**Deutscher Bundestag** **Drucksache 20/12370**

**20. Wahlperiode** 18.07.2024

# Unterrichtung

**durch die Bundesregierung**

## Bundesbericht Energieforschung 2024

*Zugeleitet mit Schreiben des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz vom 17. Juli 2024.*

**Impressum**

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

**Stand**
Juli 2024

Diese Publikation wird ausschließlich als Download angeboten.

**Gestaltung**
PRpetuum GmbH, 81541 München

**Bildnachweis**
ZAE Bayern / Titel
AdobeStock / Mihail / S. 6
AdobeStock / corlaffra / S. 7
AdobeStock / mediaparts / S. 14
AdobeStock / Ronald Rampsch / S. 16
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Matthias Otte;
Interpolation: MPG / S. 18
Hauke Müller / S. 19
Grafik des Projektträgers Jülich im Auftrag des BMBF / S. 23
Vattenfall Wärme Berlin AG / S. 25
AdobeStock / ericsan / S. 29
AdobeStock / frank / S. 35
Netze BW GmbH / S. 40
centrotherm clean solutions GmbH / S. 44
adelphi / S. 46
thyssenkrupp Steel Europe / S. 50
AdobeStock / Fokussiert/ S. 52
AdobeStock / Viacheslav Yakobchuk / S. 59
AFP/Jens Schlüter / S. 63
HZB /S. 64
AdobeStock / Choat / S. 66
AdobeStock / fizkes / S. 72
AdobeStock / vegefox.com / S. 74

**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 2024

*Forschungsförderung für die Energiewende*

# Inhalt

1. Energieforschungspolitik der Bundesregierung 6
1.1 Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung 8
1.1.1 Mittelentwicklung 8
1.1.2 Evaluation und Erfolgskontrolle 9
1.1.3 Governance 9
1.2 Ausblick 2024: Strategische Weiterentwicklung 15
1.2.1 Das 8. Energieforschungsprogramm zur angewandten Energieforschung des BMWK 16
1.2.2 Das BMBF-Förderprogramm „Fusion 2040 – Forschung auf dem Weg zum Fusionskraftwerk“ 17

2. Projektförderung 19
2.1 Strategische Förderformate 20
2.1.1 Reallabore der Energiewende 20
2.1.2 Wasserstoff-Leitprojekte 21
2.2 Energiewende in den Verbrauchssektoren 24
2.2.1 Energie in Gebäuden und Quartieren 24
2.2.2 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen 26
2.2.3 Schnittstellen der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr 28
2.3 Energieerzeugung 30
2.3.1 Photovoltaik 30
2.3.2 Windenergie 31
2.3.3 Bioenergie 32
2.3.4 Geothermie 36
2.3.5 Wasserkraft und Meeresenergie 37
2.3.6 Thermische Kraftwerke 37
2.4 Systemintegration 38
2.4.1 Stromnetze 38
2.4.2 Stromspeicher 41
2.4.3 Sektorkopplung und Wasserstoff 42
2.5 Systemübergreifende Forschungsthemen 45
2.5.1 Energiesystemanalyse 45
2.5.2 Digitalisierung der Energiewende 47
2.5.3 Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende 48
2.5.4 $CO_2$-Technologien 48
2.5.5 Energiewende und Gesellschaft 51
2.5.6 Materialforschung für die Energiewende 53

2.6 Nukleare Sicherheitsforschung 54
2.6.1 Reaktorsicherheitsforschung 54
2.6.2 Forschung zu verlängerter Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle 55
2.6.3 Forschung zu Endlagerung 56
2.6.4 Strahlenforschung 57

3. Institutionelle Energieforschung 59

4. Europäische und internationale Zusammenarbeit 66
4.1 Europäische Vernetzung in der Energieforschung 67
4.2 Forschungsrahmenprogramm der EU (Horizont Europa) 68
4.3 Internationale Zusammenarbeit 71

5. Forschungsförderung der Länder 74

6. Tabellen 76
6.1 Fördermittel im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung 76
6.2 Fördermittel für Energieforschung der Länder 84

# 1. Energieforschungspolitik der Bundesregierung

Leistungsstärkere Windenergieanlagen an Land und auf See sorgen für mehr Strom aus erneuerbaren Energien.

Der Umbau des Energiesystems ist in Deutschland in vollem Gang. Vieles wurde bereits erreicht. Durch den russischen Angriffskrieg auf die Ukraine hat der Transformationsprozess der Energiewende weitere Dringlichkeit erhalten. Das komplexe Energiesystem Deutschlands muss von der Erzeugung bis zum Verbrauch nicht nur klimafreundlicher und effizienter werden, sondern auch geostrategisch unabhängiger von fossilen Energieimporten wie Erdöl oder Erdgas. Gelingen kann dies nur durch eine stärkere Diversifizierung der Energieimporte, das stärkere Nutzen heimischer erneuerbarer Energiequellen, das Heben von Effizienzpotenzialen und das intelligente Integrieren stofflicher Energieträger, wie beispielsweise Wasserstoff und seine Derivate. Gefragt sind Innovationen, neue Wege und Konzepte. Daher unterstützt die Bundesregierung mit ihren aufeinander aufbauenden Energieforschungsprogrammen Forschende dabei, Lösungen für diese Mammutaufgabe zu finden.

Die Energieforschung ist dabei konsequent auf die Ziele der Energiewende und – im Sinne der Zukunftsvorsorge – darüber hinaus ausgerichtet. Dabei ist in der Förderpolitik nicht nur eine bedarfsorientierte und robuste Energieversorgung, sondern vor allem auch eine klimaneutrale Energieerzeugung handlungsleitend. Ein besonderer Fokus der Forschungsförderung lag 2023 dabei auf der Entwicklung von Lösungen für das klimaneutrale Bereitstellen von Wärme und Kälte.

Energieforschung und -entwicklung ermöglichen den Ausbau von Technologiesouveränität. Sie stärken damit den Wirtschaftsstandort und erhalten und schaffen Arbeitsplätze. Sie legen aber auch eine wertvolle Grundlage für die Gesellschaft, in der wir morgen leben wollen. So entstehen beispielsweise Konzepte, wie die Bevölkerung den großen strukturellen Wandel aktiv mitgestalten kann. Durch die zunehmende dezentralisierte Energieerzeugung mit Beteiligungsmöglichkeiten, wie sie beispielsweise Bürgerwindparks bieten, wird die demokratische Teilhabe der Gesellschaft am Energiesystem gestärkt. Somit ist die Energiewende mehr als ein technologisches oder strukturelles Transformationsprojekt. Sie wirkt auf allen Ebenen. Forschung und Entwicklung bereiten zudem den Weg zu Technologien wie der Fusion, um auch in Zukunft einen diversifizierten Energiesektor zu ermöglichen.

Die Förderung der Energieforschung hat das Ziel, den schnellstmöglichen Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis zu unterstützen. Dabei helfen die Förderformate Reallabore der Energiewende des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und die Wasserstoff-Leitprojekte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Beide leisten einen direkten Beitrag zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung. Die Projektförderung als agiles Format und die institutionelle Förderung mit ihrer hohen Verlässlichkeit für Forschende wirken für den dauerhaften Erfolg der Förderpolitik.

Die seit dem russischen Angriffskrieg auf die Ukraine geänderten geopolitischen Rahmenbedingungen haben ein widerstandsfähiges Energiesystem und technologische Souveränität noch stärker in den Fokus gerückt. Hinzu kommen ambitionierte energie- und klimapolitische Ziele der Bundesregierung. Aus diesen Gründen war es notwendig, die Förderung der Energieforschung neu auszurichten (siehe Kapitel 1.2 Ausblick 2024: Strategische Weiterentwicklung, Seite 15).

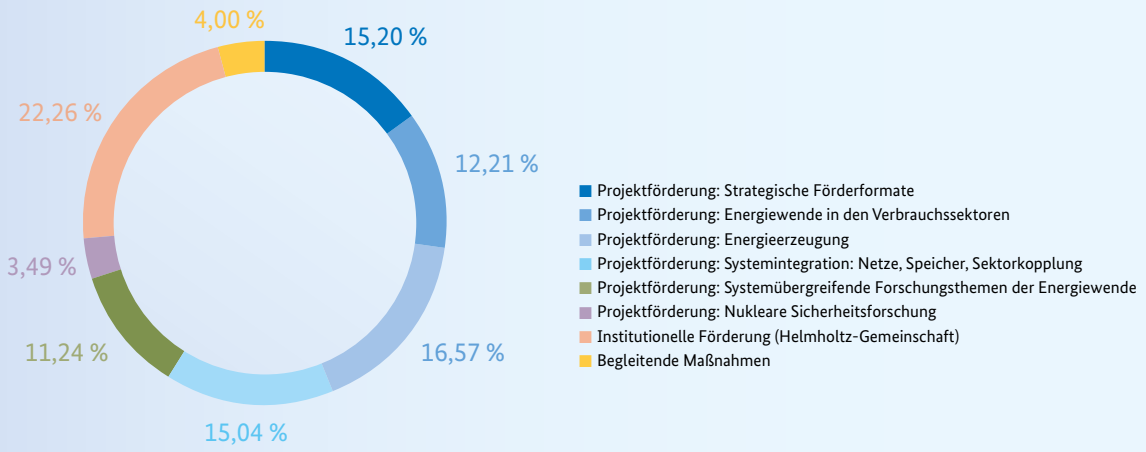
## 1.1 Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

### 1.1.1 Mittelentwicklung

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

2023 hat der Bund im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms 1,462 Milliarden Euro in Forschungs- und Entwicklungsförderung – von der Grundlagenforschung bis zur angewandten Forschung – investiert. Im Vergleich zum Vorjahr ist das eine Absenkung um 0,02 Prozent. Das unterstreicht die hohe Bedeutung der Energieforschung für eine klimafreundliche Energiepolitik und den Erhalt der Versorgungssicherheit. Davon hat der Bund 1,078 Milliarden Euro in die Projektförderung investiert. Dabei haben die beteiligten Ministerien 7.570 laufende Forschungsvorhaben gefördert.

**Abbildung 1: Übersicht der Fördermittel 2023 im 7. Energieforschungsprogramm**
(Daten siehe Tabelle 1, Seite 76)



1.796 Projekte wurden neu bewilligt. Da Forschung, Entwicklung und Demonstration von Energie- und Effizienztechnologien vornehmlich Aufgaben der Wirtschaft sind, haben Unternehmen 368,58 Millionen Euro als Eigenanteil in innovative Projekte investiert. Der Bund hat zudem 325,39 Millionen Euro im Rahmen der institutionellen Förderung im Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft eingesetzt.

### 1.1.2 Evaluation und Erfolgskontrolle

Evaluation und Erfolgskontrolle sind wichtige Instrumente, um zu überprüfen, ob Steuergelder für Fördermaßnahmen effizient und wirksam eingesetzt worden sind. Sie kommen unter anderem bei der finanziellen, administrativen, strategischen oder inhaltlichen Planung künftiger Fördermaßnahmen zum Tragen. Die Grundlage legt die Bundeshaushaltsordnung (§ 7 BHO). Entsprechend müssen daher Erfolgskontrollen zu allen umgesetzten Maßnahmen durchgeführt werden. Evaluationen durch unabhängige Dritte ergänzen und unterstützen die Erfolgskontrollen.

Für die Förderung der angewandten Energieforschung im 7. Energieforschungsprogramm wurde 2021 eine unabhängige, begleitende Evaluation gestartet. Sie evaluiert die Förderprojekte der Förderbekanntmachung „Angewandte nichtnukleare Forschungsförderung im 7. Energieforschungsprogramm ‚Innovationen für die Energiewende'" des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und analysiert die Wirkung, Wirtschaftlichkeit und Zielerreichung in Bezug auf das 7. Energieforschungsprogramm. Im September wurde der erste Zwischenbericht vorgelegt.

### 1.1.3 Governance

#### 1.1.3.1 Koordinierung

Mit einer ambitionierten Förderung der Energieforschung unterstützt die Bundesregierung die Entwicklung von Innovationen für das Energiesystem. Seit den 1970er Jahren erfolgt diese Förderung in Form stetig fortgeschriebener Energieforschungsprogramme. Diese richten sich stets an die jeweiligen Erfordernisse von Versorgungssystem, Wirtschaft und Gesellschaft und decken 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), Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) sowie für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) beteiligt. Die Federführung für die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik liegt beim BMWK. Am 25. Oktober 2023 hat das BMWK für die Förderung der angewandten Energieforschung das „8. Energieforschungsprogramm zur angewandten Energieforschung – Forschungsmissionen für die Energiewende" veröffentlicht (siehe Kapitel 1.2.1 Das 8. Energieforschungsprogramm zur angewandten Energieforschung, Seite 16). Für den Bereich der Fusion, im Sinne der Zukunftsvorsorge als einen Forschungsbereich mit Langzeitperspektive, hat das BMBF im März 2024 das neue Förderprogramm „Fusion 2040 – Forschung auf dem Weg zum Fusionskraftwerk" veröffentlicht (siehe Kapitel 1.2.2 Das Förderprogramm Fusion 2040, Seite 17). Die weiteren Themen fördert das BMBF aktuell nach wie vor im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung.

Im Bereich der Projektförderung (siehe Kapitel 2 Projektförderung, Seite 19) ist die Förderung der Energieforschung im nicht-technischen Bereich am Innovationsreifegrad und im technischen Bereich an der Systematik des sogenannten Technology Readiness Level (TRL) orientiert. Dabei werden für

jedes Förderprojekt die zu erforschenden Technologien nach dem angestrebten wissenschaftlich-technischen Reifegrad auf einer Skala von 1 bis 9 eingeteilt. Das BMBF unterstützt im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms die anwendungsorientierte Grundlagenforschung mit einem TRL von 1 bis 3. Darüber hinaus fördert das BMBF den wissenschaftlichen Nachwuchs, den akademischen Austausch und Wissenschafts-/Forschungskooperationen auf EU- und internationaler Ebene. Die Förderung des BMWK schließt daran an und unterstützt anwendungsnahe Forschung und Entwicklung (TRL 3 bis 7). Außerdem fördert das BMWK Reallabore der Energiewende (bis zu TRL 9) und multilaterale Forschungskooperationen. Das BMEL verantwortet im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms die Förderung anwendungsnaher Forschungsarbeiten im Bereich Bioenergie. Diese wird ergänzt durch die Forschungsförderung zu energetischer Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe durch das BMWK. Das BMUV fördert die nukleare Sicherheitsforschung im weiteren Sinne, einschließlich der Forschung zum physischen Schutz von Nuklearanlagen, zu Methoden und Herausforderungen für nukleare Safeguards, zur nuklearen Entsorgung und zum Strahlenschutz. Seitens des BMBF wird im Bereich der nuklearen Sicherheitsforschung die angewandte Grundlagenforschung und der Nachwuchs gefördert.

Bei der institutionellen Förderung wird das BMWK in der strategischen Ausrichtung des Forschungsbereichs Energie der Helmholtz-Gemeinschaft vom BMBF unterstützt. Zudem ist das BMWK verantwortlich für die institutionelle Förderung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Das BMBF koordiniert die institutionelle Förderung der Helmholtz-Zentren (mit Ausnahme des DLR) (siehe Kapitel 3 Institutionelle Energieforschung, Seite 59).

Damit Energiewende und Klimaschutz gelingen, setzt die Bundesregierung neben einer engen Zusammenarbeit aller am Energieforschungsprogramm beteiligten Bundesressorts auch auf die Einbindung aller weiteren Bundesministerien und Behörden mit energiebezogenen Aufgaben und Verantwortungsbereichen. Hierzu zählt beispielsweise das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) mit den dort angesiedelten Themen Mobilität und Verkehr.

Für eine erfolgreiche Forschungsförderung setzt der Bund zudem auf die Stärke des Mehr-Ebenen-Systems. So erfolgen die Förderung und Abstimmung der Energieforschung auf nationalem Level auf Landes- und Bundesebene. Die Bundesregierung legt zudem ein großes Augenmerk auf eine enge europäische und internationale Zusammenarbeit. Hierbei wird sie in europäischen und internationalen Gremien zu diesem Politikfeld durch das BMWK vertreten (siehe Kapitel 4 Internationale Zusammenarbeit, Seite 66).

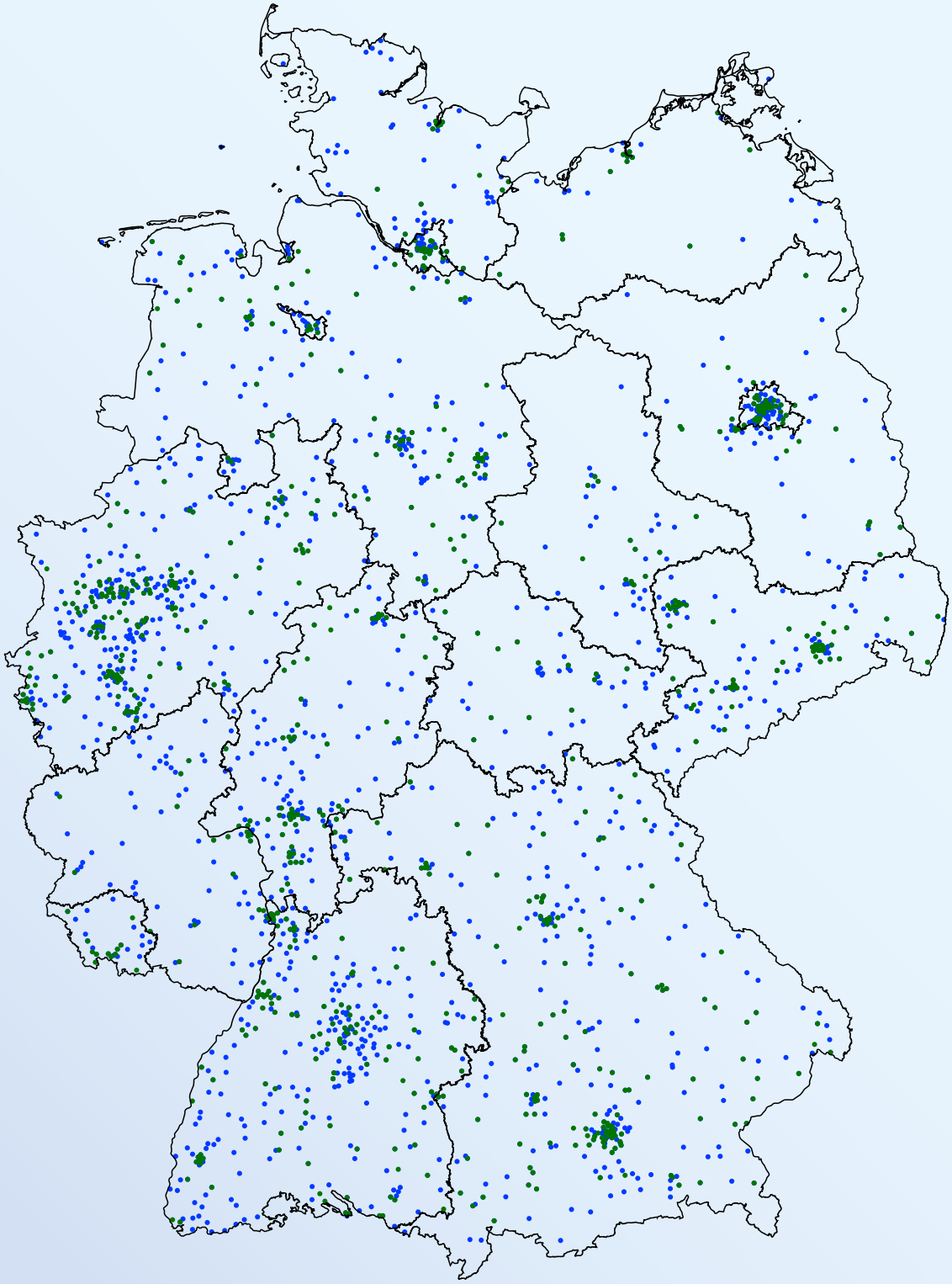
#### 1.1.3.2 Stakeholder und Vernetzung

Der Klimawandel und verschiedene Fragen der Energiesicherheit können als gesamtgesellschaftliche Herausforderung nur im Austausch mit allen relevanten Akteuren gelöst werden. Das gilt insbesondere auch für die Forschungsebene, da sie mit zahlreichen Innovationen die Grundlage für die Strukturen von morgen legt. Eine enge Vernetzung und offene Dialogangebote sind hierfür eine wichtige Voraussetzung.

##### Forschungsnetzwerke Energie

Die Forschungsnetzwerke Energie (www.forschungsnetzwerke-energie.de) des BMWK vernetzen Wissenschaft, Politik, Planung und Praxis. Sie decken alle für die Energiewende wichtigen Forschungsthemen ab und stehen allen Fachleuten offen. Mit den Netzwerken will das BMWK den interdisziplinären Dialog zwischen allen Akteuren stärken. Dies ist für das Entstehen erfolgreicher Innovationen wichtig. Die Forschungsnetzwerke Energie sind daher für das BMWK ein wertvolles Instrument, um den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis zu fördern und damit den Transformationsprozess des Energieversorgungssystems zu beschleunigen. Zu diesem und weiteren Hand-

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/Projektträger Jülich

Abbildung 3: Die Förderung der Energieforschung auf einen Blick

**1,462 Mrd. Euro**

Gesamtfördermittel 2023
im 7. Energieforschungsprogramm
(Vorjahr: 1,311 Mrd. Euro)

2023 hat der Bund

**1.796 Projekte**

neu bewilligt
(Vorjahr: 1.661)

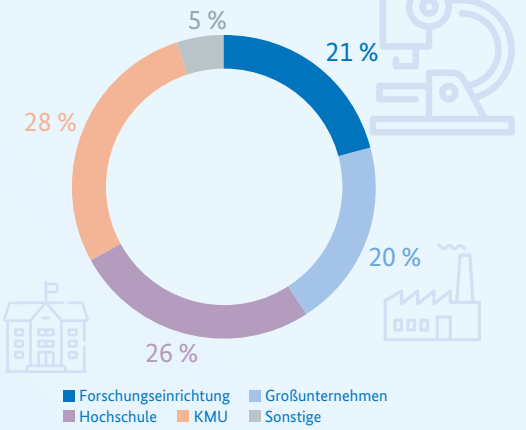
2023 hat die Bundesregierung
im 7. Energieforschungsprogramm

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

**368,58 Mio. Euro**

Eigenanteil deutscher Unternehmen
zu bewilligten Forschungs-
und Entwicklungsprojekten
(Vorjahr: 390 Mio. Euro)

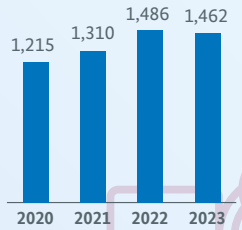
Zuwendungsempfänger neu bewilligter Projekte*




**1,078 Mrd. Euro**

Gesamtfördermittel
der Projektförderung 2023

Entwicklung Gesamtfördermittel in Mrd. Euro




**164,63 Mio. Euro**

Fördermittel für KMU* für 2023
neu bewilligte Projekte

* nach deutscher KMU-Definition

lungsfeldern arbeiten die rund 3.700 aktiven Mitglieder selbstorganisiert in Arbeitsgruppen und Workshops zusammen. 2023 wurde außerdem die erfolgreiche Kooperation mit der Stiftung Jugend forscht e.V. fortgesetzt.

Am 20. Juni 2023 hat das erste Symposium der Forschungsnetzwerke Energie in Berlin stattgefunden. Die Veranstaltung mit rund 400 Forschenden wurde von Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck eröffnet. Anschließend diskutierten die Teilnehmenden an zwei Veranstaltungstagen über drängende Forschungsfragen für den Erfolg der Energiewende.

### Koordinierungsplattform Energieforschung

Um die frühzeitige und zielgerichtete Koordinierung der Forschungs- und Innovationsmaßnahmen mit Energieschwerpunkt verschiedener Bundesressorts zu ermöglichen, hat das BMWK in seiner Rolle als Federführer die Koordinierungsplattform Energieforschung der Bundesressorts etabliert. So können geplante Maßnahmen aufeinander abgestimmt und Synergien durch Kooperationen erschlossen werden. Zudem tauscht sich der Bund regelmäßig mit den 16 Landesregierungen zu wichtigen Fragen der Energieforschung aus.

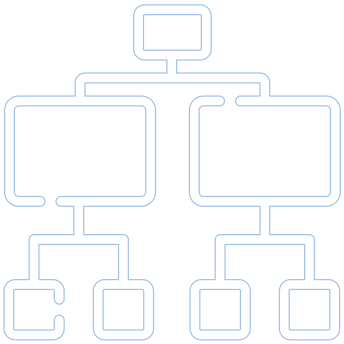
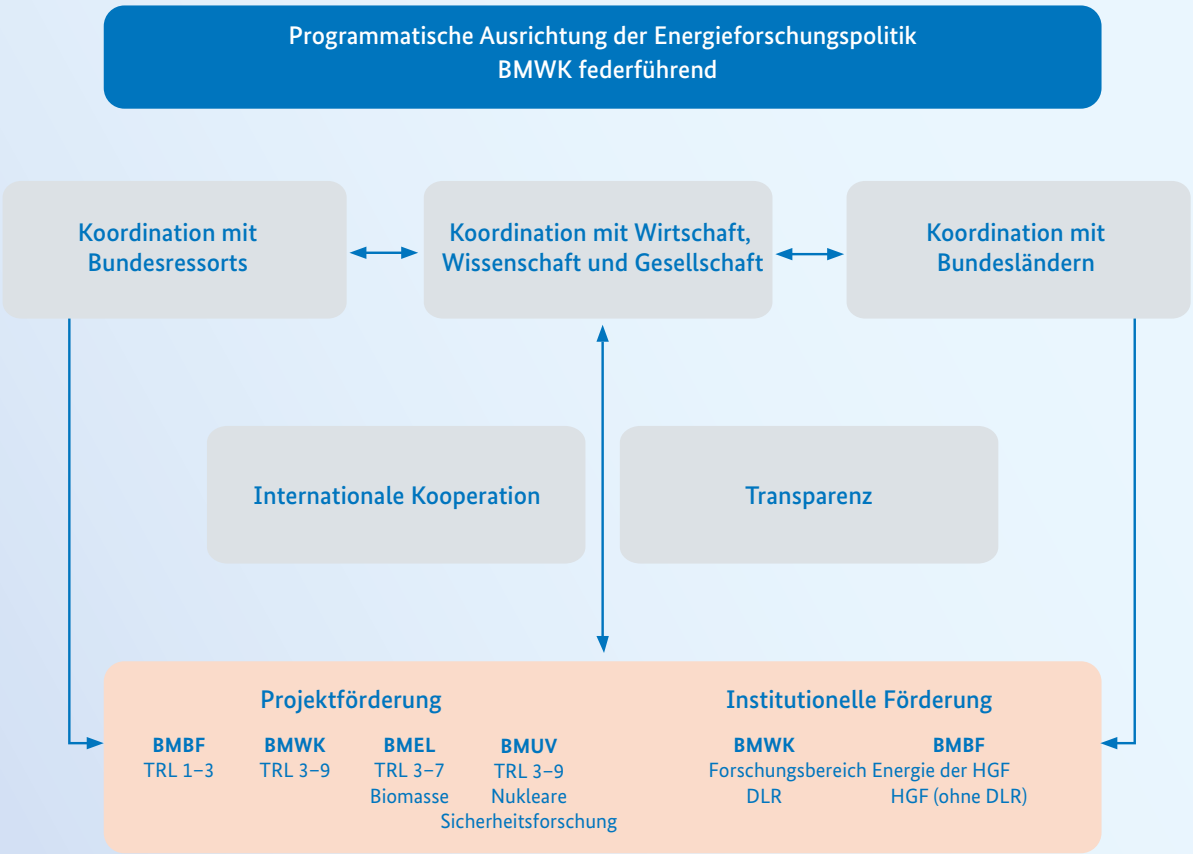


Abbildung 4: Strukturen der Energieforschung (bis 2023)



Für klimafreundliches Heizen wird in Deutschland unter anderem das Fernwärmenetz weiter ausgebaut.

#### Energiewende-Plattform Forschung und Innovation (FuI-Plattform)

Die Energiewende-Plattform Forschung und Innovation (FuI-Plattform) des BMWK war innerhalb des 7. Energieforschungsprogramms das Forum für den Dialog zur Energieforschung zwischen Bundes- und Landespolitik, Wissenschaft, Wirtschaft, Verbänden und Gesellschaft. Die Plattform hat dem Austausch zu Förderpolitik sowie zu neuen Ansätzen für Zukunftsstrategien und dem Zusammenführen von Forschung und energiewirtschaftlicher Praxis gedient. Sie war zudem das Dach für die Forschungsnetzwerke Energie.

#### Akademienprojekt Energiesysteme der Zukunft

Das Akademienprojekt Energiesysteme der Zukunft (ESYS) bündelt die Expertise der Akademien der Wissenschaften. Die vom BMBF geförderte Initiative von acatech, Leopoldina und Akademienunion bündelt das in unterschiedlichen Disziplinen vorhandene Wissen, ordnet es ein und bereitet es für die politisch-gesellschaftliche Debatte auf. Im Projekt ESYS entwickeln mehr als 160 Fachleute Handlungsoptionen zur Umsetzung einer sicheren und bezahlbaren Energieversorgung. 2023 hat ESYS beispielsweise Szenarien analysiert und Handlungsoptionen entwickelt, wie Deutschland klimaneutral werden kann, welche Optionen Investitionsanreize und Reservekapazitäten zur Marktintegration von erneuerbaren Energien bieten und welchen Beitrag ein freiwilliger Kohlenstoffmarkt für den Klimaschutz bieten kann. Zu diesen und zu weiteren Themen, zum Beispiel dem Aufbau von Wasserstoff-Infrastrukturen oder zur Wärmewende in den Städten, hat das Akademienprojekt Austauschforen sowohl zwischen Fachleuten als auch mit der Öffentlichkeit geboten.

### 1.1.3.3 Transparenz und Kommunikation

Die transparente Kommunikation über die Ziele und Fortschritte der Energieforschungspolitik gegenüber der Bevölkerung, Forschenden und den Umsetzenden ist ein wichtiges Element der Energieforschungsprogramme des Bundes. Daher informieren die beteiligten Bundesministerien umfangreich in unterschiedlichen Formaten über Erfolge, Entwicklungstrends, offene Forschungsfragen und bestehende Herausforderungen auf dem Weg zu einer klimafreundlichen und resilienten Energieinfrastruktur.

Über die Website www.energieforschung.de informiert das BMWK über Förderziele, -strukturen und -angebote im Bereich der Projektförderung zur angewandten Energieforschung. Außerdem berichtet das BMWK auf dieser Plattform über aktuelle Forschungsschwerpunkte und -ergebnisse. Über einen Fachnewsletter erfahren Fachleute aus Forschung und Anwendung zudem Neuigkeiten aus der Förderung der angewandten Energieforschung und aus Förderprojekten. Zusätzlich informiert der Projektträger Jülich im Auftrag des Ministeriums über den YouTube-Kanal @energieforschung über aktuelle Projekte und Veranstaltungen, erklärt Technologien, Themenschwerpunkte sowie die Förderung und zeigt die Menschen hinter der Energiewende.

EnArgus (www.enargus.de) ist das zentrale Informationssystem der Energieforschungsförderung, das der Projektträger Jülich im Auftrag des BMWK umsetzt. Die Datenbank EnArgus gibt einen transparenten Überblick über die durch den Bund im Energiebereich seit 1968 öffentlich geförderten Forschungsprojekte. Außerdem informiert EnArgus über Technologien und Fachbegriffe. Zusätzlich lassen sich die Zahlen zur Projektförderung aus dem Bundesbericht Energieforschung über EnArgus transparent nachvollziehen.

## 1.2 Ausblick 2024: Strategische Weiterentwicklung

Die Energieforschung als strategisches Element der Energiepolitik wird konsequent auf die Vollendung der Energiewende und – im Sinne der Zukunftsvorsorge – darüber hinaus ausgerichtet. Im Jahr 2045 soll Deutschland klimaneutral sein. Dafür ist die rasche Vollendung der Energiewende notwendige Voraussetzung. Auf dem Weg zur Klimaneutralität soll der Anteil erneuerbarer Energie am Stromverbrauch bis 2030 bei 80 Prozent liegen und die Hälfte der Wärmeversorgung klimaneutral erfolgen. Außerdem sollen bis dahin 10 Gigawatt Elektrolyseurleistung für die Produktion von grünem Wasserstoff verfügbar sein. Angesichts der immer kürzer werdenden Zeiträume bekommt die Anwendung von Forschungsergebnissen zur Vollendung der Energiewende einen neuen Stellenwert in der Energiepolitik.

Die Erschütterungen der energiepolitischen Rahmenbedingungen im Jahr 2022 infolge des russischen Angriffs auf die Ukraine haben deutlich gemacht: Das Energiesystem muss unabhängiger von solchen Entwicklungen werden, um seine Zuverlässigkeit und Widerstandskraft zu erhalten. Ein komplex vernetztes, digitalisiertes Energiesystem muss sorgfältig mit Blick auf Resilienz weiterentwickelt werden, um die Eskalation kritischer Zustände zu vermeiden.

Seit dem 15. April 2023 wurde die Nutzung der Kernenergie zur kommerziellen Energieerzeugung beendet und damit hat die Forschung zur nuklearen Sicherheit keinen aktuellen Bezug zur kommerziellen Energieerzeugung in Deutschland.

BMWK hat am 25. Oktober 2023 für den Bereich der angewandten Energieforschung sein „8. Energieforschungsprogramm zur angewandten Energieforschung – Forschungsmissionen für die Energiewende“ veröffentlicht. Im Bereich der Grundlagenforschung Energie hat das BMBF im März 2024 das neue Förderprogramm „Fusion 2040 – Forschung auf dem Weg zum Fusionskraftwerk“ für die Fusion als technologische Langzeitoption veröffentlicht. Für die Grundlagenforschung des BMBF ist das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung weiterhin gültig.

Auch im Bereich der energetischen Biomassenutzung gibt es neue politische Entwicklungen, die die Energieforschungslandschaft verändern. In der Energieforschungspolitik wird bei der Energiegewinnung aus Biomasse der Fokus auf die Nutzung von Abfall- und Reststoffen gelegt.

Im Zuge der oben genannten politischen Entwicklungen sind BMUV und BMEL zukünftig nicht mehr an der Energieforschung beteiligt.

Forschungsprojekte machen das Stromnetz robust und digital – Voraussetzungen für ein resilientes Energiesystem der Zukunft.

### 1.2.1 Das 8. Energieforschungsprogramm zur angewandten Energieforschung des BMWK

Damit eine klimaneutrale und sichere Energieversorgung bis 2045 gelingt, sind innovative Lösungen für die Praxis notwendig. Hierzu sind neue oder weiterentwickelte Technologien genauso gefragt wie Prozesse, Geschäftsmodelle und Dienstleistungen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) fördert im Bereich der angewandten Energieforschung daher unter anderem Unternehmen und Forschungseinrichtungen im Rahmen einer missionsorientierten Innovationspolitik mit dem „8. Energieforschungsprogramm zur angewandten Energieforschung – Forschungsmissionen für die Energiewende“. Es legt die Leitlinien für die Förderung in der angewandten Energieforschung fest. Die sektor- und fachthemenübergreifende Forschungsförderung ist dabei an konkreten, ambitionierten Zielen für jede Mission ausgerichtet. Das Ministerium hat das Programm am 25. Oktober 2023 veröffentlicht. Die Förderung erfolgt auf Basis der Förderbekanntmachung zur angewandten Energieforschung im Rahmen des 8. Energieforschungsprogramms vom 25. April 2024.

#### Missionsorientierte Innovationspolitik für praktische Lösungen

Ein wichtiger Anspruch an die Energieforschungspolitik ist es, die Klimaneutralität des Energiesystems zu erreichen. Das gelingt nur dann, wenn der Anteil erneuerbarer Energie und klimaneutraler Energieträger in allen Sektoren des Versorgungssystems weiter steigt. Zugleich müssen der Energiebedarf, der Ressourceneinsatz und nicht zuletzt die $CO_2$-Emissionen sinken. Dafür gilt es, die verschiedenen Elemente des Energiesystems – wie etwa Stromnetze, Digitalisierung, Wasserstofftechnologien und Sektorkopplung oder auch die Gesellschaft – übergreifend und gemeinsam zu betrachten.

Der Fokus des „8. Energieforschungsprogramms für angewandte Energieforschung“ des BMWK ist es daher, Forschungsergebnisse und Innovationen, die zum Aufbau einer klimaneutralen, sicheren Energieversorgung beitragen, schnell in die Praxis zu bringen. Deshalb liegt der Programmfokus auf der angewandten Energieforschung. Durch die missionsorientierte Programmatik und einen breiten Förder-

ansatz entlang der gesamten Wertschöpfungskette soll so ein breites Spektrum an marktfähigen Lösungen für den Transformationsprozess im Energiebereich entstehen. Das BMWK unterstützt Forschende sowohl in Form zeitlich begrenzter Vorhaben im Rahmen der Projektförderung als auch innerhalb der institutionellen Förderung.

**Die Schwerpunkte des „8. Energieforschungsprogramms für angewandte Energieforschung“ des BMWK sind:**

- die Forschung für ein resilientes und effizientes Energiesystem in der Mission Energiesystem 2045
- die Forschung für eine klimaneutrale Wärme- und Kälteversorgung in der Mission Wärmewende 2045
- die Forschung für die Umstellung der Stromversorgung auf erneuerbare Energien in der Mission Stromwende 2045
- die Forschung für eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft in der Mission Wasserstoff 2030
- der schnelle Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis in der Mission Transfer

### 1.2.2 Das BMBF-Förderprogramm „Fusion 2040 – Forschung auf dem Weg zum Fusionskraftwerk“

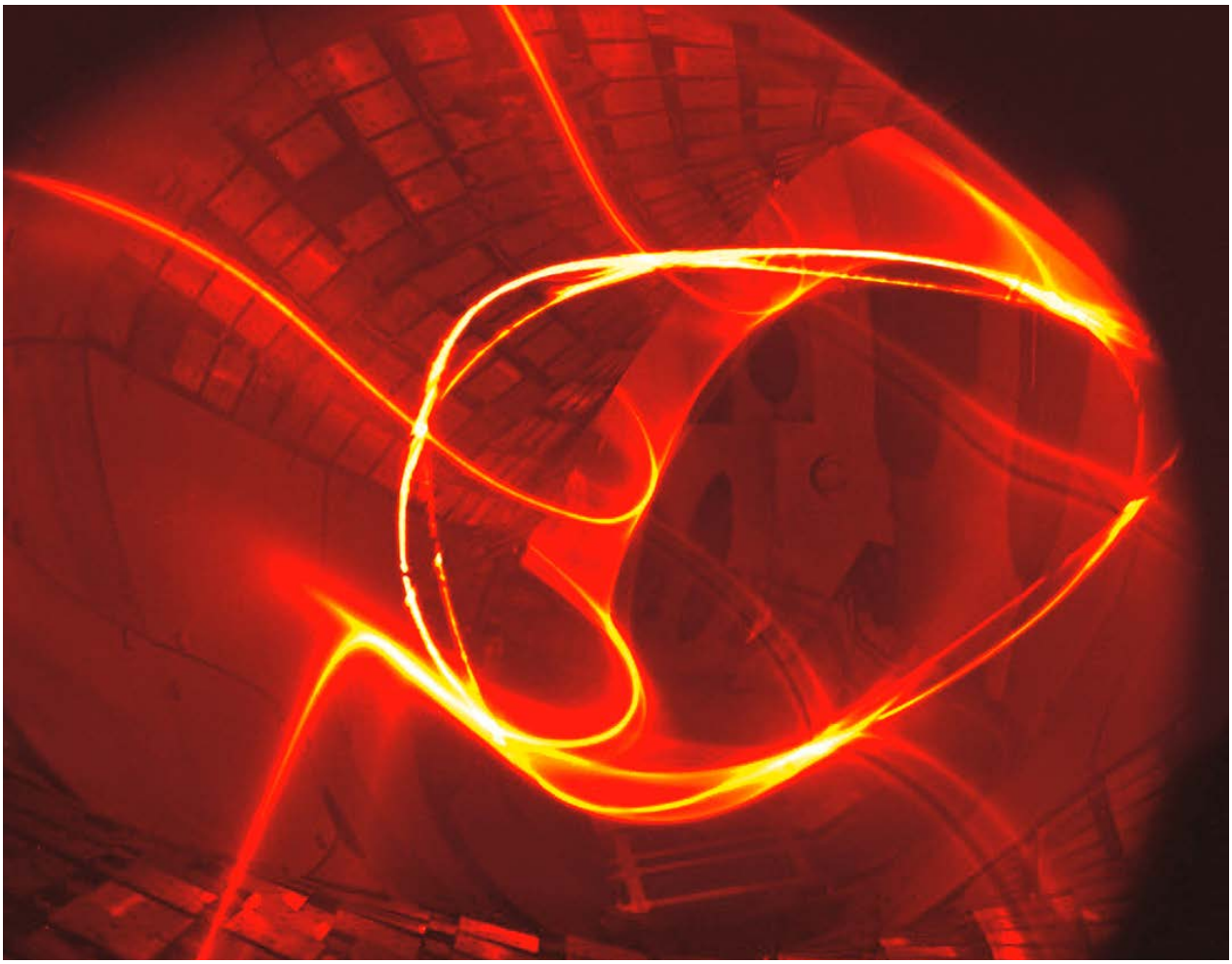
Der weltweit steigende Strombedarf – jüngsten Studien zufolge von heute bis 2045 mindestens um den Faktor 2 – und die aus Klimaschutzgründen dringend benötigte Energiewende erfordern sichere, grundlastfähige, bezahlbare und $CO_2$-neutrale Kraftwerkstechnologien. Fusionskraftwerke haben das Potenzial, im Zusammenspiel mit den erneuerbaren Energien den gesteigerten Strombedarf der Zukunft zu decken.

Derzeit werden vor allem zwei grundsätzlich verschiedene technologische Konzepte der Fusion erforscht und entwickelt: zum einen die Laserfusion, bei der besonders intensive Laserstrahlung die Fusionsreaktion zündet, und zum anderen die Magnetfusion, bei der das heiße Fusionsplasma durch Magnetfelder eingeschlossen wird. Weltweit gibt es derzeit eine große Dynamik in der Fusionsforschung. Diese wird auch durch jüngste wissenschaftliche Erfolge vorangetrieben, von denen beispielsweise die Versuche an der National Ignition Facility (NIF) in den USA, bei denen erstmals mehr Fusionsenergie freigesetzt als Energie in Form von Laserlicht in das System hineingegeben wurde, besondere öffentliche Aufmerksamkeit erregte. Auch in der Magnetfusion sind für beide in diesem Bereich verfolgte Varianten, Tokamak und Stellarator, nennenswerte Erfolge zu verzeichnen.

Um Fusionsenergie nutzen zu können, ist noch intensive Forschung erforderlich. Dies betrifft zunächst vor allem die Weiterentwicklung der Technologiereifegrade der einzelnen technologischen Felder (zum Beispiel Materialien, Tritiumkreislauf, Laser), die zum Teil noch sehr weit von einer Marktreife entfernt, im Bereich der Magnetfusion aber insgesamt weiter entwickelt sind als im Bereich der Laserfusion. Zur beschleunigten Realisierung von Fusionskraftwerken strebt das BMBF deshalb die Schaffung eines Fusionsökosystems aus Industrie, Start-ups und Wissenschaft an. Grundlage der dafür geschaffenen Förderung ist das am 22. Juni 2023 durch Frau Bundesministerin Stark-Watzinger vorgestellte „Positionspapier Fusionsforschung“ des BMBF. Darin werden die wesentlichen Handlungsfelder und mögliche, strategisch ausgerichtete Maßnahmen in der Magnet- und Laserfusionsforschung umrissen. Darauf aufbauend veröffentlichte das BMBF im März 2024 das Fachprogramm „Fusion 2040 – Forschung auf dem Weg zum Fusionskraftwerk“. Das Förderprogramm ist technologieoffen angelegt und adressiert sowohl Magnet- als auch Laserfusion.

Um das Ziel der Förderung, den Bau eines Fusionskraftwerks, möglichst schnell zu erreichen, setzen die Maßnahmen im Kern auf anwendungsorientierte Verbundforschung in Form von Public-Private-Partnership (PPP). Hierdurch können neue Erkenntnisse aus der Forschung frühzeitig aufgegriffen und Know-how an die heimische Industrie zur Verwertung transferiert werden. Die Voraussetzungen für die Fusion sind in Deutschland sowohl in der Wissenschaft als auch in der Industrie bereits jetzt sehr gut. Neben der umfangreichen Zulieferindustrie, die von der Fusionsforschung in erheblichem Maße von Spill-over-Effekten profitieren wird, gilt dies auch dank der mittlerweile vier der weltweit etwa 40 Fusions-Start-ups, die in Deutschland angesiedelt sind.

Das Förderprogramm korreliert mit der institutionellen Förderung des BMBF, aus der unter anderem in Forschungsinfrastrukturen der Magnetfusionsforschung investiert wird (über das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP), das Forschungszentrum Jülich (FZJ) und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT)). Diese Investitionen sichern Deutschland langfristig seine weltweite technologische Führungsrolle in der Magnetfusion, die besonders in der Stellaratorentwicklung sichtbar wird.



Auch wenn noch viel Forschungsbedarf besteht: Fusionskraftwerke haben das Potenzial, im Zusammenspiel mit erneuerbaren Energien den gesteigerten Strombedarf der Zukunft zu decken.

# 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 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 der Energiewende zum Gelingen der Energiewende bei, indem sie Wegbereiter für neue Technologien und neue Wertschöpfung sind.

Fortschritte bei der Energiewende, einen Beitrag zur Klimaneutralität sowie eine direkte Emissionsminderung von Treibhausgasen sind wesentliche Ziele der Reallabore der Energiewende. Mit dem Konzept betont das BMWK den hohen Praxisbezug des Förderformats.

Insgesamt sind mit den 2023 gestarteten Reallaboren der Energiewende RefLau und GeoSpeicherBerlin mittlerweile dreizehn Vorhaben aktiv.

Reallabore der Energiewende im Bereich „Energieoptimierte Quartiere“:

- GeoSpeicherBerlin
- 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“:

- RefLau
- H2-Wyhlen
- Norddeutsches Reallabor
- Energiepark Bad Lauchstädt
- H2Stahl
- WESTKÜSTE100

2023 konnten in den Reallaboren der Energiewende wichtige Meilensteine erreicht werden. So nahm etwa im Vorhaben GWP die größte in ein deutsches Fernwärmenetz integrierte Großwärmepumpe am Standort Mannheim ihren Betrieb auf. Im Reallabor SmartQuart wurde die erste Hochdruck-Wasserstoffleitung in Deutschland gebaut und vom TÜV abgenommen. Zudem startete in SmartQuart sowie im Reallabor TransUrban.NRW die klimafreundliche Energieversorgung der jeweils beteiligten Quartiere. Im Reallabor Energiepark Bad Lauchstädt konnten, nach dem Spatenstich für den 30-Megawatt-Elektrolyseur, im Juni 2023 mit der Umstellung der Gastransportleitung für den Transport von Wasserstoff und der Einhebung einer sogenannten Molchschleuse im Herbst, wichtige Etappenziele erreicht werden.

Im April 2023 hat der 1. Transferkongress Wasserstoff stattgefunden. Bei der Veranstaltung in Berlin trafen sich Vertreterinnen und Vertreter der Reallabore der Energiewende, die sich mit den Themen Wasserstoff und Sektorkopplung beschäftigen. Sie werden vom Projekt Trans4Real wissenschaftlich begleitet, das die Erkenntnisse aus den Vorhaben übergreifend untersucht. Das Team war daher bei der Umsetzung des Kongresses eng eingebunden. Mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen aus den Reallaboren der Energiewende unterstützt Trans4Real den Aufbau einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und die Integration des Gases in das Energiesystem der Zukunft.

Die Reallabore der Energiewende, die das Themenfeld „Energieoptimierte Quartiere“ adressieren, werden von der Begleitforschung „Energiewende-

bauen“ unterstützt und profitieren insbesondere von Modul III „Quartier“ der Begleitforschung unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT.

### Projektförderung

Im Schwerpunkt Reallabore der Energiewende hat das BMWK im Jahr 2023 220 laufende Vorhaben mit rund 45,48 Millionen Euro gefördert. Zudem hat das Ministerium in diesem Zeitraum 51 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 72,64 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 5).

## 2.1.2 Wasserstoff-Leitprojekte

Regenerativ erzeugter Wasserstoff und seine Derivate können einen großen Beitrag zur Defossilisierung energieintensiver Sektoren leisten. Beispielsweise können industrielle Prozesse sowie Antriebe für Schwerlast- und Flugverkehr durch Wasserstoff klimafreundlicher werden. Zudem ist Wasserstoff ein wichtiger Energiespeicher. Für das Energiesystem ist er daher eine große Chance.

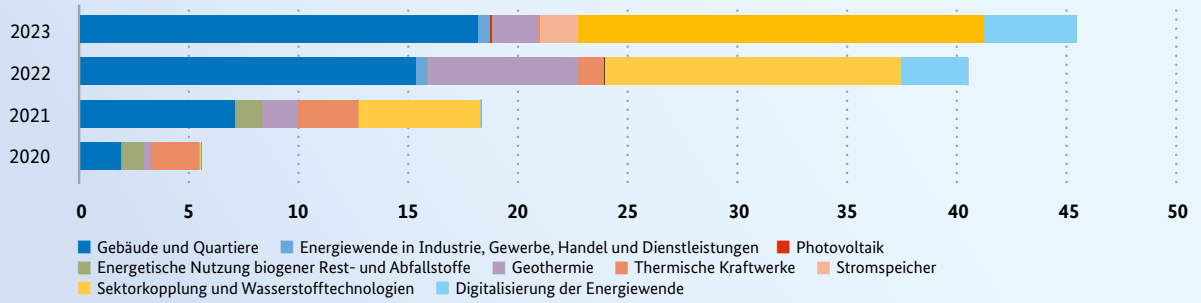
Noch gibt es wenig regenerativ erzeugten Wasserstoff, um den Hochlauf der Wasserstoff-Wirtschaft zu schaffen. Es fehlt noch an einer geeigneten Infrastruktur für die Verteilung. Mit der Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie hat sich die Bundesregierung daher vorgenommen, an diesen und weiteren Herausforderungen zu arbeiten. Eine entsprechende Importstrategie für Wasserstoff und seine Derivate wird schnellstmöglich folgen.

### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die drei Wasserstoff-Leitprojekte des BMBF tragen zu den Zielen der Nationalen Wasserstoffstrategie bei. Gemeinsam arbeiten über 230 Projektpartner aus Forschung und Industrie daran, den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft zu unterstützen. Bis 2025 forschen die Projekte an der Serienfertigung großskaliger Elektrolyseure ($H_2$Giga), der Erzeugung von Wasserstoff und seinen Folgeprodukten auf See ($H_2$Mare) sowie Speicher- und Transporttechnologien für Wasserstoff (TransHyDE).

Bei der Serienfertigung und Hochskalierung von Elektrolyseuren setzt das Leitprojekt $H_2$Giga auf die Weiterentwicklung von drei bestehenden Elektrolyse-Technologien, die noch nicht für die Massenproduktion von Wasserstoff geeignet sind. Sie sollen hochskaliert und für die industrielle Fertigung vorbereitet werden. Eine erste Musterfabrik, in der verschiedene automatisierte Fertigungsschritte getestet werden sollen, wurde bereits aufgebaut. Forschungsseitig will $H_2$Giga außerdem die Elektrolyse mit anionenleitender Membran (AEM) weiterentwickeln. So wurde diese Technologie weltweit erstmalig in den Megawatt-Maßstab erfolgreich übertragen.

**Abbildung 5: Fördermittel für Reallabore der Energiewende in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 2, Seite 76)

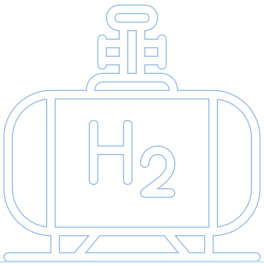


Im Leitprojekt $H_2$Mare werden Technologien erarbeitet, die eine direkte Kopplung von Elektrolyseur und Offshore-Windkraftanlage möglich machen sollen. So könnten zukünftig das Stromnetz entlastet und Kosten gespart werden. Des Weiteren erarbeitet $H_2$Mare Konzepte zur Herstellung weiterer Power-to-X-Produkte auf See. Neben den technischen und rechtlichen Voraussetzungen beschäftigt sich das Leitprojekt mit den Umweltauswirkungen sowie der Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern.

Um zukünftig Wasserstoff in großen Mengen transportieren zu können, wird eine entsprechende Infrastruktur benötigt. Das Leitprojekt TransHyDE erforscht und demonstriert verschiedene Möglichkeiten des Transports und der Speicherung von Wasserstoff. Dabei sollen ihre Vor- und Nachteile abgeschätzt werden. Insbesondere hat TransHyDE den Transport und die Speicherung von gasförmigem, flüssigem und in Ammoniak oder LOHC gebundenem Wasserstoff im Fokus. Des Weiteren analysiert das Leitprojekt die rechtlichen Rahmenbedingungen. Seit Juni 2023 wird dabei insbesondere die mögliche Umstellung von LNG-Terminals auf wasserstoffbasierte Energieträger von einem neuen Verbund geprüft. Zusätzlich beschäftigt sich der Verbund mit den Kriterien und Planungsmaßnahmen für neue Terminalinfrastrukturen. Eine erste Kurzanalyse aus TransHyDE hat bereits gezeigt, dass zur Erreichung der gesetzten Importmengen mehr Terminals notwendig sind, als bisher geplant wurden.

## Projektförderung

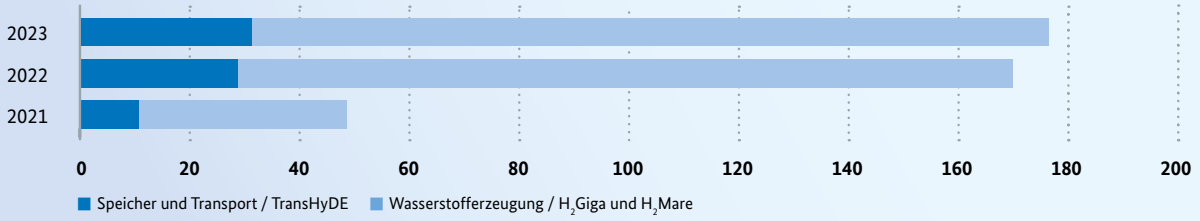
Im Schwerpunkt Wasserstoff-Leitprojekte hat das BMBF im Jahr 2023 368 laufende Vorhaben mit rund 176,72 Millionen Euro gefördert. 2023 hat das Ministerium zudem 37 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 43,21 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 6).




*„Die Leitprojekte gehen wesentliche Herausforderungen des Wasserstoff-Hochlaufs an. Unsere Arbeit schafft die Voraussetzungen, damit grüner Wasserstoff zukünftig in großen Mengen verfügbar ist – eine Grundlage der klimaneutralen Zukunft.“*

Koordinationsteams der drei Wasserstoff-Leitprojekte

**Abbildung 6: Fördermittel für Wasserstoff-Leitprojekte in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 2, Seite 76)



PROJEKTPORTRÄT

## Wasserstoff-Leitprojekte

*Erzeugung, Speicherung und Transport von grünem Wasserstoff*

Drei Leitprojekte des BMBF bereiten seit 2021 den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland vor. $H_2$Giga schafft die Voraussetzungen für eine Serienproduktion großskaliger Elektrolyseure. $H_2$Mare erforscht die Erzeugung von grünem Wasserstoff und seinen Folgeprodukten auf See. TransHyDE demonstriert Speicher- und Transporttechnologien.

Für leistungsfähige Elektrolyseure ist ein enges Zusammenspiel von neuen Materialien, Fertigungsverfahren und Erforschung im Betrieb nötig. $H_2$Giga hat erste Anlagenteile für „Gigafabriken“ zur Produktion großskaliger Elektrolyseure entwickelt und eine halbautomatisierte Musterfertigung von Elektrolyse-Stacks eröffnet. Damit Elektrolyseure zukünftig kostengünstiger und umweltfreundlicher werden, hat das Leitprojekt außerdem detaillierte Recyclingkonzepte erstellt. Sie umfassen alle Elektrolyse-Technologien und wichtigen Komponenten. Ein weiterer Erfolg ist die Entwicklung eines fluorfreien Membranmaterials. Es wurde im Zellmaßstab bisher etwa 2000 Stunden lang getestet und erreicht bereits die Performance etablierter Materialien.

In $H_2$Mare wurde ein Testfeld gebaut, mit dem die künftige Kombination von Elektrolyseur und Windkraftanlage auf hoher See zunächst an Land getestet wird. Dabei soll sich zeigen, wie der Elektrolyseur mit unstetigen Windverhältnissen zurechtkommt. Daneben gibt es in $H_2$Mare ein Highlight der Öffentlichkeitsarbeit: Ein Onlinespiel vermittelt die Technologien und Konzepte, die $H_2$Mare entwickelt.

Im Leitprojekt TransHyDE wurde der weltweit größte eichfähige Wasserstoff-Prüfstand entwickelt und eingerichtet. In Bayern konnte das Leitprojekt außerdem bereits ein vorhandenes Erdgas-Verteilnetz auf

Die drei Wassersoff-Leitprojekte, $H_2$Giga, $H_2$Mare und TransHyDE, erzielen bedeutende Fortschritte in der Wasserstoffwirtschaft, indem sie die Voraussetzungen für die Serienproduktion von Elektrolyseuren schaffen, die Erzeugung von grünem Wasserstoff auf See erforschen und Speicher- und Transporttechnologien demonstrieren.

Wasserstoff umstellen. Für den Transport von Wasserstoff ist Ammoniak eine vielversprechende Möglichkeit. TransHyDE hat einen neuen Katalysator entwickelt, der das Herauslösen von Wasserstoff aus dem Trägermedium effizienter und damit kostengünstiger machen soll.

Die erfolgreichen Arbeiten in den Wasserstoff-Leitprojekten resultieren auch aus der engen Zusammenarbeit von Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft. Die Partner erzielen gemeinsam Ergebnisse und Ansätze, die direkt in der Praxis getestet werden können.

**Technology Readiness Level nach Projektende:** 3-7

**Zuwendungsempfänger:** mehr als 230 Partner aus Industrie, Wissenschaft und Gesellschaft
**Förderndes Ministerium:** BMBF
**Förderkennzeichen:** 03HY101A-03HY132, 03HY200A-03HY210P, 03HY300A-303P
**Fördermittelansatz:** 759,55 Millionen Euro
**Projektlaufzeit:** 2021 – 2025
**Projektbeschreibung auf EnArgus:**

MEHR INFO

## 2.2 Energiewende in den Verbrauchssektoren

### 2.2.1 Energie in Gebäuden und Quartieren

Mehr als ein Drittel des gesamten Energiebedarfs in Deutschland wird zum Heizen von Gebäuden und zur Versorgung mit Warmwasser verbraucht. Über 80 Prozent der Wärmenachfrage wird noch durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern gedeckt. Um Gebäude und Quartiere langfristig klimaneutral zu betreiben, muss die Sanierungsrate deutlich erhöht und die Wärme- und Kälteversorgung dekarbonisiert werden. Das Klimaschutzgesetz sieht vor, die Emissionen im Gebäudesektor bis 2030 auf höchstens 67 Millionen Tonnen $CO_2$-Äquivalente zu begrenzen. Effizienzmaßnahmen, der Übergang zu nachhaltigen Wärmesystemen und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Fernwärme stellen hier entscheidende Ansatzpunkte dar.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das Ziel der Förderung des BMWK ist es, hochgradig erneuerbare und effiziente Energieversorgungssysteme für Neubau und Sanierung zu erforschen und in der Praxis zu erproben. Die Förderung unterstützt Lösungen, die standortangepasst sind, aber auch auf andere Orte übertragbar sind. Schwerpunkt der Forschung ist es, innovative Materialien sowie intelligente Sanierungsmethoden für Gebäude und Quartiere zu entwickeln. Dazu gehören die automatisierte Erfassung von baulichen Zuständen sowie innovative und systemisch gedachte Energieversorgungslösungen. Die geförderten Energiesysteme nutzen vor Ort verfügbare erneuerbare Energien, umfassen Speicher- und Verteilsysteme und entwickeln intelligente Steuerungs- und Regelungstechnik, um Kälte, Wärme und Strom bedarfsgerecht bereitzustellen.

Im Förderbereich wurde im ersten Halbjahr vor allem der Förderaufruf Klimaneutrale Wärme und Kälte umgesetzt. Hervorzuheben sind hier insbesondere die 24 bewilligten Mikroprojekte. Diese grenzen sich von den bestehenden Formaten durch den Fokus auf eine schnelle Verwertung der Projektergebnisse und kurze Laufzeiten ab. Die praxisnahen Forschungsvorhaben umfassen aktuelle systemische und technologische Fragestellungen, wie zum Beispiel Wärmeplanung, Wärmespeicher und Wärmepumpen.

Das BMBF setzte die bestehenden Aktivitäten im Bereich Gebäude und Quartiere 2023 fort.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Energie in Gebäuden und Quartieren haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2023 1023 laufende Vorhaben mit rund 87,09 Millionen Euro gefördert. 2023 haben die Ministerien zudem 202 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 77,80 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 7, S. 26).

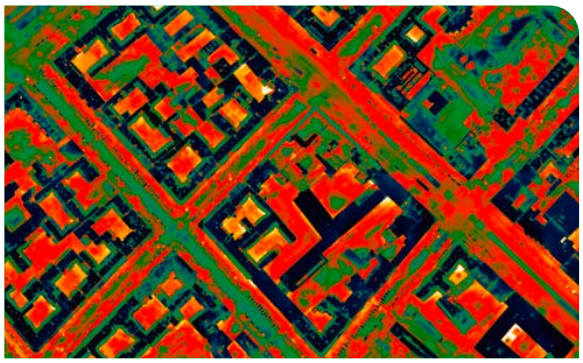
PROJEKTPORTRÄT

## ML4Heat

*Tools zum optimierten Betrieb von Fernwärmenetzen basierend auf Methoden des maschinellen Lernens*

Die Dekarbonisierung der Energieerzeugung wirkt sich auch auf die Fernwärmenetze aus. Hier speisen vermehrt viele kleine regenerative Wärmequellen ein – anstatt einiger großer Kraftwerke. Dies bedeutet für die Netzbetreiber, dass sie bei ihren Planungen mehr Variablen berücksichtigen und mit niedrigeren sowie unbeständigen Vorlauftemperaturen rechnen müssen. Für einen effizienten Betrieb ihrer Anlagen benötigen die Betreiber daher zukünftig mehr Informationen: Wie wird die Wärmeleistung im Netz verteilt? Wie entwickeln sich die Wärmebedarfe? Daran angepasst steuern und betreiben sie dann ihre Netze. Die dafür erforderlichen Auswertungen und Analysen liefern KI-Tools, die die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsvorhaben ML4Heat entwickelt haben.

Das Softwaresystem stellt Informationen bereit, mit denen die Netzbetreiber ihre Wärmeproduktion vorausschauend und bedarfsgerecht betreiben können. Fehlfunktionen bei den Fernwärmeübergabestationen werden schnell erkannt und gemeldet. Dies steigert die Energieeffizienz der Wärmeversorgung. ML4Heat nutzt für seine Analysen unter anderem erlerntes Wissen über die Wärmeabnahmen der Haushalte sowie Wetterprognosen. Um an die hierfür erforderlichen Daten zu gelangen, müssen an verschiedenen Stellen im System Messstellen und Sensoren installiert sein.



Im Projekt ML4Heat untersuchen Forschende, wie in Berlin die Fernwärmeversorgung optimiert werden kann.

Im Leitungsnetz des Fernheizkraftwerks Neukölln, das rund 40.000 Haushalte versorgt, bieten die ML4Heat-Tools bereits erhebliche Mehrwerte, etwa bei der Reduktion der Lastspitzen. Beim Energieversorger Vattenfall Wärme Berlin, der rund 1,3 Millionen Haushalten Wärmeenergie liefert, ist der Einsatz in Vorbereitung. In einem Folgeprojekt sollen die Tools zusätzlich bei einem Stadtwerk und einem Energieversorger integriert werden.

**Technology Readiness Level nach Projektende:** 7-8

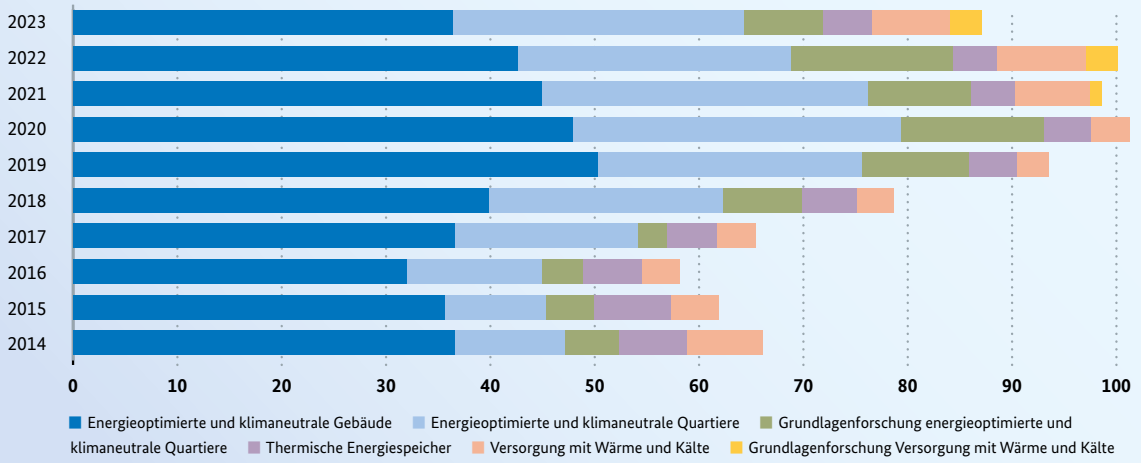
**Zuwendungsempfänger:** Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung und KT-Elektronik, Klaucke und Partner GmbH
**Förderndes Ministerium:** BMWK
**Förderkennzeichen:** 03ET1668 A-B
**Fördermittelansatz:** rund 1 Million Euo
**Projektlaufzeit:** 2019 – 2022
**Projektbeschreibung auf EnArgus:**

MEHR INFO

*„Unsere Tools sollen wirtschaftliche und energetische Optimierungen des Netzbetriebs der Bestandsinfrastruktur ermöglichen, von denen die Fernwärmeunternehmen ab sofort profitieren.“*

Dr. Thomas Bernard, Fraunhofer IOSB

**Abbildung 7: Fördermittel für Energie in Gebäuden und Quartieren in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 3, Seite 77)




### 2.2.2 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Über ein Viertel der Energiemenge wird in Deutschland in der Industrieproduktion eingesetzt. Mit einem Anteil von rund 28 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs war die chemische Industrie im Jahr 2022 der größte Energieverbraucher. Es folgen die Metallerzeugung und -bearbeitung mit rund 23 Prozent und die Kokerei beziehungsweise Mineralölverarbeitung mit rund 10 Prozent. Fast ein Drittel des Energieverbrauchs entfällt auf Erdgas, das die Industrie für Prozesswärme, Stromerzeugung und als Rohstoff einsetzt.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Industriezweige wie Stahl, Chemie, Zement, Aluminium, Glas, Keramik oder Papier benötigen sehr viel Wärme und Kälte für die Produktion. Es entsteht Abwärme, die weiter genutzt und in den Prozess zurückgeführt werden kann und so den Energieverbrauch in Unternehmen senkt. Innovative Lösungen für diese energieintensiven Prozesse sind etwa in der Thermoprozesstechnik zu finden. Sie ermöglichen es, die Energieeffizienz zu steigern, $CO_2$-Emissionen zu reduzieren und erneuerbare Energien in Industrieprozessen zu integrieren. Die Wärmeforschung ist im Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe mittlerweile stark vertreten. So sind 2023 zwei bisherige Arbeitsgruppen umstrukturiert worden und eine neue dazugekommen: Wärme und Abwärme, Thermoprozesstechnik sowie Wärmepumpen- und Kältetechnik. Die Forschenden können sich dadurch noch wirksamer vernetzen, um Forschungsergebnisse schneller in die Praxis zu bringen. Das ist auch in Bezug auf andere Forschungsthemen der Fall, sei es etwa die Elektrifizierung der Industrie, effizientere Fertigungsprozesse durch neue beziehungsweise optimierte Technologien oder auch Querschnittsthemen wie künstliche Intelligenz und Digitalisierung.

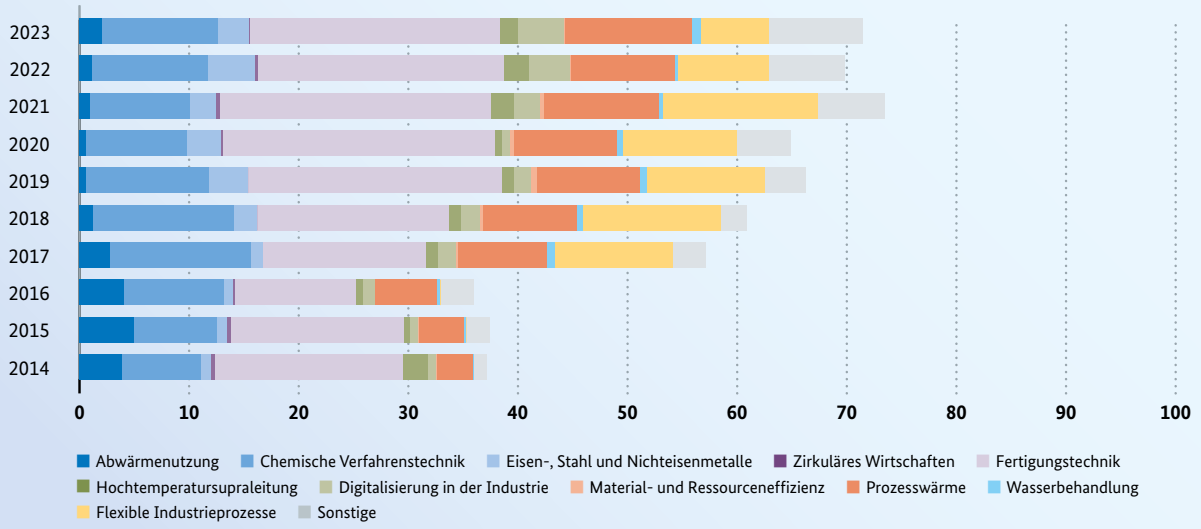
Das vom BMBF geförderte Kopernikus-Projekt SynErgie ist 2023 in die dritte Förderphase gestartet. In realer Einsatzumgebung ist ein bivalenter Schmelztiegelofen, der zwischen den Energieträgern Gas und Strom wechseln kann, in Betrieb gegangen. Das Projekt zeigt, wie die energieintensive Industrie ihren Stromverbrauch an die volatile, regenerative Stromerzeugung anpassen kann und welche regulatorischen Änderungen notwendig

sind, um die entwickelten Flexibilitätstechnologien auch umzusetzen. Dabei liegt der Fokus auf dem Transfer der Konzepte, Technologien und Lösungen für die energieflexible Fabrik vom Labor- und Technikums-Maßstab in den Industrie- und Anwendungsmaßstab. SynErgie leistet einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende und ist deshalb ein Leuchtturmprojekt der Digitalstrategie der Bundesregierung.

## Projektförderung

Im Schwerpunkt Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2023 801 laufende Vorhaben mit rund 71,45 Millionen Euro gefördert. 2023 haben die Ministerien zudem 251 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 106,40 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 8).

**Abbildung 8: Fördermittel für Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen in Mio. Euro** (Daten siehe Tabelle 3, Seite 77)



### 2.2.3 Schnittstellen der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr

Der Anteil reiner Elektroautos in Deutschland hat sich in den vergangenen zwei Jahren mehr als verdreifacht und liegt inzwischen bei über zwei Prozent. Die zunehmende Elektrifizierung des Straßenverkehrs und der steigende Anteil erneuerbarer Energien im Strommix helfen dabei, den Verkehrssektor zu dekarbonisieren. Gleiches gilt für den Einsatz von Biokraftstoffen und erste Anwendungsfälle von Wasserstoff. Zu diesen Entwicklungen leistet die Energieforschung einen relevanten Beitrag.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

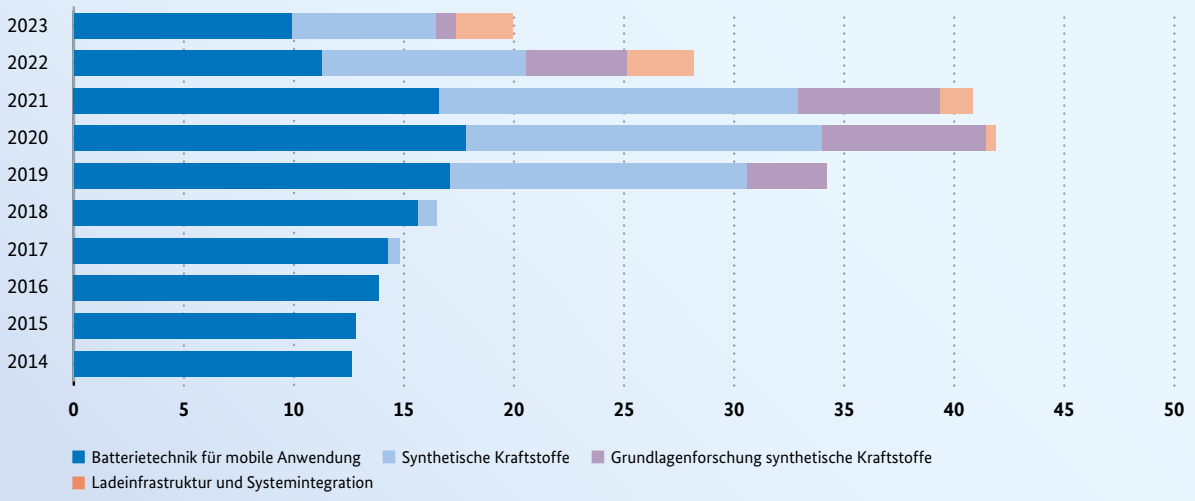
Forschung und Entwicklung im Bereich der elektrischen Mobilität umfassen alle Fahrzeugtypen. Sie geben beispielsweise Impulse für Weiterentwicklung, Nutzung und Recycling von Batterien. Strom aus erneuerbaren Energien zu nutzen ist häufig die energieeffizienteste und wirtschaftlichste Option. Daneben ist Wasserstoff ein weiterer wichtiger Baustein. Er ermöglicht 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 in der Mobilität direkt genutzt werden, zum Beispiel in Brennstoffzellen-Antrieben.

Weitere Prozessschritte ermöglichen es zudem, aus dem Wasserstoff flüssigen oder gasförmigen Kraftstoff herzustellen. Die Erforschung dieser strombasierten Kraftstoffe förderte das BMWK mit der Initiative „Energiewende im Verkehr“. Sie hat ihre Ergebnisse im vergangenen Jahr in einem Leitfaden veröffentlicht.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Schnittstellen der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr hat das BMWK im Jahr 2023 177 laufende Vorhaben mit rund 19,92 Millionen Euro gefördert. 2023 hat das Ministerium zudem 18 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 11,66 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 9).

**Abbildung 9: Fördermittel für Energieforschung zu Mobilität und Verkehr in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 3, Seite 77)



PROJEKTPORTRÄT

**Dritte Phase der Kopernikus-Projekte für die Energiewende** *(Ariadne, ENSURE, P2X, SynErgie)*

Die Kopernikus-Projekte gehören zu den größten Forschungsinitiativen für die Energiewende. Ihr Konzept und Aufbau war seinerzeit ein Novum: Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft arbeiten gemeinsam an Lösungen mit systemischer Relevanz. Mit vier Schwerpunkten betrachten sie die Energiewende ganzheitlich: Politikmaßnahmen und Bürgerbeteiligung (Ariadne), Stromnetz der Zukunft (ENSURE), Erzeugung von strombasierten Energieträgern und chemischen Rohstoffen (P2X) und die Anpassung der Industrie auf das schwankende Stromangebot (SynErgie).

Die Projekte sind auf eine Gesamtlaufzeit von zehn Jahren angelegt. Sie befinden sich jetzt in der dritten Phase, die sich der praktischen Implementierung der Technologien sowie dem Wissenstransfer widmet. Ariadne zeichnet mit Tools wie dem „Transformation Tracker“ und Studien den roten Faden durch die Energiewende. Auch startet ein zweiter Beteiligungsprozess, der die Meinungsvielfalt der Öffentlichkeit in die Forschung einbindet. ENSURE setzt auf einen modularen, hochflexiblen und übertragbaren Ansatz für zukünftige Netzstrukturen. Dazu gehört, das Stromnetz nicht isoliert, sondern sektorgekoppelt mit weiteren Energieträgern und deren Infrastruktur zu denken. P2X konzentriert sich nach erfolgreichen Demonstrationen, zum Beispiel in der Low-Iridium-Elektrolyse, auf strombasierte synthetische Flugkraftstoffe. Zwei Satelliten (eigenständige, aber eng mit P2X vernetzte Vorhaben) fokussieren Polymere und Chemikalien als weitere wichtige Power-to-X-Produkte. SynErgie beweist mit der Modellregion Augsburg, dass der Ansatz für Energieflexibilisierung gelingen kann und übertragbar ist. Als Leuchtturm der Digitalstrategie Deutschlands liegt ein wichtiger Fokus darauf, wie sich ein energieflexibler Betrieb von Produktionsstätten mittels digitaler Tools und Steuerungselementen großflächig umsetzen lässt.

In den Kopernikus-Projekten leisten Forschende Pionierarbeit für die Energiewende: Durch die ganzheitliche Vermittlung von Zivilgesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft entstehen Wege zu Klimaneutralität auf systemischer Ebene.

**Technology Readiness Level nach Projektende:** 7-8

**Zuwendungsempfänger:** Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Siemens, Karlsruher Institut für Technologie, Universität Stuttgart und 134 weitere Verbundpartner.
**Förderndes Ministerium:** BMBF
**Fördermittelansatz:** 110 Millionen Euro (3. Förderphase)
**Projektlaufzeit:** 2023 – 2027

*„Die Kopernikus-Projekte spielen bei der erfolgreichen Gestaltung der Energiewende eine entscheidende Rolle, denn sie bringen mit Partnern aus Industrie, NGOs und Wissenschaft verschiedene Perspektiven aus Praxis und Forschung zusammen, um gangbare Wege zur Klimaneutralität auszuleuchten. Diesen integrativen Ansatz braucht es jetzt mehr denn je, denn über alle Sektoren hinweg müssen die Emissionen gesenkt und die Energieversorgung auf neue Füße gestellt werden. Für diesen enormen Kraftakt sind neue Technologien genauso nötig wie wirksame Politikinstrumente und gesellschaftlicher Rückhalt.“*

Prof. Dr. Ottmar Edenhofer, Potsdam-Institut für Klimaforschung, Ariadne-Projektleiter

## 2.3 Energieerzeugung

### 2.3.1 Photovoltaik

Zentral für die Perspektiven der Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland ist die im Mai 2023 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) veröffentliche „Photovoltaik-Strategie“. Grundlage der Strategie ist das Zwischenziel, 215 Gigawatt installierte Photovoltaik-Leistung (PV) im Jahr 2030 zu erreichen. Innerhalb weniger Jahre muss daher der jährliche Ausbau der Photovoltaik von gut 7 Gigawatt im Jahr 2022 auf 22 Gigawatt verdreifacht werden. Neben Erleichterungen bei den PV-Installationen – Stichworte sind hier Freiflächen- und Dachanlagen, Mieterstrom, Balkonkraftwerke, Netzanschluss und Akzeptanz – wird auch die Weiterentwicklung der Förderung im Forschungsbereich innerhalb des 8. Energieforschungsprogramms herausgestellt.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

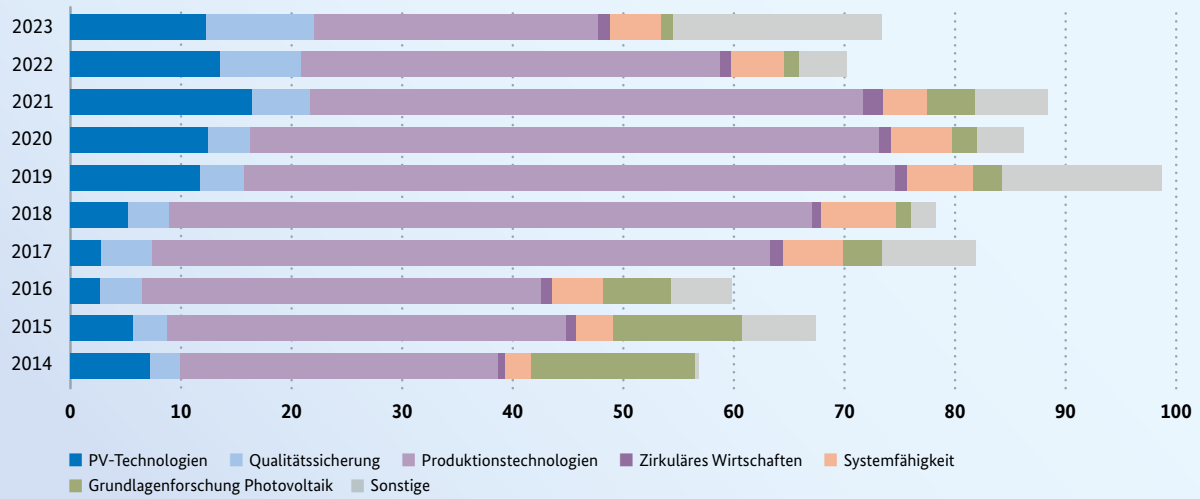
Der schnelle Ausbau der Photovoltaik stellt zwei wesentliche Anforderungen an die Forschungsförderung: Einerseits müssen weitere Innovationen auf den Weg gebracht werden, um den Umbau des Energiesystems kostenminimiert zu gestalten. Andererseits besteht der Anspruch, die Lieferketten abzusichern und eine wettbewerbsfähige, europäische Produktion anzureizen.

Im Fokus steht dabei nach wie vor die Entwicklung einer neuen Generation von Tandem-Solarzellen aus Silizium- und Perowskit-Teilzellen. Damit werden inzwischen Wirkungsgrade von über 33 Prozent erreicht. Hierzu arbeiten Institute und Industrie in der Forschung eng zusammen. Es wird erwartet, dass dieser Ansatz zeitnah auf industrietaugliche Formate skaliert und damit in die Produktionsnähe gebracht werden kann.

Zudem tritt der Ressourcenverbrauch zunehmend in den Vordergrund. Für einen zukünftig umweltneutralen Ausbau der Photovoltaik ist es grundlegend, ressourcenschonendere Verfahren entlang der gesamten Wertschöpfungskette einzusetzen, umweltbelastende Materialien zu vermeiden und ein umfassendes Recycling zu realisieren.

Darüber hinaus ist es ein Forschungsschwerpunkt der BMBF-Förderung, Solarzellen und die dazugehörige Infrastruktur des afrikanischen Kontinents

**Abbildung 10: Fördermittel für Photovoltaik in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 78)



zu analysieren und zu optimieren. Die entsprechenden Projekte erforschen unter anderem Ertragsanalysen der Photovoltaik im Hinblick auf Nahrungsmittelerzeugung, Energieversorgung und Elektromobilität.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Photovoltaik haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2023 461 laufende Vorhaben mit rund 73,38 Millionen Euro gefördert. 2023 haben die Ministerien zudem 93 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 65,90 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 10, S. 30).

### 2.3.2 Windenergie

Ein Energieversorgungssystem, das auf erneuerbaren Energien basiert, braucht die Windenergie: Im Jahr 2023 hat diese erneut den größten Beitrag der Stromversorgung aus erneuerbaren Energien geleistet. Mit 31,1 Prozent bleibt sie im gesamten deutschen Strommix der wichtigste Energieträger – vor fossilen Energien wie etwa der Braunkohle. Zusammen haben die Anlagen an Land und auf dem Meer etwas mehr als 142 Milliarden Kilowattstunden Strom produziert, rund 14 Prozent mehr im Vergleich zum Vorjahr. Es wurden mehr Anlagen neu installiert als im Jahr zuvor, der Zubau hat sich beschleunigt. Die ans Netz angeschlossene Leistung durch Windenergieanlagen an Land ist dadurch netto um rund 3 Gigawatt (2022: 2,1 Gigawatt) gestiegen. 258 Megawatt stammen von neuen Offshore-Windenergieanlagen.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Förderprojekte des BMWK sollen dazu beitragen, die Nutzung von Windenergie sowohl Onshore als auch Offshore verlässlicher, kostengünstiger und umweltverträglicher zu gestalten. Forschung ist in allen Phasen der Lebensdauer von Windenergieanlagen möglich: vom Anlagendesign über die Herstellung, die Errichtung, den Betrieb, den Rückbau bis hin zum Recycling der eingesetzten Materialien und Komponenten. Optimiert werden neben der Anlagentechnik unter anderem auch die Logistik, die Überwachung und Wartung der Anlagen sowie Strategien zur Betriebsführung.

Die Integration der von Windparks bereitgestellten Energie in das System ist ebenfalls Forschungsgegenstand von BMWK-geförderten Projekten. Wichtige Schwerpunkte sind hierbei einerseits netzbildende und netzdienliche Eigenschaften von Windenergieanlagen. Andererseits sollen Energiebedarf und Energiebereitstellung möglichst gut verzahnt werden, auch in Verbindung mit anderen erneuerbaren Energiequellen und -formen. Innovationen hinsichtlich der Versorgungssicherheit und der Resilienz gegenüber internen und externen Störungen werden ebenfalls unterstützt.

Die Ergebnisse der Windenergieforschung sollen dabei helfen, die Energiewende zu beschleunigen. Bestehende Hemmnisse sollen identifiziert und behoben werden, zusätzliche Standorte sollen erschlossen oder bereits verfügbare Standorte mehrfach genutzt beziehungsweise durch Repowering aufgewertet werden. Vor diesem Hintergrund spielen etwa Fragestellungen zur Akustik, zur Störwirkung von Windenergieanlagen und zur Akzeptanz durch die Bevölkerung eine bedeutende Rolle. Innovationen für den Natur- und Artenschutz, die Untersuchung unterschiedlicher Formen der Beteiligung liefern mögliche Lösungsansätze.

Offshore-Windenergieanlagen erzeugen deutlich mehr und regelmäßiger Strom als ihre Pendants an Land. Dieses Potenzial soll genutzt werden, um Wasserstoff und seine Folgeprodukte direkt auf See aus erneuerbarem Strom herzustellen. Hierfür wird der Elektrolyseur mit einer Windkraftanlage gekoppelt. Damit dies gelingt, müssen sowohl der Elektrolyseur als auch die Windkraftanlage angepasst werden. Das BMBF fördert dazu zwei Projekte. Das Projekt $H_2$Wind passt den Elektrolyseur an die rauen Bedingungen auf See an. Das Projekt OffgridWind fokussiert sich auf die Anpassungen aufseiten der Windkraftanlage. Die direkte Kopplung von Windkraftanlage und Elektrolyseur kann

die Kosten der Wasserstoffproduktion minimieren. Denn ohne eine Anbindung an das Stromnetz sinken die Infrastrukturkosten erheblich. Zudem entlastet die Entkopplung von Elektrolyse und Netz die örtlichen Netzstrukturen. Ein weiterer Vorteil der Wasserstoff-Herstellung im Meer: Hier stehen weit größere Flächen zur Erzeugung von Windenergie zur Verfügung als an Land.

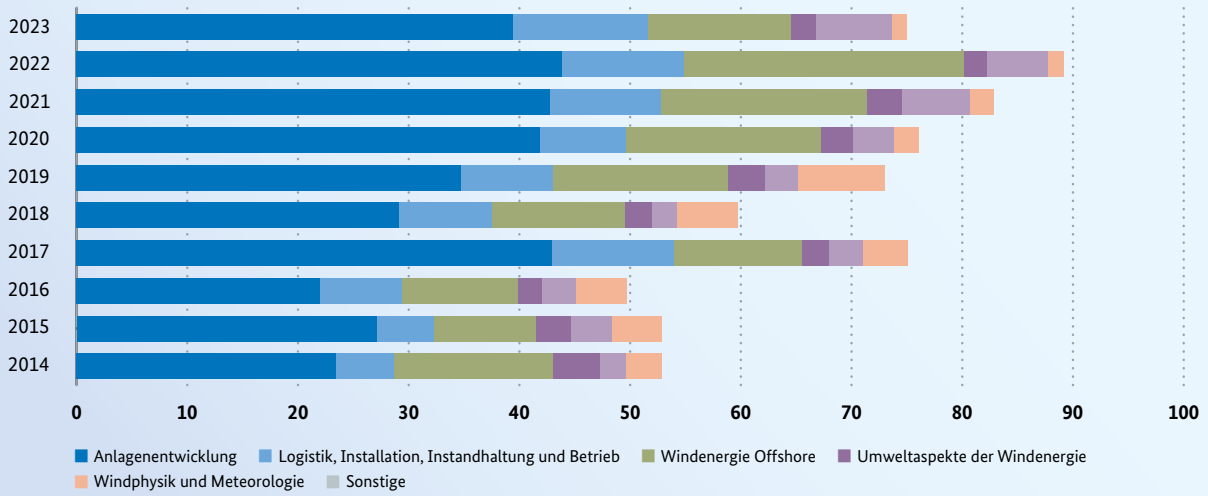
### Projektförderung

Im Schwerpunkt Windenergie haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2032 471 laufende Vorhaben mit rund 74,97 Millionen Euro gefördert. 2023 haben die Ministerien zudem 99 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 62,70 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 11).

## 2.3.3 Bioenergie

Mit etwa zwei Dritteln stellt Bioenergie nach wie vor den größten Teil erneuerbarer Energien in Deutschland, trotz des fortschreitenden Ausbaus erneuerbarer Energien wie Solar- und Windenergie. In Anbetracht des begrenzten Biomassepotenzials bieten nicht biomassebasierte, insbesondere strom- und wasserstoffbasierte, Technologien jedoch in der Regel die langfristig effizientesten Defossilisierungsoptionen im Energie- und Industriesektor. Aktuell werden noch rund 85 Prozent der erneuerbaren Wärme und ebenfalls rund 85 Prozent der nachhaltigen Kraftstoffe auf der Grundlage von Biomasse erzeugt. Im Bereich der Stromerzeugung konnte der Anteil an Wind- und Solarenergie in den letzten Jahren deutlich ausgebaut werden. Wind- und Solarenergie sollten vorrangig eingesetzt werden, um die Nutzung der begrenzten Biomassepotenziale in den Bereichen zu fokussieren, in denen diese Alternativen nicht oder noch nicht ausgereift zur Verfügung stehen. Der Einsatz von Biomasse zur Energiegewinnung kann zum Beispiel dort sinnvoll sein, wo dies unabdingbar zur flexiblen, bedarfsgerechten Deckung der Spitzenlast in der Stromversorgung (Biogas/-methan) oder zur Gewinnung von Hochtemperaturprozesswärme in der Industrie ist. Auch die effiziente Nutzung lokaler und regionaler Stoffkreisläufe kann eine wirtschaftlich sinnvolle Anwendung sein. Dabei kommt der Vergärung von Gülle und Mist als derzeit einzige technisch und zugleich wirtschaftlich etablierte Lösung zur Reduzierung von Methanemissionen aus Wirtschaftsdüngern eine besondere Bedeutung zu.

**Abbildung 11: Fördermittel für Windenergie in Mio. Euro** (Daten siehe Tabelle 4, Seite 78)



## Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

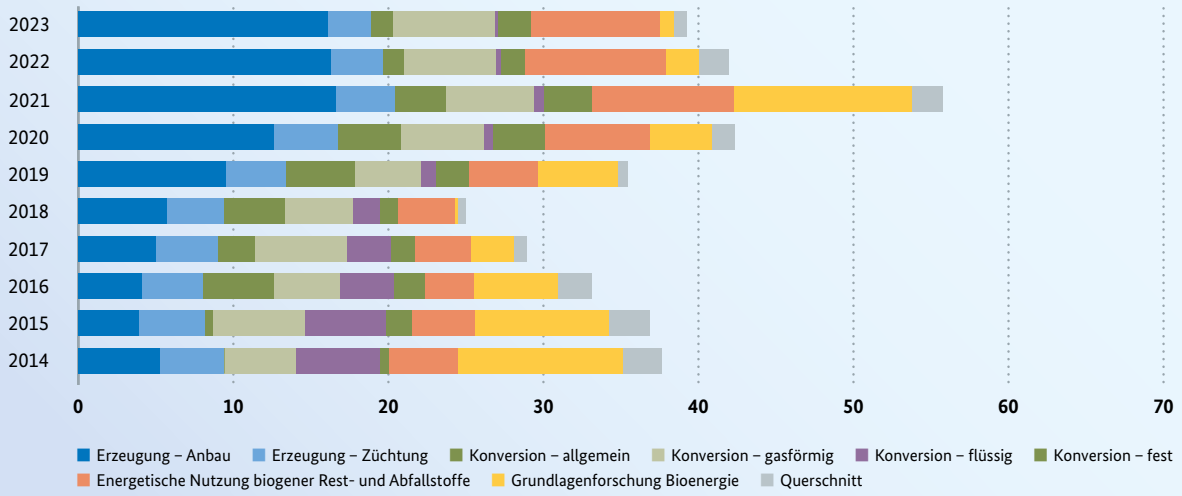
Das BMEL fördert im Themenbereich Bioenergie Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben zu verschiedenen Forschungsschwerpunkten des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“. Zur Untersetzung dieser Schwerpunkte starteten in den vergangenen Jahren diverse Förderaufrufe, zu denen nun die ersten Projekte erfolgreich beendet wurden. So konnten im vergangenen Jahr die Fördervorhaben aus den Aufrufen „Stärkung der landwirtschaftlichen Rest- und Abfallstoffverwertung für die Biogaserzeugung“ und „Flexibilisierung der Biogaserzeugung“ abgeschlossen werden. Projekte aus weiteren Aufrufen wie etwa „Energetische und emissionsmindernde Nutzung von Wirtschaftsdüngern“ oder „Saubere Verbrennung von festen Biobrennstoffen in Kleinfeuerungsanlagen (KFA) mit sehr geringen Schadstoffemissionen“ befinden sich noch in der Bearbeitung durch die Zuwendungsempfänger.

Seit dem 1. Januar 2024 ersetzt das neue Förderprogramm „Nachhaltige Erneuerbare Ressourcen“ (FPNR 2024) das bisherige Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ (FPNR 2015) des BMEL.

Das FPNR 2024 zielt auf die Weiterentwicklung einer nachhaltigen Bioökonomie. Dabei spielt die nachhaltige Gewinnung und Nutzung von Biomasse aus der Land-, Forst- und Abfallwirtschaft die entscheidende Rolle. Mit dem Programm sollen zum einen die Entwicklung innovativer, international wettbewerbsfähiger Produkte aus erneuerbaren Ressourcen sowie Verfahren und Technologien zu deren Herstellung gefördert und zum anderen die Entwicklung von Konzepten, die auf die Verbesserung der Nachhaltigkeit der biobasierten Wirtschaft ausgerichtet sind, unterstützt werden. Die Umsetzung des Förderprogramms erfolgt über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger.

Im Förderschwerpunkt „energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe“ des BMWK stehen die Entwicklung und Erprobung zukunftsweisender Technologien sowie Verfahrens- und Prozessoptimierungen im Mittelpunkt, die eine effiziente, wirtschaftliche und vor allem nachhaltige Erzeugung der Bioenergie ermöglichen. Zentral sind praxisorientierte Lösungen mit Demonstrations- und Pilotcharakter, die die flexible Erzeugung von Strom und Wärme aus Biomasse, die Bereitstellung von Biokraftstoffen sowie die Erschließung bioge-

**Abbildung 12: Fördermittel für Bioenergie in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 78)

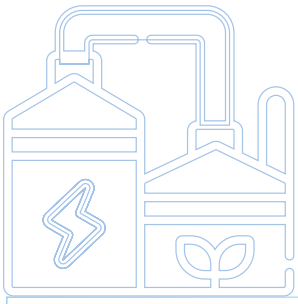


ner Rest- und Abfallstoffe unterstützen. Systemintegration, Sektorkopplung und Digitalisierung sind weitere Aspekte. Außerdem rücken Vorhaben zur biogenen Wasserstofferzeugung in den Fokus. Im Wärmebereich werden vor allem Lösungen zur Dekarbonisierung von Hochtemperaturprozessen gesucht. Im Niedertemperaturbereich stehen Innovationen für die Beheizung von Gebäuden und 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 $CO_2$-Abscheidung inklusive der Verwendungs- und Nutzungsoptionen mit BECCUS (bioenergy with carbon capture and storage or utilization). Das Deutsche Biomasseforschungszentrum DBFZ begleitet den Förderschwerpunkt wissenschaftlich mit dem Ziel, die Vernetzung und den Wissenstransfer zu unterstützen.

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

### Projektförderung

Im Schwerpunkt Bioenergie hat die Bundesregierung im Jahr 2023 694 laufende Vorhaben mit rund 44,87 Millionen Euro gefördert. 2023 hat der Bund zudem 166 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 83,49 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 12, S. 33).



*„Der Koppelprodukteinsatz erfordert Anpassungen im täglichen Anlagenbetrieb und oft auch an der Technik. Eine entsprechende Amortisationszeit und ein höheres Arbeitsaufkommen sind hier von Anfang an einzukalkulieren.“*

Prof. Wilfried Zörner,
Technische Hochschule Ingolstadt

PROJEKTPORTRÄT

**LaRA**

*Landwirtschaftliche Rest- und Abfallstoffverwertung (LaRA) - Lösungsansätze zur technischen Anpassung bestehender Biogasanlagen für die Nutzung faseriger Reststoffe*

Das Ziel des Verbundvorhabens bestand in der Entwicklung von Lösungsansätzen und Anlagenkonzepten zur Schaffung optimaler prozess- und anlagentechnischer Rahmenbedingungen für die Verwertung der faserhaltigen Reststoffkategorien Stroh, Landschaftspflegegras und Festmist in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Die Grundlage der Konzeptentwicklung bildeten umfassende Untersuchungen an insgesamt 15 bundesweit verteilten Praxisanlagen unter Berücksichtigung prozess-, anlagentechnischer und (sozio-)ökonomischer Fragestellungen. Die Lösungsansätze und Maßnahmen wurden zu anlagen- und standortspezifisch optimierten Anlagenkonzepten zusammengefasst und als Handlungsempfehlung in einer Handreichung für Anlagenbetreiber formuliert.

Dieser Praxisleitfaden wurde Anfang 2023 (siehe: https://www.carmen-ev.de/download/lara-leitfaden/) veröffentlicht und umfasst nachfolgende Inhalte:

- Formulierung von Handlungsempfehlungen auf Grundlage der langzeitlichen und umfassenden Untersuchungen ausgewählter Praxisanlagen,
- Identifikation von zukunftsfähigen anlagentechnischen Adaptionen auf der Basis einer belastbaren und praxisorientieren Datengrundlage,
- Definition praxistauglicher und marktfähiger Anlagenkonzeptvarianten auf der Basis von praktisch bestätigten Anwendungsbeispielen,
- Betrachtung der ökonomischen Einflüsse und Perspektiven einer vermehrten Koppelproduktnutzung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen; Gegenüberstellung der Mehrkosten und Ersparnisse über die gesamte Wertschöpfungskette,

Im Projekt LaRA sind Lösungsansätze und Anlagenkonzepte entstanden, mit denen prozess- und anlagentechnische Rahmenbedingungen für das Verwerten von Stroh, Landschaftspflegegras und Festmist in landwirtschaftlichen Biogasanlagen optimiert wurden.

- Berücksichtigung von verschiedenen gesellschaftlichen Aspekten, wie die regionale Einbindung und Akzeptanz, lokale Geschäftsbeziehungen sowie Hof- und Betriebsnachfolge, bei der Beurteilung der Übertragbarkeit unterschiedlicher Anlagenkonzepte.

**Technology Readiness Level nach Projektende:** 9

**Zuwendungsempfänger:** Technische Hochschule Ingolstadt, Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB), C.A.R.M.E.N. e.V.
**Förderkennzeichen:** 22042218, 2219NR158, 2219NR196
**Fördermittelansatz:** 600.000 Euro
**Projektlaufzeit:** 2018 – 2022
**Projektbeschreibung auf EnArgus:**

MEHR INFO

MEHR INFO

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.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Erdwärme wird verstärkt für die Wärme- und Kälteversorgung von Haushalten, Quartieren und Unternehmen eingesetzt. Im Bereich der tiefen Geothermie – also ab Tiefen von mehr als 400 Metern – werden in Deutschland laut Bundesverband Geothermie aktuell 42 Heiz- und Kraftwerke sowie kombinierte Heizkraftwerke betrieben. Zusammen erzielen sie eine Wärmeleistung von rund 417 Megawatt und eine elektrische Leistung von rund 46 Megawatt. Im Bereich der oberflächennahen Geothermie, die in Tiefen bis 400 Meter angesiedelt ist, sind über 470.000 Anlagen installiert. Hierzu gehören beispielsweise Erdwärmesonden oder -kollektoren kombiniert mit Wärmepumpen. Die Anlagen haben zusammen eine Wärmeleistung von rund 4.700 Megawatt.

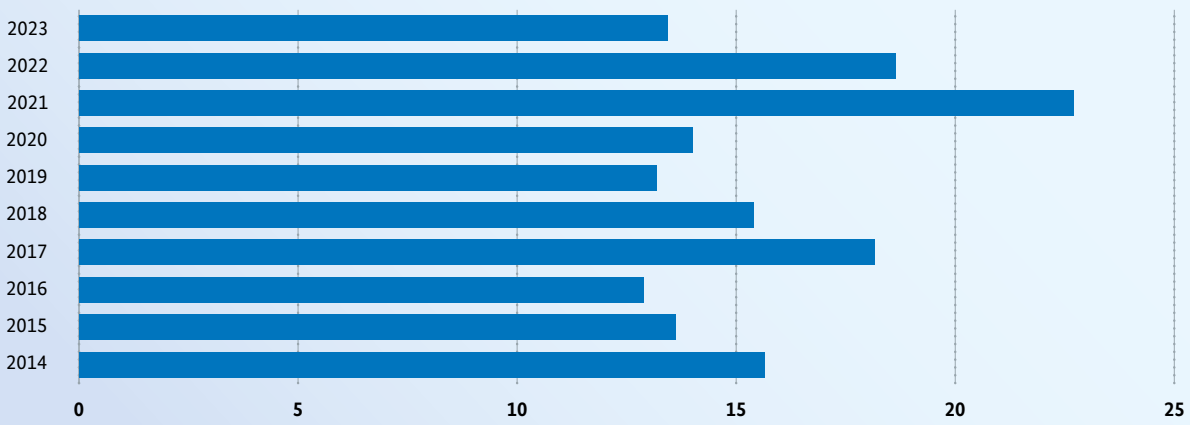
Strategisch soll die Geothermie in Deutschland weiter ausgebaut werden, um sie verstärkt zur Wärme- und Kälteversorgung sowie zum Speichern von Wärme zu nutzen. Geförderte Forschungsprojekte innerhalb des 7. Energieforschungsprogramms des BMWK sollen dazu beitragen, indem sie die Geothermie schnell einsetzbar machen, Kosten und Risiken beim Erschließen und Nutzen reduzieren sowie die Bekanntheit und Akzeptanz der Geothermie steigern. Zudem soll mit einem Fokus auf Demonstrations- und Pilotvorhaben der Praxistransfer neuer Technologien beschleunigt werden.

Das BMWK hat in einem Eckpunktepapier konkrete Maßnahmen benannt, um das Potenzial der Geothermie für die Wärmewende noch besser auszuschöpfen. Bis zum Jahr 2030 sollen mindestens 100 zusätzliche geothermische Projekte angestoßen werden.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Geothermie hat das BMWK im Jahr 2023 118 laufende Vorhaben mit rund 13,44 Millionen Euro gefördert. 2023 hat das Ministerium zudem 38 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 20,20 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 13).

**Abbildung 13: Fördermittel für Geothermie in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 78)



### 2.3.5 Wasserkraft und Meeresenergie

Auf Wasserkraft entfällt bei der deutschen Stromproduktion ein Anteil von etwa 4 Prozent. Gegenüber Wind- und Sonnenenergie bietet sie einen entscheidenden Vorteil: Wasserkraft ist weitgehend witterungsunabhängig und in der Regel kontinuierlich verfügbar. Geeignete Standorte in Deutschland sind mit vorhandenen Technologien jedoch nahezu ausgeschöpft. Daher setzen Forschende auf innovative Entwicklungen, um die Leistung bestehender Anlagen zu erhöhen und um neue Standorte zu erschließen. Wie Wasserkraft dazu beitragen kann, besser auf einen schwankenden Energiebedarf zu reagieren, wird ebenfalls erforscht. Die Entwicklung und Demonstration von Meeresströmungsturbinen sowie Wellenenergiekonvertern werden im Bereich Meeresenergie gefördert.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Wasserkraft und Meeresenergie hat das BMWK im Jahr 2023 fünf laufende Vorhaben mit rund 0,25 Millionen Euro gefördert. 2023 hat das Ministerium zudem zwei Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 1,25 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 14).

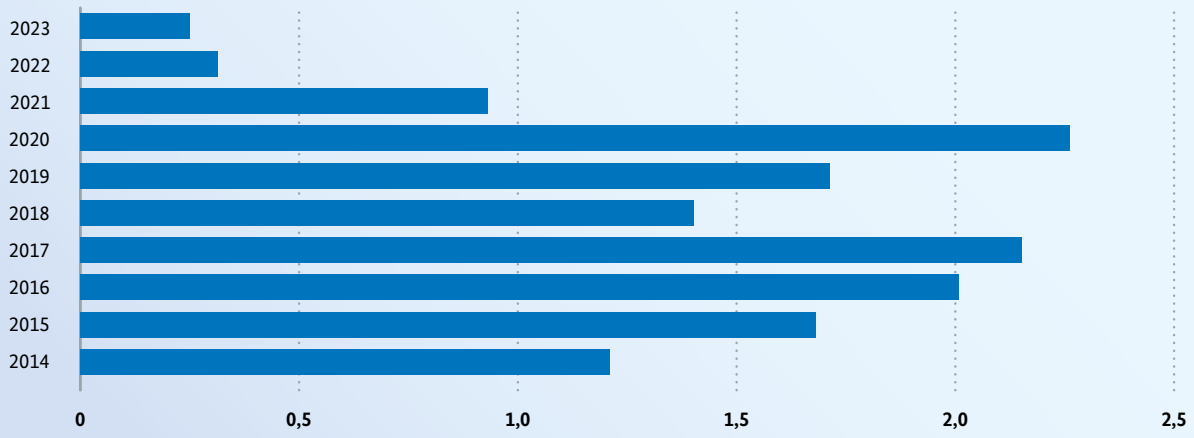
### 2.3.6 Thermische Kraftwerke

Thermische Kraftwerke liefern bedarfsgerecht Strom, wenn witterungsbedingt keine oder zu wenig elektrische Energie aus regenerativen Energiequellen produziert werden kann. Damit sie in Zeiten der Energiewende effizient und emissionsarm arbeiten, werden die fossilen Brennstoffe sukzessive durch Wasserstoff, synthetische Gase oder andere alternative Brennstoffe ersetzt.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Erdgas hat andere Verbrennungseigenschaften als Wasserstoff oder alternative Gase: So variieren beispielsweise die beim Verbrennen entstehenden Temperaturen, die Flammengeschwindigkeiten oder die Zündverzugszeiten. Die Forschung trägt dazu bei, darauf angepasste Bauteile, Anlagenkonzepte und Betriebsprozesse zu entwickeln – auch für Power-to-X-to-Power-Prozesse. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler arbeiten zudem daran, die verwendeten Werkstoffe – etwa für Beschichtungen der Turbinenschaufeln – an die neuen Brennstoffe anzupassen und den Wirkungsgrad der Kraftwerksprozesse zu erhöhen.

Abbildung 14: Fördermittel für Wasserkraft und Meeresenergie in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 78)



Solarthermische Kraftwerke hingegen produzieren elektrische Energie aus konzentrierter Sonnenenergie. Diese klimafreundliche Form der Stromerzeugung gewinnt in sonnenreichen Ländern wie Spanien, Marokko oder den Vereinigten Arabischen Emiraten immer weiter an Bedeutung. Deutschland besitzt witterungsbedingt lediglich Demonstrationsanlagen zu Forschungszwecken, darüber hinaus aber auch eine große Kompetenz im entsprechenden Anlagen- und Maschinenbau. Diese soll für den Export weiter gestärkt werden – etwa mit Forschungsarbeiten an Receivertechnologien und neuen Wärmeträgermedien wie Flüssigsalz.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt thermische Kraftwerke hat das BMWK im Jahr 2023 358 laufende Vorhaben mit rund 35,26 Millionen Euro gefördert. 2023 hat das Ministerium zudem 58 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 29,58 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 15).

## 2.4 Systemintegration

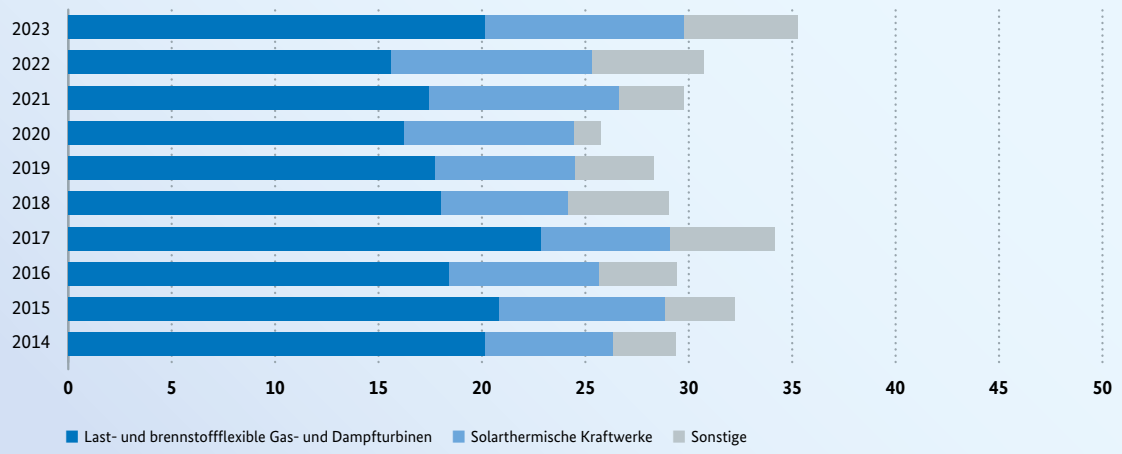
### 2.4.1 Stromnetze

Damit die Stromnetze die wachsenden Mengen an erneuerbar erzeugtem Strom integrieren können, muss ihre Aufnahme- und Transportkapazität erhöht werden. Das geschieht nicht nur durch zusätzliche Leitungen, sondern auch, indem Betreiber die Netze digitalisieren und zu Smart Grids weiterentwickeln.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

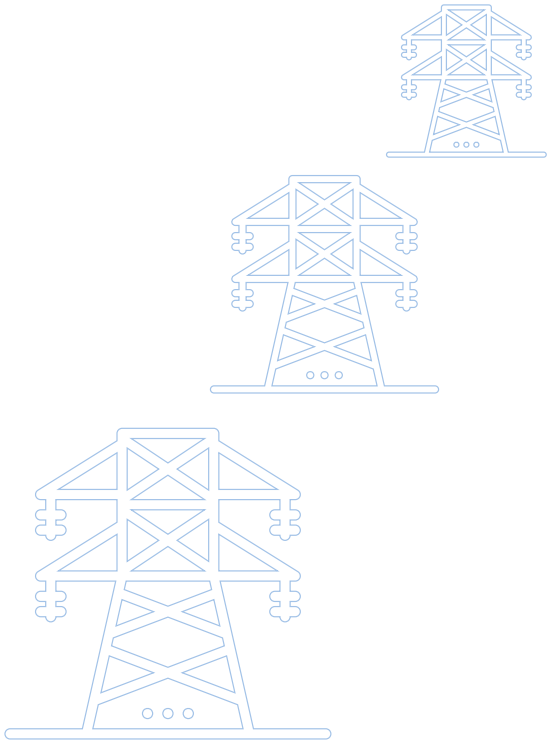
Im Mai 2023 hat das BMWK den Förderaufruf OptiNetD veröffentlicht. Mit dem Aufruf sollen Verteilnetze auf Nieder- und Mittelspannungsebene vorangebracht werden. Die ersten bewilligten Vorhaben starten im Laufe des Jahres 2024. OptiNetD unterstützt thematisch die Roadmap Systemstabilität des BMWK, indem der Förderaufruf wichtige Aspekte zur Stabilität des Stromnetzes adressiert. Hierzu zählen zum Beispiel der netzdienliche und -stützende Einsatz von umrichterbasierten Anlagen, wie Photovoltaikanlagen oder

**Abbildung 15: Fördermittel für Thermische Kraftwerke in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 78)



Speichern, sowie die Flexibilisierung der Netze. Ziel der Förderung ist es, Verteilnetze höher auslasten zu können, systemdienliche und netzbildende Beiträge zu erschließen sowie Kosten der Netzbetreiber zu senken.

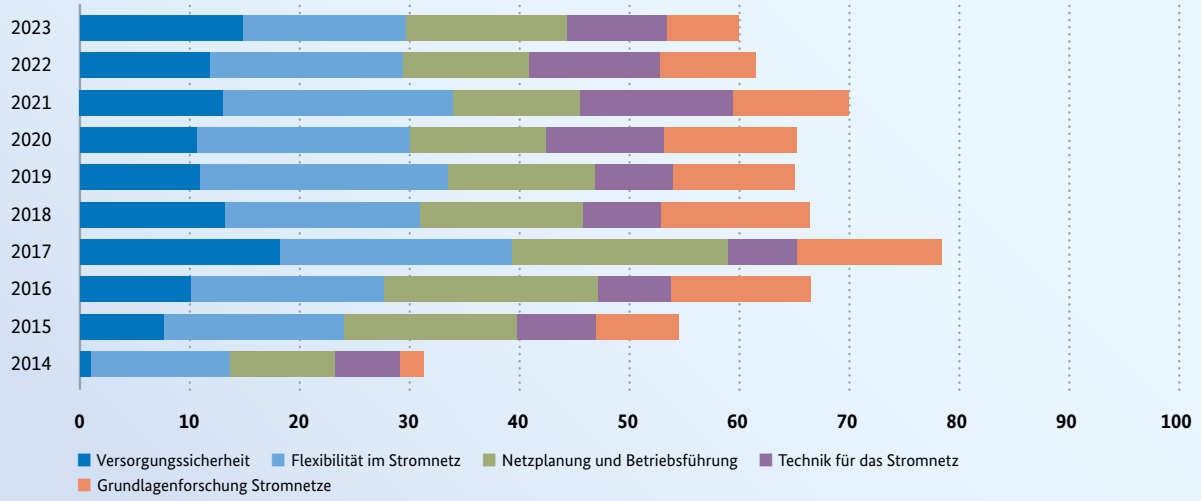
Die BMBF-Förderung hat ihren Schwerpunkt 2023 auf das Kopernikus-Projekt ENSURE (Neue Energienetzstrukturen für die Energiewende) und den Forschungscampus Flexible Elektrische Netze gelegt. Weitere Verbünde erforschten ergänzende Fragestellungen, beispielsweise zu resilienten Stromnetzen oder der Arbeitsplatzgestaltung für Netzleitstellen.



## Projektförderung

Im Schwerpunkt Stromnetze haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2023 582 laufende Vorhaben mit rund 59,78 Millionen Euro gefördert. 2023 haben die Ministerien zudem 129 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 77,84 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 16).

**Abbildung 16: Fördermittel für Stromnetze in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 79)



PROJEKTPORTRÄT

## flexQgrid

*Praxisorientierte Umsetzung des quotenbasierten Netzampelkonzepts zur Flexibilitätsnutzung im und aus dem Verteilnetz*

Viele Kunden des Verteilnetzbetreibers NetzeBW möchten mit Photovoltaikanlagen selbst Strom erzeugen. Weil immer mehr Haushalte nicht nur Strom verbrauchen, sondern auch selbst produzieren und ins Netz einspeisen, können Engpässe im Netz entstehen. Wie diese am besten vermieden werden können, hat das Forschungsteam im Niederspannungsnetz im sonnenreichen Ort Freiamt im Schwarzwald untersucht. Um zu zeigen, dass die entwickelten technischen Lösungen des sogenannten Smart Grids funktionieren, haben die Forschenden diese für 17 Monate im realen Betrieb getestet.

Dafür installierten die Fachleute bei 41 Feldtestteilnehmenden Mess-, Steuer- und Kommunikationstechnik. Dann vernetzten sie die eingebundenen Anlagen miteinander. Das Forschungsteam kam zu fünf Hauptergebnissen:

1. Um Flexibilität effizient nutzen zu können, ist es erforderlich, die Schnittstellen zwischen Kundenanlagen, Energiemanagementsystemen und intelligenten Messsystemen zu standardisieren.

2. Damit ein Smart Grid zuverlässig betrieben werden kann, müssen eine robuste Kommunikationsinfrastruktur und zentrale und lokale Systeme optimal zusammenspielen.

3. Wenn die aktuellen technischen Standards und Regeln für intelligente Messsysteme weiterentwickelt werden, steigt der Nutzen für Netzbetreiber, Kunden und Marktteilnehmer.

4. Engpässe konnten mithilfe der Netzampel erfolgreich vermieden und behoben werden.

5. Die Flexibilitätsnutzung bietet großes Potenzial, wenn Netzkunden akzeptieren, dass Netzbetreiber das Energiemanagementsystem im Engpassfall aktiv und intelligent steuern.

Projekteiterin Carmen Schantl

In vielen Fällen haben die Feldtestteilnehmenden dies nicht einmal bemerkt. Die Forschungserkenntnisse zeigen: Das Smart Grid wird in Zukunft einen Beitrag dafür leisten, dass der Netzbetrieb künftig wirtschaftlich und sicher bleibt.

**Technology Readiness Level nach Projektende:** 7

**Zuwendungsempfänger:** NetzeBW und sieben weitere Verbundpartner.
**Förderndes Ministerium:** BMWK
**Förderkennzeichen:** 03EI4002A-H
**Fördermittelansatz:** 5,2 Millionen Euro
**Projektlaufzeit:** 2019 – 2023
**Projektbeschreibung auf EnArgus:**

MEHR INFO

*„Ich freue mich, dass wir mit unseren Forschungsfragen hochaktuelle Energiewende-Themen berühren und nun konkrete Antworten geben können. Ich hoffe, dass die Ergebnisse zu den laufenden Diskussionen rund um Engpassmanagement und Smart Meter beitragen können. Ich denke dabei zum Beispiel an die Neugestaltung des Energiewirtschaftsgesetzes und an das Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende.“*

Carmen Schantl, NetzeBW

### 2.4.2 Stromspeicher

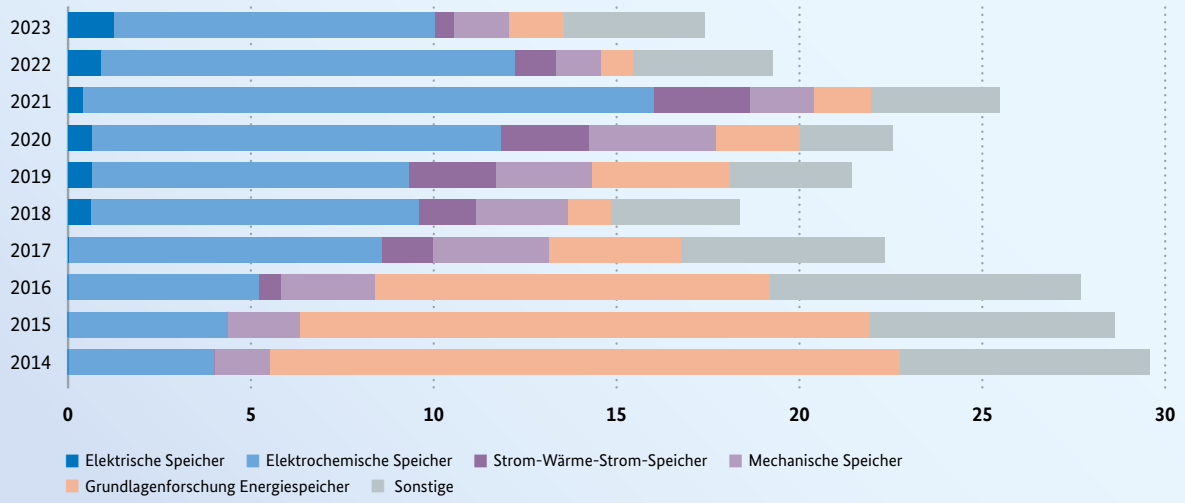
Die Erzeugung von erneuerbaren Energien schwankt – je nach Witterung. Damit das Netz stabil ist, müssen Stromeinspeisung und -verbrauch stets im Einklang sein. Den ermöglicht die zuverlässige Stromspeicherung. Batterien lagern überschüssige Energie zwischen und machen sie später wieder verfügbar.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Im Dezember 2022 hat das BMWK den Förderaufruf IMSES für die optimierte Systemintegration von Stromspeichern veröffentlicht. Im Jahr 2023 sind im Anschluss an das Auswahlverfahren die ersten Projekte gestartet. Dazu gehören Vorhaben, in denen Fachleute daran arbeiten, die Zellen und Batteriesysteme elektrochemischer Speichertechnologien für stationäre Anwendungen weiterzuentwickeln. Dabei geht es insbesondere um das Zusammenspiel der einzelnen Batteriekomponenten von Lithium- oder Natrium-Ionen-Batterien. Mit den beiden „Important Projects of Common European Interest“ (IPCEI) im Bereich der Batterien fördert die Bundesregierung zudem außerhalb des Energieforschungsprogramms seit dem Jahr 2019 den Aufbau der Wertschöpfungskette für nachhaltige Batterieproduktion in Deutschland. Begleitet und ergänzt wurde dies im Jahr 2021 durch den Förderaufruf zur Unterstützung der Batteriezellenfertigung, welcher mit Mitteln der IPCEI-Förderung aber unter dem Dach des 7. Energieforschungsprogramms veröffentlicht wurde, sowie 2023 durch den Förderaufruf „Resilienz und Nachhaltigkeit des Ökosystems der Batteriezellfertigung“, für welchen bis November 2023 Projektideen eingereicht werden konnten. Das BMWK erwartet einen raschen Technologie- und Innovationstransfer der Forschungsergebnisse in die Praxis.

Die BMBF-Förderung zu Stromspeichern hat innovative Batteriematerialien sowie Konzepte im Rahmen der Materialforschung für die Energiewende und der deutsch-französischen Forschungszusammenarbeit fokussiert. Gewinner eines Pilotwettbewerbs für Sprunginnovationen zum Thema Weltspeicher ist der Verbund WinZIB. Er bringt ein weltweit einsetzbares, innovatives Zink-Ionen-Batteriesystem bis zu einem ersten Demonstrator unter Einbeziehung industrieller Fertigungsprozesse, die von den Unternehmen im Verbund erarbeitet werden.

**Abbildung 17: Fördermittel für Stromspeicher in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 79)



### Projektförderung

Im Schwerpunkt Stromspeicher haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2023 167 laufende Vorhaben mit rund 17,40 Millionen Euro gefördert. 2023 haben die Ministerien zudem 31 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 18,10 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 17, S. 41).

## 2.4.3 Sektorkopplung und Wasserstoff

Mithilfe von Strom aus erneuerbaren Energien erzeugter Wasserstoff ist als klimaneutraler Energieträger ein wichtiger Baustein für das künftige Energiesystem. Er ist vielseitig einsetzbar und kann so die Dekarbonisierung des Gesamtsystems unterstützen. Sei es in der Industrie als Rohstoff, für Brennstoffzellenautos oder synthetische Kraftstoffe im Verkehrsbereich oder als Speichermedium für erneuerbare Energie im Strombereich. Die Forschung in diesem Förderschwerpunkt unterstützt die Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung.

### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

In der anwendungsnahen Forschungsförderung unterstützt das BMWK Arbeiten, die den Markthochlauf für die künftige Erzeugung, den Transport und die Nutzung von Wasserstoff voranbringen wollen. Auf diese Weise entstehen aus Innovationen „Made in Germany“ lokale Wertschöpfung, qualifizierte und zukunftsfähige Arbeitsplätze und Absatz- und Exportpotenziale für deutsche Unternehmen. Die Förderung des BMWK umfasst dabei Forschung sowohl rund um die Erzeugung von Wasserstoff sowie die Nutzung in industriellen Prozessen, die Speicherung sowie den Transport in Gasnetzen, auf Straßen und Schienen. Hinzu kommen systemanalytische Arbeiten.

In dem von BMWK und BMBF unterstützten Forschungsnetzwerk Wasserstoff ist 2023 die Veranstaltungsreihe Wasserstand gestartet. Bei den Online-Treffen berichten jeweils mehrere Fachleute von zentralen Erkenntnissen ihrer laufenden Projekte und diskutieren relevante Forschungsfragen rund um das Thema Wasserstoff. Zusätzlich unterstützen die „Important Projects of Common European Interest“ (IPCEI) für Wasserstofftechnologien und -systeme auf europäischer und die internationalen Wasserstoffprojekte auf globaler Ebene den Markthochlauf.

Den Schwerpunkt der BMBF-Förderung bilden die Wasserstoff-Leitprojekte (Kapitel 2.1.2 Wasserstoff Leitprojekte, Seite 21) sowie die Grundlagenforschung Grüner Wasserstoff, die Innovationen entlang der ganzen Wertschöpfungskette einschließlich Systemstudien adressiert. Das Kopernikus-Projekt P2X zu neuen Produktionsrouten für die Chemie- und Grundstoffindustrie auf Basis von grünem Wasserstoff konnte 2023 in seine dritte Phase übergehen. Ebenso erfolgreich war das Cluster Carbon2Chem mit der Herstellung von chemischen Rohstoffen auf Basis von grünem Wasserstoff sowie $CO_2$ aus industriellen Quellen. Daneben fördert das BMBF die Erforschung der Sektorkopplung mit Wasserstoff in mehreren Forschungsplattformen, unter anderem zu flexiblen Industrieprozessen (WAVE-$H_2$), in einem Industriehafen (hyBit) sowie zur Forschungsinfrastruktur SEKO.

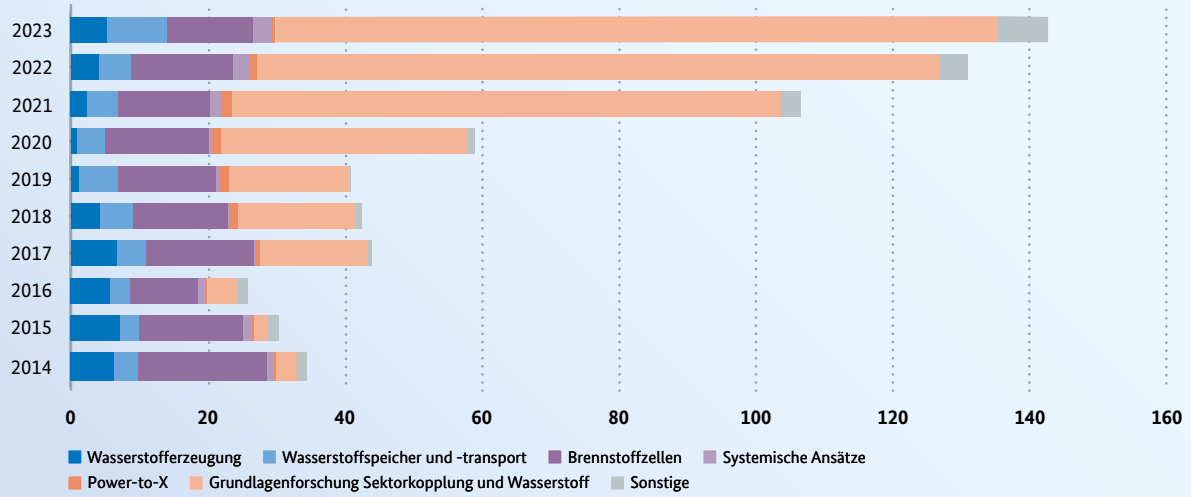
### Projektförderung

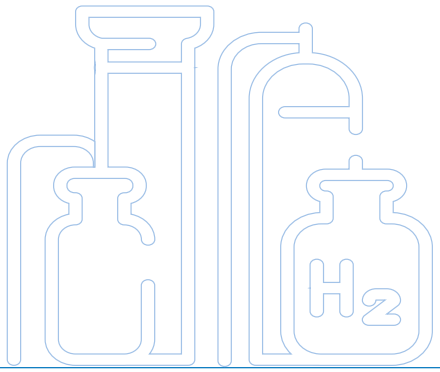
Im Schwerpunkt Sektorkopplung und Wasserstoff haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2023 671 laufende Vorhaben mit rund 142,62 Millionen Euro gefördert. 2023 haben die Ministerien zudem 235 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 217,90 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 18, S. 43).

*„Wir konnten nachweisen, dass elektrochemisches Wasserstoff-Recycling unter echten Prozessbedingungen möglich ist. Bevor eine Wiederverwertung als Prozessgas in der Praxis möglich ist, fokussieren wir uns unter anderem auf die Sektorkopplung mit Brennstoffzellen-Fahrzeugen.“*

Nikolas Kraft und Konstantin Adaktylos-Surber, Entwicklungsingenieure bei centrotherm clean solutions

**Abbildung 18: Fördermittel für Sektorkopplung und Wasserstoff in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 79)



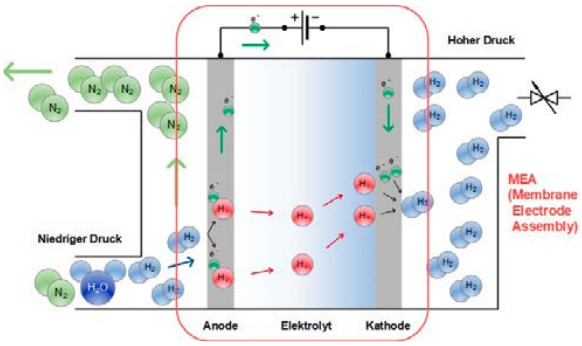



**PROJEKTPORTRÄT**

## EH2C

*Wasserstoff-Recycling durch elektrochemische Kompression*

Bei der Beschichtung von Bauteilen in der Solarzellen- und Halbleiterindustrie kommt Wasserstoff zum Einsatz. Das wasserstoffhaltige Prozessabgas wird anschließend ungenutzt in die Atmosphäre abgelassen. Um das Verfahren nachhaltig zu gestalten, hat das $EH_2C$-Team eine innovative $H_2$-Recycling-Anlage entwickelt. Dafür setzen die Fachleute auf das Prinzip der elektrochemischen Reinigung (EHP) und -Verdichtung (EHC). Mit diesem kann Wasserstoff aus einem Gasgemisch gleichzeitig abgetrennt und komprimiert werden. Hierfür werden Polymer-Elektrolyt-Membranen genutzt: Triebkraft ist eine Gleichspannungsquelle. Das Ziel des Teams war, den Wasserstoff so weit aufzubereiten, dass 75 Prozent des bislang ungenutzten Gases wieder in denselben Prozess eingebracht werden können. Auf diese Weise soll ein echter Kreislauf entstehen. Die Fachleute haben dafür im Projektverlauf erstmals eine Anlage in industrierelevantem Maßstab geplant, aufgebaut und erfolgreich, stabil und automatisiert betrieben. Zudem haben die Verbundpartner eine Risikoanalyse durchgeführt, Sicherheitsmaßnahmen integriert und ein CE-Zertifikat ausgestellt. Das Konsortium hat zudem Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt und alternative Nutzungspfade diskutiert. Für eine tatsächliche Wiederverwertung als Prozessgas wird eine dauerhafte Gasanalytik benötigt. Im Projekt konnte das Team keine relevanten Unterschiede in der Qualität der Beschichtungen zwischen frischem und rezykliertem Wasserstoff feststellen.




Schema des EHC-Prinzips, das vom Projektteam entwickelt wurde

**Technology Readiness Level nach Projektende:** 5 – 6

**Zuwendungsempfänger:** centrotherm clean solutions und vier weitere Verbundpartner
**Förderndes Ministerium:** BMWK
**Förderkennzeichen:** 03EI3038A-E
**Fördermittelansatz:** 1,3 Millionen Euro
**Projektlaufzeit:** 2021 – 2023
**Projektbeschreibung auf EnArgus:**

MEHR INFO

## 2.5 Systemübergreifende Forschungsthemen

### 2.5.1 Energiesystemanalyse

Die Energiesystemanalyse liefert umfassende Modellrechnungen, Szenarioanalysen und techno-ökonomische Untersuchungen. Mit diesen Modellen ermitteln Fachleute, wie einzelne Energietechnologien oder das Energiesystem als Ganzes weiterentwickelt werden könnten, und beleuchten begünstigende und hemmende Faktoren. Diese Erkenntnisse bieten Entscheidungsträgern aus Politik, Gesellschaft und Wirtschaft auf dem Weg zur Klimaneutralität wissenschaftlich fundierte Hilfen und zeigen ihnen Handlungsoptionen auf, etwa für die Transformation der Industrie oder die kommunale Wärmeplanung.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

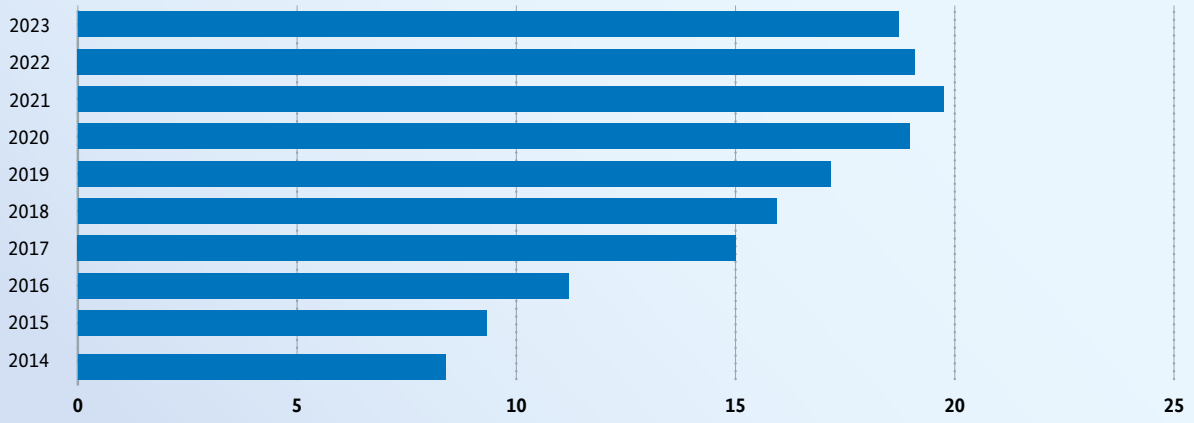
Im Rahmen des im Herbst 2022 veröffentlichten Förderaufrufs Klimaneutrale Wärme und Kälte hat das BMWK sechs Vorhaben mit Bezug zum Förderschwerpunkt Systemanalyse bewilligt. Vier davon sind 2023 gestartet, zwei weitere zu Beginn des neuen Jahres. Ein Beispiel für einen Fokus der Projekte ist die Modellierung der systemischen Kopplung von Wärme-, Kälte- und Stromversorgung. Auch die systemische Integration der Maßnahmen bildet einen wichtigen Schwerpunkt.

Um die Forschungsbedarfe der Energiewirtschaft künftig gezielter bei der Förderung im Bereich Systemanalyse berücksichtigen zu können, hat das Ministerium im September 2023 einen Expertenworkshop organisiert. Fachleute aus Industrie, Energiewirtschaft und Beratung, Aggregatoren, wie Verbände und Energieagenturen, sowie Akteure aus der Wissenschaft haben teilgenommen. Die Expertinnen und Experten haben dem BMWK Impulse zu Forschungsförderungsprozessen gegeben. Diese dienen dem Ministerium dazu, die Neu- und Weiterentwicklung praxisrelevanter Werkzeuge und Methoden und deren raschen Transfer in die Anwendung zu beschleunigen.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiesystemanalyse hat das BMWK im Jahr 2023 198 laufende Vorhaben mit rund 18,72 Millionen Euro gefördert. 2023 hat das Ministerium zudem 48 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 18,80 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 19).

**Abbildung 19: Fördermittel für Energiesystemanalyse in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 80)



**PROJEKTPORTRÄT**

## EMUSE

*Energiegenossenschaften als Multiplikatorinnen und Multiplikatoren für Energiesuffizienz*

Die Energiewende steht vor der Herausforderung, sowohl den Übergang zu erneuerbaren Energien zu vollziehen, als auch den absoluten Primärenergieverbrauch zu minimieren. Hierbei spielen Energiegenossenschaften eine herausragende Rolle, da sie nicht nur die umweltfreundliche Energieerzeugung vorantreiben, sondern durch gezielte Kommunikation die Energiesuffizienz in Privathaushalten fördern können.

Im Rahmen des EMUSE-Projekts wurde das Kommunikations-Toolkit für (Bürger-)Energiegenossenschaften entwickelt. Dieses unterstützt Projektteams Schritt für Schritt bei der Entwicklung von Kommunikationskampagnen oder Veranstaltungen.

Das Projekt EMUSE untersuchte, inwieweit Energiegenossenschaften sich bereits dem Thema Suffizienz widmen und mit welchen Instrumenten sie suffiziente Lebensstile unter ihren Mitgliedern fördern können. Energiegenossenschaften sind für diesen Zweck prädestiniert, da sie als Mitgliederorganisationen besonderes Vertrauen genießen und für nachhaltiges Wirtschaften stehen. Das Projekt konnte zeigen, dass etwa jede sechste von über 500 untersuchten Energiegenossenschaften in Deutschland auf ihrer Website bereits zu Themen wie Energiesparen und Suffizienz informiert. Interviews mit Mitgliedern zeigten, dass in weiten Mitgliederkreisen bereits ein Bewusstsein für das Thema Suffizienz vorhanden ist. In einem Design-Thinking-Prozess entwickelten Energiegenossenschaften selbst Kommunikationsprojekte zum Thema Suffizienz. Das Team hat Umsetzungstipps für verschiedene Formate in einem Toolkit aufbereitet, mit dem Energiegenossenschaften ihre Zielgruppen effektiv für nachhaltiges Verhalten sensibilisieren können. In der Aktionswoche „Energiewende plus – Gemeinschaftlich den Wandel gestalten“ konnten Mitglieder von Energiegenossenschaften zudem eine Woche lang gemeinsam zum Thema Suffizienz lernen, reflektieren und sich Ziele für einen suffizienteren Lebensstil setzen.

**Zuwendungsempfänger:** Adelphi Research gemeinnützige GmbH und zwei weitere Verbundpartner
**Förderndes Ministerium:** BMWK
**Förderkennzeichen:** 03EI5218A-C
**Fördermittelansatz:** 470.000 Euro
**Projektlaufzeit:** 2021 – 2023
**Projektbeschreibung auf EnArgus:**

MEHR INFO

*„Bislang werden die Potenziale von Suffizienzstrategien kaum ausgenutzt – sowohl in Forschung als auch Praxis sind sie unterrepräsentiert. Das Projekt EMUSE leistet einen wichtigen Beitrag, um das Thema Suffizienz auch im Energiewende-Diskurs voranzubringen.“*

Dr. Julia Fülling, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)

### 2.5.2 Digitalisierung der Energiewende

Ob für neue Energietechnologien oder das Energieversorgungssystem als Ganzes: Durch die Digitalisierung ergeben sich vielversprechende Möglichkeiten. Sie kann etwa dabei helfen, Lösungen bei der Dezentralisierung, Flexibilisierung und Sektorkopplung zu finden.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

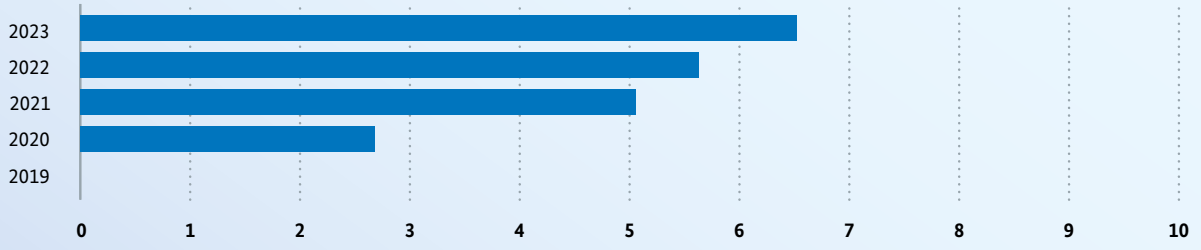
Nachdem das BMWK im Februar 2023 den Förderaufruf DigENet II veröffentlicht hat, sind alle vier bewilligten Vorhaben noch im selben Jahr gestartet. Ziel des Aufrufs ist es, Smart-Meter-Gateways zügiger weiterzuentwickeln. Die Erkenntnisse fließen in die Vorgaben des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik ein. Außerdem wurde im Oktober 2023 das Vorhaben energy data-X bewilligt. Die Projektpartner bauen einen modernen Datenraum auf Basis der Gaia-X-Architektur auf, der künftig den souveränen Datenaustausch in Europa ermöglichen soll. Dezentral bereitgestellte und verwaltete Daten werden mithilfe des föderierten Datenökosystems virtuell zugänglich.

Ohne Digitalisierung ist auch ein Wasserstoff-Markthochlauf nicht umsetzbar. Das BMBF fördert beispielsweise das Projekt HyPat im Bereich Digitalisierung und Wasserstoff. Das Forschungsteam baut einen globalen, digital zugänglichen Wasserstoff-Potenzialatlas auf. Er zeigt nachhaltige Standorte in der Welt für die grüne Wasserstoffproduktion der Zukunft. Wie die Digitalisierung genutzt wird, um in der Forschung entwickelte Technologien marktfähig zu skalieren, zeigt das $H_2$-Reallabor in Burghausen östlich von München. Es befasst sich mit der Produktion von Wasserstoff für die chemische Industrie. Hier wird eine $H_2$-basierte Power-to-Methanol-Anlage aufgebaut. Ein digitaler Zwilling simuliert die Skalierung auf großtechnischen Maßstab. Außerdem gibt er dem Benutzer ein Live-Feedback zum Status der Anlage. Daneben gibt es das Kopernikus-Projekt SynErgie. Es ist als Leuchtturmprojekt der Digitalstrategie der Bundesregierung ausgewählt worden. Kern des Projekts ist eine Energiesynchronisationsplattform, mit der Stromangebot und Nachfrage der Industrie digital vernetzt werden.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Digitalisierung der Energiewende haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2023 104 laufende Vorhaben mit rund 6,52 Millionen Euro gefördert. 2023 haben die Ministerien zudem 15 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 8,63 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 20).

**Abbildung 20: Fördermittel für die Digitalisierung der Energiewende in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 80)



### 2.5.3 Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende

Weniger Ressourcen zu verbrauchen ist zentral für die Energiewende, denn der hohe Ressourceneinsatz in Deutschland trägt erheblich zum Energieverbrauch bei. Zudem kann die weltweit steigende Nachfrage nach Rohstoffen, die dadurch immer knapper und teurer werden, die Energiewende gefährden.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Energieforschung zu Ressourcen im Kontext der Energiewende verknüpft den Umgang mit knappen Rohstoffen mit Ansätzen der Materialeffizienz sowie der zirkulären Wirtschaft (Circular Economy). Noch können Recycling-Quoten allein den zukünftigen Rohstoffbedarf der Gesellschaft nicht decken. Aus diesem Grund müssen alle im Wirtschaftskreislauf umlaufenden Ressourcen geschützt, nachhaltig gewonnen und effizient genutzt werden. Deswegen fördert das BMWK Projekte, in denen Fachleute analytische und konzeptionelle, technische sowie ökonomische Fragestellungen bearbeiten. Um Ressourcen effizienter nutzen zu können, gilt es etwa, Produktlebensdauern zu verlängern oder weniger Abfall und Emissionen zu erzeugen. Ein Beispiel ist das 2023 gestartete Vorhaben ORka3D. In dem Projekt will das Forschungsteam die Blechdicke von geschweißten Bauteilen und Konstruktionen senken. Damit wollen die Expertinnen und Experten dazu beitragen, den hohen Ressourceneinsatz von Metall, Energie und Emissionen in der metallverarbeitenden Industrie zu reduzieren. Dafür entwickelt das Forschungsteam unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Werkstoffmechanik (IWM) in Freiburg im Breisgau ein Konzept für ein automatisiertes Verfahren zur Lebensdauerbewertung von Schweißverbindungen auf Basis von 3D-Scans.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende hat das BMWK im Jahr 2023 82 laufende Vorhaben mit rund 4,88 Millionen Euro gefördert. 2023 hat das Ministerium zudem 40 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 9,07 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 21).

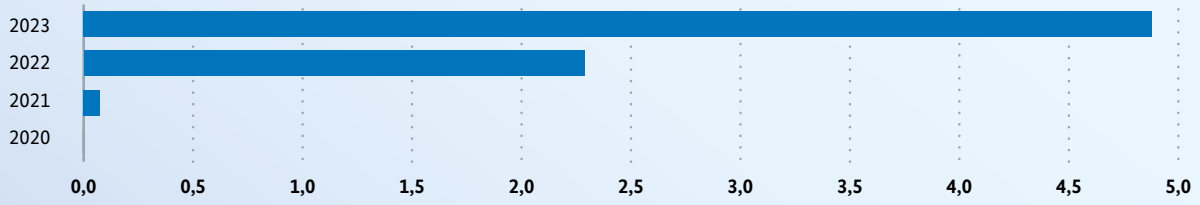
### 2.5.4 $CO_2$-Technologien

$CO_2$-Technologien bieten großes Potenzial, um Kohlenstoffdioxidemissionen ($CO_2$) zu senken – vor allem für Branchen, in denen unvermeidbare Emissionen entstehen. Es gibt dabei zwei Ansätze: die Speicherung des Kohlenstoffdioxids (carbon capture and storage, CCS) und dessen Nutzung als Rohstoff (carbon capture and usage, CCU).

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das BMBF und das BMWK fördern Forschungsprojekte zum Abscheiden, Speichern und Nutzen von Kohlenstoffdioxid.

Abbildung 21: Fördermittel für Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 6, Seite 80)



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. Dafür werden die Hüttengase gereinigt und schließlich mit grünem Wasserstoff zu Vorprodukten wie beispielsweise Methanol umgewandelt. Dieses Vorprodukt kann unter anderem als Ausgangsstoff in der Chemieindustrie genutzt werden. Dieses Konzept soll zukünftig auch auf andere $CO_2$-Quellen, wie Kalkwerke, thermische Abfallbehandlungsanlagen oder Zementwerke, angewandt werden.

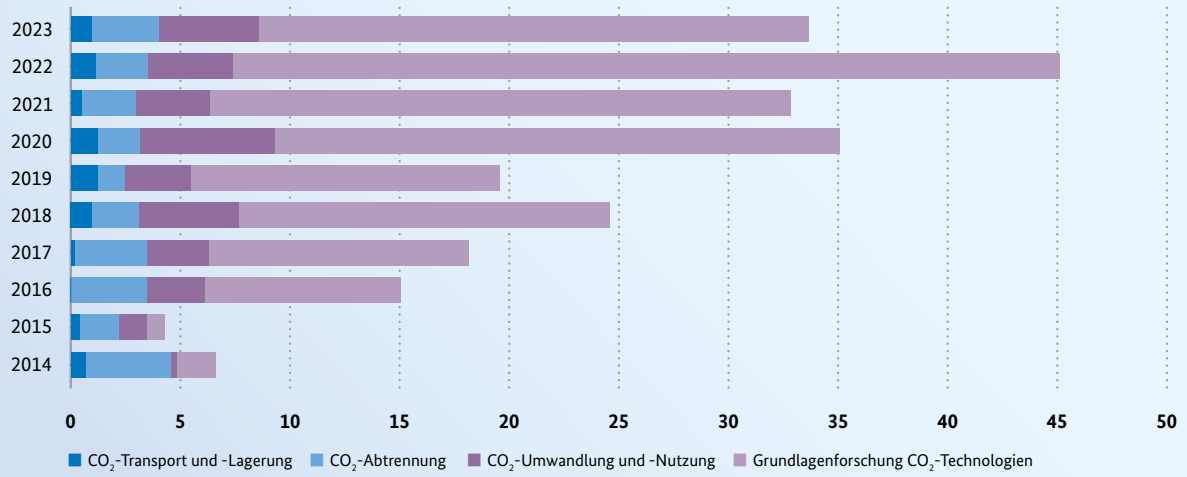
Entscheidend für den Erfolg von CCU ist ein sinnvolles Nutzungskonzept und dessen Integration in bestehende Industriezweige. Bei CCS ist die Sicherheit der notwendigen unterirdischen Speicher wichtig. Denn Leckagen sind gefährlich für die Böden und das Grundwasser. Deshalb ist dies ein zentrales Forschungsfeld.

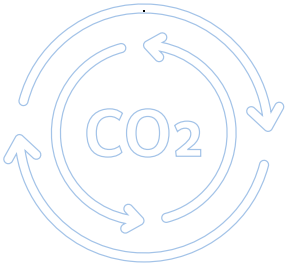
Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unterstützt anwendungsorientierte Forschungsprojekte zum Abscheiden, Speichern und Weiterverwerten von Kohlenstoffdioxid. An vielen dieser Vorhaben sind sowohl Forschungseinrichtungen als auch Industrieunternehmen mit ihrer Expertise beteiligt. Damit soll ein schneller Ergebnistransfer in die Praxis, zum Beispiel in die Stahl- oder Zementindustrie, gewährleistet werden. In diesen wie auch einigen anderen Branchen lassen sich prozessbedingte $CO_2$-Emissionen derzeit noch nicht vermeiden. Durch die CCUS-Technologien können jedoch bedeutende Kohlenstoffkreisläufe entstehen. Das abgeschiedene $CO_2$ kann beispielsweise in der chemischen Industrie als Rohstoff, für die Batterieproduktion oder für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe genutzt werden.

## Projektförderung

Im Schwerpunkt $CO_2$-Technologien haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2023 156 laufende Vorhaben mit rund 33,69 Millionen Euro gefördert. 2023 haben die Ministerien zudem 21 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 10,09 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 22).

**Abbildung 22: Fördermittel für $CO_2$-Technologien in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 80)






*„Mithilfe des Carbon2Chem-Ansatzes können wir die Stahlindustrie nahezu klimaneutral gestalten.“*
Görge Deerberg, Fraunhofer UMSICHT

**PROJEKTPORTRÄT**

## Carbon2Chem (Phase II)

*Nutzung von Industrieabgasen zur Herstellung von Chemikalien*

Das Projekt Carbon2Chem wandelt Abgase der Stahlproduktion, sogenannte Hüttengase, in wirtschaftlich nutzbare Chemikalien um. Denn die Stahlindustrie ist einer der größten $CO_2$-Verursacher in Deutschland. „Durch den Einsatz von Wasserstoff lassen sich diese Emissionen zwar erheblich senken“, sagt Carbon2Chem-Koordinator Görge Deerberg vom Fraunhofer-UMSICHT-Institut. „Dazu braucht es Lösungen für das Schließen des Kohlenstoffkreislaufs und für die verbleibende unvermeidbare $CO_2$-Restmenge. Hier kommt der Carbon2Chem-Ansatz zum Tragen. Mit seiner Hilfe lässt sich die Stahlproduktion nahezu klimaneutral gestalten.“

Damit sich die Technologie des Projekts möglichst schnell aus der Forschung in die Umsetzung übertragen lässt, arbeiten in Carbon2Chem Wissenschaft und Wirtschaft von Anfang an zusammen. In der ersten Projektphase von 2016 bis 2020 erbrachte das Konsortium zunächst den Nachweis, dass der Carbon2Chem-Ansatz funktioniert. Dazu wurde im Stahlwerk von thyssenkrupp eine erste Testanlage aufgebaut. In der laufenden zweiten Testphase erfolgt die Validierung des Verfahrens für die großtechnische Umsetzung. Dafür wird beispielsweise die Herstellung von Methanol aus Abgasen im laufenden Betrieb getestet. Methanol ist ein Grundstoff der Chemieindustrie und möglicher klimafreundlicher Kraftstoff im Schiffsverkehr. Zudem testet Carbon2Chem Methanol als Antrieb eines innovativen Hybrid-Autos. Potenziell ist der Carbon2Chem-Ansatz auf insgesamt 50 Stahlwerke in Europa übertragbar. Zudem prüfen die Projektpartner die Anwendung in Betrieben der Kalk-, Zement- und der Müllverbrennungsindustrie. Denn hier entstehen jährlich weitere Millionen Tonnen $CO_2$, die sich auch langfristig nicht vermeiden lassen werden.

Luftaufnahme des Carbon2Chem®-Technikums in Duisburg aus dem Jahr 2018: Das Projekt Carbon2Chem wandelt Abgase der Stahlproduktion in wirtschaftlich nutzbare Chemikalien um und ermöglicht so eine nahezu klimaneutrale Stahlproduktion.

**Technology Readiness Level nach Projektende:** 7

**Zuwendungsempfänger:** Fraunhofer UMSICHT und 20 weitere Verbundpartner
**Förderndes Ministerium:** BMBF
**Förderkennzeichen:** 03EW0003-9, 03EW0019
**Fördermittelansatz:** 63 Millionen Euro (Phase I, inklusive Vorstudie), 116 Millionen Euro (Phase II)
**Projektlaufzeit:** Phase I: 2016 – 2020, Phase II: 2020 – 2024
**Projektbeschreibung auf EnArgus:**

MEHR INFO

### 2.5.5 Energiewende und Gesellschaft

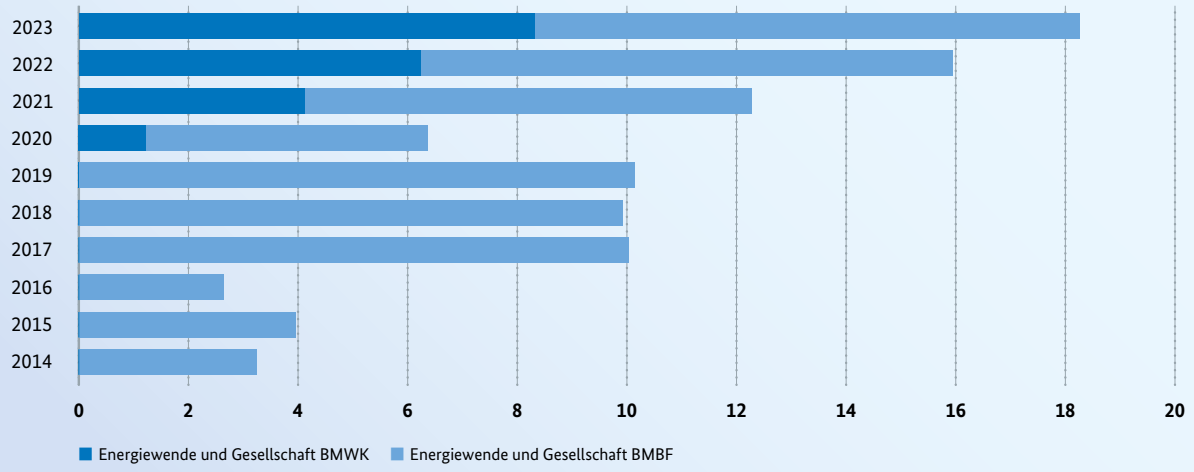
Die Energiewende ist nicht allein eine technologische oder wirtschaftliche Transformation. Vielmehr ist sie eine gesellschaftliche Anstrengung der Bevölkerung, Verwaltung, Wirtschaft und Politik. Akteure übernehmen dabei unterschiedliche Rollen, indem sie sowohl Energie verbrauchen als auch bereitstellen. Die Forschung analysiert die Interessen- und Zielkonflikte und entwickelt Lösungsansätze.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Im Frühjahr 2023 veröffentlichte das BMWK einen Förderaufruf zu gesellschaftlichen Fragestellungen im Kontext von system- und technologieübergreifenden Aspekten für das Gelingen der Energiewende. Dabei steht insbesondere ein interdisziplinärer Ansatz zu gesellschaftlichen Rahmenbedingungen in ihren technischen, ökonomischen, sozialen, institutionellen sowie gesetzlichen Facetten im Mittelpunkt. Der Förderaufruf hebt die Wichtigkeit von Simulationen, Visualisierungen und Kommunikationsstrategien unter Beteiligung der Gesellschaft hervor, wobei gerade auch die jüngere Generation adressiert wird. Über Forschungskommunikation sollen sozioökonomische Analysen der spezifischen Bedürfnisse einzelner Regionen im Strukturwandel gelingen. Darüber hinaus fördert das BMWK Projekte, die effektive Formen der Kooperation zwischen institutionellen und gesellschaftlichen Akteuren erforschen, um die Erkenntnisse auf weitere Handlungsbereiche der Energiewende zu übertragen.

Seit 2020 entwickelt das vom BMBF geförderte Kopernikus-Projekt Ariadne verschiedene Dekarbonisierungsszenarien und untersucht in einer systemischen Perspektive Politikinstrumente auf ihr Wirksamkeitspotenzial für die Erreichung der Klimaziele. Gemeinsam mit Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft identifizieren Forschende sinnvolle Strategien und Maßnahmen für die Energiewende und ermitteln deren Akzeptanz bei Bürgerinnen und Bürgern. Ein Fokus liegt dabei auf der Integration der deutschen Energiewende in einen europäischen Rahmen. Im September 2023 startete Ariadne in die nächste Förderphase (27 Partner, knapp 30 Millionen Euro Fördervolumen) und setzt seitdem seine Untersuchungen fort. Über systematische Dialoge nimmt Ariadne neue gesellschaftliche Strömungen regelmäßig in seine

**Abbildung 23: Fördermittel für Energiewende und Gesellschaft in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 80)



fortlaufende Forschung auf. Ariadne kooperiert zudem weiter kontinuierlich und aktiv mit den weiteren Kopernikus-Projekten des BMBF: ENSURE, SynErgie und P2X.

### Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiewende und Gesellschaft haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2023 205 laufende Vorhaben mit rund 18,27 Millionen Euro gefördert. 2023 haben die Ministerien zudem 75 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 41,32 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 23, S. 51).

> *„Ein effektiver $CO_2$-Preis sollte mit Begleitmaßnahmen zur Sozialverträglichkeit einhergehen."*
>
> Dr. Ulrich Fahl, Universität Stuttgart

**PROJEKTPORTRÄT**

**$CO_2$-Preis**

*Analyse der kurz- und langfristigen Wirkungen unterschiedlicher $CO_2$-Bepreisungs-Varianten auf Gesellschaft und Volkswirtschaft*

Wie sollte ein $CO_2$-Preis-System gestaltet werden, welches das Klima schützt, sozial ausgewogen, gesellschaftlich akzeptiert und wirtschaftlich sinnvoll ist? Und wie lässt sich das komplexe Thema rund um die $CO_2$-Bepreisung für die breite Öffentlichkeit verständlich und nachvollziehbar darstellen? Diesen komplexen Fragenstellungen haben sich Forschende im transdisziplinären Forschungsprojekt $CO_2$-Preis gestellt. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersuchten zum einen die kurz- und langfristigen Wirkungen unterschiedlicher Varianten der $CO_2$-Bepreisung auf Haushalte, das Energiesystem und die Volkswirtschaft. Zum anderen haben die Forschenden sich mit Faktoren beschäftigt, die die gesellschaftliche Akzeptanz einer $CO_2$-Bepreisung beeinflussen. Hierzu hat das Projektteam mehrere Umfragen gemacht. Unterstützt wurden die Forschenden von einem Beirat aus Stakeholdern aus Gesellschaft und Wirtschaft, die ihre Expertise in das Forschungsprojekt einbrachten.

Ein wichtiges Ergebnis: Damit die $CO_2$-Bepreisung gesellschaftlich getragen wird, muss ihr Nutzen für die Energiewende und für das Klima für die Öffentlichkeit verständlich und nachvollziehbar kommuniziert werden. Das Forschungsteam hat daher im Rahmen des Projekts mehrere Erklärvideos und Informationsbroschüren produziert. Diese Informationen sind neben vielen weiteren auf der Projekt-Website https://www.co2-preis.info/ zu finden.

Was beeinflusst die gesellschaftliche Akzeptanz einer $CO_2$-Bepreisung? Mit dieser Frage haben sich Forschende im Projekt $CO_2$-Preis beschäftigt.

**Technology Readiness Level nach Projektende:** 9

**Zuwendungsempfänger:** Universität Stuttgart und vier weitere Verbundpartner
**Förderndes Ministerium:** BMWK
**Förderkennzeichen:** 03EI5213A-E
**Fördermittelansatz:** 1,5 Millionen Euro
**Projektlaufzeit:** 2020 – 2023
**Projektbeschreibung auf EnArgus:**

MEHR INFO

### 2.5.6 Materialforschung für die Energiewende

Die Materialforschung ist ein strategisch wichtiges Zukunftsfeld. Denn Materialien sind die Grundlage für jeden technologischen Fortschritt. Dies zu fördern ist der Auftrag des BMBF. Das Ministerium schafft mit seiner jahrzehntelangen Förderung die besten Voraussetzungen, um Durchbrüche für neue Materialien zu schaffen. Das Ziel: die Herausforderungen der Zukunft lösen, beispielsweise für die Energiewende.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das BMBF unterstützt die Materialforschung über alle Förderthemen hinweg, in zurzeit mehr als 300 laufenden Vorhaben. Einen besonderen Stellenwert hat dabei die Materialforschung für die Wasserstoffwirtschaft. Mit dem Energieträger der Zukunft lassen sich Industrie, Verkehr und Wärmeversorgung klimafreundlich gestalten. Das BMBF fördert in der Wasserstoff-Grundlagenforschung 36 Verbünde. Ihr Fokus liegt auf Materialien und Schlüsseltechnologien der nächsten und übernächsten Generation für Herstellung, Speicherung und Transport von Wasserstoff. Zum Beispiel hat das Projekt H2-Demo eine neuartige Solarzelle entwickelt, die mit Sonnenlicht Wasser direkt spaltet und somit Wasserstoff produzieren kann. Auch in der internationalen Zusammenarbeit fördert das BMBF die Materialforschung. Das deutsch-südafrikanische Konsortium CARE-O-SENE optimiert Katalysatoren, um grünes Kerosin herzustellen. Das ist beispielsweise für die Transformation der Luftfahrtbranche hin zur Klimaneutralität wichtig. 2023 konnte ein Katalysator im semi-kommerziellen Maßstab in der südafrikanischen Anlage von Sasol produziert und erfolgreich getestet werden.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Materialforschung für die Energiewende hat das BMBF im Jahr 2023 1 laufendes Vorhaben mit rund 0,44 Millionen Euro gefördert (vgl. Abb. 24).

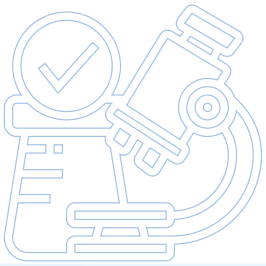
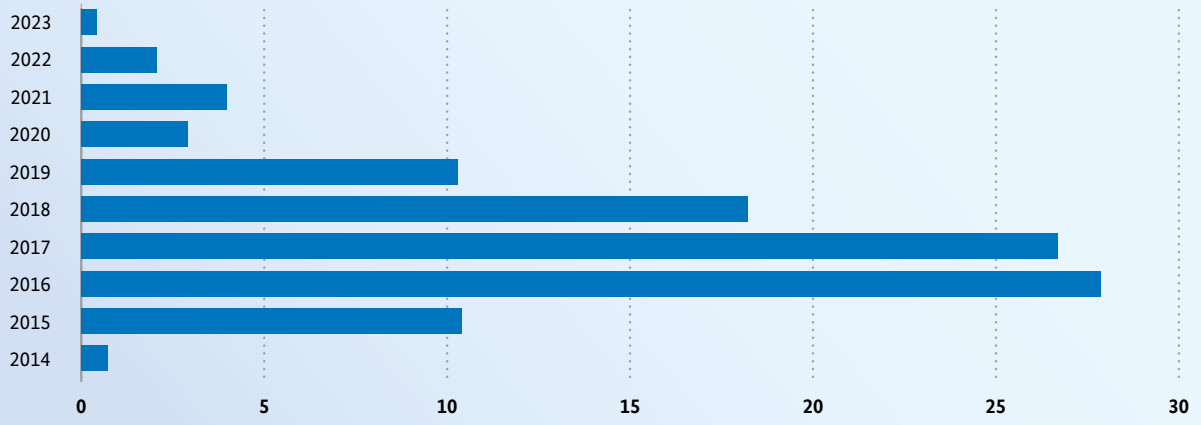


**Abbildung 24: Fördermittel für Materialforschung für die Energiewende in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 80)



## 2.6 Nukleare Sicherheitsforschung

### 2.6.1 Reaktorsicherheitsforschung

Aufgabe der Reaktorsicherheitsforschung ist es, die Kenntnisse über die Sicherheit von Kernkraftwerken- und Forschungsreaktoren im In- und Ausland zu vertiefen und den Stand von Wissenschaft und Technik voranzubringen. Zusätzlich soll die Kompetenz- und Nachwuchsentwicklung in Deutschland auf dem Gebiet der Reaktorsicherheit gefördert werden.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Reaktorsicherheitsforschung ist national sowie international ausgerichtet. So werden sicherheitsgerichtete Forschungsprojekte zu im Ausland betriebenen oder in Entwicklung befindlichen Reaktoren mit dem Ziel gefördert, eine unabhängige Sicherheitsbewertung solcher Anlagen zu ermöglichen. 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.

Ein wesentliches Ziel der Förderung war zudem die nachhaltige Stärkung von Kompetenzen und die

**Abbildung 25a: Fördermittel für Reaktorsicherheitsforschung 2021 – 2023 in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 7b, Seite 81)

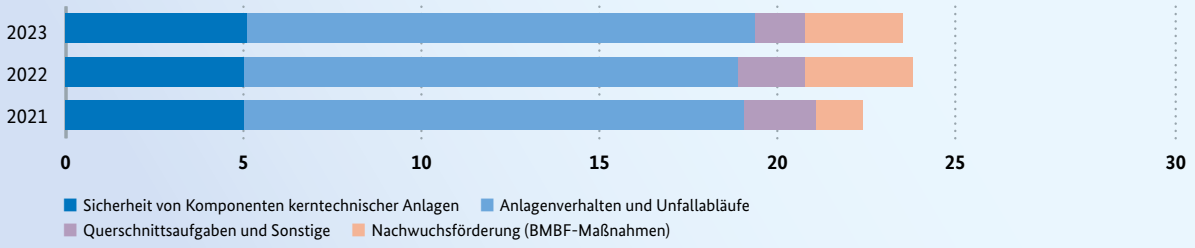
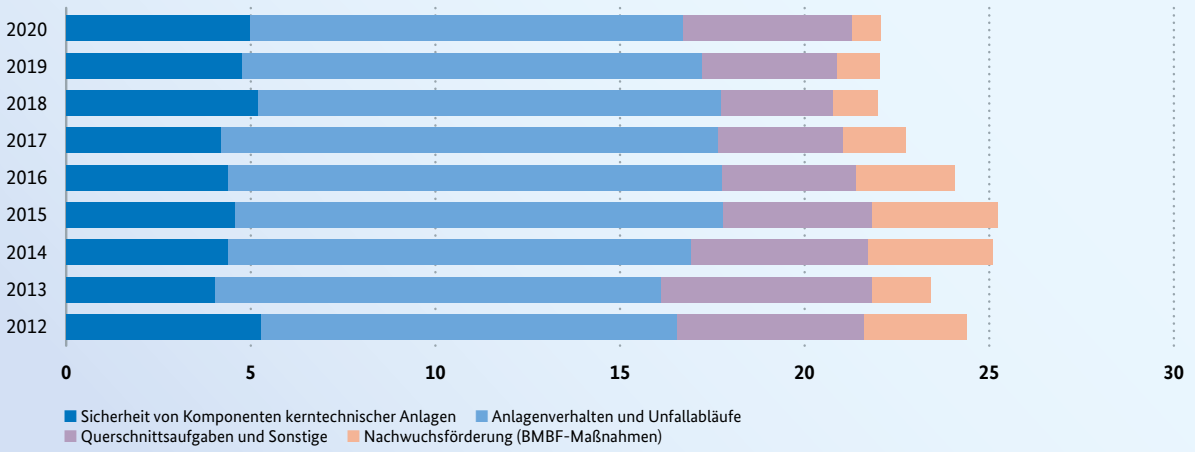



**Abbildung 25b: Fördermittel für Reaktorsicherheitsforschung 2012 – 2020 in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 7a, Seite 81)



Nachwuchsentwicklung in der Reaktorsicherheit. Im Berichtsjahr konnten vier Projekte der Förderinitiative „Kompetenzerhalt in der Kerntechnik – KEK“ erfolgreich abgeschlossen werden. Damit wurde jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern die Möglichkeit zu Ausbildung und Promotion in der Reaktorsicherheitsforschung gegeben.

### Projektförderung

Die Projektförderung in der Reaktorsicherheitsforschung erfolgte im Jahr 2023 durch das BMUV und wird laufend durch ein Programm zur Nachwuchsförderung des BMBF ergänzt. Das BMUV hat in dieser Zeit 128 laufende Projekte mit rund 20,77 Millionen Euro gefördert und 26 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 14,94 Millionen Euro neu bewilligt. Das BMBF hat 16 Projekte mit 2,76 Millionen Euro gefördert, davon 4 Neubewilligungen mit einem Fördermittelansatz von 4,94 Millionen Euro (vgl. Abb. 25a, S. 54).

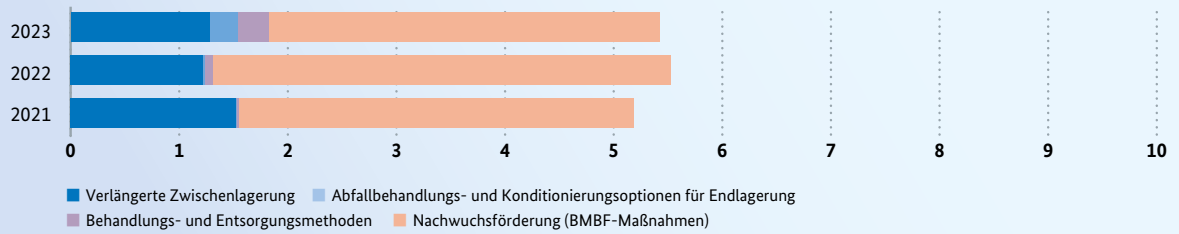
## 2.6.2 Forschung zu verlängerter Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle

Ziel des Forschungsgebiets 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. Dies ist sowohl bei der Methodenentwicklung zur Bewertung der Integrität der eingelagerten Brennelemente (Projekt BREZL-II), als auch bei der Entwicklung von Monitoringkonzepten für Zwischenlagergebäude für die zu erwartenden verlängerten Lagerzeiten (Verbundprojekt ZuMoBau-ZL) der Fall. Um die Abfälle optimal auf die Endlagerung vorzubereiten, werden für die Zeit nach der Zwischenlagerung zudem wissenschaftliche Grundlagen zu möglichen Behandlungs- und Konditionierungsoptionen erarbeitet. Das 2023 gestartete Projekt Am-BALL befasst sich beispielsweise mit der Konditionierung von volatilen Spaltprodukten für die Endlagerung und trägt damit zum notwendigen Kompetenzerhalt auf diesem Feld bei. Ergänzend werden internationale Entwicklungen verfolgt, die potenziell einen Einfluss auf die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland oder im nahen Ausland haben können. Auch die Förderung des Nachwuchses und die Kompetenzentwicklung sind für die Entsorgungsfor-

**Abbildung 26: Fördermittel für Forschung zur verlängerten Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle in Mio. Euro** (Daten siehe Tabelle 7b, Seite 81)



schung von hoher Bedeutung und werden besonders unterstützt.

### Projektförderung

Die Projektförderung zur verlängerten Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle erfolgte im Jahr 2023 durch das BMUV und wird laufend durch ein Programm zur Nachwuchsförderung des BMBF ergänzt. Das BMUV hat 15 laufende Projekte mit rund 1,82 Millionen Euro gefördert und fünf Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 2,36 Millionen Euro neu bewilligt. Das BMBF hat 28 Projekte mit 3,61 Millionen Euro gefördert, davon fünf Neubewilligungen mit einem Fördermittelansatz von 3,48 Millionen Euro (vgl. Abb. 26, S. 55).

## 2.6.3 Forschung zu Endlagerung

Die Endlagerforschung widmet sich der Bereitstellung und Fortentwicklung wissenschaftlicher, technischer und soziotechnischer Grundlagen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle. Sie bezweckt, die Fachkompetenz und Nachwuchsentwicklung zu fördern, um gegenwärtige und zukünftige Herausforderungen auf diesem Gebiet effektiv zu bewältigen.

### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Auch 2023 wird die Forschung in den Forschungs- und Entwicklungsbereichen Sicherheitsnachweis, Sicherheitsbewertungen, Standortauswahl und Endlagerkonzepte kontinuierlich fortgesetzt. Ein besonderer Fokus liegt auf der Identifizierung der im betrachteten Endlagersystem ablaufenden sicherheitsrelevanten Prozesse, deren Wechselwirkung sowie Einfluss auf das Gesamtsystem. Durch die Verknüpfung experimenteller Daten mit modernen Simulationsansätzen wird eine validierte Prognose des Endlagersystems möglich, die fundierte Entscheidungen bei der Endlagerplanung unterstützt. Perspektivisch soll der Ansatz die Grundlage für ein selbstlernendes System bilden, das auch Methoden künstlicher Intelligenz (KI) nutzt. 2023 wird auch die internationale Forschung in europäischen Untertagelaboren (Grimsel, Äspö, Mont Terri) sowie in internationalen Arbeitsgruppen und Netzwerken vorangetrieben. Die Beteiligung an Aktivitäten der OECD/NEA und am European Joint Programme EURAD bietet den Forschenden optimale Möglichkeiten für die internationale Vernetzung. Die Integration junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in die Forschungsarbeiten leistet einen bedeutenden Beitrag zum langfristigen Kompetenzerhalt und -ausbau für die nukleare Entsorgung in Deutschland.

### 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 2023 104 laufende Projekte mit rund 12,4 Millionen Euro gefördert. 2023 hat BMUV zudem zehn Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 4,2 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 27a und Abb. 27b, S. 57).

Abbildung 27a: Fördermittel für Forschung zur Endlagerung in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 7b, Seite 81)

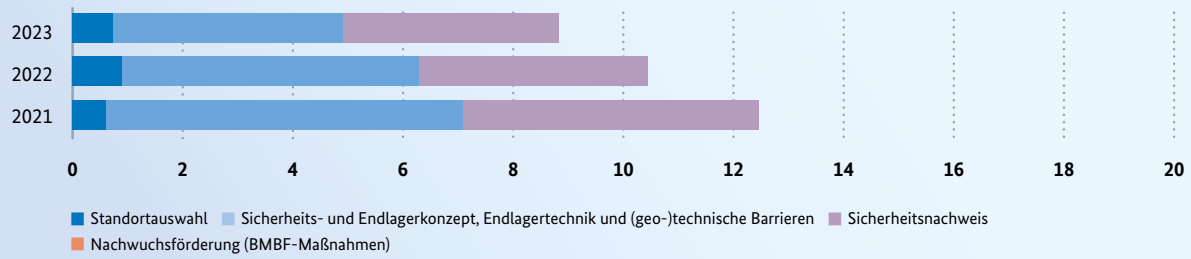
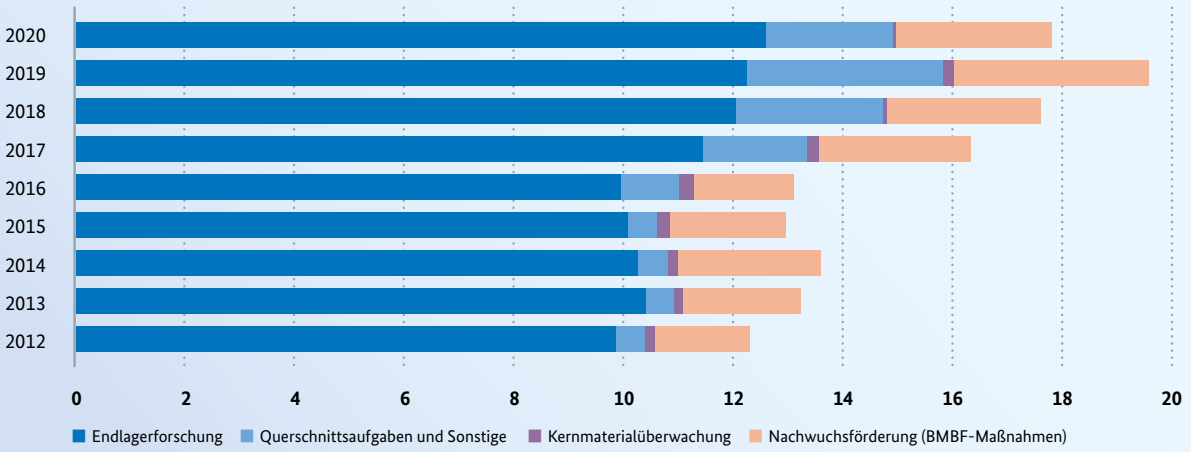



Abbildung 27b: Fördermittel für Endlager- und Entsorgungsforschung 2012 – 2020 in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 7a, Seite 81)




## 2.6.4 Strahlenforschung

Das BMBF hat im Berichtsjahr 2023 Verbünde und Einzelvorhaben zur Strahlenforschung gefördert über seine Förderrichtlinie zur nuklearen Sicherheits- und Strahlenforschung im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms.

### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das BMBF fördert Vorhaben zu strahlenbiologischen, strahlenphysikalischen und radioökologischen Fragestellungen im Bereich der anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Dies dient dem Aufbau, der Entwicklung und dem Erhalt der wissenschaftlich-technischen Kompetenz bei gleichzeitiger Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik. Diese Expertise wird in Deutschland auf den genannten Gebieten in Behörden, Industrie, Forschung und in der Medizin weiterhin benötigt und steht im Sinne der Gesellschaftsvorsorge. Insgesamt unterstützte das BMBF 2023 im Rahmen dieser Projekte mehr als 130 Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler in ihrer Ausbildung. Dieser BMBF-Förderschwerpunkt trug somit substanziell zu Kompetenzbildung und -erhalt in der Strahlenforschung in Deutschland bei. Insbesondere konnte der neu hinzugekommene Schwerpunkt der materialrele-

vanten 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.

2023 fand erstmals die vom BMBF ausgerichtete Tagung KERNthemen statt. Mit den KERNthemen wurde eine Plattform geschaffen, die die Vernetzung und den Austausch der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in den vom BMBF geförderten Projekten in den einzelnen Fachbereichen der nuklearen Sicherheits- und Strahlenforschung übergreifend ermöglichte und die wissenschaftliche Gemeinschaft in der Zukunft stärkt.

## Projektförderung

Im Schwerpunkt Strahlenforschung hat das BMBF im Jahr 2023 60 laufende Vorhaben mit rund 8,50 Millionen Euro gefördert. 2023 hat das Ministerium zudem 13 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 7,19 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 28a).

**Abbildung 28a: Fördermittel für Strahlenforschung (BMBF) 2021 – 2023 in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 7b, Seite 81)

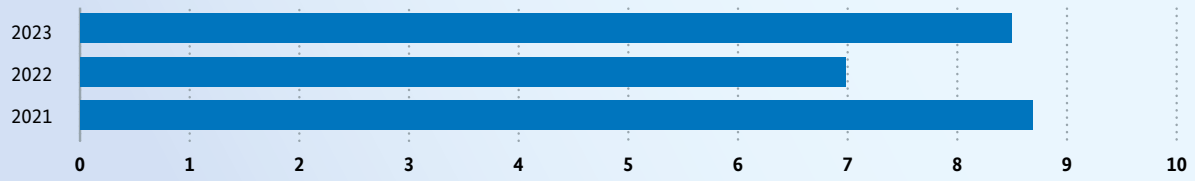
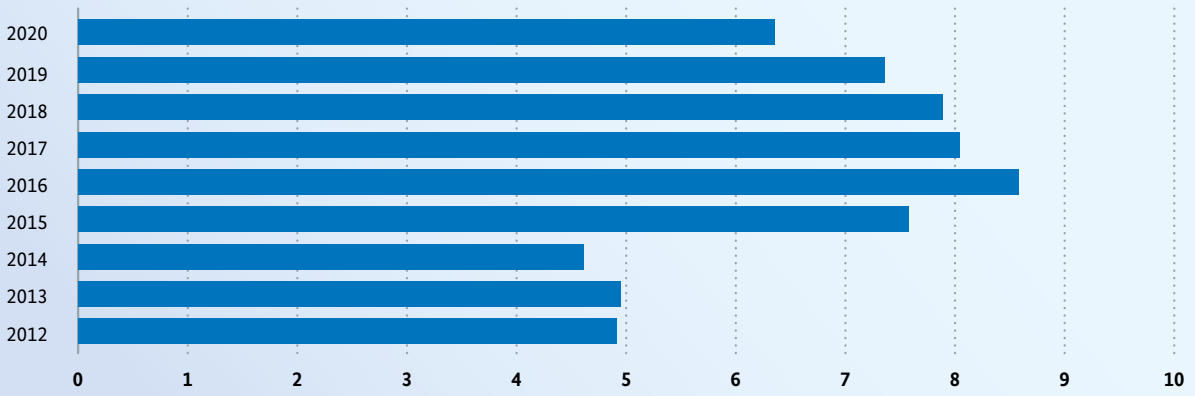



**Abbildung 28b: Fördermittel für Strahlenforschung (BMBF) 2012 – 2020 in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 7b, Seite 81)



# 3. Institutionelle Energieforschung

## 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, sektorübergreifende 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 (Po F 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.

**Abbildung 29a: Fördermittel für Institutionelle Energieforschung (PoF IV) 2021 – 2023 in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 8, Seite 82)

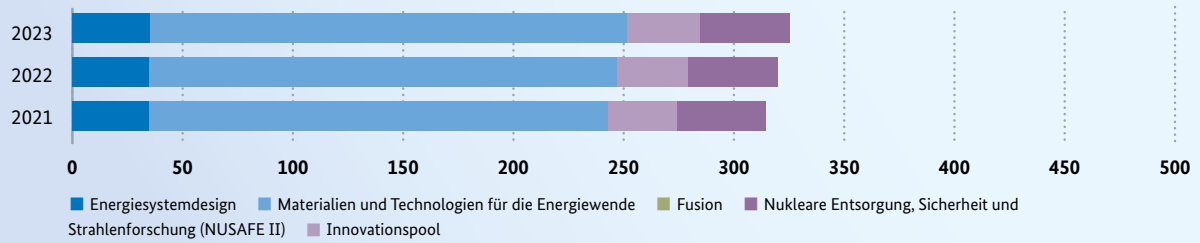
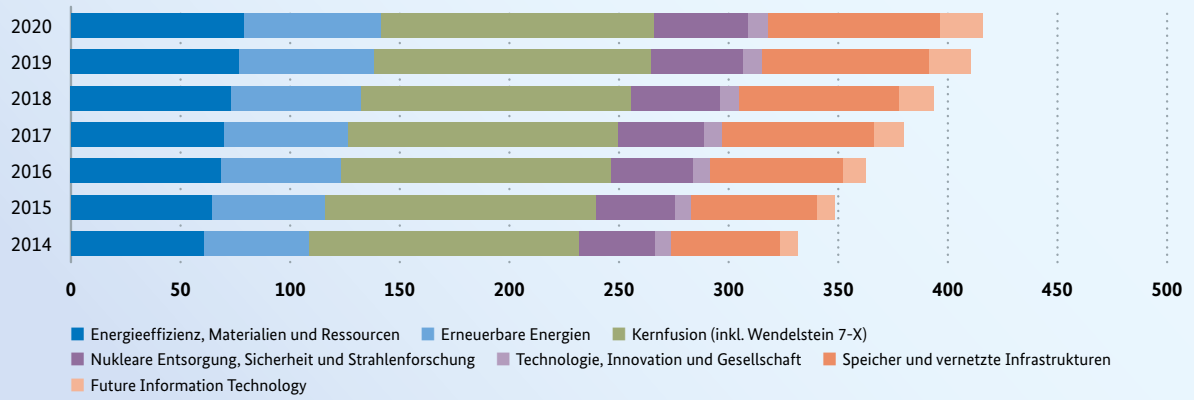


**Abbildung 29b: Fördermittel für Institutionelle Energieforschung (PoF III) 2014 – 2020 in Mio. Euro**
(Daten siehe Tabelle 8, Seite 82)




Die in PoF IV am Forschungsbereich 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:

Die Rückgewinnung von Rohstoffen mittels Recycling wird für die zukünftige Verfügbarkeit von Rohstoffen sowie für den effizienten Umgang mit Ressourcen zur Schonung von Klima und Umwelt eine zunehmend wichtigere Rolle einnehmen. Helmholtz Energy trägt dazu mit zahlreichen vielversprechenden Forschungsarbeiten bei, von denen hier einige beispielhaft genannt sind:

- Das ressourceneffiziente Recycling von Schwarzmasse aus Lithium-Ionen-Batterien durch innovative Schaumflotation am HZDR (siehe Steckbrief zum Projekt auf Seite 63).
- Am KIT wurde in Kooperation mit der EnBW Energie Baden-Württemberg AG ein kostengünstiges, energieeffizientes und umweltverträgliches Recyclingverfahren entwickelt, das die Rückgewinnung von bis zu 70 Prozent des Lithiums aus Kathodenmaterialien unterschiedlichster Lithium-Ionen-Batterien ermöglicht, ohne dass korrosive Chemikalien, hohe Temperaturen oder eine vorherige Sortierung der Materialien erforderlich sind.
- Forschende des FZJ arbeiten daran, organische Elektronik mit einem zirkulären Ansatz voranzubringen. Die organische Elektronik, insbesondere die OLED-Technologie, bietet einen vielversprechenden Weg zur Dekarbonisierung und Ressourcenschonung. Um nachhaltig zu sein, erfordert ihr rasches Wachstum frühzeitige Einbeziehung von Recyclingplänen, effiziente Herstellungsverfahren und umweltfreundliche Produktionsmethoden sowie die Berücksichtigung des gesamten Produktlebenszyklus. Dies soll die Umweltfreundlichkeit der organischen Elektronik für eine grünere Zukunft sicherstellen.

- Am FZJ testen Forschende neuartige Titan-Luft-Batterien. Metall-Luft-Batterien verwenden Sauerstoff aus der Umgebungsluft, um elektrische Energie zu erzeugen, was theoretisch höhere Energiedichten ermöglicht als herkömmliche Batterien. Forschende haben erfolgreich eine Titan-Luft-Batterie getestet, obwohl Titan bisher wenig als Anodenmaterial in Betracht gezogen wurde.

Auf dem Weg zur Kommerzialisierung von Perowskit-Solarzellen wurden am HZB wertvolle Meilensteine erreicht (siehe Steckbrief auf Seite 64).

Das Kernziel des Forschungspark Windenergie (WiValdi) des DLR ist es, die multi-disziplinären Wirkmechanismen in einem Windpark auf höchstem wissenschaftlichen Niveau unter realen Randbedingungen zu erfassen. WiValdi wurde am 15. August 2023 in Krummendeich eröffnet (www.forschungspark-windenergie.de).

Das DLR plant, eine Technologieplattform Power-to-Liquid-Kraftstoffe (TPP) im Chemiepark Leuna zu errichten. Auf ihr soll im semi-industriellen Maßstab mit einer Produktionskapazität von 10.000 t/a Power-to-Liquid (PtL) die gesamte Kette der PtL-Produktion von der Elektrolyse über die Kraftstoffsynthese und -aufbereitung bis hin zur Nutzung in verschiedenen Sektoren erforscht und optimiert werden. Die TPP unterstützt die Industrie bei der Technologieentwicklung und -skalierung und unterstützt den Markteintritt von PtL-Kraftstoffen.

Das vom KIT im Programm NUSAFE federführend entwickelte Programmsystem JRODOS (Java based Realtime Online Decision suppOrt System) unterstützt die Behörden durch Bereitstellung geeigneter Schutz- und Gegenmaßnahmen für Mensch und Umwelt bei der Bewältigung von unfallbedingten Freisetzungen aus kerntechnischen Anlagen. Mittels JRODOS, das in mehr als 40 Ländern weltweit operationell eingesetzt wird, werden am KIT seit April 2022 stündlich Szenarien für die ukrainischen Kernkraftwerke simuliert und die Ergebnisse regelmäßig mit ukrainischen Behörden ausgetauscht.

Einen neuen Ansatz für die verbesserte Wärmeabfuhr in Tokamaks bietet der am IPP entwickelte X-Punkt-Strahler (XPR). Dabei handelt es sich um ein kaltes, dichtes, stark strahlendes Volumen im Innern des eingeschlossenen Plasmas. Wichtig für den Schutz des Divertors ist, dass die abgegebene Strahlungsleistung von bis zu 90 Prozent stabil und in Echtzeit kontrollierbar ist.

HIGHLIGHTPROJEKT

## Ressourceneffizientes Recycling von Schwarzmasse aus Lithium-Ionen-Batterien (LIBs) durch innovative Schaumflotation

Recycling ist eine mögliche Lösung, um die Lücke zwischen Angebot und Nachfrage von Rohstoffen für Lithium-Ionen-Batterien zu schließen, bleibt jedoch eine technologische Herausforderung. Am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) am HZDR wurden verschiedene Technologien für ein ressourceneffizientes Recycling der Schwarzmasse bewertet. Die Technologie mit der besten Ressourceneffizienz – thermomechanische Fragmentierung gefolgt von Schaumflotation als Trennverfahren – führte zu exzellenten Produktausbeuten an Graphit und Lithium-Metalloxiden.

Die Schaumflotation ist ein etablierter und effizienter Prozess für die Trennung wertvoller Mineralien von taubem Gestein für Partikelgrößen von etwa 10 bis 200 Mikrometer. Der Prozess basiert auf der selektiven Hydrophobierung, also wasserabweisenden Eigenschaft, von Mineralen und der Anhaftung dieser Partikel an Gasblasen, welche anschließend über einen Schaum ausgetragen werden. Daher sind Oberflächen-, aber auch andere Partikeleigenschaften wie Größe und Morphologie die wesentlichen Trennmerkmale für die Schaumflotation. Das Hinzufügen einer Schaumflotationsstufe ermöglicht die gemeinsame Rückgewinnung der Metalle und des Graphits. Graphit macht in der Regel 15 bis 25 Prozent des Batteriegewichts aus. Durch die Rückgewinnung des Graphits zusätzlich zu den 50 Prozent der Metalle, die bereits jetzt zurückgewonnen werden, können die Recycler die ab 2030 gültige EU-Anforderung von 70 Prozent Materialrecycling erfüllen.

Das Projekt wird federführend von Dr. Anna Vanderbruggen vorangetrieben. Sie ist eine renommierte Wissenschaftlerin, die am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie des HZDR zum

Dr. Anna Vanderbruggen an der Schaumflotations-Anlage beim Prozess der Graphit-Rückgewinnung

Recycling von Graphit aus gebrauchten Lithium-Ionen-Batterien promoviert hat. Neben zahlreichen Konferenzvorträgen berichtet sie auch aktiv auf Social Media über ihre Forschung. Ein maßgeblicher Erfolg ihrer bisherigen Karriere war die Auszeichnung mit dem EIT CHANGE Award für ihr innovatives Graphit-Recycling im Oktober 2022. Zudem gewann sie den nationalen Vorentscheid beim Falling Walls Wettbewerb 2021 in Berlin und sicherte sich damit ihre Finalteilnahme.

**Beteiligtes Helmholtz-Zentrum:** Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)
**Beteiligtes Programm:** Materialien und Technologien für die Energiewende (MTET)
**Veröffentlichungen:**

MEHR INFO

MEHR INFO

MEHR INFO

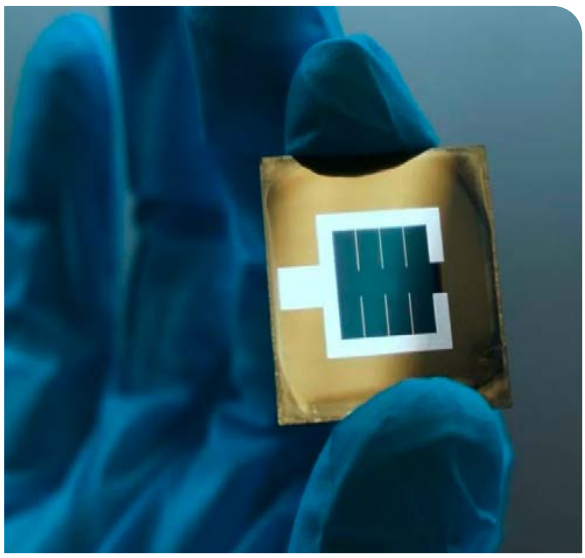
MEHR INFO

MEHR INFO

HIGHLIGHTPROJEKT

## Perowskitsolarzellen: Meilensteine auf dem Weg zur Kommerzialisierung

Die Photovoltaikforschung der Helmholtz-Gemeinschaft zählt seit einigen Jahren zur absoluten Weltspitze, was sich in einer erneuten Weltrekord-Tandemzelle aus Silizium und Perowskit (bis April 2023) gezeigt hat: Diese komplett am HZB hergestellte Zelle erreicht mit einem Wirkungsgrad von 32,5 Prozent einen Wert, der mit der herkömmlichen und weltweit dominanten Siliziumtechnologie selbst theoretisch nicht erreichbar ist, weshalb die Ergebnisse zu einer sehr großen internationalen Aufmerksamkeit, sowohl industriell als auch akademisch, geführt haben. Dieses Ergebnis gelang dank deutlich verbesserter Perowskit-Verbindung und Modifikation der Oberfläche mittels des neuartigen Moleküls Piperazinium Iodid. Die beteiligten Forschenden hoffen, diese Verbesserung bald in eine möglichst starke heimische Photovoltaikproduktion transferieren zu können.



Eine Tandem-Solarzelle aus Perowskit und Silizium: Der aktive Bereich in der Mitte des Wafers wird von der Silberelektrode umschlossen.

Bisher ist die wichtigste Herausforderung für die Perowskit-Technologie ihre manchmal unzureichende Langzeitstabilität. Den Forschenden in Helmholtz Energy gelang jetzt eine enorme Steigerung durch eine neuartige dipolare Polymerverbindung, durch die die Zelle 96 Prozent des anfänglichen Wirkungsgrads nach einem Jahr im Außeneinsatz behielt (unter beschleunigten Testbedingungen gemessen).

Die weltweite Spitzenstellung der Photovoltaikforschung in Helmholtz Energy zeigte sich auch dadurch, dass gleich fünf PV-Wissenschaftler zu den von Clarivate weltweit einflussreichsten Forschenden gezählt werden. Auf europäischer Ebene haben zwei Forschende renommierte „Consolidator Grants“ des Europäischen Forschungsrats erhalten. Innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft hat die Photovoltaikforschung mit dem von vier Forschenden geteilten high impact award eine sehr hohe Sichtbarkeit und Relevanz erlangt.

**Beteiligte Helmholtz-Zentren:** Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB), Forschungszentrum Jülich (FZJ), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
**Beteiligtes Programm:** Materialien und Technologien für die Energiewende (MTET)

HIGHLIGHTPROJEKT

### Wendelstein 7-X

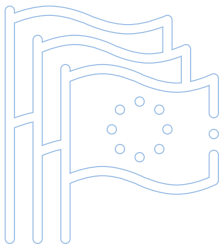
Bei der Magnetfusion (MFE: „Magnetic Fusion Energy“) ist ein Gasgemisch aus den Wasserstoffisotopen Deuterium und Tritium in einem Reaktor von einem Magnetfeld eingeschlossen, sodass es die Reaktorwände nicht berühren kann und Teilchen und Energie das Plasma nicht verlassen (sogenannter „magnetischer Einschluss“). Das eingeschlossene Plasma wird mithilfe einer sehr starken externen Heizung auf eine Temperatur von mehreren Millionen Grad Celsius erhitzt, sodass ähnlich wie in der Sonne Fusionsreaktionen stattfinden und die Wasserstoffisotope zu Helium verschmelzen können. Der Stellarator und der Tokamak stellen die zwei gängigsten Varianten eines Magnetfusionsreaktors dar.

Mit Wendelstein 7-X betreibt das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) an seinem Standort in Greifswald den größten und fortschrittlichsten Stellarator der Welt. Die Anlage soll einen erfolgreichen Plasmaeinschluss demonstrieren und so die Kraftwerkseignung dieses Bautyps nachweisen. Im Vergleich zu Tokamak-Anlagen, wie dem internationalen Großprojekt ITER, ermöglichen Stellaratoren einen Dauerbetrieb, sodass ein späteres Fusionskraftwerk inhärent grundlastfähig betrieben werden kann.

Kernstück von Wendelstein 7-X ist ein Kranz von 50 etwa 3,5 Meter hohen supraleitenden Magnetspulen, die den Einschluss des heißen Plasmas ermöglichen. Die spezielle Form der Spulen geht dabei auf aufwändige Computersimulationen zurück. Das Vakuumgefäß der Anlage hat einen Durchmesser von 16 Metern und eine Höhe von fünf Metern.

Wendelstein 7-X wurde ab 1997 errichtet. 2015 konnte die erste Betriebsphase beginnen, die 2018 ihren Abschluss fand. Während des darauffolgenden Umbaus wurden vor allem das Heizsystem erweitert und die Wandelemente mit einer Wasserkühlung versehen. Dass der Umbau erfolgreich war, zeigt die zweite Betriebsphase, die im Herbst 2022 begann: Im Februar 2023 wurde erstmals ein Energieumsatz von 1,3 Gigajoule erreicht. Mehr als acht Minuten dauerte die Plasmaentladung. Beide Werte stellen Rekorde dar und sind wichtige Schritte auf dem Weg hin zu einem Fusionskraftwerk. Um die Fusion für den Kraftwerksbetrieb nutzen zu können, ist es entscheidend, das Plasma möglichst lange aufrechtzuerhalten sowie große Energiemengen in das Plasma einkoppeln und die entstandene Wärme abführen zu können.

# 4. Europäische und internationale Zusammenarbeit



## 4.1 Europäische Vernetzung in der Energieforschung

Als Mitgliedstaat der EU hat sich Deutschland dem Erreichen der EU-Klimaziele 2050 verpflichtet. Diese beeinflussen die nationalen und europäischen Forschungsförderstrategien im Energiebereich. Entsprechende konkrete Fördermaßnahmen für Forschung, Entwicklung und Innovation können durch internationales Vernetzen zielgerichtet und effizient gestaltet und implementiert werden – wertvolle Synergien werden erkannt, geschaffen und genutzt. Internationale Vernetzung ist auch wichtig für die Forschenden, um gemeinsam rasch und passgenau auf europäische und internationale Förderaufrufe reagieren zu können.

### Deutschland als international führenden Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort stärken

Nationale Akteure aus Forschung und Industrie bringen mit ihrem erfolgreichen Engagement in europäischen Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsvorhaben Deutschland als einen führenden Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort entscheidend mit voran.

Damit Stakeholder aus Deutschland sowohl thematisch als auch fördertechnisch effizient Anschluss an europäische Vorhaben im Energiebereich finden können, sind Ressortvertretungen in verschiedenen Gremien auf inhaltlicher und strategischer Ebene aktiv.

#### EU-Programmausschüsse

Unter dem Dach des aktuellen EU-Rahmenprogramms für Forschung und Innovation „Horizont Europa“ engagiert sich Deutschland im Programmausschuss zu Cluster 5 (Klima, Energie und Mobilität) bzw. im Strategischen Programmausschuss.

In enger Zusammenarbeit mit der EU-Kommission und den EU-Mitgliedstaaten werden hier Arbeitsprogramme entwickelt und strategische, übergreifende Aspekte diskutiert. So hat Deutschland beispielsweise für das EU-Rahmenprogramm die kommende Förderstrategie von 2025 bis 2027 mitgestaltet. Im nächsten Schritt wird das Formulieren der Arbeitsprogramme für diese Jahre im Programmausschuss von Cluster 5 wiederum eng mit diesem strategischen Plan verknüpft.

Zudem können im Kontext der entsprechenden nationalen Konsultation auch die Förderziele des nationalen Energieforschungsprogramms in der Ausgestaltung der Arbeitsprogramme und damit in der europäischen Verbundforschungsförderung berücksichtigt werden.

#### SET-Plan und Europäische Partnerschaften

Die EU-Forschungsförderstrategie im Energiebereich gestaltet Deutschland im Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan) aktiv mit, gemeinsam mit Stakeholdern aus Industrie und Forschung sowie anderen EU-Mitgliedstaaten. Hier werden konkrete Förderziele ausgearbeitet und mit nationalen Programmen und den Zielen des EU-Rahmenprogramms abgeglichen. Die Ziele sind an die technologische Entwicklung und die aktuelle geopolitische Lage angepasst. Zudem wurde 2023 der SET-Plan mit fünf Querschnittsthemen neu ausgerichtet: Bedürfnisse der Gesellschaft, zirkuläre Wirtschaft, Digitalisierung, Qualifikation von Arbeitskräften und Beschleunigung der Markteinführung.

Die konkrete Umsetzung erfolgt seit 2022 über multilaterale Forschungsfördervorhaben der cofinanzierten Partnerschaft „Clean Energy Transition Partnership“ (CETPartnership) und „Driving Urban Transition Partnership“ (DUTP). Mit Deutschland sind an der Finanzierung der Calls über 30 EU-Mitglied- und weitere Staaten beteiligt.

Ein großes Plus für Antragstellende: Der Schritt auf die europäische Bühne ist hier leichter – durch kleinere Konsortien und weniger umfangreiche Anträge als unter Horizont Europa. Das Interesse der Akteure in Deutschland daran ist groß: An über der Hälfte der 320 Anträge in den ersten beiden CETPartnership-Calls waren Partner aus Deutschland beteiligt.

## 4.2 Forschungsrahmenprogramm der EU (Horizont Europa)

Horizont Europa ist eines der weltweit größten Forschungs- und Innovationsförderungsprogramme, das die EU in einem System europäischer und nationaler Finanzierungsprogramme mit gemeinsamen politischen Zielen jemals aufgelegt hat. Es legt besonderes Augenmerk auf die Zusammenarbeit zwischen Universitäten, wissenschaftlichen Gemeinschaften und der Industrie, einschließlich kleiner und mittlerer Unternehmen, sowie den Bürgerinnen und Bürgern und ihren Vertretern. So soll die Kluft zwischen Regionen, Generationen und regionalen Kulturen überbrückt und die Zukunft Europas gemeinsam gestaltet werden.

Die übergeordnete Motivation des Clusters 5 „Klima, Energie und Mobilität“ ist die Beschleunigung des grünen und digitalen Wandels und der damit verbundenen Umgestaltung der Wirtschaft, Industrie und Gesellschaft mit dem Ziel, bis 2050 in Europa Klimaneutralität zu erreichen. Dies umfasst den Übergang zur Treibhausgasneutralität des Energie- und Mobilitätssektors bei gleichzeitiger Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, Widerstandsfähigkeit des Nutzens für die Gesellschaft.

Die Förderaufrufe in Cluster 5 unterstützen die Umsetzung des Pariser Abkommens von 2015, der Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen sowie die politischen und strategischen Vorgaben der EU in den verschiedenen Energiesektoren.

Im Kontext des russischen Angriffs auf die Ukraine trägt Cluster 5 im Einklang mit den REPowerEU-Prioritäten dazu bei, die Abhängigkeit Europas von russischen Importen fossiler Brennstoffe zu minimieren. Denn die Förderaktivitäten unter Cluster 5 bringen die Diversifizierung der europäischen Gasversorgung, die Elektrifizierung des Energiesystems und die Umstellung energieintensiver Industrien voran.

### Erfolgreiche Beteiligung deutscher Antragsteller im Energiebereich in Horizont Europa

Im Jahr 2022 wurden rund 833 Millionen Euro Fördermittel für insgesamt 129 Verbundprojekte bereitgestellt. Deutschland ist an 98 Projekten mit insgesamt 216 Projektteilnehmenden beteiligt. Damit waren Akteure aus Deutschland in 76 Prozent aller Verbundprojekte im Energiebereich von Horizont Europa vertreten und haben davon in sieben Projekten die Koordination übernommen (vgl. Abb. 30, S. 69). Insgesamt konnten deutsche Projektbeteiligte dabei rund 134,5 Millionen Euro an Fördermitteln einwerben. Damit fließen 16 Prozent der bewilligten Gesamtfördersumme nach Deutschland. Deutschland liegt somit im betrachteten Programmbereich im Jahr 2022 vor Spanien, Italien und Frankreich an erster Stelle bezogen auf die eingeworbenen Fördergelder (vgl. Abb. 31, S. 69).

Abbildung 30: Anzahl an Projektbeteiligten pro Land im Energiebereich von Cluster 5 in 2021

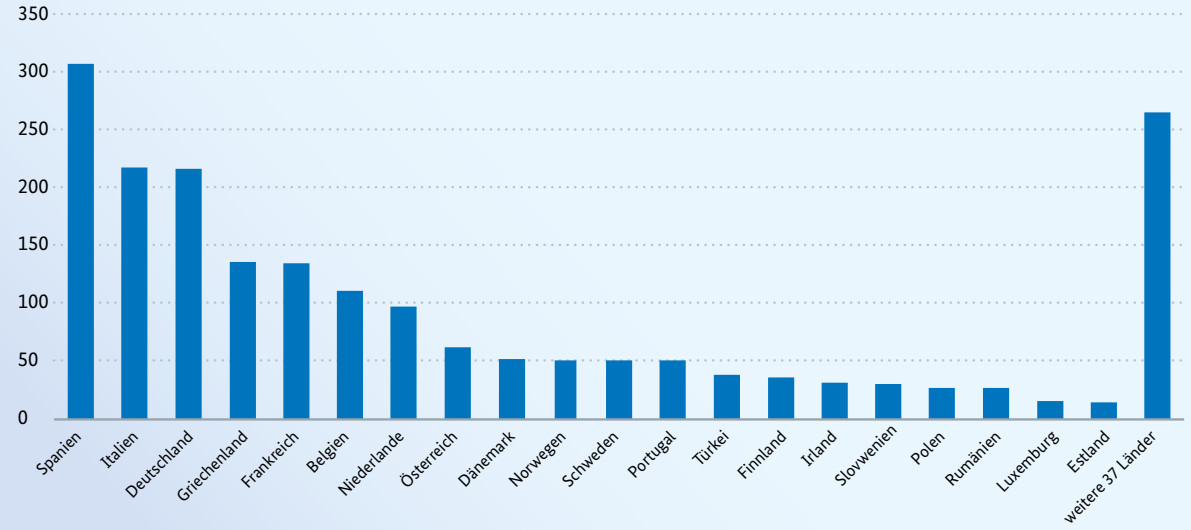
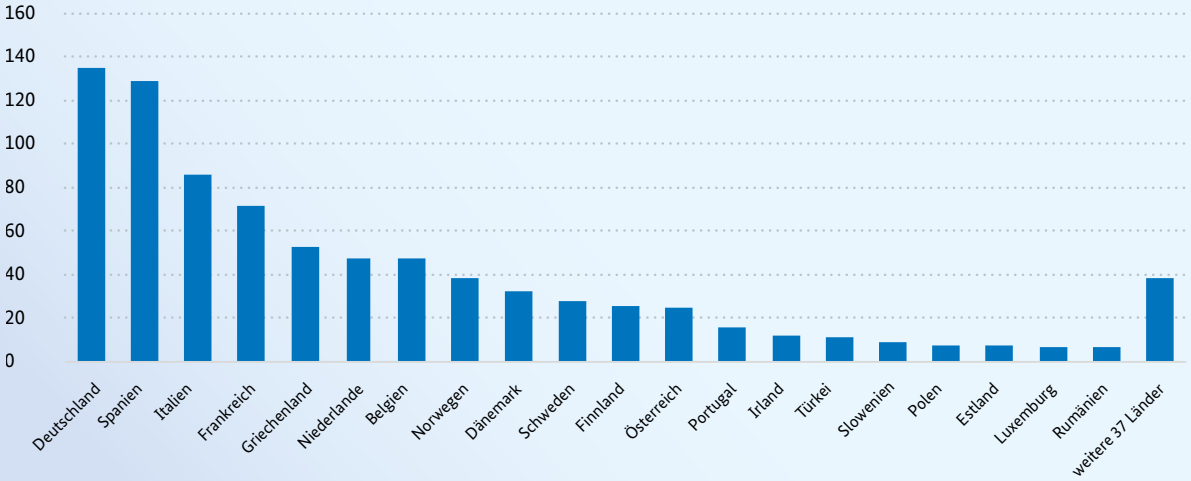



Abbildung 31: Die ersten 20 Empfänger von EU-Fördermitteln im Energiebereich von Cluster 5 im Jahr 2022

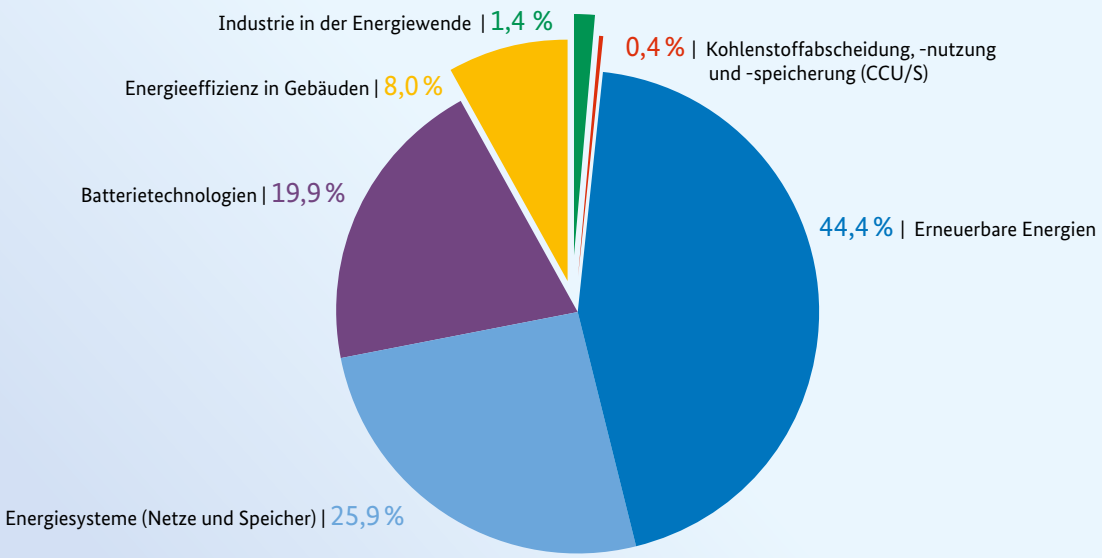


## Schwerpunkte der Energieforschung in Horizont Europa

Die Projektbeteiligung der Zuwendungsempfänger aus Deutschland konzentriert sich mit 40,7 Prozent auf den Bereich erneuerbare Energien (Global leadership in renewable energy), der sowohl angewandte Forschungs- und Demonstrationsvorhaben von Erneuerbaren wie Wind, Solar, PV und Geothermie als auch Bioenergie und -Kraftstoffe berücksichtigt. Dies spiegelt sich auch in der Verteilung der eingeworbenen Fördermittel wider (vgl. Abb. 32). Ein deutlicher Schwerpunkt liegt auf Forschungs- und Demonstrationsvorhaben in diesen Technologiefeldern: Erneuerbare Energien mit 44,4 Prozent und Energiesysteme mit 25,9 Prozent. Es folgen Batterietechnologien mit 19,9 Prozent, Energieeffizienz in Gebäuden mit 8,0 Prozent, Industrie in der Energiewende mit 1,4 Prozent und Kohlenstoffabscheidung, -nutzung und -speicherung mit 0,4 Prozent.

Themen mit dem Förderschwerpunkt auf Technologien und Innovationen im Bereich Wasserstoff sind in den dargelegten Auswertungen nicht berücksichtigt, da sie innerhalb der institutionalisierten Partnerschaft *Clean Hydrogen* gefördert werden. Weitere energierelevante Themen, die außerhalb des Programmbereichs Cluster 5 angesiedelt sind, werden in den dargestellten Auswertungen nicht berücksichtigt.

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



## 4.3 Internationale Zusammenarbeit

Die Bundesregierung ist nicht nur in europäischen, sondern auch in weltweit agierenden Organisationen und Initiativen in der Energieforschung aktiv.

### Internationale Energieagentur (IEA)

Die Internationale Energieagentur (IEA) agiert eigenständig innerhalb der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und trägt durch ihre Tätigkeiten zur Stärkung der internationalen Kooperation in energiepolitischen, -technischen und -wirtschaftlichen Fragen bei. Sie umfasst 31 Mitgliedstaaten, darunter Deutschland sowie dreizehn assoziierte Partnerländer. Die Bundesregierung wird federführend durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz repräsentiert.

Das Committee on Energy Research and Technology (CERT) koordiniert sämtliche übergeordneten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowie strategische Aufgaben im Bereich der Energietechnologien. Die energieforschungspolitischen Ziele werden durch länderübergreifende Technology Collaboration Programmes (TCP) konkret umgesetzt. Deutschland beteiligt sich derzeit an 24 der insgesamt 39 laufenden TCPs.

### Mission Innovation (MI)

Mission Innovation (MI) treibt weltweit die Entwicklung und Erweiterung sauberer und kostengünstiger Energietechnologien und -lösungen voran, indem es insbesondere auf eine Steigerung öffentlicher und privater Investitionen setzt.

Im Jahr 2021 wurden auf dem sechsten Ministertreffen (MI-6) sowie der 26. UNFCCC-Vertragsstaatenkonferenz (COP26) sieben Innovationsmissionen vorgestellt:

- 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

### Bilaterale Forschungszusammenarbeit

Die Bundesregierung engagiert sich im Bereich der Energieforschung auch auf bilateraler Ebene in internationalen Kooperationen mit anderen Ländern und Regionen.

#### Zusammenarbeit mit Frankreich zur nachhaltigen Energieversorgung Europas

In der Initiative von BMBF und dem französischen Forschungsministerium arbeiteten neun Forschungsprojekte seit Ende 2019 an Lösungen für eine effiziente, bezahlbare und umweltfreundliche Energieversorgung. Die Projekte erforschten Batterietechnologien, Innovationen für Stromnetze und Energiemärkte, die Erzeugung von Gasen und Chemikalien aus erneuerbarem Strom sowie Brennstoffzellen und Hausenergieversorgung mit Wasserstoff. Die bilaterale Kooperation verlief trotz der Pandemie sehr erfolgreich. Im Mai 2023 kamen alle Projektteams für ein Abschlussseminar zusammen und präsentierten unter anderem Fortschritte bei Batteriematerialien, einen neuartigen $CO_2$-Elektrolyseur oder den Laboraufbau für ein Wasserstoffhaus.

#### Deutsch-Niederländische Forschung zu Grünem Wasserstoff und Grüner Chemie

Zur Sitzung des deutsch-niederländischen Klimakabinetts am 4. Oktober 2022 stellten BMBF und BMWK einen gemeinsamen Förderaufruf mit dem niederländischen Forschungsrat vor: *Electrochemical Materials and Processes for Green Hydrogen and Green Chemistry*. Die bilateralen Kooperationsprojekte werden Kompetenzen beider Länder bündeln, um innovative und praxisrelevante Lösungen und Verfahren für grünen Wasserstoff und grüne Chemie zu entwickeln. Im Dezember 2023 konnten insgesamt sechs deutsch-niederländische Verbund-

projekte bewilligt werden, davon vier im Förderbereich des BMBF. Die Projekte entwickeln neuartige Komponenten oder Prozesse für die Erzeugung von Wasserstoff, Methan oder chemischen Grundstoffen auf regenerativer Basis und beziehen dabei Partner entlang der gesamten Innovationskette von der Forschung über die Industrie bis hin zum Nutzer ein.

### Europäische Forschungsagenda Grüner Wasserstoff (SRIA)

Die Strategische Forschungs- und Innovationsagenda (SRIA), eine Pilotinitiative des Europäischen Forschungsraums, adressiert die wichtigsten Forschungsfragen in Bezug zu grünem Wasserstoff auf europäischer Ebene. Zur weiteren bilateralen Intensivierung hat im Oktober 2023 ein deutsch-italienischer Workshop stattgefunden. In diesem Zusammenhang ist weiterer Forschungsbedarf in verschiedenen Bereichen entlang der Wertschöpfungskette von grünem Wasserstoff identifiziert worden.

### Partnerschaft mit Afrika zu erneuerbarer Energie und Grünem Wasserstoff

Das BMBF fördert eine Vielzahl von Projekten, an denen über 30 afrikanische Länder beteiligt sind. In Burkina Faso wird untersucht, wie sehr Verschmutzungen auf Solarmodulen den Ertrag reduzieren und mit welchen Methoden dies verhindert werden kann. Das Projekt Waste2Energy geht in Ghana der Frage nach, wie Abfall in Energie und Dünger umgewandelt werden kann. In Togo bauen Forschende ein großes zertifiziertes Biogaslabor auf – das Erste seiner Art in Westafrika. In Nigeria startete eine Studie, die untersucht, wie mithilfe von grünem Wasserstoff nachhaltige Düngemittel vor Ort produziert werden können – dies reduziert die Abhängigkeit von Importen. Im *International Master Program in Energy and Green Hydrogen* werden bereits in einem zweiten Durchlauf die Fachkräfte von morgen ausgebildet. Südafrikanische und deutsche Forschungseinrichtungen und Unternehmen entwickeln bessere Katalysatoren um die Produktion von $CO_2$-neutralem Flugbenzin wirtschaftlich zu machen.

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 13 von insgesamt 31 ausgewählten Projekten mit.

Internationale Kooperationen spielen eine Schlüsselrolle in Deutschlands Wasserstoffstrategie: Weil nicht der gesamte für die Energiewende benötigte Wasserstoff in Deutschland produziert werden kann, bestehen Forschungskooperationen mit Staaten in Europa, Afrika und Australien.

PROJEKTPORTRÄT

## Internationale Kooperationen mit Australien und Namibia

Deutschland wird Wasserstoff aus dem Ausland importieren müssen. Die Bundesrepublik will zwar bis 2030 10 Gigawatt Elektrolyse-Kapazität aufbauen, der erzeugbare Wasserstoff reicht aber nur aus, um zwischen 30 und 50 Prozent des deutschen Bedarfs zu decken. Das BMBF ist deswegen frühzeitig langfristige internationale Forschungskooperationen eingegangen. Deutschland und Australien streben seit 2020 eine strategische Wasserstoff-Partnerschaft an. Dass es ökonomisch tragfähig ist, Wasserstoff in Australien zu produzieren und nach Deutschland zu exportieren, hat die Machbarkeitsstudie HySupply gezeigt. Daraufhin wurden die deutsch-australischen Fördermaßnahme HyGATE (German-Australian Hydrogen Innovation and Technology Incubator) ins Leben gerufen und darin vier gemeinsame Vorhaben ausgewählt, wovon zwei schon 2023 starten konnten.

Auch Namibia verfügt über ausreichende Landflächen sowie viel Sonne und Wind und hat damit großes Potenzial für die Produktion und den Export von grünem Wasserstoff, der in Deutschland zukünftig benötigt wird. Das BMBF fördert zurzeit drei deutsch-namibische Wasserstoff-Projekte. Ziel der Projekte ist es, Wasserstoff-Technologien in die Anwendung zu bringen. Für die Erzeugung und Nutzung von grünem Wasserstoff werden neue Technologien gebraucht, aber auch ausreichend Fachwissen. Im Rahmen des Capacity Buildings gilt es daher, Fachkräfte vor Ort auszubilden. Das Stipendienprogramm Youth for Green Hydrogen (Y4H2) zielt darauf ab, junge Namibier für die grüne Wasserstoffwirtschaft fit zu machen. Es werden in mehreren Runden Stipendien an Masterstudierende, aber auch für Weiterbildungskurse und Ausbildungen vergeben.

Das International Master Program in Energy and Green Hydrogen wird außerdem 130 Studierende aus allen 15 Ländern der Wirtschaftsgemeinschaft der westafrikanischen Staaten (ECOWAS) qualifizieren.

**Technology Readiness Level nach Projektende:** 4 – 5

**Zuwendungsempfänger:** Deutsche Akademie der Technikwissenschaften acatech
**Förderndes Ministerium:** BMBF
**Förderkennzeichen:** 03EW0027
**Fördermittelansatz:** 1,7 Millionen Euro
**Projektlaufzeit:** 2020 – 2023
**Projektbeschreibung auf EnArgus:**

MEHR INFO

*„Unser deutsch-australisches Konsortium aus Wissenschaft und Wirtschaft hat gezeigt, dass Lieferketten für Wasserstoff, Ammoniak und andere Folgeprodukte von Australien nach Deutschland technisch, ökonomisch und rechtlich möglich sind. Unsere australischen Partner sind bereit, die Energieträger in großen Maßstab für deutsche Abnehmer zur Verfügung zu stellen. Damit dies gelingt, und damit das Versprechen einer Wasserstoffwirtschaft eine Chance hat, müssen wir unmittelbar in die Umsetzung gehen. Dabei ist es wichtig, groß zu denken und der Industrie sichere Rahmenbedingungen zu bieten.“*

Prof. Dr. Robert Schlögl,
HySupply-Projektleitung und Präsident
Alexander von Humboldt-Stiftung

# 5. Forschungs-förderung 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 Forschung und Entwicklung innovativer Energietechnologien.

Die Aufwendungen der Länder für die Projektförderung sowie die institutionelle Förderung haben sich der Untersuchung für das Jahr 2022 zufolge auf 470,4 Millionen Euro summiert. Hiervon entfielen 265,5 Millionen Euro auf die Projektförderung und 204,9 Millionen Euro auf die institutionelle Förderung.

Wie bereits in den Vorjahren bildete die technologische Förderung im Bereich „Systemintegration und systemübergreifende Forschungsthemen“ auch 2022 den übergreifenden Förderschwerpunkt und wurde insgesamt mit 235 Millionen Euro von den Ländern finanziell unterstützt. Im Forschungsfokus standen hierbei Wasserstofftechnologien (118,5 Millionen Euro) sowie Energiespeicher (45,5 Millionen Euro) als bedeutendste Instrumente zur Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität.

Die Forschungsförderung im Bereich „Energiewende in den Verbrauchssektoren“ umfasst alle Energieeffizienzmaßnahmen und bewegte sich mit 128,3 Millionen Euro über dem Vorjahresniveau. Vorangetrieben durch die Elektromobilitätsforschung ragte dabei das Themenfeld „Energieeffizienz im Verkehr“ mit länderseitigen Zuwendungen in Höhe von 58,5 Millionen Euro heraus.

Die finanziellen Aufwendungen der Länder für die technologische Forschung und Entwicklung im Bereich „Energieerzeugung“ summierten sich im Erhebungsjahr auf 107,6 Millionen Euro. Das Forschungsfeld Solarthermie und Photovoltaik erfuhr mit 23,4 Millionen Euro die größten finanziellen Anstrengungen, gefolgt von der Windenergie (20,9 Millionen Euro).

Mit einem beachtenswerten Fördervolumen von über 470 Millionen Euro im Bereich der nichtnuklearen Energieforschung tragen die Länder bedeutend zum nationalen Energiewendeprozess sowie zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung bei.

Der ausführliche Bericht „Förderung der nichtnuklearen Energieforschung durch die Bundesländer im Jahre 2022“ kann neben den weiteren bislang veröffentlichten Länderberichten über energieforschung.de, der Informationsseite des BMWK zur Energieforschung, abgerufen werden.

# 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 | 2023 |
| **Projektförderung** | **487,65** | **525,44** | **536,28** | **659,45** | **635,25** | **703,66** | **750,59** | **945,17** | **1111,98** | **1077,83** |
| Strategische Förderformate | | | | | | - | 5,53 | 66,93 | 210,65 | 222,20 |
| Energiewende in den Verbrauchssektoren | 115,89 | 112,04 | 108,08 | 137,28 | 156,04 | 193,92 | 208,03 | 212,92 | 198,11 | 178,46 |
| Energieerzeugung | 198,95 | 209,86 | 191,67 | 244,49 | 212,36 | 255,36 | 252,60 | 288,39 | 257,01 | 242,16 |
| Systemintegration: Netze, Speicher, Sektorkopplung | 95,22 | 113,30 | 119,79 | 144,44 | 127,15 | 127,11 | 146,61 | 201,69 | 211,39 | 219,80 |
| Systemübergreifende Forschungsthemen der Energiewende | 34,29 | 44,49 | 71,01 | 86,12 | 92,22 | 78,31 | 91,61 | 123,42 | 184,43 | 164,26 |
| Nukleare Sicherheitsforschung | 43,29 | 45,74 | 45,73 | 47,13 | 47,48 | 48,98 | 46,21 | 51,82 | 50,39 | 50,96 |
| **Institutionelle Förderung (HGF)** | **331,60** | **348,69** | **362,81** | **379,63** | **393,75** | **410,29** | **415,78** | **314,42** | **319,85** | **325,39** |
| **Begleitende Maßnahmen** | **28,14** | **34,72** | **35,03** | **28,20** | **25,76** | **34,47** | **50,16** | **51,38** | **54,53** | **58,50** |
| **Gesamt** | **847,39** | **908,85** | **934,12** | **1067,28** | **1054,75** | **1148,42** | **1216,53** | **1310,97** | **1486,36** | **1461,72** |

### 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 | 2023 | laufend in 2023 | neu bewilligt in 2023 | neu bewilligt in 2023 |
| **Reallabore der Energiewende** | **-** | **5,53** | **18,29** | **40,50** | **45,48** | **220** | **51** | **72,64** |
| Energieoptimierte und klimaneutrale Gebäude | - | 0,14 | 1,22 | 1,31 | 1,38 | 9 | 4 | 12,15 |
| Energieoptimierte und klimaneutrale Quartiere | - | 1,70 | 5,06 | 8,69 | 10,00 | 44 | - | - |
| Versorgung mit Wärme und Kälte | - | 0,06 | 0,80 | 5,33 | 6,78 | 17 | 1 | 0,70 |
| Energiewende in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen | - | - | - | 0,46 | 0,58 | 3 | 3 | 5,68 |
| Photovoltaik | - | - | - | - | 0,07 | 4 | 4 | 2,69 |
| Energetische Nutzung biogener Rest und Abfallstoffe | - | 1,01 | 1,22 | 0,05 | 0,03 | - | - | - |
| Geothermie | - | 0,35 | 1,66 | 6,87 | 2,08 | 11 | 1 | 0,81 |
| Thermische Kraftwerke | - | 2,17 | 2,72 | 1,20 | 0,11 | 1 | - | - |
| Stromnetze | - | - | - | - | - | - | 9 | 13,80 |
| Stromspeicher | - | - | - | 0,00 | 1,73 | 12 | 4 | 13,08 |
| Wasserstofferzeugung | - | 0,11 | 5,04 | 11,63 | 15,51 | 53 | - | - |
| Brennstoffzellen | - | - | - | - | 0,34 | 7 | 3 | 7,52 |
| Systemische Ansätze | - | - | 0,54 | 1,89 | 2,65 | 23 | - | - |
| Digitalisierung in der Energiewende | - | - | 0,04 | 3,05 | 4,21 | 36 | 22 | 16,20 |
| **Wasserstoff–Leitprojekte** | **-** | **-** | **48,64** | **170,14** | **176,72** | **368** | **37** | **43,21** |
| Speicher und Transport / TransHyDE | - | - | 10,71 | 28,72 | 31,34 | 124 | 19 | 21,36 |
| Wasserstofferzeugung / $H^2$Giga und $H_2$Mare | - | - | 37,93 | 141,43 | 145,38 | 244 | 18 | 21,86 |
| **Gesamt** | **-** | **5,53** | **66,93** | **210,65** | **222,20** | **588** | **88** | **115,86** |

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

| Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | | | Anzahl Projekte | | Förder-summe in Mio. € |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | laufend in 2023 | neu bewilligt in 2023 | neu bewilligt in 2023 |
| **Energiewende in Gebäuden und Quartieren** | **66,11** | **61,85** | **58,21** | **65,38** | **78,63** | **93,51** | **101,27** | **98,57** | **100,16** | **87,09** | **1023** | **202** | **77,80** |
| Energieoptimierte und klimaneutrale Gebäude | 36,55 | 35,64 | 32,00 | 36,57 | 39,78 | 50,24 | 47,86 | 44,90 | 42,60 | 36,34 | 487 | 89 | 32,57 |
| Energieoptimierte und klimaneutrale Quartiere | 10,59 | 9,65 | 12,94 | 17,57 | 22,52 | 25,35 | 31,51 | 31,24 | 26,20 | 27,98 | 309 | 71 | 28,62 |
| Grundlagenforschung Energieoptimierte und klimaneutrale Quartiere | 5,19 | 4,65 | 3,88 | 2,73 | 7,50 | 10,22 | 13,63 | 9,92 | 15,53 | 7,49 | 63 | - | - |
| Thermische Energiespeicher | 6,51 | 7,33 | 5,75 | 4,84 | 5,33 | 4,65 | 4,52 | 4,19 | 4,17 | 4,78 | 45 | 12 | 3,54 |
| Versorgung mit Wärme und Kälte | 7,27 | 4,59 | 3,64 | 3,67 | 3,51 | 3,06 | 3,74 | 7,15 | 8,56 | 7,40 | 116 | 30 | 13,08 |
| Grundlagenforschung Versorgung mit Wärme und Kälte | - | - | - | - | - | - | - | 1,17 | 3,09 | 3,08 | 3 | - | - |
| **Energiewende in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen** | **37,17** | **37,39** | **36,00** | **57,12** | **60,92** | **66,20** | **64,88** | **73,49** | **69,80** | **71,45** | **801** | **251** | **106,40** |
| Abwärmenutzung | 3,88 | 4,98 | 4,03 | 2,78 | 1,26 | 0,55 | 0,56 | 0,98 | 1,11 | 2,07 | 29 | 11 | 7,33 |
| Chemische Verfahrenstechnik | 7,13 | 7,49 | 9,11 | 12,83 | 12,83 | 11,22 | 9,21 | 9,12 | 10,64 | 10,54 | 107 | 38 | 16,43 |
| Eisen-, Stahl und Nichteisenmetalle | 0,98 | 0,97 | 0,86 | 1,09 | 2,07 | 3,56 | 3,15 | 2,36 | 4,25 | 2,82 | 38 | 11 | 4,63 |
| Zirkuläres Wirtschaften | 0,34 | 0,32 | 0,12 | 0,03 | - | - | 0,16 | 0,29 | 0,29 | 0,10 | 6 | - | - |
| Fertigungstechnik | 17,13 | 15,82 | 11,09 | 14,82 | 17,49 | 23,19 | 24,80 | 24,75 | 22,40 | 22,84 | 246 | 30 | 8,82 |
| Hochtemperatur-supraleitung | 2,37 | 0,53 | 0,62 | 1,18 | 1,15 | 1,07 | 0,70 | 2,15 | 2,33 | 1,61 | 12 | - | - |
| Digitalisierung in der Industrie | 0,70 | 0,74 | 1,07 | 1,59 | 1,69 | 1,61 | 0,66 | 2,30 | 3,70 | 4,21 | 25 | 3 | 0,92 |
| Material- und Ressourceneffizienz | 0,07 | 0,09 | 0,01 | 0,18 | 0,28 | 0,49 | 0,43 | 0,37 | 0,15 | 0,03 | - | - | - |
| Prozesswärme | 3,29 | 4,14 | 5,65 | 8,15 | 8,58 | 9,45 | 9,36 | 10,51 | 9,49 | 11,65 | 115 | 49 | 19,61 |
| Wasserbehandlung | 0,04 | 0,18 | 0,35 | 0,72 | 0,58 | 0,57 | 0,51 | 0,41 | 0,20 | 0,78 | 13 | 5 | 2,43 |
| Flexible Industrieprozesse | - | - | - | 10,70 | 12,54 | 10,80 | 10,43 | 14,05 | 8,37 | 6,25 | 107 | 66 | 28,82 |
| Sonstige | 1,24 | 2,12 | 3,07 | 3,03 | 2,44 | 3,67 | 4,93 | 6,19 | 6,89 | 8,55 | 103 | 38 | 17,40 |
| **Energiewende im Verkehr** | **12,61** | **12,80** | **13,87** | **14,78** | **16,49** | **34,21** | **41,87** | **40,85** | **28,16** | **19,92** | **177** | **18** | **11,66** |
| Batterietechnik für mobile Anwendung | 12,61 | 12,80 | 13,87 | 14,28 | 15,63 | 17,06 | 17,80 | 16,59 | 11,25 | 9,88 | 107 | 13 | 6,79 |
| Synthetische Kraftstoffe | - | - | - | 0,50 | 0,86 | 13,51 | 16,19 | 16,29 | 9,28 | 6,57 | 46 | 5 | 4,87 |
| Grundlagenforschung Synthetische Kraftstoffe | - | - | - | - | - | 3,64 | 7,44 | 6,49 | 4,61 | 0,91 | 4 | - | - |
| Ladeinfrastruktur und Systemintegration | - | - | - | - | - | - | 0,44 | 1,48 | 3,02 | 2,56 | 20 | - | - |
| **Gesamt** | **115,89** | **112,04** | **108,08** | **137,28** | **156,04** | **193,92** | **208,03** | **212,92** | **198,11** | **178,46** | **2001** | **471** | **195,86** |

## Tabelle 4 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Energieerzeugung“

| Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | | | Anzahl Projekte | | Förder-summe in Mio. € |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | laufend in 2023 | neu bewilligt in 2023 | neu bewilligt in 2023 |
| **Photovoltaik** | **56,83** | **67,41** | **59,78** | **81,90** | **78,24** | **98,69** | **86,19** | **88,39** | **70,14** | **73,38** | **461** | **93** | **65,90** |
| PV-Technologien | 7,22 | 5,64 | 2,65 | 2,75 | 5,24 | 11,75 | 12,40 | 16,40 | 13,55 | 12,28 | 90 | 12 | 7,07 |
| Qualitätssicherung | 2,65 | 3,07 | 3,79 | 4,60 | 3,65 | 3,97 | 3,83 | 5,24 | 7,25 | 9,73 | 92 | 26 | 10,73 |
| Produktionstechnologien | 28,77 | 36,05 | 36,10 | 55,93 | 58,11 | 58,86 | 56,81 | 50,05 | 37,90 | 25,64 | 176 | 36 | 22,45 |
| Zirkuläres Wirtschaften | 0,63 | 0,91 | 0,99 | 1,14 | 0,82 | 1,01 | 1,16 | 1,72 | 1,05 | 1,13 | 10 | 5 | 1,56 |
| Systemfähigkeit | 2,40 | 3,40 | 4,57 | 5,41 | 6,85 | 5,99 | 5,50 | 4,00 | 4,79 | 4,59 | 48 | 5 | 2,93 |
| Grundlagenforschung Photovoltaik | 14,83 | 11,59 | 6,17 | 3,51 | 1,33 | 2,69 | 2,27 | 4,39 | 1,34 | 1,07 | 6 | - | - |
| Sonstige | 0,34 | 6,75 | 5,51 | 8,56 | 2,24 | 14,41 | 4,23 | 6,60 | 4,27 | 18,93 | 39 | 9 | 21,15 |
| **Windenergie** | **52,88** | **52,85** | **49,68** | **75,11** | **59,73** | **72,95** | **76,06** | **82,87** | **89,19** | **74,97** | **471** | **99** | **62,70** |
| Anlagenentwicklung | 23,40 | 27,09 | 21,99 | 42,92 | 29,13 | 34,69 | 41,82 | 42,79 | 43,85 | 39,44 | 190 | 49 | 38,87 |
| Logistik, Installation, Instandhaltung und Betrieb | 5,25 | 5,18 | 7,38 | 11,00 | 8,34 | 8,30 | 7,83 | 9,96 | 10,97 | 12,14 | 122 | 12 | 7,84 |
| Windenergie Offshore | 14,34 | 9,19 | 10,45 | 11,56 | 12,03 | 15,88 | 17,61 | 18,67 | 25,31 | 12,94 | 73 | 12 | 4,80 |
| Umweltaspekte der Windenergie | 4,31 | 3,23 | 2,25 | 2,48 | 2,42 | 3,34 | 2,83 | 3,08 | 2,13 | 2,25 | 24 | 5 | 1,54 |
| Windphysik und Meteorologie | 2,34 | 3,63 | 3,03 | 3,06 | 2,33 | 2,96 | 3,70 | 6,18 | 5,45 | 6,84 | 43 | 13 | 7,08 |
| Sonstige | 3,24 | 4,53 | 4,58 | 4,08 | 5,49 | 7,79 | 2,26 | 2,18 | 1,48 | 1,36 | 19 | 8 | 2,58 |
| **Bioenergie** | **43,00** | **42,10** | **37,88** | **33,03** | **28,54** | **40,52** | **48,37** | **63,72** | **48,00** | **44,87** | **694** | **166** | **83,49** |
| Erzeugung – Anbau | 5,98 | 4,43 | 4,69 | 5,70 | 6,52 | 10,86 | 14,39 | 18,97 | 18,59 | 18,36 | 223 | 51 | 53,91 |
| Erzeugung – Züchtung | 4,77 | 4,92 | 4,49 | 4,58 | 4,20 | 4,44 | 4,78 | 4,35 | 3,90 | 3,19 | 54 | 13 | 3,98 |
| Konversion – allgemein | - | 0,53 | 5,22 | 2,73 | 4,46 | 5,03 | 4,64 | 3,76 | 1,53 | 1,63 | 25 | 5 | 2,14 |
| Konversion – gasförmig | 5,27 | 6,84 | 4,92 | 6,79 | 5,04 | 4,88 | 6,05 | 6,46 | 6,72 | 7,50 | 124 | 36 | 10,79 |
| Konversion – flüssig | 6,19 | 5,92 | 3,97 | 3,21 | 1,98 | 1,12 | 0,68 | 0,78 | 0,39 | 0,26 | 7 | 2 | 0,52 |
| Konversion – fest | 0,73 | 1,92 | 2,23 | 1,77 | 1,34 | 2,43 | 3,85 | 3,49 | 1,83 | 2,39 | 34 | 3 | 0,76 |
| Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe | 5,06 | 4,69 | 3,66 | 4,17 | 4,20 | 5,12 | 7,71 | 10,48 | 10,39 | 9,53 | 209 | 56 | 11,37 |
| Grundlagenforschung Bioenergie | 12,16 | 9,89 | 6,17 | 3,13 | 0,22 | 5,83 | 4,63 | 13,13 | 2,37 | 1,07 | 8 | - | - |
| Querschnitt | 2,85 | 2,97 | 2,53 | 0,94 | 0,59 | 0,80 | 1,65 | 2,29 | 2,28 | 0,95 | 10 | - | - |
| **Thermische Kraftwerke** | **29,39** | **32,22** | **29,44** | **34,14** | **29,05** | **28,30** | **25,72** | **29,77** | **30,72** | **35,26** | **358** | **58** | **29,58** |
| Last- und brennstoffflexible Gas- und Dampfturbinen | 20,12 | 20,82 | 18,42 | 22,87 | 18,01 | 17,74 | 16,22 | 17,41 | 15,59 | 20,15 | 215 | 38 | 22,22 |
| Solarthermische Kraftwerke | 6,23 | 8,01 | 7,21 | 6,20 | 6,13 | 6,75 | 8,19 | 9,19 | 9,71 | 9,58 | 101 | 5 | 2,10 |
| Sonstige | 3,04 | 3,39 | 3,81 | 5,07 | 4,90 | 3,80 | 1,31 | 3,17 | 5,43 | 5,53 | 42 | 15 | 5,26 |
| **Geothermie** | **15,64** | **13,61** | **12,89** | **18,15** | **15,38** | **13,19** | **14,01** | **22,71** | **18,64** | **13,44** | **118** | **38** | **20,20** |
| **Wasserkraft und Meeresenergie** | **1,21** | **1,68** | **2,01** | **2,15** | **1,40** | **1,71** | **2,26** | **0,93** | **0,31** | **0,25** | **5** | **2** | **1,25** |
| **Gesamt** | **198,95** | **209,86** | **191,67** | **244,49** | **212,36** | **255,36** | **252,60** | **288,39** | **257,01** | **242,16** | **2107** | **456** | **263,13** |

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

| Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | | | Anzahl Projekte | | Förder-summe in Mio. € |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | laufend in 2023 | neu bewilligt in 2023 | neu bewilligt in 2023 |
| **Stromnetze** | **31,24** | **54,32** | **66,32** | **78,14** | **66,24** | **64,85** | **65,05** | **69,75** | **61,28** | **59,78** | **582** | **129** | **77,84** |
| Versorgungssicherheit | 2,23 | 7,50 | 12,75 | 13,10 | 13,51 | 11,02 | 12,11 | 10,52 | 8,67 | 6,51 | 65 | 12 | 5,26 |
| Flexibilität im Stromnetz | 5,88 | 7,21 | 6,60 | 6,30 | 7,13 | 7,14 | 10,71 | 13,88 | 11,90 | 9,06 | 120 | 10 | 4,90 |
| Netzplanung und Betriebsführung | 9,53 | 15,65 | 19,45 | 19,56 | 14,74 | 13,35 | 12,29 | 11,54 | 11,43 | 14,65 | 149 | 48 | 22,53 |
| Technik für das Stromnetz | 12,64 | 16,39 | 17,52 | 21,07 | 17,71 | 22,50 | 19,36 | 20,83 | 17,50 | 14,81 | 186 | 34 | 15,05 |
| Grundlagenforschung Stromnetze | 0,96 | 7,57 | 10,01 | 18,11 | 13,15 | 10,85 | 10,58 | 12,97 | 11,78 | 14,74 | 62 | 25 | 30,11 |
| **Energiespeicher** | **29,57** | **28,63** | **27,69** | **22,35** | **18,37** | **21,43** | **22,53** | **25,47** | **19,28** | **17,40** | **167** | **31** | **18,10** |
| Elektrische Speicher | - | - | - | 0,02 | 0,61 | 0,63 | 0,63 | 0,39 | 0,89 | 1,25 | 11 | 2 | 1,59 |
| Elektrochemische Speicher | 3,99 | 4,36 | 5,22 | 8,54 | 8,99 | 8,68 | 11,19 | 15,64 | 11,32 | 8,78 | 88 | 18 | 8,84 |
| Strom-Wärme-Strom-Speicher | - | - | 0,58 | 1,39 | 1,54 | 2,36 | 2,42 | 2,60 | 1,12 | 0,52 | 4 | - | - |
| Mechanische Speicher | 1,53 | 1,97 | 2,60 | 3,19 | 2,53 | 2,65 | 3,48 | 1,76 | 1,24 | 1,49 | 10 | - | - |
| Grundlagenforschung Energiespeicher | 17,21 | 15,61 | 10,79 | 3,60 | 1,17 | 3,77 | 2,30 | 1,56 | 0,88 | 1,51 | 9 | - | - |
| Sonstige | 6,84 | 6,70 | 8,50 | 5,59 | 3,54 | 3,34 | 2,52 | 3,53 | 3,83 | 3,84 | 45 | 11 | 7,68 |
| **Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien** | **34,41** | **30,35** | **25,77** | **43,95** | **42,53** | **40,82** | **59,02** | **106,47** | **130,83** | **142,62** | **671** | **235** | **217,90** |
| Wasserstofferzeugung | 6,35 | 7,17 | 5,70 | 6,66 | 4,21 | 1,13 | 0,86 | 2,36 | 4,06 | 5,27 | 77 | 32 | 16,13 |
| Wasserstoffspeicher und -transport | 3,46 | 2,76 | 2,85 | 4,36 | 4,90 | 5,73 | 4,10 | 4,50 | 4,74 | 8,66 | 100 | 13 | 6,17 |
| Brennstoffzellen | 18,82 | 15,23 | 10,04 | 15,67 | 13,81 | 14,31 | 15,17 | 13,48 | 14,81 | 12,57 | 118 | 39 | 19,23 |
| Systemische Ansätze | 0,96 | 1,12 | 0,99 | 0,32 | 0,33 | 0,46 | 0,43 | 1,60 | 2,41 | 2,79 | 19 | 9 | 2,40 |
| Power-to-X | 0,40 | 0,39 | 0,19 | 0,62 | 1,06 | 1,33 | 1,35 | 1,58 | 1,11 | 0,58 | 3 | - | - |
| Grundlagenforschung Sektorkopplung und Wasserstoff | 3,04 | 2,10 | 4,63 | 15,53 | 17,36 | 17,78 | 35,99 | 80,12 | 99,54 | 105,44 | 287 | 101 | 157,16 |
| Sonstige | 1,39 | 1,58 | 1,37 | 0,79 | 0,85 | 0,08 | 1,13 | 2,83 | 4,16 | 7,31 | 67 | 41 | 16,81 |
| **Gesamt** | **95,22** | **113,30** | **119,79** | **144,44** | **127,15** | **127,11** | **146,61** | **201,69** | **211,39** | **219,80** | **1420** | **395** | **313,83** |

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

| Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | | | Anzahl Projekte | | Förder-summe in Mio. € |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | laufend in 2023 | neu bewilligt in 2023 | neu bewilligt in 2023 |
| **Energiesystemanalyse** | **8,39** | **9,32** | **11,18** | **15,01** | **15,94** | **17,16** | **18,97** | **19,74** | **19,09** | **18,72** | **198** | **48** | **18,80** |
| **Digitalisierung in der Energiewende** | **-** | **-** | **-** | **-** | **-** | **-** | **2,68** | **5,06** | **5,63** | **6,52** | **104** | **15** | **8,63** |
| **Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende** | **-** | **-** | **-** | **-** | **-** | **-** | **-** | **0,07** | **2,29** | **4,88** | **82** | **40** | **9,07** |
| **$CO_2$-Technologien** | **6,60** | **4,28** | **15,06** | **18,15** | **24,58** | **19,57** | **35,05** | **32,87** | **45,09** | **33,69** | **156** | **21** | **10,09** |
| $CO_2$-Transport und -Lagerung | 0,67 | 0,38 | - | 0,18 | 0,96 | 1,23 | 1,22 | 0,49 | 1,14 | 0,94 | 7 | 2 | 1,54 |
| $CO_2$-Abtrennung | 3,90 | 1,80 | 3,46 | 3,30 | 2,11 | 1,23 | 1,95 | 2,48 | 2,36 | 3,07 | 47 | 16 | 7,36 |
| $CO_2$-Umwandlung und -Nutzung | 0,27 | 1,30 | 2,64 | 2,83 | 4,61 | 3,04 | 6,15 | 3,35 | 3,88 | 4,60 | 61 | 2 | 0,91 |
| Grundlagenforschung $CO_2$-Technologien | 1,76 | 0,79 | 8,95 | 11,84 | 16,90 | 14,08 | 25,74 | 26,54 | 37,71 | 25,08 | 41 | 1 | 0,28 |
| **Programmkooperation Industrielle Gemeinschaftsforschung** | **-** | **-** | **0,05** | **2,52** | **4,22** | **5,47** | **4,90** | **5,71** | **4,64** | **3,89** | **46** | **14** | **6,86** |
| **Energiewende und Gesellschaft** | **3,25** | **3,95** | **2,64** | **10,02** | **9,93** | **10,15** | **6,37** | **12,28** | **15,95** | **18,27** | **205** | **75** | **41,32** |
| Energiewende und Gesellschaft – angewandte Energieforschung | - | - | - | - | - | 0,00 | 1,23 | 4,12 | 6,23 | 8,31 | 153 | 48 | 11,44 |
| Energiewende und Gesellschaft – Grundlagenforschung | 3,25 | 3,95 | 2,64 | 10,02 | 9,93 | 10,14 | 5,14 | 8,16 | 9,72 | 9,95 | 52 | 27 | 29,88 |
| **Materialforschung** | **0,72** | **10,41** | **27,87** | **26,68** | **18,21** | **10,30** | **2,90** | **3,96** | **2,05** | **0,44** | **1** | **-** | **-** |
| **Grundlagenforschung Energierelevante Nutzung des Untergrundes** | **4,22** | **3,69** | **3,59** | **1,81** | **2,02** | **1,36** | **2,35** | **3,55** | **14,88** | **8,43** | **103** | **26** | **9,88** |
| **Technologieoffene Förderung mit internationalem Fokus** | **1,03** | **2,00** | **0,65** | **0,28** | **2,11** | **3,88** | **11,73** | **24,46** | **60,00** | **27,41** | **104** | **15** | **14,26** |
| **Sonstige Grundlagenforschung** | **10,07** | **10,84** | **9,96** | **11,64** | **15,22** | **10,42** | **6,64** | **15,70** | **11,57** | **23,15** | **15** | **-** | **-** |
| **Flankierende Förderung zur IPCEI-Batteriezellforschung** | **-** | **-** | **-** | **-** | **-** | **-** | **-** | **-** | **3,24** | **18,87** | **87** | **68** | **39,08** |
| **Gesamt** | **34,29** | **44,49** | **71,01** | **86,12** | **92,22** | **78,31** | **91,61** | **123,42** | **184,43** | **164,26** | **1101** | **322** | **158,00** |

## 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 | | | | Anzahl Projekte | | Fördersumme in Mio. € |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2021 | 2022 | 2023 | laufend in 2023 | neu bewilligt in 2023 | neu bewilligt in 2023 |
| **Reaktorsicherheitsforschung** | **22,39** | **23,80** | **23,53** | **144** | **30** | **19,88** |
| Prüfung und Bewertung der Sicherheit von Komponenten und Strukturen | 5,03 | 5,03 | 5,09 | 51 | 11 | 6,56 |
| Nachweisverfahren zur Beherrschung von Transienten, Stör- und Unfällen | 14,04 | 13,88 | 14,27 | 62 | 9 | 6,55 |
| Wechselwirkung Mensch-Technik und probabilistische Sicherheitsanalysen | 2,01 | 1,86 | 1,41 | 15 | 6 | 1,83 |
| Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen) | 1,32 | 3,03 | 2,76 | 16 | 4 | 4,94 |
| **Forschung zur verlängerten Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle** | **5,18** | **5,53** | **5,43** | **43** | **10** | **5,85** |
| Verlängerte Zwischenlagerung | 1,52 | 1,22 | 1,28 | 11 | 4 | 1,53 |
| Abfallbehandlungs- und Konditionierungsoptionen für die Endlagerung | - | 0,02 | 0,26 | 2 | 1 | 0,83 |
| Behandlungs- und Entsorgungsmethoden | 0,02 | 0,07 | 0,28 | 2 | - | - |
| Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen) | 3,64 | 4,22 | 3,61 | 28 | 5 | 3,48 |
| **Endlagerforschung** | **12,44** | **10,46** | **8,84** | **90** | **9** | **3,75** |
| Standortauswahl | 0,60 | 0,90 | 0,74 | 7 | - | - |
| Sicherheits- und Endlagerkonzepte; Endlagertechnik und (geo-)technische Barrieren | 6,49 | 5,38 | 4,16 | 43 | 9 | 3,75 |
| Sicherheitsnachweis | 5,36 | 4,17 | 3,94 | 40 | - | - |
| Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen) | - | - | - | - | - | - |
| **Forschung zu Querschnittsfragen** | **3,12** | **3,63** | **4,67** | **16** | **2** | **2,52** |
| Wissens- und Kompetenzmanagement | 1,05 | 1,26 | 1,12 | 2 | 1 | 2,05 |
| Sozio-technische Fragestellungen | 1,82 | 2,37 | 2,33 | 10 | - | - |
| Kernmaterialüberwachung (Safeguards) | 0,25 | - | 1,22 | 4 | 1 | 0,47 |
| Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen) | - | - | - | - | - | - |
| **Strahlenforschung (BMBF)** | **8,69** | **6,98** | **8,49** | **60** | **13** | **7,19** |
| **Gesamt** | **51,82** | **50,39** | **50,96** | **353** | **64** | **39,19** |

## Tabelle 8 | Institutionelle Förderung

| Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| **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 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** | **325,39** |
| Energiesystemdesign | | | | | | | | 34,60 | 34,89 | 35,19 |
| Materialien und Technologien für die Energiewende | | | | | | | | 208,09 | 212,13 | 216,25 |
| Fusion | | | | | | | | 31,28 | 32,03 | 32,79 |
| Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung (NUSAFE II) | | | | | | | | 38,46 | 38,81 | 39,16 |
| **Gesamt[1]** | **331,60** | **348,69** | **362,81** | **379,63** | **393,75** | **410,29** | **415,78** | **314,42** | **319,85** | **325,39** |

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 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Projektförderung und begleitende Maßnahmen** | | | | **800,75** | **996,55** | **1166,51** | **1136,33** |
| 0903/68301 | BMWK | Energie und Nachhaltigkeit | Energieforschung | 535,03 | 572,61 | 530,94 | 509,81 |
| 0901/68601[3] | BMWK | Innovation, Technologie und Neue Mobilität | Industrieforschung für Unternehmen | | 3,85 | 4,28 | 3,86 |
| 0903/68602[6] | 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 | 53,63 |
| 0904/89602[7] | BMBF | Chancen der Globalisierung | Wasserstoffstrategie Außenwirtschaft – Internationale Kooperation Wasserstoff | | | 7,28 | 14,28 |
| 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 | 29,46 |
| 1605/54401[6] | BMUV | Nukleare Sicherheit und Strahlenschutz | Forschung, Untersuchungen und Ähnliches | | | 38,33 | 38,28 |
| 3004/68541 | BMBF | Forschung für Innovationen, Hightech-Strategie | Energietechnologien und effiziente Energienutzung, Grüner Wasserstoff – Forschungs- und Entwicklungsvorhaben | 117,77 | 185,84 | 201,61 | 178,16 |
| 3004/68541 | BMBF | Forschung für Innovationen, Hightech-Strategie | Nachwuchsförderung nukleare Sicherheitsforschung | 10,68 | 14,32 | 14,93 | 15,68 |
| 3004/68542[3] | BMBF | Forschung für Innovationen, Hightech-Strategie | Umwelttechnologien, Ressourcen und Geoforschung | | 3,55 | 14,88 | 8,43 |
| 6092/68304 | BMWK | Klima- und Transformationsfonds | Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Elektromobilität | 14,64 | 15,37 | 14,34 | 13,07 |
| 6092/68502 | BMBF | Klima- und Transformationsfonds | Anwendungsorientierte Grundlagenforschung Grüner Wasserstoff | 29,42 | 99,79 | 245,92 | 226,84 |
| 6092/68616[3] | BMWK | Klima- und Transformationsfonds | $CO_2$-Vermeidung und -Nutzung in Grundstoffindustrien | | 0,11 | 2,83 | 6,45 |
| 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 | 3,98 |
| 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 | 15,53 |
| 6092/89304[3] | BMWK | Klima- und Transformationsfonds | Industrielle Fertigung für mobile und stationäre Energiespeicher | | 0,00 | 3,24 | 18,87 |
| **Institutionelle Förderung (HGF)** | | | | **415,78** | **314,42** | **319,85** | **325,39** |
| 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 | 50,71 |
| 3004/68570 & 3004/89470 | BMBF | Forschung für Innovationen, Hightech-Strategie | HGF-Zentren – Betrieb & HGF-Zentren – Investitionen | 384,79 | 265,88 | 270,24 | 274,68 |
| **Gesamt** | | | | **1216,53** | **1310,97** | **1486,36** | **1461,72** |

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 Die Mittel inkl. bestehender Mittelfestlegungen für die Reallabore wurden ab 2021 in den Bundeshaushalt Kapitel 0903 Titel 68608 verschoben.
6 Zuständigkeitswechsel von BMWK zu BMUV, ab 2022 im Bundeshaushalt vollzogen
7 Neu ab 01.01.2022

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

| Ressort[1] | Mittelabfluss in Mio. € | | | |
|---|---|---|---|---|
| Thema | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| **BMWK** | **597,71** | **659,14** | **656,19** | **671,93** |
| Projektförderung und begleitende Maßnahmen | 566,72 | 610,59 | 606,57 | 621,22 |
| Institutionelle Förderung (DLR) | 30,99 | 48,54 | 49,62 | 50,71 |
| **BMEL** | **37,83** | **42,11** | **36,99** | **33,45** |
| Projektförderung und begleitende Maßnahmen | 37,83 | 42,11 | 36,99 | 33,45 |
| **BMUV** | **38,33** | **40,33** | **38,33** | **38,28** |
| Projektförderung und begleitende Maßnahmen | 38,33 | 40,33 | 38,33 | 38,28 |
| **BMBF** | **542,66** | **569,39** | **754,85** | **718,07** |
| Projektförderung und begleitende Maßnahmen | 157,87 | 303,51 | 484,61 | 443,38 |
| Institutionelle Förderung (HGF, ohne DLR) | 384,79 | 265,88 | 270,24 | 274,68 |
| **Gesamt** | **1216,53** | **1310,97** | **1486,36** | **1461,72** |

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

## 6.2 Fördermittel für Energieforschung der Länder

### Tabelle 10 | Aufwendungen der Länder für nicht-nukleare Energieforschung nach Ländern 2014 – 2022 in Mio. Euro[1]

| Land | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Baden-Württemberg | 44,37 | 52,22 | 48,77 | 44,10 | 38,30 | 63,62 | 78,66 | 67,98 | 74,71 |
| Bayern | 85,61 | 89,98 | 96,34 | 54,15 | 59,26 | 40,05 | 76,49 | 71,01 | 80,75 |
| Berlin | 4,70 | 3,63 | 2,94 | 3,89 | 4,36 | 4,62 | 11,86 | 3,48 | 3,11 |
| Brandenburg | 4,40 | 3,54 | 4,05 | 2,20 | 1,22 | 0,19 | 2,24 | 1,39 | 1,78 |
| Bremen | 1,99 | 2,08 | 2,10 | 1,35 | 2,22 | 1,75 | 3,94 | 17,30 | 13,94 |
| Hamburg | 14,91 | 16,12 | 15,64 | 17,29 | 16,81 | 16,63 | 16,87 | 17,11 | 18,61 |
| Hessen | 3,48 | 5,17 | 9,11 | 9,95 | 14,93 | 13,96 | 16,22 | 11,14 | 47,34 |
| Mecklenburg-Vorpommern[2] | 13,02 | 1,50 | - | - | - | - | - | 14,77 | - |
| Niedersachsen | 38,57 | 19,78 | 18,21 | 17,15 | 14,22 | 19,40 | 87,86 | 135,62 | 141,87 |
| Nordrhein-Westfalen | 28,99 | 40,14 | 17,24 | 79,08 | 28,84 | 42,34 | 43,76 | 37,90 | 35,71 |
| Rheinland-Pfalz | 2,37 | 2,51 | 1,95 | 4,00 | 4,39 | 0,90 | 3,05 | 1,64 | 2,18 |
| Saarland | 1,56 | 0,98 | 1,42 | 2,77 | 1,53 | 1,52 | 1,06 | 1,28 | 1,13 |
| Sachsen | 1,01 | 20,89 | 21,78 | 26,04 | 22,66 | 27,29 | 28,46 | 28,54 | 27,86 |
| Sachsen-Anhalt | 4,62 | 1,53 | 0,89 | 9,45 | 1,94 | 2,71 | 3,94 | 6,52 | 0,69 |
| Schleswig-Holstein | 5,15 | 5,97 | 4,76 | 6,76 | 6,65 | 6,44 | 9,28 | 10,38 | 10,10 |
| Thüringen | 1,81 | 0,95 | 3,42 | 3,50 | 2,70 | 2,68 | 3,69 | 4,57 | 10,66 |
| **Gesamt** | **256,56** | **266,99** | **248,63** | **281,68** | **220,04** | **244,12** | **387,37** | **430,64** | **470,43** |

1 Für Daten ab 2008, siehe Bundesbericht Energieforschung 2023
2 Daten für 2022 lagen bei Redaktionsschluss am 14.05.2024 nicht vor

## Tabelle 11 | Aufwendungen für die nicht-nukleare Energieforschung nach Förderthemen 2008 – 2017[1]

| 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-Technologieklassifikation[1] ab 2018

| Gruppen-nummer[1] | Förderthema | Mittelabfluss in Mio. € | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 11 | Energieeffizienz in Industrie, Handel und Gewerbe | 24,04 | 17,00 | 36,39 | 35,91 | 40,81 |
| 12 | Energieeeffizienz in Gebäuden und Quartieren | 16,97 | 13,62 | 12,68 | 9,69 | 9,00 |
| 13 | Energieeeffizienz im Verkehr (inkl. Elektromobilität) | 29,39 | 43,72 | 50,63 | 55,71 | 58,55 |
| 14 | Sonstige Energieeffizienzmaßnahmen | 22,10 | 16,55 | 19,26 | 15,29 | 19,97 |
| 2 | Thermische Kraftwerke/$CO_2$-Technologien | 4,40 | 5,63 | 6,31 | 6,63 | 5,65 |
| 31 | Erneuerbare Energien – Solarthermie und PV | 18,39 | 17,49 | 36,11 | 28,22 | 23,40 |
| 32 | Erneuerbare Energien – Windenergie | 6,82 | 5,64 | 24,85 | 18,46 | 20,89 |
| 33 | Erneuerbare Energien – Meeresenergie | 0,40 | 0,36 | 3,34 | 2,87 | 2,84 |
| 34 | Erneuerbare Energien – Bioenergie | 10,86 | 9,54 | 21,96 | 13,74 | 15,54 |
| 35 | Erneuerbare Energien – Geothermie | 6,55 | 5,74 | 9,79 | 10,15 | 14,67 |
| 36 | Erneuerbare Energien – Wasserkraft | 0,95 | 0,44 | 3,42 | 5,10 | 8,56 |
| 37 | Sonstige erneuerbare Energiequellen | 19,48 | 19,92 | 20,03 | 42,67 | 16,04 |
| 51 | Wasserstofftechnologien | 12,94 | 9,92 | 36,13 | 97,55 | 118,46 |
| 52 | Brennstoffzellen | 6,49 | 10,47 | 20,70 | 18,44 | 29,47 |
| 62 | Stromnetze (Elektrizitätsübertragung und -verteilung) | 6,43 | 11,06 | 9,12 | 9,92 | 21,39 |
| 63 | Energiespeichertechnologien | 26,42 | 38,85 | 54,67 | 42,31 | 45,46 |
| 71 | Energiesystemanalyse/Modellierung | 7,39 | 18,18 | 22,01 | 17,99 | 19,74 |
| | **Gesamt** | **220,04** | **244,12** | **387,37** | **430,64** | **470,43** |

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

Gesamtherstellung: H. Heenemann GmbH & Co. KG, Buch- und Offsetdruckerei, Bessemerstraße 83–91, 12103 Berlin, www.heenemann-druck.de
Vertrieb: Bundesanzeiger Verlag GmbH, Postfach 10 05 34, 50445 Köln, Telefon (02 21) 97 66 83 40, Fax (02 21) 97 66 83 44, www.bundesanzeiger-verlag.de
ISSN 0722-8333