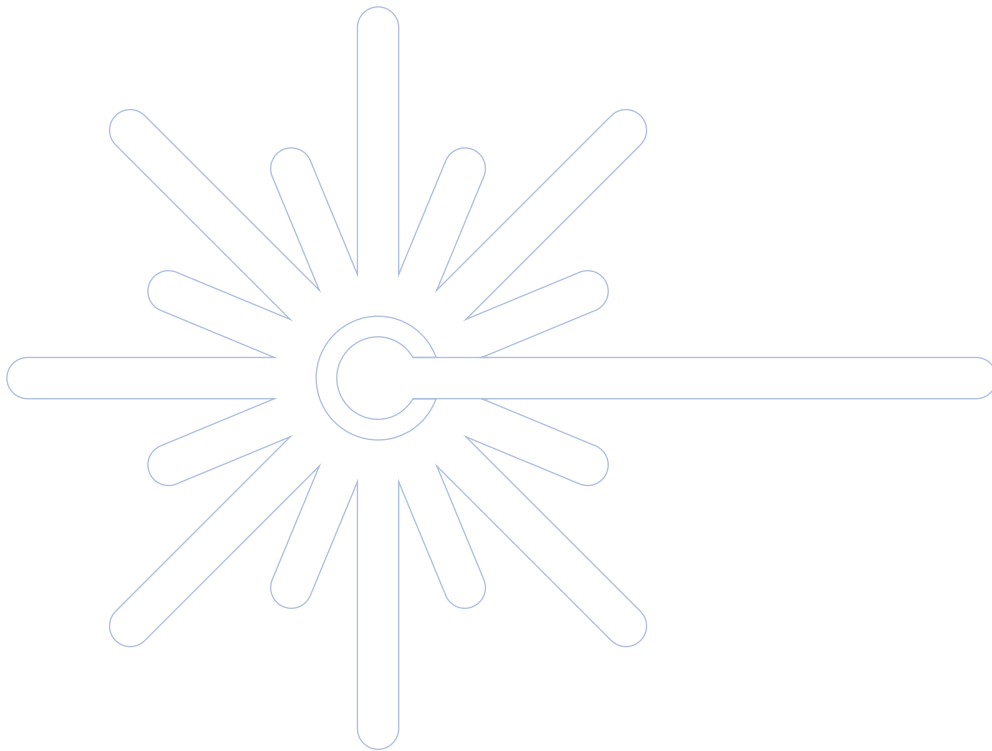
Nach zwei erfolgreichen ersten Experimentierphasen ist die Fusionsanlage Wendelstein 7-X weiter ausgebaut worden. Der letzte Schritt, der die Maschine dazu ertüchtigt, bei höherer Heizleistung bis zu 30 Minuten lange Plasmapulse zu demonstrieren, wurde zu Beginn des Jahres 2022 abgeschlossen. Wendelstein 7-X ist damit endgültig fer-

tiggestellt. Eine wassergekühlte Innenverkleidung und das neue Herzstück, ein wassergekühlter Divertor, komplettieren die Anlage. Den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern stehen nun insgesamt 70 Messsysteme zu Verfügung. Der abgeschlossene Ausbau bietet die Möglichkeit, die für ein Fusionskraftwerk wichtigen Leistungsparameter weiter zu erhöhen und zu demonstrieren, dass Stellaratoren verlässlich im Dauerbetrieb arbeiten können. Aus diesem Anlass besuchte die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Bettina Stark-Watzinger, zusammen mit Bettina Martin, Ministerin für Wissenschaft, Kultur, Bundes- und Europaangelegenheiten des Landes Mecklenburg-Vorpommern, am 9. August 2022 das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Greifswald im Rahmen eines Festakts.

Aktuelle Aktivitäten des BMBF im Bereich Fusion

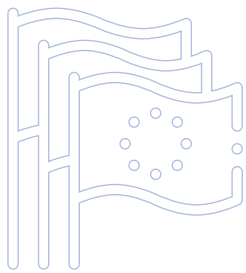
Ende Mai 2022 fand im BMBF in Bonn ein Fachgespräch zum Thema Fusionstechnologien mit Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft und Industrie statt. Das BMBF hat auf Grundlage der Ergebnisse des Gesprächs entschieden, das in Deutschland bislang noch vergleichsweise wenig beforschte Feld der Trägheitsfusion, insbesondere der Laserfusion, die eine Variante innerhalb der Trägheitsfusion ist, näher zu beleuchten. Hierfür

wurde in einem ersten Schritt eine Kommission, bestehend aus sieben internationalen Expertinnen und Experten auf dem Gebiet der Trägheitsfusion, eingesetzt. Diese Expertenkommission hat von Dezember 2022 bis April 2023 ein Memorandum zur Trägheitsfusion erstellt. Das Memorandum führt schwerpunktmäßig zur Laserfusion und deren technologischer Reife aus. Es enthält eine wertende Stellungnahme und gibt insbesondere darüber Aufschluss, wo die Stärken beziehungsweise Schwächen Deutschlands im Bereich der Trägheitsfusion, insbesondere Laserfusion, liegen.



4. Europäische und internationale Zusammenarbeit





4.1 Europäische Vernetzung in der Energieforschung

Deutschland beteiligt sich seit mehr als 20 Jahren an der Entwicklung des Europäischen Forschungsraums. Dieser fördert die Vernetzung und die Zusammenarbeit der europäischen Forschungs- und Wissenschaftssysteme. Damit wurde ein wichtiger Grundstein für die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit Europas gelegt.

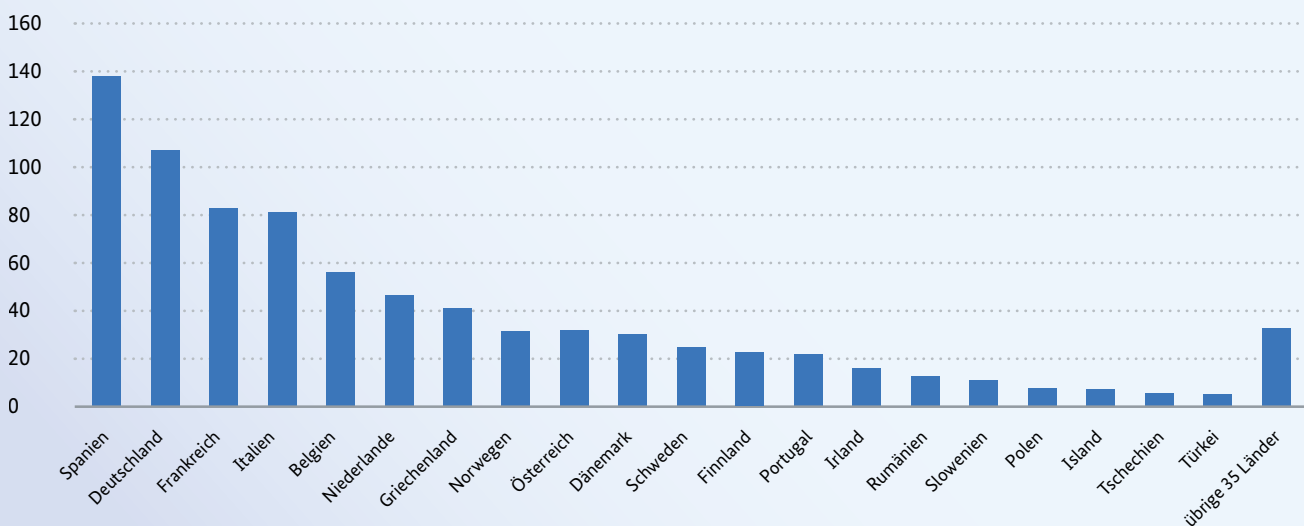
Unter der deutschen EU-Ratspräsidentschaft ist im Jahr 2020 eine Neuausrichtung des Europäischen Forschungsraums erfolgt und mit der Verabschiedung des EU-Rahmenprogramms Horizont Europa 2021 verknüpft worden. Grundlage für die Zusammenarbeit im Europäischen Forschungsraum ist seit 2022 der „Pakt für Forschung und Innovation in Europa“. Der Pakt soll EU-, nationale und regionale Ressourcen mobilisieren, indem er den öffentlichen

Ausgaben für Forschung und Entwicklung Priorität einräumt. Darüber hinaus werden Voraussetzungen für stärkere private Investitionen in Forschung und Innovation geschaffen und die Hauptziele der europäischen Wachstumsstrategie bis 2030, der grüne und der digitale Wandel, unterstützt.

Deutschland ist im Energiebereich durch seine Aktivitäten im Europäischen Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan) mit den Mitgliedsstaaten, der Industrie und den Stakeholdern über die Forschungs- und Innovationsstrategien und -programme vernetzt. Die derzeitige Überarbeitung des SET-Plans ist Bestandteil der Umsetzungsmaßnahmen des Europäischen Forschungsraums. Die Zielsetzungen und Vorgaben des SET-Plans müssen auf die aktuellen energiepolitischen Strategien und Herausforderungen der EU (Green Deal, Fit-for-55-Paket, REPowerEU-Mitteilung) angepasst werden.

Die Umsetzung der SET-Plan-Strategie wird durch die von der EU kofinanzierte Clean Energy Transition Partnership (CETPartnership) unterstützt. Das Ziel ist die gemeinsame Planung und Durchführung von Forschungsaktivitäten sowie die Entwicklung technologischer Innovationen für die

Abbildung 30: EU-Fördermittel-Verteilung nach Ländern im Energiebereich von Cluster 5 im Jahr 2021 in Mio. Euro



Energiewende. Seitens des Bundes wurden rund 80 Millionen Euro an Fördermitteln aus dem 7. Energieforschungsprogramm für die jährlichen Förderaufrufe der Partnerschaft (Joint Calls) bis ins Jahr 2027 in Aussicht gestellt. Hinzu kommen aus Deutschland weitere regionale Fördermittel aus den Ländern Sachsen und Nordrhein-Westfalen, die sich ebenfalls an der Partnerschaft beteiligen. Insgesamt sind an der CETPartnership rund 50 Partner mit nationalen und regionalen Förderprogrammen aus über 30 Ländern beteiligt. Diese beabsichtigen, für die ersten beiden Joint Calls in den Jahren 2022 und 2023 insgesamt Fördermittel von rund 210 Millionen Euro bereitzustellen.

Neben der CETPartnership ist Deutschland auch in der Driving Urban Transitions to a Sustainable Future Partnership (DUTP) involviert. In einem ersten gemeinsamen Förderaufruf im Jahr 2022 mit insgesamt 26 teilnehmenden Ländern und einem Förderbudget von rund 90 Millionen Euro werden transnationale Forschungs- und Innovationsprojekte unterstützt, die sich mit städtischen Herausforderungen befassen und die Städte bei ihrem Übergang zu einer nachhaltigeren Wirtschaft und Funktionsweise unterstützen. Die Herausforderun-

gen sind dabei in die drei Themenbereiche Positive Energy Districts (PED), 15-minute-City (15mC) und Circular Urban Economies (CUE) gegliedert.

Deutschland beteiligt sich zudem auf europäischer Ebene an Important Projects of Common European Interest (IPCEI) für Wasserstoff und wird große Forschungs-, Demonstrations- und Umsetzungsprojekte mit über 8 Milliarden Euro unterstützen.

Im Rahmen von internationalen Kooperationen ist Deutschland in verschiedenen weiteren europäischen und außereuropäischen Fördermaßnahmen aktiv.

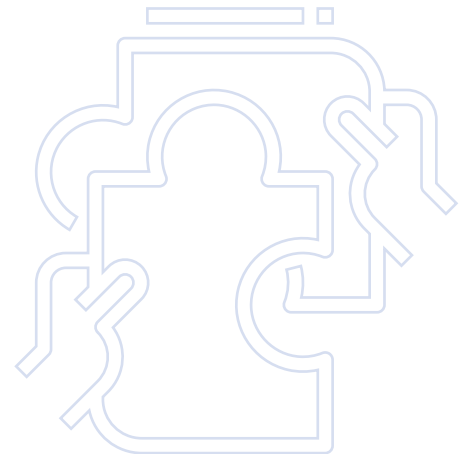
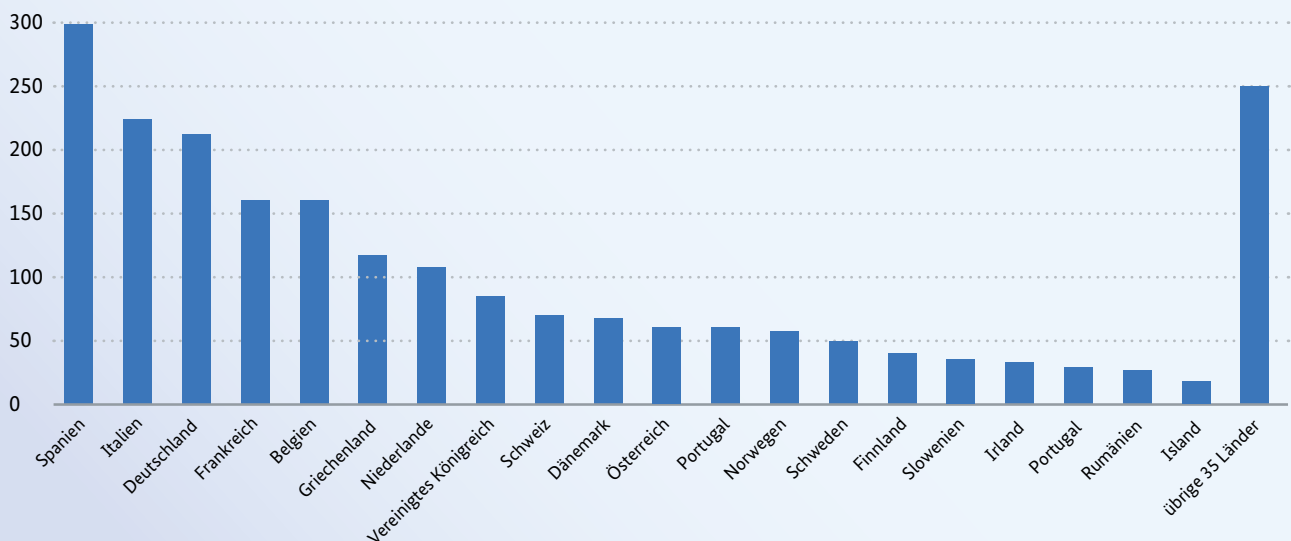


Abbildung 31: Anzahl an Projektbeteiligten pro Land im Energiebereich von Cluster 5 in 2021



4.2 Forschungsrahmenprogramm der EU (Horizont Europa)

Horizont Europa ist mit einem Gesamtbudget von 95,5 Milliarden Euro das wichtigste Förderprogramm für Forschung und Innovation der Europäischen Union. Das Programm erleichtert die europäische und internationale Zusammenarbeit und stärkt die Wirkung von Forschung und Innovation bei der Entwicklung, Unterstützung und Umsetzung der EU-Politik und der Bewältigung globaler Herausforderungen. Es bekämpft den Klimawandel, trägt zur Erreichung der UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung bei, stärkt den Europäischen Forschungsraum und fördert die Wettbewerbsfähigkeit und das Wachstum der EU.

Der Kern der Energieforschung findet sich in Cluster 5 – Klima, Energie und Mobilität – mit einem Gesamtbudget von 15,3 Millionen Euro wieder. Übergeordnetes Ziel des Clusters ist die Beschleunigung des grünen und digitalen Übergangs und des damit verbundenen Wandels von Wirtschaft, Industrie und Gesellschaft, um bis zum Jahr 2050 Klimaneutralität in Europa zu erreichen. Cluster 5 unterstützt im Energiebereich die strategischen Ziele der EU durch Aktivitäten, die eine effizientere, sicherere, nachhaltigere und wettbewerbsfähigere Energieversorgung, -verteilung und -nutzung zum Ziel haben. Dies umfasst zahlreiche Themen, wie beispielsweise Innovationen im Bereich der erneuerbaren Energien, neue Lösungen für intelligente Netze und Energiesysteme, innovative Speicherslösungen oder den klimaneutralen Gebäudebestand.

Im Fokus steht derzeit der REPowerEU-Plan als strategische Reaktion auf den Ukrainekrieg. Dieser zielt darauf ab, die Abhängigkeit der EU von fossilen Brennstoffen mit Hilfe erneuerbarer Energie und Elektrifizierung zu verringern. Die Europäische Kommission kündigte in ihrer Mitteilung zusätzliche Investitionen in Höhe von 200 Millionen Euro für die Clean Hydrogen Partnerschaft im

Rahmen von Horizont Europa an. Die Clean Hydrogen Partnerschaft setzt die institutionalisierte öffentlich-private Partnerschaft FCH 2 JU fort. Sie hat das Ziel, die Entwicklung und den Einsatz der europäischen Wertschöpfungskette für saubere Wasserstofftechnologien zu beschleunigen und damit die Umsetzung der EU-Wasserstoffstrategie voranzubringen.

Bereits im Jahr 2021 waren in Cluster 5 insgesamt 54 energiebezogene Förderthemen mit einem anvisierten Fördervolumen von rund 826 Millionen Euro ausgeschrieben worden. Die ersten Projekte starteten im zweiten und dritten Quartal 2022.

Erfolgreiche Beteiligung deutscher Antragsteller im Energiebereich in Horizont Europa

Für das Programm Horizont Europa wurden 2021 abschließende Zahlen vorgelegt.¹ Im Energiebereich von Cluster 5 – Klima, Energie und Mobilität – waren Antragsteller aus Deutschland überdurchschnittlich stark an Verbundvorhaben beteiligt. Im Jahr 2021 wurden rund 800 Millionen Euro Fördermittel für insgesamt 137 Verbundprojekte bereitgestellt. Deutschland hat sich in 97 dieser Projekte mit insgesamt 195 Projektteilnehmenden engagiert. Damit waren Akteure aus Deutschland in 70,8 Prozent aller Verbundprojekte im Energiebereich von Horizont Europa vertreten und haben davon in elf Projekten die verantwortungsvolle Rolle der Koordination übernommen (Abbildung 31). Insgesamt konnten deutsche Projektbeteiligte dabei rund 106 Millionen Euro an Fördermitteln einwerben. Deutschland liegt somit nach Spanien und vor Frankreich und Italien an zweiter Stelle mit 14 Prozent der bewilligten Gesamtförder-summe im betrachteten Programmbereich (Abbildung 30).

1 Zum Veröffentlichungszeitpunkt (Juni 2023) liegen für das Programm Horizont Europa lediglich für das Jahr 2021 belastbare Zahlen vor.

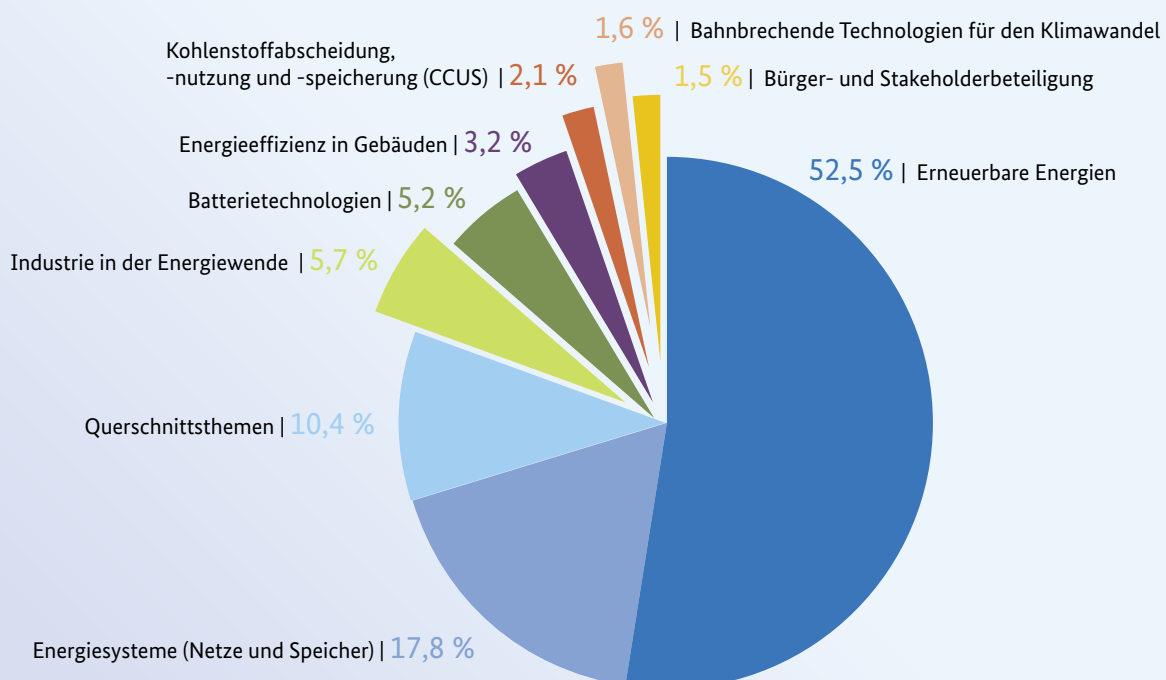
Schwerpunkte der Energieforschung in Horizont Europa

Die Projektbeteiligung der Zuwendungsempfänger aus Deutschland konzentriert sich mit 49,7 Prozent auf den Bereich erneuerbare Energien (Global leadership in renewable energy). Dieser berücksichtigt sowohl angewandte Forschungs- und Demonstrationsvorhaben von erneuerbaren Energien wie Wind, Solar, Photovoltaik, Geothermie, Wasser- und Meerestechnologien als auch Bioenergie und -kraftstoffe. Dies spiegelt sich auch in der Verteilung der eingeworbenen Fördermittel nach Themenbereichen wider (Abbildung 32). Ein deutlicher Schwerpunkt liegt auf Forschungs- und Demonstrationsvorhaben in den Technologiefeldern erneuerbare Energien mit 52,5 Prozent und Energiesysteme (Netze und Speicher) mit 17,8 Prozent. Es folgen Querschnittsthemen mit 10,4 Prozent,

Industrie in der Energiewende mit 5,7 Prozent, Batterien mit 5,2 Prozent, Energieeffizienz in Gebäuden mit 3,2 Prozent, Kohlenstoffabscheidung, -nutzung und -speicherung (CCUS) mit 2,1 Prozent, bahnbrechende Technologien für den Klimawandel mit 1,6 Prozent sowie Bürger- und Stakeholderbeteiligung mit 1,5 Prozent.

Themen mit dem Schwerpunkt auf Technologien und Innovationen im Bereich Wasserstoff sind in der Abbildung nicht aufgeführt. Diese werden innerhalb der öffentlich-privaten Partnerschaft Clean Hydrogen gefördert. Im Jahr 2021 gab es in diesem Programmbereich keinen Förderaufruf. Weitere energierelevante Themen, die – wie etwa die Materialforschung – außerhalb des Programmbereichs Cluster 5 – Klima, Energie und Mobilität – angesiedelt sind, werden in dieser Auswertung nicht berücksichtigt.

Abbildung 32: Thematische Schwerpunkte nach Fördervolumen der deutschen Beteiligung im Bereich Energie in Cluster 5 in 2021



Euratom-Programm

Das Euratom Forschungs- und Ausbildungsprogramm hat das übergeordnete Ziel, Forschungs- und Ausbildungsmaßnahmen im Nuklearbereich auf Grundlage des Euratom-Vertrags (EAGV) durchzuführen. Die Schwerpunkte liegen auf der kontinuierlichen Verbesserung der nuklearen Sicherheit, der Ver- und Entsorgungssicherheit und des Strahlenschutzes. Das Programm ergänzt das EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation Horizont Europa. Es verfügt in der aktuellen Phase über eine Laufzeit von zunächst 5 Jahren (2021–2025) und ist mit rund 1,38 Milliarden Euro ausgestattet. Der größte Teil der Forschung und Innovation soll im Rahmen kofinanzierter europäischer Partnerschaften durchgeführt werden.

So hat in dessen Rahmen beispielsweise zur weiteren Verbesserung des Strahlenschutzes im Juni 2022 die neue europäische Partnerschaft für Strahlenschutzforschung [PIANOFORTE](#) ihre Arbeit aufgenommen. Während der fünfjährigen Laufzeit der Partnerschaft wird PIANOFORTE Forschungsarbeiten aus vier Themenschwerpunkten im Rahmen von drei offenen Programmrunden (Open Calls) fördern:

- Verbesserung des Strahlenschutzes von Patientinnen und Patienten bei der Anwendung [ionisierender Strahlung](#) in der Medizin,
- Verbesserung des Verständnisses individueller Strahlenempfindlichkeit,
- Untersuchung von Wirkmechanismen bei chronischer [Strahlenexposition](#) im Niedrigdosisbereich,
- Verbesserung der Vorbereitung auf nukleare und radiologische Krisen, gesellschaftliche Resilienz und Management der Nach-Unfallphase.

Damit unterstützt die Partnerschaft auch die Ziele der Europäischen Union wie

- den Kampf gegen Krebs (Europe's Beating Cancer Plan),

- die Verbesserung der Vorbereitung auf Katastrophen und der Resilienz in solchen Situationen (Umsetzung des Sendai Framework for Disaster Risk Reduction).

In PIANOFORTE haben sich 58 Partner aus 22 EU-Staaten sowie aus Großbritannien und Norwegen zusammengeschlossen. Insgesamt stehen 46 Millionen Euro zur Umsetzung des Programms zur Verfügung.

4.3 Internationale Zusammenarbeit

Die Bundesregierung engagiert sich bei der Energieforschung nicht nur in europäischen, sondern auch in weltweit tätigen Organisationen und Initiativen.

Internationale Energieagentur (IEA)

Die [Internationale Energieagentur \(IEA\)](#) ist eine selbstständige Institution innerhalb der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD). Mit ihren Aktivitäten stärkt sie die internationale Zusammenarbeit in energiepolitischen, -technischen und -wirtschaftlichen Fragen. Der IEA gehören 31 Mitgliedstaaten an, darunter Deutschland sowie elf assoziierte Partnerstaaten. Die Bundesregierung wird federführend durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz vertreten.

Alle übergeordneten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten und strategischen Aufgaben im Bereich Energietechnologien werden vom Committee on Energy Research and Technology (CERT) koordiniert. Konkret umgesetzt werden die energieforschungspolitischen Ziele über die länderübergreifenden Technology Collaboration Programmes (TCP). Deutschland engagiert sich aktuell in 24 der insgesamt 39 laufenden TCP. 2022 ist die Bundesrepublik dem TCP Fluidized Bed Conversion beigetreten. Dieses beschäftigt sich mit dem Einsatz von Wirbelschichtverfahren in der Kraftwerkstechnik.

Mission Innovation (MI)

[Mission Innovation \(MI\)](#) fördert weltweit die Entwicklung und den Ausbau sauberer, kostengünstiger Energietechnologien und -lösungen. Die zwischenstaatliche Initiative setzt dafür insbesondere auf höhere öffentliche und privatwirtschaftliche Investitionen.

MI wurde 2015 auf der 21. UNFCCC-Vertragsstaatenkonferenz (COP21) gegründet und umfasst aktuell 23 Staaten und die Europäische Kommission. 2021 wurden auf dem sechsten Ministertreffen (MI-6) sowie der 26. UNFCCC-Vertragsstaatenkonferenz (COP26) sieben Innovationsmissionen vorgestellt. 2022 haben die Mitglieder auf dem siebten Ministertreffen (MI-7) nationale Innovationspfade festgelegt. Sie haben sich verpflichtet, bis 2030 über 220 Demonstrationsprojekte zur Beschleunigung der Energiewende umzusetzen.

Die sieben Innovationsmissionen sind:

- Green Powered Future Mission
- Zero-Emission Shipping Mission
- Clean Hydrogen Mission
- Carbon Dioxide Removal Mission
- Urban Transition Mission
- Net-Zero Industries Mission
- Integrated Biorefineries Mission

Die Bundesregierung engagiert sich, vertreten durch das BMWK, in vier Missionen. Die Clean Hydrogen Mission will den Preis von sauberem Wasserstoff bis 2030 unter zwei US-Dollar pro Kilogramm senken und unterstützt den Aufbau einer globalen Wasserstoffwirtschaft. Mit der Green Powered Future Mission sollen Stromnetze weltweit bis 2030 bis zu 100 Prozent variable erneuerbare Energien integrieren können. In der Net-Zero Industries Mission werden Innovationen zur Dekarbonisierung energieintensiver Industrien gefördert und mit der Zero-Emission Shipping Mission sollen bis 2030 wirtschaftlich rentable, emissionsfreie Schiffe demonstriert werden.

Internationale Partnerschaft für Wasserstoff und Brennstoffzellen in der Wirtschaft (IPHE)

IPHE ist ein Zusammenschluss von 22 Partnern und besteht aus 21 Staaten und der Europäischen Kommission. Er begleitet und unterstützt die Kommerzialisierung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien. Hierzu bündelt IPHE die internationalen Aktivitäten verschiedener Sektoren und Ressorts und stimmt diese ab. Die Bundesregierung engagiert sich seit der Gründung in dem globalen Forum.

4.4 Internationale Forschungsinitiativen

Die Bundesregierung engagiert sich im Bereich der Energieforschung auch auf bi- und multilateraler Ebene in internationalen Kooperationen mit anderen Ländern.

Deutsch-niederländische Förderung elektrochemischer Materialien und Prozesse für grünen Wasserstoff und grüne Chemie

Im Oktober 2022 haben das BMWK, das BMBF und der niederländische Forschungsrat NWO einen gemeinsamen Förderaufruf „Electrochemical materials and processes for green hydrogen and green chemistry“ (ECCM) veröffentlicht. Gesucht wurden deutsch-niederländische Kooperationsprojekte entlang der gesamten Innovationskette von grünem Wasserstoff und grüner Chemie, von der grundlegenden Forschung bis zur industriellen Anwendung unter Einbeziehung von Endnutzerinnen und -nutzern. Die bilateralen Kooperationsprojekte sollen Kompetenzen beider Länder bündeln, um innovative und praxisrelevante Lösungen und Verfahren für grünen Wasserstoff und grüne Chemie zu entwickeln. Der Förderaufruf deckt fünf Bereiche ab: Elektrolyse (inklusive Wasserstoffspeicherung und Power-to-X-Technologien), Elektrosynthese, Materialien und Katalyse, Entwicklung und Herstellverfahren für Elektrolyse-Systeme sowie Systemdesign und -integration.

Zusammenarbeit mit Frankreich zur nachhaltigen Energieversorgung Europas

In der gemeinsamen Initiative vom BMBF und dem französischen Forschungsministerium arbeiten neun Forschungsprojekte seit Ende des Jahres 2019 an Lösungen für eine effiziente, bezahlbare und umweltfreundliche Energieversorgung. Die Projekte erforschen Batterietechnologien, Innovationen für Stromnetze und Energiemärkte, die Erzeugung von Gasen und Chemikalien aus Strom aus erneuerbaren Energien sowie Brennstoffzellen und die Hausenergieversorgung mit Wasserstoff.

Europäische Forschungsagenda Grüner Wasserstoff (SRIA)

Der von BMBF koordinierte Agendaprozess zu grünem Wasserstoff, eine Pilotinitiative des Europäischen Forschungsraums, mündete im März 2022 in eine Strategische Forschungs- und Innovationsagenda (SRIA). Diese adressiert die wichtigsten Forschungsfragen auf europäischer Ebene. Eine internationale Konferenz im Mai 2022 verbreitete und vertiefte die Ergebnisse. Die Frage der Wasserstoff-Zukunft der Häfen ist in einem Workshop mit Teilnehmenden aus mehreren Nordsee-Anrainerstaaten intensiviert worden.

Partnerschaft mit Afrika zu erneuerbaren Energien

Das von der EU-Kommission mitfinanzierte Fünf-Jahres-Programm *Long-Term European African Partnership on Renewable Energy* (LEAP-RE) baut eine langfristige Partnerschaft zwischen Europa und Afrika zu Forschung und Innovation über erneuerbare Energien auf. Deutsche Forschende arbeiten in acht von den 13 ausgewählten Projekten des ersten Calls 2021 mit. An der Förderung beteiligt sich das BMBF mit 2 Millionen Euro. Die Finanzierung für die 2023 startenden Projekte wurde bereits zugesagt.

Darüber hinaus fördert das BMBF mehrere Projekte in den westafrikanischen Staaten zu den Themen erneuerbare Energien und grünem Wasserstoff. Das Projekt *Waste2Energy* geht beispielsweise in Ghana der Frage nach, wie Abfall in Energie und Dünger umgewandelt werden kann. In Togo bauen Forschende ein großes Biogaslabor auf. In Nigeria gibt es mit Photovoltaik betriebene Gewächshäuser. Die Photovoltaik hilft dort auch, Feldfrüchte zu trocknen, um Lebensmittel länger haltbar zu machen.

Der Potenzialatlas Grüner Wasserstoff in Afrika enthält datenbasierte Prognosen, wo grüner Wasserstoff in Afrika am besten erzeugt werden kann. Im *International Master Program in Energy and Green Hydrogen* werden die Fachkräfte von morgen ausgebildet.

Deutsch-namibische Kooperationsvereinbarung zu grünem Wasserstoff

Namibia ist eines der vielversprechendsten Länder für die Produktion von grünem Wasserstoff und dessen Derivaten wie Methan, Ammoniak oder Methanol. Das Land strebt an, vor 2025 grünen Wasserstoff zu exportieren. Das BMBF hat mit der namibischen Regierung 2021 eine deutsch-namibische Kooperation vereinbart. Neben einer Nationalen Wasserstoffstrategie, die auf der 27. UN-Klimakonferenz in Ägypten vorgestellt wurde, fördert das BMBF auch Pilotprojekte und ein Stipendienprogramm zur Aus- und Weiterbildung lokaler Fachkräfte in Namibia. Das erste Pilotprojekt *Daures Green Hydrogen Village* startete Ende des Jahres 2022.

Australien

Deutschland und Australien bauen eine strategische Wasserstoff-Partnerschaft auf. Ein deutsch-australisches Konsortium aus Wissenschaft und Wirtschaft hat in der Machbarkeitsstudie *HySupply* zuerst regulatorische, technische und ökonomische Hemmnisse identifiziert, die den Aufbau einer Lieferkette von grünem Wasserstoff von Australien nach Deutschland behindern. BMBF und ARENA (*Australian Renewable Energy Agency*) veröffentlichen danach den deutsch-australischen Förderaufruf *HyGATE – German-Australian Hydrogen*

Innovation and Technology Incubator. Mit Demonstrations- und Pilotprojekten entlang der gesamten Wertschöpfungskette wird eine deutsch-australische Wasserstoff-Lieferkette vorbereitet. *HyGATE* setzt zwei grundlegende Ziele der Nationalen Wasserstoffstrategie um: zum einen den Import von nachhaltigen Energieträgern und zum anderen den Export von Klimaschutztechnologien „Made in Germany“. Das BMBF stellt für *HyGATE* 50 Millionen Euro zur Verfügung, ARENA 50 Millionen australische Dollar. Vier deutsch-australische Projekte beginnen 2023 ihre Arbeiten.

PROJEKTPORTRÄT

CARE-O-SENE – Katalysatorforschung für nachhaltige Flugzeugtreibstoffe (grünes Flugbenzin)

Die Technologie zur Umwandlung nachhaltiger Energie in flüssige Energieträger (Power-to-Liquids, PtL) ist der Schlüssel zur nachhaltigen Dekarbonisierung von Sektoren wie der Luftfahrt. Mithilfe von PtL entstehen aus grünem Wasserstoff und Kohlendioxid und dem sogenannten Fischer-Tropsch-(FT)-Prozess als Schlüsselschritt nachhaltigere Flugzeugtreibstoffe (Sustainable Aviation Fuels, SAF). Ein entscheidendes Erfolgskriterium für eine langfristige Tragfähigkeit von SAF-Technologien sind Verfahren mit hoher Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Ziel des Projekts ist die beschleunigte und wissensbasierte Entwicklung von FT-Katalysatoren für die hocheffiziente und nachhaltige Produktion von SAF in relevanten Mengen, die für die Transformation des Luftfahrtsektors notwendig sind. Führende Partner aus Wissenschaft und Industrie verbessern bekannte vielversprechende Katalysatoren so, dass sie aufgrund höherer Aktivität, Selektivität und Lebensdauer deutliche wirtschaftliche und ökologische Vorteile gegenüber dem Standard haben. Sie entwickeln auch neuartige Katalysatorkonzepte, die die FT-Katalysatoren in Zukunft revolutionieren könnten. Die Entwicklungen werden in Südafrika bei Sasol und in Deutschland unter Realbedingungen getestet.



Die Katalysatorforschung wird in Südafrika bei Sasol und in Deutschland unter Realbedingungen getestet.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie zusammen mit Sasol und weiteren vier Verbundpartnern aus Deutschland und Südafrika

Förderkennzeichen: 03SF0673

Fördermittelansatz: 29,9 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2022 – 2025

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



5. Weitere energierelevante Förderaktivitäten



5.1 Forschungsförderung der Länder

Seit 2008 erhebt der Projektträger Jülich (PtJ) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) die finanziellen Aufwendungen der Länder für die nicht-nukleare Energieforschung.

Die Aufwendungen der Länder für die Projektförderung sowie die institutionelle Förderung haben sich der aktuellen Untersuchung für das Jahr 2021 zufolge insgesamt auf 430,6 Millionen Euro summiert. Dabei entfielen 252,9 Millionen Euro auf die Projektförderung und 177,86 Millionen Euro auf die institutionelle Förderung.

Wie im Vorjahr bildete die technologische Förderung im Bereich Systemintegration und systemübergreifender Forschungsthemen auch 2021 den übergreifenden Förderschwerpunkt. Sie ist die tragende Säule der Energieforschungspolitik der Länder. Die zunehmenden Interdependenzen zwischen den Energiesektoren lassen deren Kopplung noch stärker in den energiepolitischen Fokus rücken. Hierfür wurden von Seiten der Länder insgesamt 186,2 Millionen Euro bereitgestellt. Besonders erwähnenswert ist hierbei die Förderung im Bereich der Wasserstofftechnologien (97,6 Millionen Euro). Sie bildete den technologiespezifischen Forschungsschwerpunkt 2021, da sie derzeit das bedeutendste Instrument zur Sektorkopplung ist. Niedersachsen (39,2 Millionen Euro) und Bayern (19,7 Millionen Euro) lieferten die größten Beiträge.

Die wachsende Bedeutung von Energiespeichertechnologien für eine dezentrale Energieversorgung hat sich ebenfalls in hohen Aufwendungen der Länder niedergeschlagen (42,3 Millionen Euro): Niedersachsen (13,3 Millionen Euro) und Nordrhein-Westfalen (8,8 Millionen Euro) waren hier 2021 führend. Die Förderaktivitäten zur Forschung und Entwicklung zuverlässiger Stromnetze bewegten sich mit 9,9 Millionen Euro indes nur leicht über dem Vorjahresniveau und wurden in Niedersachsen (2,8 Millionen Euro) und Hamburg (1,9 Millionen Euro) am intensivsten unterstützt.

Die Förderung von Brennstoffzellentechnologien verzeichnete mit 18,4 Millionen Euro 2021 einen leichten Rückgang. Dieser Forschungsbereich wurde von Niedersachsen mit 6,7 Millionen Euro und von Baden-Württemberg mit 5,3 Millionen Euro im Ländervergleich am stärksten unterstützt.

Im Forschungsbereich Energiesystemanalyse und Modellierung wird das Zusammenspiel konventioneller und neuer Energietechnologien untersucht. Die zunehmende Komplexität der Energieversorgungsstrukturen hat sich auch im Umfang der themenbezogenen Länderaufwendungen (18 Millionen Euro) niedergeschlagen. Den mit Abstand bedeutendsten Forschungsbeitrag lieferte dazu Nordrhein-Westfalen mit 7,8 Millionen Euro.

Die Forschungsförderung im Bereich Energieerzeugung summierte sich auf 127,8 Millionen Euro und entsprach damit dem Vorjahresniveau. Wie in den Vorjahren haben die Länder mit 28,2 Millionen Euro das meiste Fördergeld in das Forschungsfeld Solarthermie und Photovoltaik investiert. Baden-Württemberg, Niedersachsen (jeweils 6,6 Millionen Euro) und Nordrhein-Westfalen (5,6 Millionen Euro) haben am stärksten gefördert. Die Forschungsaktivitäten im Bereich Windenergie wurden von Seiten der Länder mit insgesamt 18,5 Millionen Euro unterstützt. Standortbedingt lieferten die nördlichen Länder Niedersachsen (8,9 Millionen Euro), Bremen (2,6 Millionen Euro) und Mecklenburg-Vorpommern (2 Millionen Euro) die größten finanziellen Beiträge. Die Technologieförderung der Bioenergie summierte sich auf 13,7 Millionen Euro, allen voran nahmen sich Niedersachsen (5 Millionen Euro) und Bayern (4,6 Millionen Euro) dieser Forschungsthematik an.

Intensiviert wurden die länderseitigen Forschungsanstrengungen im Bereich der Geothermie (10,2 Millionen Euro). Wie bereits in den Vorjahren hat Niedersachsen hier mit 6 Millionen Euro maßgeblich investiert. Nicht zuletzt aufgrund der wachsenden ökologischen Anforderungen betreiben dagegen nur noch wenige Länder Forschung im Bereich der Wasserkraft (5,1 Millionen Euro). Die größten

Abbildung 34: Aufwendungen der Länder für die nicht-nukleare Energieforschung nach Förderthemen 2008 – 2020 in Mio. Euro

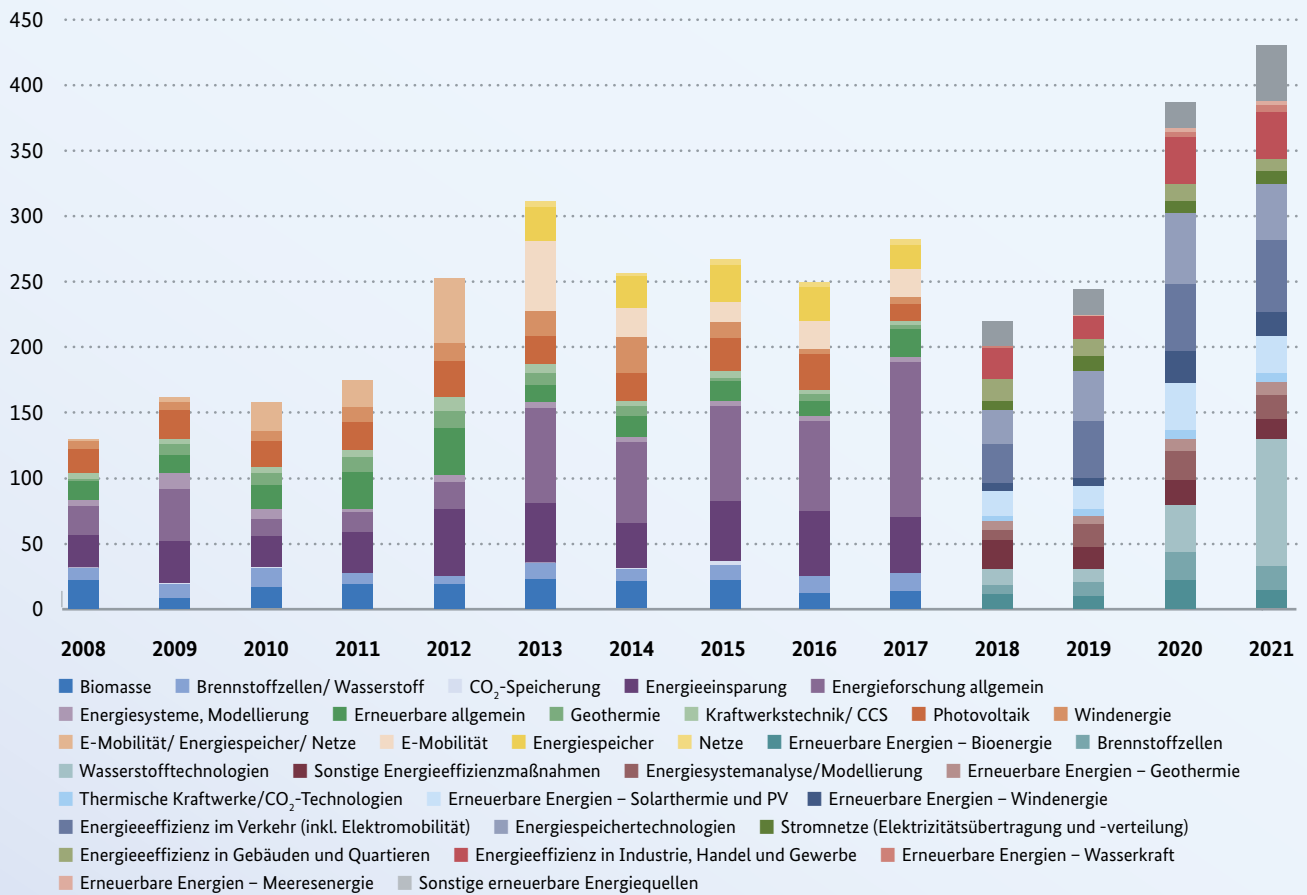
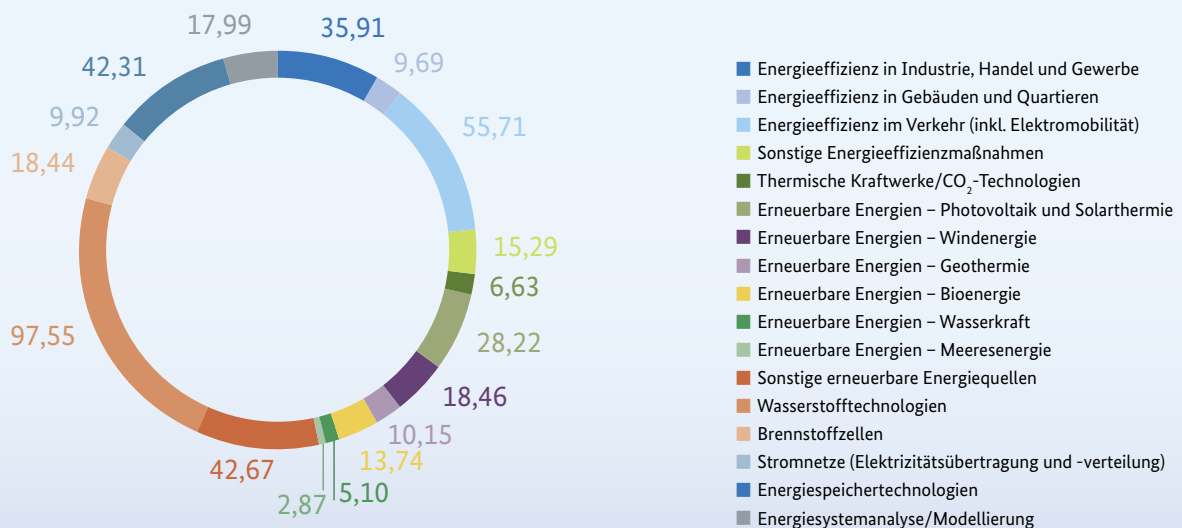


Abbildung 35: Aufwendungen der Länder für die nicht-nukleare Energieforschung nach Förderthemen entsprechend der IEA-Technologieklassifikation in 2021 in Mio. Euro



5.2 Innovationsförderung der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms

Auch über das 7. Energieforschungsprogramm hinaus fördert die Bundesregierung Maßnahmen zur Innovationsförderung im Bereich Energie.

IPCEI Wasserstoff – Important Projects of Common European Interest (IPCEI) für Wasserstofftechnologien und -systeme

Im Rahmen der Fördermöglichkeit der Important Projects of Common European Interest (IPCEI) (deutsch: Wichtige Vorhaben von gemeinsamem europäischen Interesse) haben das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz und das Bundesministerium für Digitales und Verkehr 2020 gemeinsam mit 22 EU-Mitgliedstaaten und Norwegen das IPCEI Wasserstoff während der deutschen EU-Ratspräsidentschaft gestartet. 62 deutsche Großvorhaben wurden im folgenden Jahr ausgewählt, um in den Notifizierungsprozess einzutreten. Darunter Vorhaben für Erzeugungsanlagen mit über 2 Gigawatt Elektrolyseleistung für die Produktion von grünem Wasserstoff, innovative Vorhaben der Stahl- und Chemieindustrie und Projekte im Bereich Infrastruktur und Mobilität.

Flankiert durch die Förderung des BMWK und des BMDV soll IPCEI als gemeinsame Investitionsanstrengung kooperierender europäischer Unternehmen einen wichtigen Impuls im europäischen Binnenmarkt leisten und Wachstum, Beschäftigung, Innovationsfähigkeit sowie die globale Wettbewerbsfähigkeit in ganz Europa stärken. In Deutschland ist IPCEI eingebettet in die Nationale Wasserstoffstrategie und soll so den Markthochlauf von Wasserstofftechnologien und -systemen unterstützen.

Im Jahr 2022 wurde mit der Genehmigung der Projekte Hy4Chem und SALCOS ein wichtiger Meilenstein erreicht. Als erste große deutsche Industrieprojekte im Rahmen des IPCEI-Wasserstoff-Verfahrens bilden sie die Grundlage für die

Wasserstoffwirtschaft in Deutschland. Zudem hat die Europäische Kommission zwei weitere vom BMWK ausgewählte Projekte zur Erforschung stationärer Brennstoffzellensysteme sowie zur Serienfertigung von Elektrolyseuren genehmigt. Darüber hinaus liegen für zwei Projekte, die das BMDV ausgewählt hat, ebenfalls Genehmigungen vor.

Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovation

Im Rahmen der Förderinitiative Forschungscampus fördert das BMBF zwei Forschungscampi mit Energiebezug: Flexible Elektrische Netze (FEN) und Mobility2Grid.

FEN untersucht, wie Energie mit Hilfe von Gleichstromnetzen hochflexibel verteilt werden kann, und erarbeitet Vorreiteranwendungen. Die Forschung umfasst Aspekte zu Netzkomponenten, zum Betrieb von hybriden AC/DC-Netzen sowie zu Digitalisierung, Sozioökonomie und Standardisierung. FEN betreibt seit 2019 am Campus der RWTH Aachen als absolute Neuheit ein Forschungsnetz für Mittelspannungs-Gleichstrom in der Megawattklasse.

Der auf dem EUREF-Campus in Berlin angesiedelte Forschungscampus Mobility2Grid forscht an Themen der Energiewende und Elektromobilität in vernetzten urbanen Arealen. Hauptthemen sind Netzintegration, autonomes Laden oder Elektrifizierung von Depots sowie übergreifend neue vernetzte Mobilitätsformen im Gesamtkontext der Stadt. Die Untersuchung greift über den EUREF-Campus hinaus auf vier weitere Berliner Areale, sodass auch technische und wirtschaftliche Konzepte zur Aggregation von Arealen erarbeitet und im Reallabor untersucht werden. Beide Forschungscampi befinden sich in der zweiten Hauptphase der Förderung.

Leittechnologien für die Energiewende im Rahmen der Industriellen Gemeinschaftsforschung

Im Zuge einer Programmkooperation zwischen dem 7. Energieforschungsprogramm und der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) fördert das BMWK seit 2016 verschiedene Projekte mit Bezug zur Energiewende. Grundlage für die Verknüpfung der beiden Programme sind die in der IGF-Richtlinie vom 10. August 2017 definierten „Leittechnologien für KMU“. Die IGF fokussiert dabei die Brücke zwischen Grundlagenforschung und wirtschaftlicher Anwendung zu Innovationen, die insbesondere die Wettbewerbsfähigkeit mittelständischer Unternehmen stärken.

Auch 2022 hat das BMWK mit einer Förderbekanntmachung im August zur Antragstellung aufgerufen. Insgesamt wurden vier Leitprojekte bewilligt, die nun mit insgesamt rund 4,3 Millionen Euro gefördert werden: „Energieaktivierte Stahllösungen für klimapositive Gebäude“, „Urbane Windkraftanlagen mit performanten Stahlrotorblättern“, „Ressourcenschonende, stromleitende Verbindungen für die Energiewende (Ampere-Clinch)“ sowie „Entwicklung eines energieeffizienten Sauerstoffabtrennungs-Verfahrens mittels Keramik-Pellets“.

BMDV Gesamtförderkonzept Erneuerbare Kraftstoffe

Mit der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS) wurde bereits im Jahr 2013 eine verkehrsträgerübergreifende Informations- und Orientierungsgrundlage für die Energiewende im Verkehr geschaffen. Darauf aufbauend ist im Klimaschutzprogramm 2030 das Thema erneuerbare Kraftstoffe für die Minderung von Treibhausgasemissionen im Verkehr aufgenommen worden, um technologieoffen sowohl strombasierte synthetische Kraftstoffe (E-Fuels) als auch fortschrittliche Biokraftstoffe aus Abfall- und Reststoffen in ihrer Weiterentwicklung zu unterstützen und deren Markteintritt beziehungsweise Markthochlauf zu fördern. Die Bedeutung von erneuerbaren Kraftstoffen, insbesondere

von E-Fuels, für einen klimaneutralen Verkehrssektor wurde zuletzt auch im Koalitionsvertrag der Bundesregierung nochmals bekräftigt.

Das BMDV-Gesamtkonzept Erneuerbare Kraftstoffe greift diesen Kontext auf und sieht ein viersäuliges Förderprogramm vor, welches technologieoffen und verkehrsträgerübergreifend das gesamte Spektrum der (Weiter-)Entwicklung von strombasierten Kraftstoffen und fortschrittlichen Biokraftstoffen bis hin zu deren Erzeugung und Markthochlauf abdeckt. Der Fokus bei der Forschung und Entwicklung liegt auf zwei laufenden Fördermaßnahmen, nämlich der Förderrichtlinie Entwicklung regenerativer Kraftstoffe sowie der Förderung einer modularen Technologieplattform für PtL-Kraftstoffe mit Forschungs- und Demonstrationsstrang im semi-industriellen Maßstab. Dies dient sowohl der Optimierung von einzelnen Produktionsschritten und -verfahren als auch deren Gesamtprozessintegration zur Herstellung von erneuerbaren Kraftstoffen. Um darüber hinaus weitere Investitionshemmnisse für Erzeugungsanlagen hin zum Markthochlauf dieser Kraftstoffe abzubauen, werden im Jahr 2023 zwei weitere Fördermaßnahmen veröffentlicht.

Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt erschließen

Der Verkehrssektor muss einen substanziellen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen zur Erreichung gesteckter Klimaziele leisten. Die verkehrsträgerübergreifende Forschung im Expertennetzwerk des BMDV liefert hier einen wertvollen Beitrag.

Im BMDV-Expertennetzwerk bündeln sechs renommierte Ressortforschungseinrichtungen (BAST, BfG, BSH, DWD, EBA/DZSF, BAW) und eine Fachbehörde (BALM) aus dem Geschäftsbereich des BMDV ihre Expertisen und forschen gemeinsam und verkehrsträgerübergreifend unter der Vision „Das Verkehrssystem resilient und umweltgerecht gestalten“ an politisch besonders relevanten und konkreten Fragestellungen in strategisch wichtigen

Themenfeldern. Das Themenfeld 5 „Erneuerbare Energien“ im Expertennetzwerk befasst sich in einem verkehrsträgerübergreifenden Ansatz mit der Erschließung erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur (beispielsweise durch Potenzialabschätzungen von Photovoltaik- und perspektivisch Geothermieanlagen entlang von Bundesverkehrswegen) und der Identifizierung von Einsparpotenzialen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nehmen hierbei auch neue Systeme, wie beispielsweise sich selbst versorgende (Zug-)Brücken oder Straßenoberflächen und Schallschutzwände mit integrierter Photovoltaik, in den Blick. Neben den technischen Analysen werden auch Lösungsvorschläge erarbeitet, um organisatorische und rechtliche Barrieren für den gegenseitigen Austausch erneuerbarer Energien zwischen den Verkehrsträgern und zwischen öffentlichen und privaten Einrichtungen abzubauen.

Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) im BMDV

Bereits seit 2007 wird die Forschungs- und Entwicklungsförderung zur Einführung von Wasserstoff als Energieträger im Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) ressortübergreifend gebündelt. Mit den aktuellen Förderrichtlinien des BMDV für die zweite Phase des NIP von 2016–2026 steht neben der Förderung von Forschung und Entwicklung auch die Marktaktivierung durch die Förderung der Beschaffung von Wasserstoffanwendungen im Mobilitätsbereich im Fokus. Ziel des NIP ist die Verbesserung der technologischen Reife und der Wettbewerbsfähigkeit von Wasserstofftechnologien für den Verkehrsbereich durch Kostenreduktion und Standardisierungen.



6. Tabellen

6.1 Fördermittel im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Tabelle 1 | Übersicht der Themen im Energieforschungsprogramm des Bundes

| Thema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Projektförderung | 487,65 | 525,44 | 536,28 | 659,45 | 635,25 | 703,66 | 750,59 | 945,17 | 1.111,98 |
| Strategische Förderformate | | | | | | – | 5,53 | 66,93 | 210,65 |
| Energiewende in den Verbrauchssektoren | 115,89 | 112,04 | 108,08 | 137,28 | 156,04 | 193,92 | 208,03 | 212,92 | 198,11 |
| Energieerzeugung | 198,95 | 209,86 | 191,67 | 244,49 | 212,36 | 255,36 | 252,60 | 288,39 | 257,01 |
| Systemintegration: Netze, Speicher, Sektorkopplung | 95,22 | 113,30 | 119,79 | 144,44 | 127,15 | 127,11 | 146,61 | 201,69 | 211,39 |
| Systemübergreifende Forschungsthemen der Energiewende | 34,29 | 44,49 | 71,01 | 86,12 | 92,22 | 78,31 | 91,61 | 123,42 | 184,43 |
| Nukleare Sicherheitsforschung | 43,29 | 45,74 | 45,73 | 47,13 | 47,48 | 48,98 | 46,21 | 51,82 | 50,39 |
| Institutionelle Förderung (HGF) | 331,60 | 348,69 | 362,81 | 379,63 | 393,75 | 410,29 | 415,78 | 314,42 | 319,85 |
| Begleitende Maßnahmen | 28,14 | 34,72 | 35,03 | 28,20 | 25,76 | 34,47 | 50,16 | 51,38 | 54,53 |
| Gesamt | 847,39 | 908,85 | 934,12 | 1.067,28 | 1.054,75 | 1.148,42 | 1.216,53 | 1.310,97 | 1.486,36 |

Tabelle 2 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Strategische Förderformate: Reallabore der Energiewende und Wasserstoff-Leitprojekte“

| Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | Anzahl Projekte | | Fördersumme in Mio. € |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | laufend in 2022 | neu bewilligt in 2022 | neu bewilligt in 2022 |
| Reallabore der Energiewende | – | 5,53 | 18,29 | 40,50 | 189 | 40 | 59,91 |
| Energieoptimierte und klimaneutrale Gebäude | – | 0,14 | 1,22 | 1,31 | 5 | – | – |
| Energieoptimierte und klimaneutrale Quartiere | – | 1,70 | 5,06 | 8,69 | 47 | – | – |
| Versorgung mit Wärme und Kälte | – | 0,06 | 0,80 | 5,33 | 16 | – | – |
| Energiewende in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen | – | – | – | 0,46 | 3 | – | – |
| Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe | – | 1,01 | 1,22 | 0,05 | 3 | – | – |
| Geothermie | – | 0,35 | 1,66 | 6,87 | 11 | 5 | 2,85 |
| Thermische Kraftwerke | – | 2,17 | 2,72 | 1,20 | 2 | – | – |
| Stromspeicher | – | – | – | 0,00 | 12 | 12 | 20,56 |
| Wasserstoffherzeugung | – | 0,11 | 5,04 | 11,63 | 49 | 4 | 28,36 |
| Brennstoffzellen | – | – | – | – | 4 | 4 | 2,18 |
| Systemische Ansätze | – | – | 0,54 | 1,89 | 23 | 15 | 5,96 |
| Digitalisierung in der Energiewende | – | – | 0,04 | 3,05 | 14 | – | – |
| Wasserstoff-Leitprojekte | – | – | 48,64 | 170,14 | 335 | 12 | 25,47 |
| Speicher und Transport / TransHyDE | – | – | 10,71 | 28,72 | 106 | 4 | 1,26 |
| Wasserstoffherzeugung / H2Giga und H2Mare | – | – | 37,93 | 141,43 | 229 | 8 | 24,21 |
| Gesamt | – | 5,53 | 66,93 | 210,65 | 524 | 52 | 85,38 |

Tabelle 3 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Energiewende in den Verbrauchssektoren“

| Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | | | Anzahl Projekte | | Förder- summe in Mio. € |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | laufend in 2022 | neu bewilligt in 2022 | neu bewilligt in 2022 |
| Energiewende in Gebäuden und Quartieren | 60,11 | 66,11 | 61,85 | 58,21 | 65,38 | 78,63 | 93,51 | 101,27 | 98,57 | 100,16 | 1.041 | 212 | 83,35 |
| Energieoptimierte und klimaneutrale Gebäude | 31,82 | 36,55 | 35,64 | 32,00 | 36,57 | 39,78 | 50,24 | 47,86 | 44,90 | 42,60 | 518 | 104 | 36,42 |
| Energieoptimierte und klimaneutrale Quartiere | 10,67 | 10,59 | 9,65 | 12,94 | 17,57 | 22,52 | 25,35 | 31,51 | 31,24 | 26,20 | 291 | 58 | 29,74 |
| Grundlagenforschung Energieoptimierte und klimaneutrale Quartiere | 4,49 | 5,19 | 4,65 | 3,88 | 2,73 | 7,50 | 10,22 | 13,63 | 9,92 | 15,53 | 78 | 3 | 0,48 |
| Thermische Energiespeicher | 4,15 | 6,51 | 7,33 | 5,75 | 4,84 | 5,33 | 4,65 | 4,52 | 4,19 | 4,17 | 44 | 12 | 5,26 |
| Versorgung mit Wärme und Kälte | 8,99 | 7,27 | 4,59 | 3,64 | 3,67 | 3,51 | 3,06 | 3,74 | 7,15 | 8,56 | 107 | 35 | 11,45 |
| Grundlagenforschung Versorgung mit Wärme und Kälte | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,17 | 3,09 | 3 | - | - |
| Energiewende in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen | 39,69 | 37,17 | 37,39 | 36,00 | 57,12 | 60,92 | 66,20 | 64,88 | 73,49 | 69,80 | 770 | 152 | 66,18 |
| Abwärmenutzung | 4,21 | 3,88 | 4,98 | 4,03 | 2,78 | 1,26 | 0,55 | 0,56 | 0,98 | 1,11 | 22 | 6 | 1,86 |
| Chemische Verfahrenstechnik | 7,30 | 7,13 | 7,49 | 9,11 | 12,83 | 12,83 | 11,22 | 9,21 | 9,12 | 10,64 | 115 | 21 | 9,85 |
| Eisen, Stahl und Nichteisenmetalle | 1,77 | 0,98 | 0,97 | 0,86 | 1,09 | 2,07 | 3,56 | 3,15 | 2,36 | 4,25 | 49 | 13 | 4,51 |
| Zirkuläres Wirtschaften | 0,05 | 0,34 | 0,32 | 0,12 | 0,03 | - | - | 0,16 | 0,29 | 0,29 | 6 | - | - |
| Fertigungstechnik | 15,93 | 17,13 | 15,82 | 11,09 | 14,82 | 17,49 | 23,19 | 24,80 | 24,75 | 22,40 | 286 | 47 | 15,56 |
| Hochtemperatur-supraleitung | 3,10 | 2,37 | 0,53 | 0,62 | 1,18 | 1,15 | 1,07 | 0,70 | 2,15 | 2,33 | 12 | 3 | 1,58 |
| Industriemotoren | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Digitalisierung in der Industrie | 0,65 | 0,70 | 0,74 | 1,07 | 1,59 | 1,69 | 1,61 | 0,66 | 2,30 | 3,70 | 32 | 16 | 5,51 |
| Material- und Ressourceneffizienz | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,01 | 0,18 | 0,28 | 0,49 | 0,43 | 0,37 | 0,15 | 4 | - | - |
| Prozesswärme | 3,41 | 3,29 | 4,14 | 5,65 | 8,15 | 8,58 | 9,45 | 9,36 | 10,51 | 9,49 | 104 | 25 | 16,63 |
| Wasserbehandlung | - | 0,04 | 0,18 | 0,35 | 0,72 | 0,58 | 0,57 | 0,51 | 0,41 | 0,20 | 14 | 5 | 1,67 |
| Flexible Industrieprozesse | - | - | - | - | 10,70 | 12,54 | 10,80 | 10,43 | 14,05 | 8,37 | 58 | - | - |
| Sonstige | 3,22 | 1,24 | 2,12 | 3,07 | 3,03 | 2,44 | 3,67 | 4,93 | 6,19 | 6,89 | 68 | 16 | 9,01 |
| Energiewende im Verkehr | 17,83 | 12,61 | 12,80 | 13,87 | 14,78 | 16,49 | 34,21 | 41,87 | 40,85 | 28,16 | 284 | 30 | 20,29 |
| Batterietechnik für mobile Anwendung | 17,83 | 12,61 | 12,80 | 13,87 | 14,28 | 15,63 | 17,06 | 17,80 | 16,59 | 11,25 | 142 | 24 | 12,65 |
| Synthetische Kraftstoffe | - | - | - | - | 0,50 | 0,86 | 13,51 | 16,19 | 16,29 | 9,28 | 87 | 3 | 6,90 |
| Grundlagenforschung Synthetische Kraftstoffe | - | - | - | - | - | - | 3,64 | 7,44 | 6,49 | 4,61 | 38 | - | - |
| Ladeinfrastruktur und Systemintegration | - | - | - | - | - | - | - | 0,44 | 1,48 | 3,02 | 17 | 3 | 0,75 |
| Gesamt | 117,63 | 115,89 | 112,04 | 108,08 | 137,28 | 156,04 | 193,92 | 208,03 | 212,92 | 198,11 | 2.095 | 394 | 169,82 |

Tabelle 4 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Energieerzeugung“

| Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | | | Anzahl Projekte | | Förder- summe in Mio. € |
|------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | laufend in 2022 | neu bewilligt in 2022 | neu bewilligt in 2022 |
| Photovoltaik | 62,73 | 56,83 | 67,41 | 59,78 | 81,90 | 78,24 | 98,69 | 86,19 | 88,39 | 70,14 | 478 | 105 | 61,64 |
| PV-Technologien | 9,88 | 7,22 | 5,64 | 2,65 | 2,75 | 5,24 | 11,75 | 12,40 | 16,40 | 13,55 | 81 | 35 | 22,01 |
| Qualitätssicherung | 2,80 | 2,65 | 3,07 | 3,79 | 4,60 | 3,65 | 3,97 | 3,83 | 5,24 | 7,25 | 76 | 21 | 10,07 |
| Produktionstechnologien | 32,49 | 28,77 | 36,05 | 36,10 | 55,93 | 58,11 | 58,86 | 56,81 | 50,05 | 37,90 | 223 | 38 | 24,92 |
| Zirkuläres Wirtschaften | 0,85 | 0,63 | 0,91 | 0,99 | 1,14 | 0,82 | 1,01 | 1,16 | 1,72 | 1,05 | 12 | - | - |
| Systemfähigkeit | 1,87 | 2,40 | 3,40 | 4,57 | 5,41 | 6,85 | 5,99 | 5,50 | 4,00 | 4,79 | 44 | 9 | 2,76 |
| Grundlagenforschung Photovoltaik | 14,49 | 14,83 | 11,59 | 6,17 | 3,51 | 1,33 | 2,69 | 2,27 | 4,39 | 1,34 | 6 | - | - |
| Sonstige | 0,34 | 0,34 | 6,75 | 5,51 | 8,56 | 2,24 | 14,41 | 4,23 | 6,60 | 4,27 | 36 | 2 | 1,88 |
| Windenergie | 52,57 | 52,88 | 52,85 | 49,68 | 75,11 | 59,73 | 72,95 | 76,06 | 82,87 | 89,19 | 469 | 97 | 59,75 |
| Anlagenentwicklung | 18,14 | 23,40 | 27,09 | 21,99 | 42,92 | 29,13 | 34,69 | 41,82 | 42,79 | 43,85 | 163 | 47 | 33,63 |
| Logistik, Installation, Instandhaltung und Betrieb | 7,38 | 5,25 | 5,18 | 7,38 | 11,00 | 8,34 | 8,30 | 7,83 | 9,96 | 10,97 | 136 | 35 | 15,08 |
| Windenergie Offshore | 16,09 | 14,34 | 9,19 | 10,45 | 11,56 | 12,03 | 15,88 | 17,61 | 18,67 | 25,31 | 80 | 8 | 6,06 |
| Umweltaspekte der Windenergie | 4,91 | 4,31 | 3,23 | 2,25 | 2,48 | 2,42 | 3,34 | 2,83 | 3,08 | 2,13 | 31 | 4 | 2,08 |
| Windphysik und Meteorologie | 1,78 | 2,34 | 3,63 | 3,03 | 3,06 | 2,33 | 2,96 | 3,70 | 6,18 | 5,45 | 40 | 2 | 1,96 |
| Sonstige | 4,27 | 3,24 | 4,53 | 4,58 | 4,08 | 5,49 | 7,79 | 2,26 | 2,18 | 1,48 | 19 | 1 | 0,93 |
| Bioenergie | 42,57 | 43,00 | 42,10 | 37,88 | 33,03 | 28,54 | 40,52 | 48,37 | 63,72 | 48,00 | 739 | 131 | 34,21 |
| Erzeugung – Anbau | 6,31 | 5,98 | 4,43 | 4,69 | 5,70 | 6,52 | 10,86 | 14,39 | 18,97 | 18,59 | 237 | 19 | 9,44 |
| Erzeugung – Züchtung | 5,25 | 4,77 | 4,92 | 4,49 | 4,58 | 4,20 | 4,44 | 4,78 | 4,35 | 3,90 | 54 | 6 | 1,02 |
| Konversion – allgemein | - | - | 0,53 | 5,22 | 2,73 | 4,46 | 5,03 | 4,64 | 3,76 | 1,53 | 51 | - | - |
| Konversion – gasförmig | 4,87 | 5,27 | 6,84 | 4,92 | 6,79 | 5,04 | 4,88 | 6,05 | 6,46 | 6,72 | 101 | 19 | 4,19 |
| Konversion – flüssig | 6,12 | 6,19 | 5,92 | 3,97 | 3,21 | 1,98 | 1,12 | 0,68 | 0,78 | 0,39 | 6 | 1 | 0,03 |
| Konversion – fest | 0,94 | 0,73 | 1,92 | 2,23 | 1,77 | 1,34 | 2,43 | 3,85 | 3,49 | 1,83 | 47 | 19 | 3,84 |
| Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe | 6,05 | 5,06 | 4,69 | 3,66 | 4,17 | 4,20 | 5,12 | 7,71 | 10,48 | 10,39 | 197 | 59 | 12,53 |
| Grundlagenforschung Bioenergie | 9,81 | 12,16 | 9,89 | 6,17 | 3,13 | 0,22 | 5,83 | 4,63 | 13,13 | 2,37 | 11 | - | - |
| Querschnitt | 3,22 | 2,85 | 2,97 | 2,53 | 0,94 | 0,59 | 0,80 | 1,65 | 2,29 | 2,28 | 35 | 8 | 3,16 |
| Thermische Kraftwerke | 29,38 | 29,39 | 32,22 | 29,44 | 34,14 | 29,05 | 28,30 | 25,72 | 29,77 | 30,72 | 356 | 86 | 41,65 |
| Last- und brennstoffflexible Gas- und Dampfturbinen | 21,01 | 20,12 | 20,82 | 18,42 | 22,87 | 18,01 | 17,74 | 16,22 | 17,41 | 15,59 | 208 | 57 | 30,48 |
| Solarthermische Kraftwerke | 5,72 | 6,23 | 8,01 | 7,21 | 6,20 | 6,13 | 6,75 | 8,19 | 9,19 | 9,71 | 108 | 28 | 11,04 |
| Sonstige | 2,66 | 3,04 | 3,39 | 3,81 | 5,07 | 4,90 | 3,80 | 1,31 | 3,17 | 5,43 | 40 | 1 | 0,13 |
| Geothermie | 17,61 | 15,64 | 13,61 | 12,89 | 18,15 | 15,38 | 13,19 | 14,01 | 22,71 | 18,64 | 110 | 22 | 20,69 |
| Wasserkraft und Meeresenergie | 1,25 | 1,21 | 1,68 | 2,01 | 2,15 | 1,40 | 1,71 | 2,26 | 0,93 | 0,31 | 4 | 3 | 1,33 |
| Gesamt | 206,10 | 198,95 | 209,86 | 191,67 | 244,49 | 212,36 | 255,36 | 252,60 | 288,39 | 257,01 | 2.156 | 444 | 219,27 |

Tabelle 5 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Systemintegration: Netze, Speicher, Sektorkopplung“

| Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | | | Anzahl Projekte | | Förder- summe in Mio. € |
|----------------------------------------------------|-------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | laufend in 2022 | neu bewilligt in 2022 | neu bewilligt in 2022 |
| Stromnetze | 27,31 | 31,24 | 54,32 | 66,32 | 78,14 | 66,24 | 64,85 | 65,05 | 69,75 | 61,28 | 568 | 130 | 56,77 |
| Versorgungssicherheit | 2,32 | 2,23 | 7,50 | 12,75 | 13,10 | 13,51 | 11,02 | 12,11 | 10,52 | 8,67 | 76 | 18 | 8,65 |
| Flexibilität im Stromnetz | 7,75 | 5,88 | 7,21 | 6,60 | 6,30 | 7,13 | 7,14 | 10,71 | 13,88 | 11,90 | 123 | 13 | 5,01 |
| Netzplanung und Betriebsführung | 7,82 | 9,53 | 15,65 | 19,45 | 19,56 | 14,74 | 13,35 | 12,29 | 11,54 | 11,43 | 136 | 40 | 17,07 |
| Technik für das Stromnetz | 9,42 | 12,64 | 16,39 | 17,52 | 21,07 | 17,71 | 22,50 | 19,36 | 20,83 | 17,50 | 190 | 49 | 19,10 |
| Grundlagenforschung Stromnetze | - | 0,96 | 7,57 | 10,01 | 18,11 | 13,15 | 10,85 | 10,58 | 12,97 | 11,78 | 43 | 10 | 6,94 |
| Energiespeicher | 31,43 | 29,57 | 28,63 | 27,69 | 22,35 | 18,37 | 21,43 | 22,53 | 25,47 | 19,28 | 192 | 18 | 12,57 |
| Elektrische Speicher | - | - | - | - | 0,02 | 0,61 | 0,63 | 0,63 | 0,39 | 0,89 | 9 | - | - |
| Elektrochemische Speicher | 3,96 | 3,99 | 4,36 | 5,22 | 8,54 | 8,99 | 8,68 | 11,19 | 15,64 | 11,32 | 103 | - | - |
| Strom-Wärme-Strom-Speicher | - | - | - | 0,58 | 1,39 | 1,54 | 2,36 | 2,42 | 2,60 | 1,12 | 5 | - | - |
| Mechanische Speicher | 3,26 | 1,53 | 1,97 | 2,60 | 3,19 | 2,53 | 2,65 | 3,48 | 1,76 | 1,24 | 13 | 2 | 3,62 |
| Grundlagenforschung Energiespeicher | 19,37 | 17,21 | 15,61 | 10,79 | 3,60 | 1,17 | 3,77 | 2,30 | 1,56 | 0,88 | 13 | 4 | 4,87 |
| Sonstige | 4,84 | 6,84 | 6,70 | 8,50 | 5,59 | 3,54 | 3,34 | 2,52 | 3,53 | 3,83 | 49 | 12 | 4,08 |
| Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien | 30,85 | 34,41 | 30,35 | 25,77 | 43,95 | 42,53 | 40,82 | 59,02 | 106,47 | 130,83 | 552 | 191 | 187,20 |
| Wasserstoffherzeugung | 4,78 | 6,35 | 7,17 | 5,70 | 6,66 | 4,21 | 1,13 | 0,86 | 2,36 | 4,06 | 41 | 19 | 11,48 |
| Wasserstoffspeicher und -transport | 3,84 | 3,46 | 2,76 | 2,85 | 4,36 | 4,90 | 5,73 | 4,10 | 4,50 | 4,74 | 74 | 38 | 19,64 |
| Brennstoffzellen | 19,58 | 18,82 | 15,23 | 10,04 | 15,67 | 13,81 | 14,31 | 15,17 | 13,48 | 14,81 | 109 | 4 | 3,14 |
| Systemische Ansätze | 0,62 | 0,96 | 1,12 | 0,99 | 0,32 | 0,33 | 0,46 | 0,43 | 1,60 | 2,41 | 12 | 6 | 1,94 |
| Power-to-X | 0,96 | 0,40 | 0,39 | 0,19 | 0,62 | 1,06 | 1,33 | 1,35 | 1,58 | 1,11 | 11 | - | - |
| Grundlagenforschung Sektorkopplung und Wasserstoff | 1,08 | 3,04 | 2,10 | 4,63 | 15,53 | 17,36 | 17,78 | 35,99 | 80,12 | 99,54 | 238 | 83 | 134,18 |
| Sonstige | - | 1,39 | 1,58 | 1,37 | 0,79 | 0,85 | 0,08 | 1,13 | 2,83 | 4,16 | 67 | 41 | 16,81 |
| Gesamt | 89,60 | 95,22 | 113,30 | 119,79 | 144,44 | 127,15 | 127,11 | 146,61 | 201,69 | 211,39 | 1.312 | 339 | 256,54 |

Tabelle 6 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Systemübergreifende Forschungsthemen der Energiewende“

| Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | | | Anzahl Projekte | | Förder- |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | laufend in 2022 | neu bewilligt in 2022 | summe in Mio. € neu bewilligt in 2022 |
| Energiesystemanalyse | 8,06 | 8,39 | 9,32 | 11,18 | 15,01 | 15,94 | 17,16 | 18,97 | 19,74 | 19,09 | 213 | 53 | 21,37 |
| Digitalisierung in der Energiewende | | - | - | - | - | - | - | 2,68 | 5,06 | 5,63 | 97 | 56 | 15,13 |
| Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende | | - | - | - | - | - | - | - | 0,07 | 2,29 | 55 | 25 | 6,38 |
| CO₂-Technologien | 5,97 | 6,60 | 4,28 | 15,06 | 18,15 | 24,58 | 19,57 | 35,05 | 32,87 | 45,09 | 143 | 40 | 13,76 |
| CO ₂ -Transport und -Lagerung | 0,74 | 0,67 | 0,38 | - | 0,18 | 0,96 | 1,23 | 1,22 | 0,49 | 1,14 | 8 | - | - |
| CO ₂ -Abtrennung | 5,12 | 3,90 | 1,80 | 3,46 | 3,30 | 2,11 | 1,23 | 1,95 | 2,48 | 2,36 | 38 | 10 | 4,93 |
| CO ₂ -Umwandlung und -Nutzung | 0,11 | 0,27 | 1,30 | 2,64 | 2,83 | 4,61 | 3,04 | 6,15 | 3,35 | 3,88 | 57 | 24 | 7,43 |
| Grundlagenforschung CO ₂ -Technologien | - | 1,76 | 0,79 | 8,95 | 11,84 | 16,90 | 14,08 | 25,74 | 26,54 | 37,71 | 40 | 6 | 1,41 |
| Programmkooperation Industrielle Gemein- schaftsforschung | | | - | 0,05 | 2,52 | 4,22 | 5,47 | 4,90 | 5,71 | 4,64 | 34 | 11 | 4,35 |
| Energiewende und Gesellschaft | 1,18 | 3,25 | 3,95 | 2,64 | 10,02 | 9,93 | 10,15 | 6,37 | 12,28 | 15,95 | 131 | 40 | 9,63 |
| Energiewende und Gesellschaft – angewandte Energieforschung | | - | - | - | - | - | 0,00 | 1,23 | 4,12 | 6,23 | 105 | 40 | 9,63 |
| Energiewende und Gesellschaft – Grundlagenforschung | 1,18 | 3,25 | 3,95 | 2,64 | 10,02 | 9,93 | 10,14 | 5,14 | 8,16 | 9,72 | 26 | - | - |
| Materialforschung | - | 0,72 | 10,41 | 27,87 | 26,68 | 18,21 | 10,30 | 2,90 | 3,96 | 2,05 | 3 | - | - |
| Grundlagenforschung Energierelevante Nutzung des Untergrundes | 4,65 | 4,22 | 3,69 | 3,59 | 1,81 | 2,02 | 1,36 | 2,35 | 3,55 | 14,88 | 122 | 39 | 21,87 |
| Technologieoffene Förderung mit internationalem Fokus | 0,05 | 1,03 | 2,00 | 0,65 | 0,28 | 2,11 | 3,88 | 11,73 | 24,46 | 60,00 | 96 | 25 | 78,03 |
| Sonstige Grundlagen- forschung | 16,99 | 10,07 | 10,84 | 9,96 | 11,64 | 15,22 | 10,42 | 6,64 | 15,70 | 11,57 | 17 | - | - |
| Flankierende Förderung zur IPCEI-Batteriezell- forschung | | | | | | | | | | 3,24 | 11 | 79 | 76,58 |
| Gesamt | 36,90 | 34,29 | 44,49 | 71,01 | 86,12 | 92,22 | 78,31 | 91,61 | 123,42 | 184,43 | 922 | 368 | 247,09 |

Tabelle 7a | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Nukleare Sicherheitsforschung“ bis 2020

| Förderthema ¹ | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Endlager- und Entsorgungsforschung | 12,30 | 13,23 | 13,58 | 12,95 | 13,09 | 16,33 | 17,61 | 19,57 | 17,79 |
| Endlagerforschung | 9,84 | 10,39 | 10,25 | 10,06 | 9,94 | 11,43 | 12,02 | 12,23 | 12,58 |
| Querschnittsaufgaben und Sonstige | 0,54 | 0,53 | 0,53 | 0,54 | 1,06 | 1,90 | 2,69 | 3,57 | 2,31 |
| Kernmaterialüberwachung | 0,18 | 0,15 | 0,19 | 0,24 | 0,26 | 0,21 | 0,09 | 0,22 | 0,05 |
| Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen) | 1,74 | 2,17 | 2,61 | 2,11 | 1,83 | 2,78 | 2,81 | 3,54 | 2,85 |
| Reaktorsicherheitsforschung | 24,38 | 23,43 | 25,10 | 25,22 | 24,06 | 22,76 | 21,98 | 22,05 | 22,06 |
| Sicherheit von Komponenten kerntechnischer Anlagen | 5,28 | 4,01 | 4,38 | 4,55 | 4,38 | 4,20 | 5,19 | 4,75 | 4,98 |
| Anlagenverhalten und Unfallabläufe | 11,25 | 12,09 | 12,51 | 13,22 | 13,37 | 13,46 | 12,52 | 12,47 | 11,72 |
| Querschnittsaufgaben und Sonstige | 5,08 | 5,72 | 4,81 | 4,05 | 3,63 | 3,37 | 3,04 | 3,63 | 4,56 |
| Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen) | 2,77 | 1,62 | 3,39 | 3,39 | 2,68 | 1,73 | 1,23 | 1,19 | 0,79 |
| Strahlenforschung (BMBF) | 4,91 | 4,95 | 4,61 | 7,58 | 8,58 | 8,05 | 7,89 | 7,36 | 6,36 |
| Gesamt | 41,59 | 41,61 | 43,29 | 45,74 | 45,73 | 47,13 | 47,48 | 48,98 | 46,21 |

1 Neuausrichtung der Förderung ab 2021

Tabelle 7b | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Nukleare Sicherheitsforschung“ ab 2021

| Förderthema | 2021 | | 2022 | | Fördersumme in Mio. € | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 2021 | 2022 | laufend in 2022 | neu bewilligt in 2022 | neu bewilligt in 2022 | neu bewilligt in 2022 |
| Reaktorsicherheitsforschung | 22,39 | 23,80 | 156 | 24 | 20,21 | |
| Prüfung und Bewertung der Sicherheit von Komponenten und Strukturen | 5,03 | 5,03 | 53 | 8 | 5,74 | |
| Nachweisverfahren zur Beherrschung von Transienten, Stör- und Unfällen | 14,04 | 13,88 | 73 | 12 | 9,80 | |
| Wechselwirkung Mensch-Technik und probabilistische Sicherheitsanalysen | 2,01 | 1,86 | 15 | 1 | 0,42 | |
| Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen) | 1,32 | 3,03 | 15 | 3 | 4,25 | |
| Forschung zur verlängerten Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle | 5,18 | 5,53 | 44 | 7 | 6,05 | |
| Verlängerte Zwischenlagerung | 1,52 | 1,22 | 10 | 2 | 1,27 | |
| Abfallbehandlungs- und Konditionierungsoptionen für die Endlagerung | - | 0,02 | 1 | 1 | 0,22 | |
| Behandlungs- und Entsorgungsmethoden | 0,02 | 0,07 | 4 | 1 | 0,85 | |
| Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen) | 3,64 | 4,22 | 29 | 3 | 3,71 | |
| Endlagerforschung | 12,44 | 10,46 | 88 | 22 | 12,86 | |
| Standortauswahl | 0,60 | 0,90 | 4 | 6 | 2,62 | |
| Sicherheits- und Endlagerkonzepte; Endlagertechnik und (geo-)technische Barrieren | 6,49 | 5,38 | 40 | 5 | 1,87 | |
| Sicherheitsnachweis | 5,36 | 4,17 | 44 | 11 | 8,36 | |
| Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen) | - | - | - | - | - | |
| Forschung zu Querschnittsfragen | 3,12 | 3,63 | 16 | 1 | 0,08 | |
| Wissens- und Kompetenzmanagement | 1,05 | 1,26 | 4 | 1 | 0,08 | |
| Soziotechnische Fragestellungen | 1,82 | 2,37 | 10 | - | - | |
| Kernmaterialüberwachung (Safeguards) | 0,25 | - | 2 | - | - | |
| Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen) | - | - | - | - | - | |
| Strahlenforschung (BMBF) | 8,69 | 6,98 | 52 | 10 | 7,45 | |
| Gesamt | 51,82 | 50,39 | 356 | 64 | 46,65 | |

Tabelle 8 | Institutionelle Förderung

| Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| PoF III | 331,60 | 348,69 | 362,81 | 379,63 | 393,75 | 410,29 | 415,78 | | |
| Energieeffizienz, Materialien und Ressourcen | 60,49 | 64,12 | 68,43 | 69,45 | 73,00 | 76,67 | 78,60 | | |
| Erneuerbare Energien | 47,84 | 51,91 | 54,37 | 56,73 | 59,09 | 61,51 | 62,94 | | |
| Kernfusion (inkl. Wendelstein W 7-X) | 123,51 | 123,51 | 123,51 | 123,51 | 123,51 | 126,00 | 78,23 | | |
| Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung | 34,62 | 35,76 | 37,27 | 38,84 | 40,47 | 42,16 | 19,63 | | |
| Technologie, Innovation und Gesellschaft | 7,11 | 7,65 | 7,95 | 8,25 | 8,54 | 8,84 | 9,00 | | |
| Speicher und vernetzte Infrastrukturen | 49,93 | 57,12 | 60,47 | 69,61 | 72,86 | 76,21 | 43,32 | | |
| Future Information Technology | 8,11 | 8,62 | 10,81 | 13,24 | 16,28 | 18,90 | 124,07 | | |
| PoF IV | | | | | | | | 314,42 | 319,85 |
| Energiesystemdesign | | | | | | | | 34,60 | 34,89 |
| Materialien und Technologien für die Energiewende | | | | | | | | 208,09 | 212,13 |
| Fusion | | | | | | | | 31,28 | 32,03 |
| Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung (NUSAFE II) | | | | | | | | 38,46 | 38,81 |
| Gesamt¹ | 331,60 | 348,69 | 362,81 | 379,63 | 393,75 | 410,29 | 415,78 | 314,42 | 319,85 |

¹ Die Gesamtsumme ab 2021 entspricht nicht der Summe der Einzelpositionen. Die Gesamtsumme enthält 2 Mio. Euro zusätzlich für einen Innovationspool.

Tabelle 9a | Übersicht über das Energieforschungsprogramm des Bundes nach Kapitel und Titel im Bundeshaushalt

| Thema Kapitel / Titel ¹ | Zuständiges Ressort ² | Kapitelbezeichnung ¹ | Titelbezeichnung ¹ | Mittelabfluss in Mio. € | | |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | | 2020 | 2021 | 2022 |
| Projektförderung und begleitende Maßnahmen | | | | 800,75 | 996,55 | 1.166,51 |
| 0903/68301 | BMWK | Energie und Nachhaltigkeit | Energieforschung | 535,03 | 572,61 | 530,94 |
| 0901/68601 ³ | BMWK | Innovation, Technologie und Neue Mobilität | Industrieforschung für Unternehmen | | 3,85 | 4,28 |
| 0903/68602 ⁷ | BMUV | Energie und Nachhaltigkeit | Sicherheitsforschung für kerntechnische Anlagen | 38,33 | 40,33 | |
| 0903/68608 ³ | BMWK | Energie und Nachhaltigkeit | Reallabore der Energiewende ⁶ | | 18,64 | 43,66 |
| 0904/89602 ⁸ | BMBF | Chancen der Globalisierung | Wasserstoffstrategie Außenwirtschaft – Internationale Kooperation Wasserstoff | | | 7,28 |
| 1005/68611 & 1005/89311 | BMEL | Nachhaltigkeit, Forschung und Innovation | Zuschüsse zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe und zur Förderung der nationalen Projekte der nachhaltigen Waldwirtschaft & Zuschüsse zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe (Investitionen) | 37,83 | 42,11 | 35,17 |
| 1605/54401 ⁶ | BMUV | Nukleare Sicherheit und Strahlenschutz | Forschung, Untersuchungen und Ähnliches | | | 38,33 |
| 3004/68541 | BMBF | Forschung für Innovationen, Hightech-Strategie | Energietechnologien und effiziente Energienutzung, Grüner Wasserstoff – Forschungs- und Entwicklungsvorhaben | 117,77 | 185,84 | 201,61 |
| 3004/68541 | BMBF | Forschung für Innovationen, Hightech-Strategie | Nachwuchsförderung nukleare Sicherheitsforschung | 10,68 | 14,32 | 14,93 |
| 3004/68542 ³ | BMBF | Forschung für Innovationen, Hightech-Strategie | Umwelttechnologien, Ressourcen und Geoforschung | | 3,55 | 14,88 |
| 6092/68304 | BMWK | Klima- und Transformationsfonds | Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Elektromobilität | 14,64 | 15,37 | 14,34 |
| 6092/68502 | BMBF | Klima- und Transformationsfonds | Anwendungsorientierte Grundlagenforschung Grüner Wasserstoff | 29,42 | 99,79 | 245,92 |
| 6092/68616 ³ | BMWK | Klima- und Transformationsfonds | CO ₂ -Vermeidung und -Nutzung in Grundstoffindustrien | | 0,11 | 2,83 |
| 6092/68618 & 6092/68621 ⁷ | BMEL | Klima- und Transformationsfonds | Zuschüsse zur Förderung von Maßnahmen zur energetischen Nutzung von Wirtschaftsdünger und zur Emissionsminderung beim Wirtschaftsdüngermanagement & Zuschüsse zur Förderung von Maßnahmen zum Schutz von Moorböden und zur Verringerung der Torfverwendung | | | 1,82 |
| 6092/68626 ⁴ | BMWK | Energie- und Klimafonds ⁵ | Reallabore der Energiewende ⁶ | 17,04 | | |
| 6092/89203 ³ | BMWK | Klima- und Transformationsfonds | Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie | | 0,01 | 7,29 |
| 6092/89304 ³ | BMWK | Klima- und Transformationsfonds | Industrielle Fertigung für mobile und stationäre Energiespeicher | | 0,00 | 3,24 |
| Institutionelle Förderung (HGF) | | | | 415,78 | 314,42 | 319,85 |
| 0901/68531 & 0901/89431 | BMWK | Innovation, Technologie und Neue Mobilität | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Betrieb & Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Investitionen | 30,99 | 48,54 | 49,62 |
| 3004/68570 & 3004/89470 | BMBF | Forschung für Innovationen, Hightech-Strategie | HGF-Zentren – Betrieb & HGF-Zentren – Investitionen | 384,79 | 265,88 | 270,24 |
| Gesamt | | | | 1.216,53 | 1.310,97 | 1.486,36 |

1 Bundeshaushalt 2022 bzw. bei weggefallenen Titeln das letzte Nutzungsjahr

2 Zuständigkeit entsprechend dem Organisationserlass des Bundeskanzlers vom 08.12.2021, bei weggefallenen Titeln wird das aktuell zuständige Ressort angegeben

3 Neu ab 01.01.2021

4 Weggefallen ab 01.01.2021

5 In 2020 noch als „Energie- und Klimafonds“ bezeichnet, ab dem 22. Juli 2022 „Klima- und Transformationsfonds“

6 Die Mittel inkl. bestehender Mittelfestlegungen für die Reallabore wurden ab 2021 in den Bundeshaushalt Kapitel 0903 Titel 68608 verschoben.

7 Zuständigkeitswechsel von BMWK zu BMUV, ab 2022 im Bundeshaushalt vollzogen

8 Neu ab 01.01.2022

Tabelle 9b | Übersicht über das Energieforschungsprogramm des Bundes nach Ressorts

| Ressort ¹ Thema | Mittelabfluss in Mio. € | | |
|--------------------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| | 2020 | 2021 | 2022 |
| BMWK | 597,71 | 659,14 | 656,19 |
| Projektförderung und begleitende Maßnahmen | 566,72 | 610,59 | 606,57 |
| Institutionelle Förderung (DLR) | 30,99 | 48,54 | 49,62 |
| BMEL | 37,83 | 42,11 | 36,99 |
| Projektförderung und begleitende Maßnahmen | 37,83 | 42,11 | 36,99 |
| BMUV | 38,33 | 40,33 | 38,33 |
| Projektförderung und begleitende Maßnahmen | 38,33 | 40,33 | 38,33 |
| BMBF | 542,66 | 569,39 | 754,85 |
| Projektförderung und begleitende Maßnahmen | 157,87 | 303,51 | 484,61 |
| Institutionelle Förderung (HGF, ohne DLR) | 384,79 | 265,88 | 270,24 |
| Gesamt | 1.216,53 | 1.310,97 | 1.486,36 |

1 Zuständigkeit entsprechend dem Organisationserlass des Bundeskanzlers vom 08.12.2021

6.2 Fördermittel für Energieforschung der Länder

Tabelle 10 | Aufwendungen der Länder für nicht-nukleare Energieforschung nach Ländern 2008 – 2021

| Land | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | |
| Baden-Württemberg | 11,54 | 26,83 | 15,10 | 23,12 | 24,77 | 35,55 | 44,37 | 52,22 | 48,77 | 44,10 | 38,30 | 63,62 | 78,66 | 67,98 | |
| Bayern | 16,67 | 14,14 | 22,64 | 32,28 | 88,13 | 114,82 | 85,61 | 89,98 | 96,34 | 54,15 | 59,26 | 40,05 | 76,49 | 71,01 | |
| Berlin | 3,87 | 15,53 | 4,73 | 2,10 | 3,03 | 0,88 | 4,70 | 3,63 | 2,94 | 3,89 | 4,36 | 4,62 | 11,86 | 3,48 | |
| Brandenburg | 11,34 | 4,65 | 4,37 | 5,81 | 4,03 | 7,86 | 4,40 | 3,54 | 4,05 | 2,20 | 1,22 | 0,19 | 2,24 | 1,39 | |
| Bremen | 2,71 | 2,42 | 2,78 | 3,61 | 2,71 | 3,46 | 1,99 | 2,08 | 2,10 | 1,35 | 2,22 | 1,75 | 3,94 | 17,30 | |
| Hamburg | 1,15 | 1,56 | 0,61 | 1,27 | 2,01 | 15,76 | 14,91 | 16,12 | 15,64 | 17,29 | 16,81 | 16,63 | 16,87 | 17,11 | |
| Hessen | 7,02 | 5,77 | 9,10 | 8,12 | 12,57 | 9,63 | 3,48 | 5,17 | 9,11 | 9,95 | 14,93 | 13,96 | 16,22 | 11,14 | |
| Mecklenburg-Vorpommern | - | 1,64 | 5,68 | 3,99 | 8,76 | 3,22 | 13,02 | 1,50 | - | - | - | - | - | 14,77 | |
| Niedersachsen | 15,74 | 24,60 | 26,36 | 30,53 | 32,82 | 33,00 | 38,57 | 19,78 | 18,21 | 17,15 | 14,22 | 19,40 | 87,86 | 135,62 | |
| Nordrhein-Westfalen | 31,52 | 22,68 | 31,80 | 26,55 | 37,27 | 28,52 | 28,99 | 40,14 | 17,24 | 79,08 | 28,84 | 42,34 | 43,76 | 37,90 | |
| Rheinland-Pfalz | 2,43 | 2,76 | 2,40 | 2,79 | 2,10 | 2,43 | 2,37 | 2,51 | 1,95 | 4,00 | 4,39 | 0,90 | 3,05 | 1,64 | |
| Saarland | 0,95 | 1,17 | 0,51 | 1,12 | 0,87 | 0,75 | 1,56 | 0,98 | 1,42 | 2,77 | 1,53 | 1,52 | 1,06 | 1,28 | |
| Sachsen | 14,18 | 29,26 | 17,42 | 23,60 | 24,88 | 44,06 | 1,01 | 20,89 | 21,78 | 26,04 | 22,66 | 27,29 | 28,46 | 28,54 | |
| Sachsen-Anhalt | 2,51 | 3,83 | 7,81 | 6,04 | 3,43 | 4,11 | 4,62 | 1,53 | 0,89 | 9,45 | 1,94 | 2,71 | 3,94 | 6,52 | |
| Schleswig-Holstein | 4,12 | 3,54 | 3,10 | 2,08 | 1,83 | 4,28 | 5,15 | 5,97 | 4,76 | 6,76 | 6,65 | 6,44 | 9,28 | 10,38 | |
| Thüringen | 3,10 | 0,78 | 2,68 | 1,36 | 3,55 | 3,40 | 1,81 | 0,95 | 3,42 | 3,50 | 2,70 | 2,68 | 3,69 | 4,57 | |
| Gesamt | 128,87 | 161,14 | 157,11 | 174,39 | 252,78 | 311,74 | 256,56 | 266,99 | 248,63 | 281,68 | 220,04 | 244,12 | 387,37 | 430,64 | |

**Tabelle 11 | Aufwendungen für die nicht-nukleare Energieforschung nach Förderthemen
2008 – 2017¹**

| Förderthema | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Biomasse | 21,48 | 7,79 | 15,90 | 18,73 | 18,71 | 22,44 | 20,56 | 21,53 | 11,78 | 13,05 |
| Brennstoffzellen/ Wasserstoff | 9,47 | 10,86 | 15,14 | 8,11 | 5,40 | 12,29 | 9,82 | 11,46 | 12,83 | 13,73 |
| CO ₂ -Speicherung | - | 0,11 | 0,24 | 0,07 | 0,21 | - | 0,02 | 2,77 | 0,02 | 0,20 |
| Energieeinsparung | 24,86 | 32,19 | 23,74 | 31,66 | 51,35 | 45,58 | 34,73 | 46,10 | 49,27 | 42,00 |
| Energieforschung allgemein | 22,21 | 40,20 | 12,97 | 14,96 | 21,01 | 72,81 | 61,73 | 73,03 | 69,02 | 118,87 |
| Energiesysteme, Modellierung | 4,48 | 12,02 | 7,87 | 2,46 | 5,37 | 4,53 | 4,33 | 3,13 | 3,33 | 3,35 |
| Erneuerbare allgemein | 14,45 | 13,38 | 18,09 | 28,28 | 35,83 | 13,50 | 15,34 | 15,96 | 11,94 | 21,61 |
| Geothermie | 1,27 | 8,41 | 8,86 | 11,27 | 12,52 | 8,43 | 8,09 | 2,09 | 4,70 | 3,53 |
| Kraftwerkstechnik/CCS | 5,09 | 3,87 | 4,84 | 6,09 | 11,35 | 7,12 | 4,25 | 5,52 | 3,78 | 2,68 |
| Photovoltaik | 18,12 | 22,17 | 19,62 | 20,84 | 26,95 | 21,85 | 21,31 | 24,81 | 27,34 | 13,19 |
| Windenergie | 5,89 | 6,12 | 8,26 | 11,61 | 14,48 | 18,60 | 27,29 | 12,25 | 3,97 | 4,93 |
| E-Mobilität/ Energiespeicher/Netze | 1,55 | 4,02 | 21,58 | 20,31 | 49,61 | | | | | |
| E-Mobilität | | | | | | 54,19 | 22,54 | 15,88 | 20,73 | 21,43 |
| Energiespeicher | | | | | | 25,84 | 24,16 | 28,12 | 26,34 | 18,32 |
| Netze | | | | | | 4,58 | 2,40 | 4,33 | 3,60 | 4,81 |
| Gesamt | 128,87 | 161,14 | 157,11 | 174,39 | 252,78 | 311,74 | 256,56 | 266,99 | 248,63 | 281,68 |

1 Ab 2018 mit anderer Klassifikation fortgeführt, siehe Tabelle 12

**Tabelle 12 | Aufwendungen der Länder für die nicht-nukleare Energieforschung nach Förderthemen
entsprechend der IEA-Technologieklassifikation¹ ab 2018**

| Gruppen- nummer ¹ | Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 11 | Energieeffizienz in Industrie, Handel und Gewerbe | 24,04 | 17,00 | 36,39 | 13,74 |
| 12 | Energieeffizienz in Gebäuden und Quartieren | 16,97 | 13,62 | 12,68 | 18,44 |
| 13 | Energieeffizienz im Verkehr (inkl. Elektromobilität) | 29,39 | 43,72 | 50,63 | 97,55 |
| 14 | Sonstige Energieeffizienzmaßnahmen | 22,10 | 16,55 | 19,26 | 15,29 |
| 2 | Thermische Kraftwerke/CO ₂ -Technologien | 4,40 | 5,63 | 6,31 | 17,99 |
| 31 | Erneuerbare Energien – Solarthermie und PV | 18,39 | 17,49 | 36,11 | 10,15 |
| 32 | Erneuerbare Energien – Windenergie | 6,82 | 5,64 | 24,85 | 6,63 |
| 33 | Erneuerbare Energien – Meeresenergie | 0,40 | 0,36 | 3,34 | 28,22 |
| 34 | Erneuerbare Energien – Bioenergie | 10,86 | 9,54 | 21,96 | 18,46 |
| 35 | Erneuerbare Energien – Geothermie | 6,55 | 5,74 | 9,79 | 55,71 |
| 36 | Erneuerbare Energien – Wasserkraft | 0,95 | 0,44 | 3,42 | 42,31 |
| 37 | Sonstige erneuerbare Energiequellen | 19,48 | 19,92 | 20,03 | 9,92 |
| 51 | Wasserstofftechnologien | 12,94 | 9,92 | 36,13 | 9,69 |
| 52 | Brennstoffzellen | 6,49 | 10,47 | 20,70 | 35,91 |
| 62 | Stromnetze (Elektrizitätsübertragung und -verteilung) | 6,43 | 11,06 | 9,12 | 5,10 |
| 63 | Energiespeichertechnologien | 26,42 | 38,85 | 54,67 | 2,87 |
| 71 | Energiesystemanalyse/Modellierung | 7,39 | 18,18 | 22,01 | 42,67 |
| | Gesamt | 220,04 | 244,12 | 387,37 | 430,64 |

1 IEA-Technologieklassifikation, siehe <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-technology-rd-and-d-budget-database-2#documentation>

