

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Bundesbericht Energieforschung 2022

Forschungsförderung für die Energiewende

Impressum**Herausgeber**

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

Stand

April 2022

Diese Publikation wird ausschließlich als Download angeboten.

Gestaltung

PRpetuum GmbH, 80801 München

Bildnachweis

AdobeStock
agrarmotive / S. 35
Claudio / S. 70
constantincornel / S. 52
DOC RABE Media / S. 38
Duncan Andison / S. 7
Fokussiert / S. 60
kruwt / S. 83
melita / S. 54
Michael Zöphel / S. 60
profit_image / S. 24
Scanrail / S. 66
Shutter2U / S. 14
sunabesyou / S. 47
Syda Productions / S. 75
Alexandros Cruz / HZB / S. 74
Becker Technologies GmbH / S. 64
Dominik Butzmann / S. 6
Doppelacker GmbH / TU Dresden, Agrarsystemtechnik / S. 40
DLR / S. 43
Forschungszentrum Jülich / R. Limbach / S. 74
Förderprojekt FLEX-G, Fraunhofer ISC / S. 17
Förderprojekt SOFC Units, Robert Bosch GmbH / S. 30
Fraunhofer ISE / Dirk Mahler / Titel
GMH Gruppe / S. 50
Helmholtz-Zentrum Berlin / Amran Al-Ashouri / S. 33
Max-Planck-Institut für Festkörperforschung / Friedemann Bayer / S. 62
Nikolaus Heiss und PTW, TU Darmstadt / S. 20
Offis e. V. / S. 25
Projektträger Jülich im Auftrag des BMBF / S. 21, 22
PTB / S. 36
Robert Bosch GmbH / S. 30
SMA / S. 33
TRILUX / S. 56
TU Clausthal, Projekt TRANSENS / S. 68
Universität Stuttgart / S. 58
unsplash
Andrey Metelev / S. 45
Nicholas Doherty / S. 19
WASCAL / Abdellah-Nii COMMEY / S. 49
WissKommEnergiewende / S. 61
WZR ceramic solutions GmbH / S. 27
2020 Johnson Controls Industriekälte Deutschland / S. 28

**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.

Inhalt

Grußwort.....	6
1. Forschungsförderung für die Energiewende.....	7
1.1 Das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung.....	8
1.1.1 Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung.....	8
1.1.2 Mittelentwicklung.....	8
1.1.3 Evaluationen und Erfolgskontrolle.....	9
1.2 Strukturen der Energieforschungspolitik.....	12
1.2.1 Koordination der Energieforschungsförderung und Ressortaufgaben.....	12
1.2.2 Nationale Vernetzung.....	14
1.2.3 Forschung für die Innovationssprünge von morgen.....	15
1.2.4 Von der Forschung in die Praxis.....	16
1.2.5 Transparenz und Kommunikation.....	16
2. Projektförderung.....	17
2.1 Strategische Förderformate.....	18
2.1.1 Reallabore der Energiewende.....	18
2.1.2 Wasserstoff-Leitprojekte – Technologien für Wasserstofflösungen im industriellen Maßstab.....	20
2.2 Energiewende in den Verbrauchssektoren.....	23
2.2.1 Energie in Gebäuden und Quartieren.....	23
2.2.2 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen.....	25
2.2.3 Schnittstellen der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr.....	28
2.3 Energieerzeugung.....	31
2.3.1 Photovoltaik.....	31
2.3.2 Windenergie.....	34
2.3.3 Bioenergie.....	36
2.3.4 Geothermie.....	39
2.3.5 Wasserkraft und Meeresenergie.....	41
2.3.6 Thermische Kraftwerke.....	42
2.4 Systemintegration.....	44
2.4.1 Stromnetze.....	44
2.4.2 Stromspeicher.....	46
2.4.3 Sektorkopplung und Wasserstoff.....	48
2.5 Systemübergreifende Forschungsthemen.....	51
2.5.1 Energiesystemanalyse.....	51
2.5.2 Digitalisierung der Energiewende.....	53
2.5.3 Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende.....	55
2.5.4 CO ₂ -Technologien.....	56
2.5.5 Energiewende und Gesellschaft.....	59
2.5.6 Materialforschung für die Energiewende.....	61

2.6 Nukleare Sicherheitsforschung	63
2.6.1 Reaktorsicherheitsforschung.....	63
2.6.2 Forschung zu verlängerter Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle.....	65
2.6.3 Forschung zu Endlagerung.....	67
2.6.4 Strahlenforschung.....	68
3. Institutionelle Energieforschung.....	70
4. Europäische und internationale Zusammenarbeit.....	75
4.1 Europäische Vernetzung in der Energieforschung.....	76
4.2 Forschungsrahmenprogramm der EU (Horizon Europe).....	77
4.3 Internationale Zusammenarbeit.....	80
4.4 Internationale Forschungsinitiativen	81
5. Weitere energierelevante Förderaktivitäten.....	83
5.1 Innovationsförderung der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms.....	84
5.2 Forschungsförderung der Länder.....	86
6. Tabellen.....	90
6.1 Fördermittel im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung.....	90
6.2 Fördermittel für Energieforschung der Länder.....	98

Grußwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

Innovationen und technischer Fortschritt sind unverzichtbare Stützpfeiler der Energiewende und tragen damit auch entscheidend zur Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern bei. Die Forschung von heute sichert nachhaltige, zuverlässige und bezahlbare Handlungsoptionen für die klimaneutrale Energieversorgung von morgen. Energieforschung ist deshalb immer auch ein strategisches Instrument der Energie- und Klimapolitik.

Hinter der in diesem Bericht vorgestellten Vielfalt an Projekten stehen engagierte Forscherinnen und Forscher, die mit ihrer Kreativität und ihrer Innovationsfreude täglich neue Elemente einer klimaneutralen Zukunft hervorbringen. Jedes einzelne Projekt ist Ausdruck des Willens und der Bereitschaft, eine ganz konkrete Idee, eine ganz konkrete Vision der Energiewende umzusetzen und sie im Wettbewerb mit anderen zu erproben. So funktioniert Forschung; so funktioniert Fortschritt.

Unsere Projektförderung schafft die Voraussetzungen, um die vielversprechendsten Ideen und Innovationen für eine erfolgreiche Energiewende rasch voranzubringen. Gerade in Anbetracht immer enger werdender Handlungszeiträume und sich verkürzender Brücken für eine Energieversorgung ohne fossile Energieträger ist ein solches, nachhaltiges Innovationsumfeld von zentraler Bedeutung.

Um dies weiter zu gewährleisten, unterstützt die Bundesregierung eine große Bandbreite an Forschungsprojekten und -kooperationen. Noch nicht ausgereifte Ideen werden in Laboren zur Anwendungsnähe und anwendungsnahe Energieinnovationen zur Marktreife gebracht und in Reallaboren erprobt.

Klar ist, dass der Angriffskrieg Russlands gegen die Ukraine kurzfristig eine besondere Priorisierung der Versorgungssicherheit erzwingt. Mittelfristig sind mehr Unabhängigkeit in der Energiepolitik und eine klimaneutrale Energieversorgung aber zwei Seiten derselben Medaille. Je stärker sich Deutschland auf eigene, erneuerbare Energiequellen stützen kann, desto souveräner können wir unsere Zukunft gestalten. Die Energieforschung bereitet Handlungsoptionen für genau diese Transformation vor.

Mit dem vorliegenden Bericht gibt die Bundesregierung einen Überblick über die Umsetzung des 7. Energieforschungsprogramms im Jahr 2021. Ich wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre!

Dr. Robert Habeck
Bundesminister für Wirtschaft und Klimaschutz
für den Bundesbericht Energieforschung 2022

1. Forschungs- förderung für die Energiewende



1.1 Das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

1.1.1 Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Durch eine konsequente Transformation des Energiesystems kann eine klimafreundliche, verlässliche und bezahlbare Energieversorgung gelingen. Die Verbindung von Ökologie und Ökonomie legt die Grundlage für den wirtschaftlichen Fortschritt und den Wohlstand unserer Gesellschaft. Neue und weiterentwickelte Technologien und Konzepte für ein klug austariertes Gesamtsystem werden gebraucht, damit von der Erzeugung bis zum Verbraucher möglichst klimaneutral gewirtschaftet werden kann. Einen Beitrag kann hier zum Beispiel grüner Wasserstoff (H₂) leisten, der mithilfe von Strom aus erneuerbaren Energien hergestellt wird. Daher fördert die Bundesregierung mit ihrem [7. Energieforschungsprogramm](#) technische und nicht-technische Innovationen und Forschung für die Energiewende entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Auch die Energieforschung in Deutschland war im vergangenen Jahr von den großen Herausforderungen der Covid-19-Pandemie beeinflusst. Gleichwohl ist es jedoch wie schon 2020 gelungen, Forschung und Entwicklung im Energiebereich erfolgreich weiterzuführen – oftmals mit enormen Kraftanstrengungen auf Seiten der Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft. Die Forschungsförderung konnte dank der hohen Flexibilität des Instruments der Projektförderung reibungslos und ohne administrative Verzögerungen diese Arbeit unterstützen. Aufgrund dieser Resilienz des Energieforschungssystems konnten pandemiebedingte Beeinträchtigungen in den Forschungsvorhaben weitgehend abgefangen werden. Hinzu kommt die hohe Verlässlichkeit für Forschende im Rahmen der institutionellen Förderung.

Die Energiewende ist ein gewaltiges Transformationsprojekt. Folgerichtig ist, trotz Pandemie, die Zahl der Forschungsprojekte und das Förderbudget für die Energieforschung gestiegen. Ungeachtet

aller Fortschritte muss der Prozess weiter beschleunigt werden, um die ehrgeizigen Klimaschutzziele zu erreichen, die sich die Bundesregierung gesetzt hat. Daneben ist der Ausstieg aus geostrategischen Abhängigkeiten in Bezug auf fossile Energieimporte ein wichtiges Ziel, zu dem die Energieforschung beiträgt. Während vergangene Innovationsleistungen die Grundlage aktueller Transformationsprozesse bilden, bereitet die aktuelle Forschung und Entwicklung die mittel- und langfristigen Erfolge von morgen vor. Das 7. Energieforschungsprogramm ist mit seinem systemorientierten Ansatz ein wertvoller Baustein für den weiteren Umbau der Energieversorgung.

Für den Klimaschutz ist es wichtig, dass neue Technologien den Weg aus den Laboren in die Wirtschaft und Gesellschaft finden. Mit dem 7. Energieforschungsprogramm hat die Bundesregierung daher auch einen Schwerpunkt auf den beschleunigten Transfer von Innovationen in die energiewirtschaftliche Praxis und die Gesellschaft gelegt und neue Formate geschaffen, die diesen Weg unterstützen. Hierzu zählen beispielsweise die [Reallabore der Energiewende](#) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und die [Wasserstoff-Leitprojekte](#) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF).

1.1.2 Mittelentwicklung

Durch finanzielle Förderung unterstützt die Bundesregierung die Forschungsaktivitäten von Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Hochschulen und weiteren Organisationen mit Bezug zu neuen Technologien und Anwendungen für die Energiewende.

Im Jahr 2021 hat die Bundesregierung im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms 1,311 Milliarden Euro in die Energieforschung investiert. Damit hat der Bund die Fördermittel im Vergleich zum Vorjahr von 1,216 Milliarden Euro um 8 Prozent erhöht. Die Bundesregierung hat somit auch im Jahr 2021 den positiven Trend der vergangenen Jahre fortgeführt, die staatlichen Investitionen in

die Energieforschung stetig zu intensivieren. Seit 2014 beträgt der Anstieg sogar 55 Prozent. Besonders die Förderung der Forschung zu Wasserstofftechnologien hat dabei im Zuge der [Nationalen Wasserstoffstrategie](#) (NWS) der Bundesregierung einen deutlichen Anstieg erfahren. Die Förderung erfolgt dabei übergreifend innerhalb verschiedener Forschungsbereiche.

Mit 878,24 Millionen Euro wurden konkrete Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte unterstützt, die strategische Bedeutung für den langfristigen Erfolg der Energiewende in Deutschland haben. Dabei hat die Bundesregierung im Jahr 2021 6.995 laufende Forschungsvorhaben gefördert (2020: 5.980 Vorhaben). 2.016 Projekte wurden neu bewilligt (2020: 1.590 Projekte). Weitere 314,42 Millionen Euro wurden in die institutionelle Förderung des Forschungsbereichs Energie der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren investiert.

Der Hauptteil an Forschung, Entwicklung und Demonstration von Energie- und Effizienztechnologien findet durch Unternehmen statt. Allein im Bereich der Projektförderung bringen sie eigene Mittel von insgesamt 744 Millionen Euro ein.

1.1.3 Evaluationen und Erfolgskontrolle

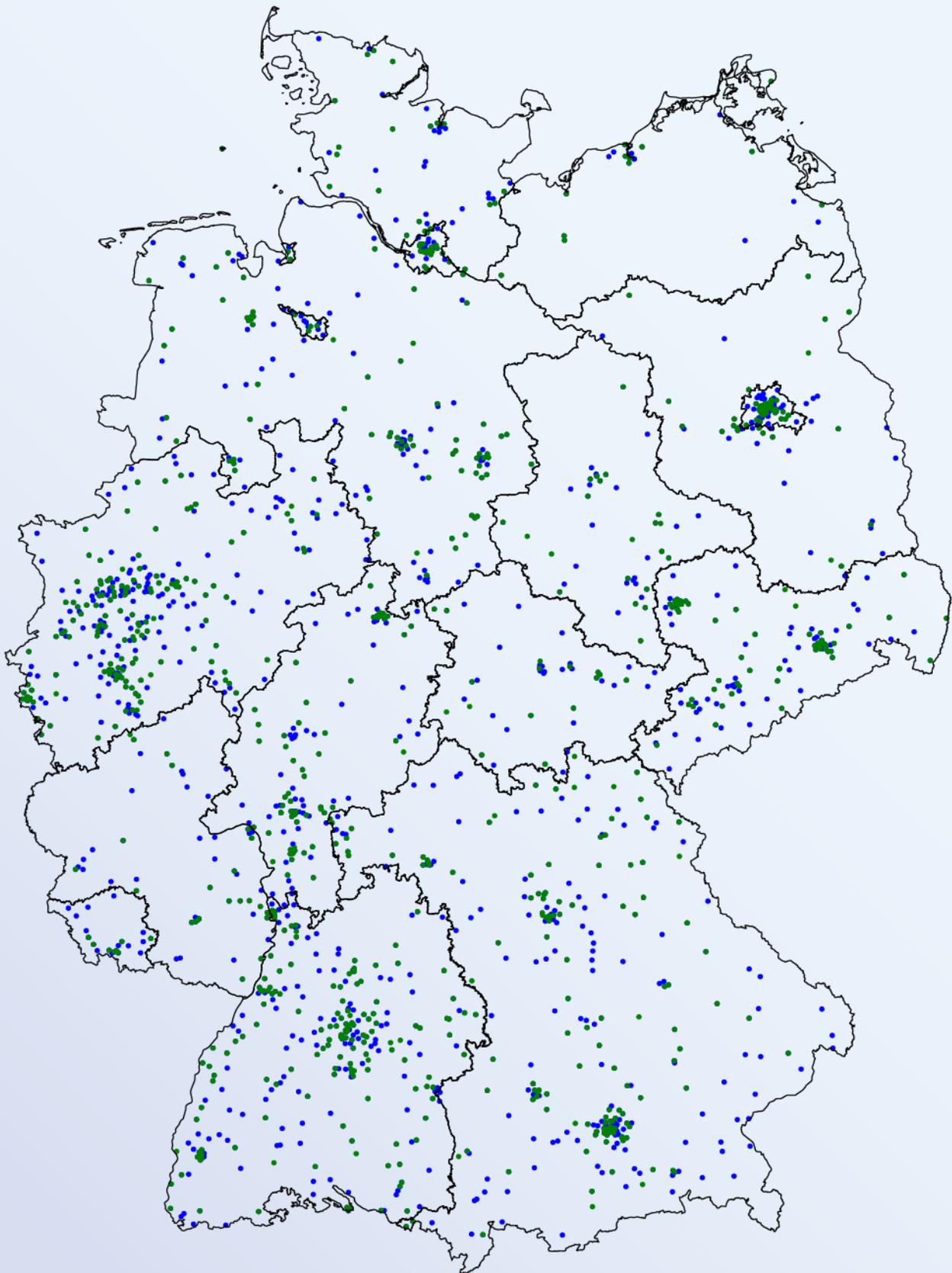
Um den effizienten und wirksamen Einsatz von Steuergeldern für Fördermaßnahmen zu überprüfen, sind Evaluationen und Erfolgskontrollen wertvolle Instrumente. Sie ermöglichen es, Rückschlüsse zu ziehen und diese für das finanzielle, administrative, strategische oder inhaltliche Gestalten künftiger Maßnahmen zu nutzen. Nach der Bundeshaushaltsordnung (§7 BHO) ist die Bundesregierung verpflichtet, Erfolgskontrollen zu allen umgesetzten Maßnahmen durchzuführen. Evaluationen unterstützen die Erfolgskontrollen und werden durch unabhängige Dritte durchgeführt.

Für die Förderung der angewandten Energieforschung im 7. Energieforschungsprogramm wurde 2020 eine begleitende Evaluation nach den beihilferechtlichen Vorschriften vorbereitet. Diese ist 2021 gestartet. Sie betrachtet die Fördermaßnahmen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gemäß der Förderbekanntmachung „Angewandte nicht-nukleare Forschungsförderung im 7. Energieforschungsprogramm ‚Innovationen für die Energiewende‘“. Die Evaluation analysiert die Wirksamkeit der Förderformate in Bezug auf die Ziele des 7. Energieforschungsprogramms und betrachtet die Wirtschaftlichkeit sowie die Effekte der Förderung auf die verschiedenen Zielgruppen.

Abbildung 1: Übersicht der Fördermittel 2021 im 7. Energieforschungsprogramm in Prozent (Daten siehe Tabelle 1, Seite 90)



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



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

Abbildung 3: Die Förderung der Energieforschung auf einen Blick

1,311 Mrd. Euro



Gesamtfördermittel 2021
im 7. Energieforschungsprogramm
(Vorjahr: 1,216 Mrd. Euro)

2021 hat der Bund
2.016 Projekte
neu bewilligt
(Vorjahr: 1.590)

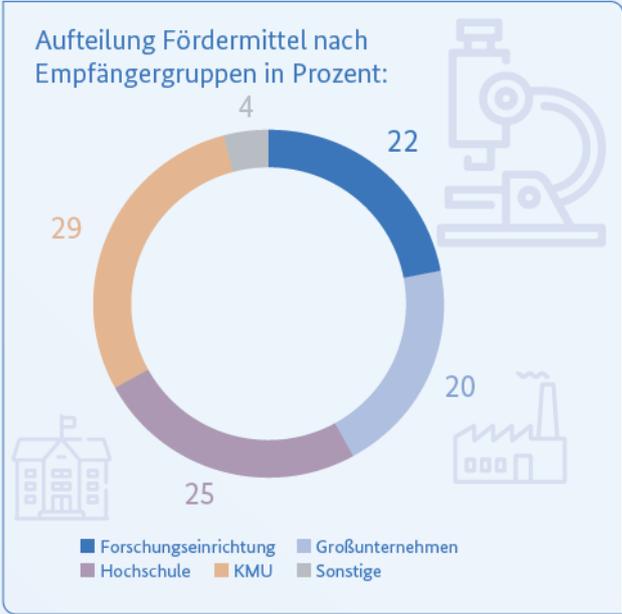





2021 hat die Bundesregierung
im 7. Energieforschungsprogramm
6.995 Projekte gefördert
(Vorjahr: 5.980)

744,4 Mio. Euro

Eigenanteil von Unternehmen
an neu bewilligten Forschungs-
und Entwicklungsprojekten
im Jahr 2021

55 Prozent
Fördermittelanstieg im
Vergleich zu 2014 und 8 Prozent
Fördermittelanstieg im Vergleich zu 2020



277 Mio. Euro

Fördermittel für KMU für 2021
neu bewilligte Forschungsprojekte
der nicht-nuklearen Energieforschung*

473 laufende Projekte im Rahmen
strategischer Förderformate innerhalb
des 7. Energieforschungsprogramms
(siehe Kapitel 2.1)



* nach deutscher KMU-Definition

1.2 Strukturen der Energieforschungspolitik

1.2.1 Koordination der Energieforschungsförderung und Ressortaufgaben

Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung ist ein gemeinsames Programm der Bundesministerien für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Bildung und Forschung (BMBF), Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) sowie seit der Vereidigung der derzeitigen Bundesregierung im Dezember 2021 auch des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Die Federführung und die grundsätzliche programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik liegt dabei in der Verantwortung des BMWK. In der Ausgestaltung setzt die Bundesregierung bei Fördermaßnahmen auf einen ressortübergreifenden, themenorientierten Ansatz und auf Synergien in der Zusammenarbeit.

Das Energieforschungsprogramm deckt den gesamten Innovationszyklus ab – von der Grundlagenforschung bis hin zur Erprobung neuer oder weiterentwickelter Technologien kurz vor der Markteinführung. Es orientiert sich im Bereich der Projektförderung an der Systematik des sogenannten Technology Readiness Level (TRL). Die Technologien werden dabei nach dem im jeweiligen Projekt angestrebten wissenschaftlich-technischen Reifegrad auf einer Skala von 1 bis 9 betrachtet.

Das BMBF fördert schwerpunktmäßig Projekte der anwendungsorientierten Grundlagenforschung mit einem angestrebten TRL von 1 bis 3, die die Basis für zukünftige Innovationen legen, und unterstützt den wissenschaftlichen Nachwuchs, den akademischen Austausch und Wissenschaftskooperationen auf EU- und internationaler Ebene. Das BMWK schließt daran an, mit der Förderung der anwendungsnahen Forschung und Entwicklung (TRL 3 bis 7) sowie mit den Reallaboren der Energiewende, die bis zu TRL 9 reichen, und unterstützt darüber hin-

aus multilaterale Forschungsk Kooperationen. Speziell im Bereich der energetischen Biomassenutzung (siehe Kapitel 2 Projektförderung, Seite 17) ergänzt das BMEL die Förderung anwendungsnaher Forschungsarbeiten. Auf Basis des Organisationserlasses des Bundeskanzlers vom 8. Dezember 2021 ist die Zuständigkeit für die Projektförderung der nuklearen Sicherheits- und Entsorgungsforschung aus dem Geschäftsbereich des BMWK auf das BMUV übergegangen.

Seit Anfang 2021 findet das aktualisierte Projektförderprogramm „Forschungsförderung zur nuklearen Sicherheit“ Anwendung. Es berücksichtigt die neuesten Entwicklungen im nationalen und internationalen Rahmen und adressiert die sich für die Forschungsförderung in Deutschland ergebenden zentralen Fragestellungen. Eine der wesentlichen Herausforderungen ist die Kompetenz- und Nachwuchsentwicklung für die nukleare Sicherheit (siehe Kapitel 2.6 Nukleare Sicherheitsforschung, Seite 63).

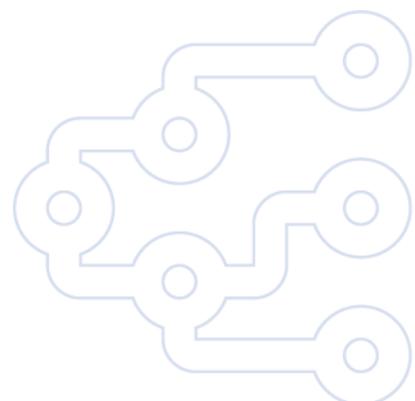
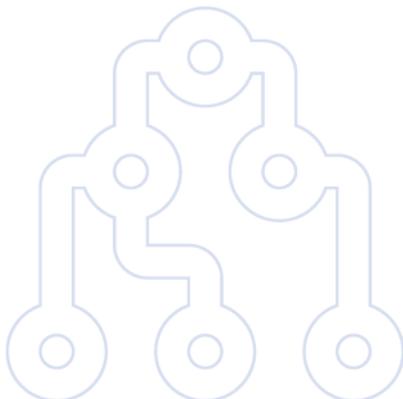
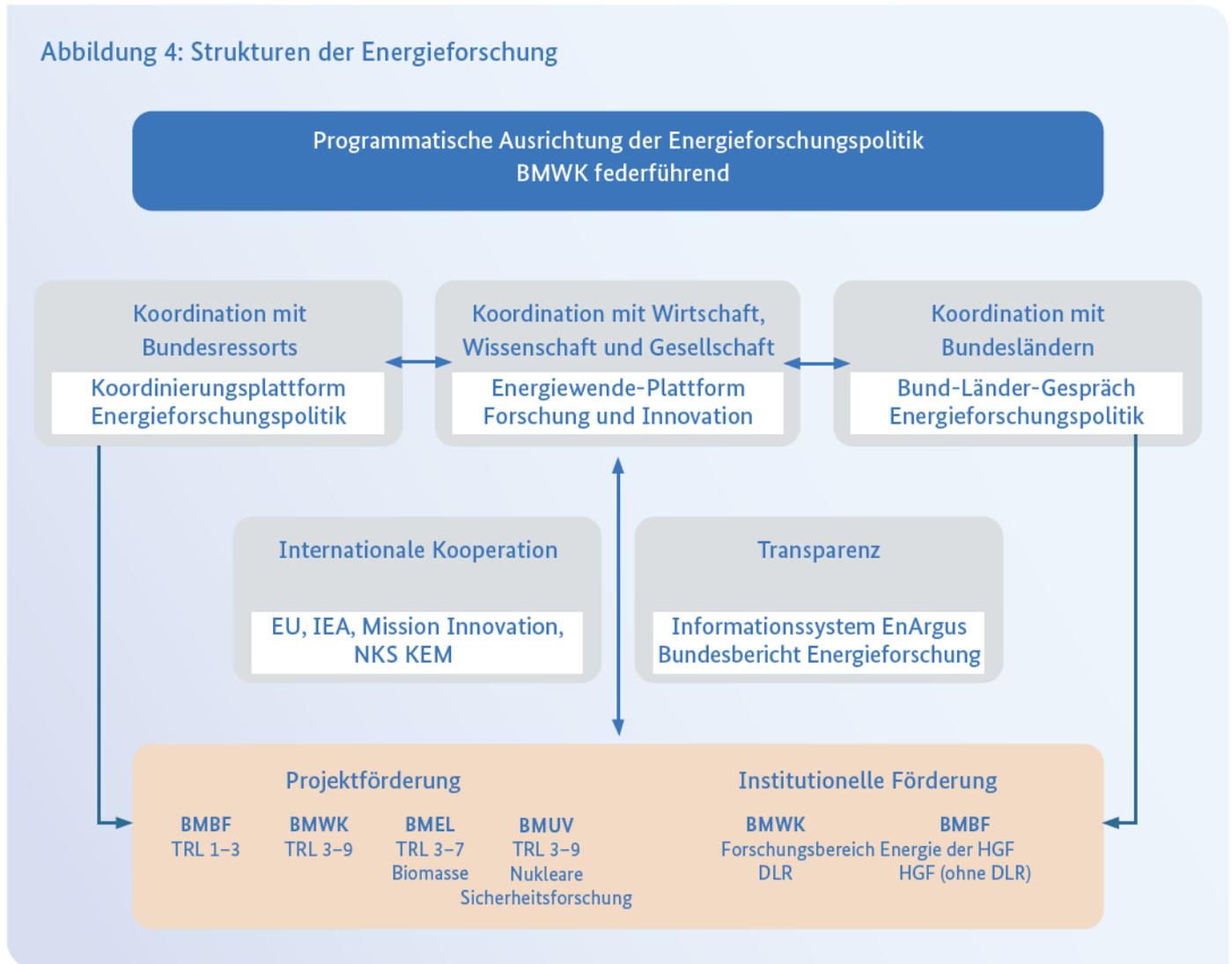
Das BMBF und das BMWK sind im Bereich der institutionellen Förderung gemeinsam für die strategische Ausrichtung des Forschungsbereichs Energie der Helmholtz-Gemeinschaft (HGF) verantwortlich. Darüber hinaus hat das BMWK die Zuständigkeit für die institutionelle Förderung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und das BMBF die institutionelle Förderung der Helmholtz-Zentren (mit Ausnahme des DLR) (siehe Kapitel 3 Institutionelle Energieforschung, Seite 70).

Für die gesamtgesellschaftliche Aufgabe der Transformation des Energieversorgungssystems im Zuge der Energiewende ist das Zusammenwirken aller Maßnahmen und Instrumente entscheidend. Daher setzt die Bundesregierung auf eine enge Zusammenarbeit aller direkt am Energieforschungsprogramm beteiligten Bundesressorts, aber auch auf die Einbindung aller weiteren Ministerien und Behörden mit energiebezogenen Aufgaben und Verantwortungsbereichen. Hierzu zählen nicht zuletzt die Bundesministerien für Digitales

und Verkehr (BMDV) mit den dort angesiedelten Themen Mobilität und Verkehr, für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) mit der Zuständigkeit für Flottengrenzwerte, Brenn- und Kraftstoffe, erneuerbare Ener-

gieerzeugnisse einschließlich nachhaltiger erneuerbarer Kraftstoffe, sowie für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) zu Themen des Gebäudesektors.

Abbildung 4: Strukturen der Energieforschung





Für eine erfolgreiche Forschungsförderung setzt die Bundesregierung auf die Stärke des Mehrebenensystems. Im Gefüge der politischen Entscheidungsstrukturen erfolgt die Förderung und Abstimmung der Energieforschung in Deutschland somit sowohl auf Landes- und Bundesebene als auch in der europäischen und internationalen Zusammenarbeit. Hierfür ist ein enger Austausch mit allen beteiligten politischen Institutionen unverzichtbar. Dabei wird die Bundesrepublik Deutschland in europäischen und internationalen Gremien zu diesem Politikfeld durch das BMWK vertreten (siehe Kapitel 4 Europäische und internationale Zusammenarbeit, Seite 75).

1.2.2 Nationale Vernetzung

Für die Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft ist die Akzeptanz der einzelnen Bausteine der Energiewende sowie das Zusammenwirken aller beteiligten Akteure zentral. Dialog und Vernetzung sind daher wichtige Elemente der Energieforschung. Das gilt innerhalb der Wissenschaftscommunity, aber auch für den Austausch mit der Energiewirtschaft, gesellschaftlichen Institutionen und der Politik. Nur so gelingt es, die vielen Elemente der Energieforschung für das Gelingen der Energiewende zusammenzuführen.

Energiewende-Plattform Forschung und Innovation (FuI-Plattform)

Die Energiewende-Plattform Forschung und Innovation des BMWK ist ein Forum für den Dialog rund um die Energieforschung zwischen Bundes- und Landespolitik, Wissenschaft, Wirtschaft, Verbänden und Zivilgesellschaft. Sie dient der Kommunikation aktueller Entwicklungen, dem Austausch zu neuen Ansätzen für Zukunftsstrategien und dem Zusammenführen von Forschung und energiewirtschaftlicher Praxis. Die FuI-Plattform bildet damit ein Dach für die Forschungsnetzwerke Energie des BMWK und bündelt und koordiniert diese. Die jährliche Sitzung der Plattform fand 2021 am 20. April statt. Im Fokus des digitalen Treffens standen die Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung sowie die Förderstrategien zu den Reallaboren der Energiewende des BMWK und den Kopernikus-Projekten des BMBF.

Als federführendes Ressort für die Energiewende ist das BMWK in regelmäßigem Austausch mit den 16 Landesregierungen zu Fragen der Energieforschung. Das zehnte Bund-Länder-Gespräch Energieforschung 2021 hat am 22. April stattgefunden.

Forschungsnetzwerke Energie

Die neun Forschungsnetzwerke Energie (www.forschungsnetzwerke-energie.de) stehen allen Interessierten offen und repräsentieren das breite Spektrum der Community. Sie decken die Themen Bioenergie, Energiewendebauen, Energiesystemanalyse, erneuerbare Energien, flexible Energieumwandlung, Industrie und Gewerbe, Stromnetze, Start-ups und Wasserstoff ab.

Die Netzwerke unterstützen den interdisziplinären Dialog zwischen allen Akteuren. Das BMWK fördert die Plattformen daher als wichtige Mittler zwischen den fachlichen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Schnittstellen. Die Mitglieder arbeiten selbstorganisiert in Arbeitsgruppen zusammen. Eine wesentliche Aufgabe ist es, Ansätze für den Transfer von Forschung in die Praxis zu entwickeln. Darüber hinaus geben die Mitglieder Einschätzungen und Empfehlungen zur strategischen Weiterentwicklung der Energieforschung und zu spezifischen Forschungsagenden.

Viele Aktivitäten beinhalten den branchen- und technologieübergreifenden Dialog als zentralen Bestandteil einer vernetzten Energieforschungsgemeinschaft. So haben die Forschungsnetzwerke beispielsweise übergreifende Webinare zu Akzeptanzforschung und eine Workshop-Reihe zu Wissenschaftskommunikation veranstaltet. Zudem wurde gemeinsam mit der Stiftung Jugend forscht e. V. im März 2021 der PerspektivTag „Karriere im Energiesektor“ für ehemalige Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Jugend-forscht-Wettbewerbe umgesetzt. Insgesamt haben die Forschungsnetzwerke Energie 2021 44 Veranstaltungen durchgeführt.

Das Forschungsnetzwerk Wasserstoff ist eine Maßnahme der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung. 2021 haben die mehr als 1.500 aktiven Mitglieder [Expertenempfehlungen](#) zum Forschungsbedarf für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft erarbeitet und im September 2021 an das BMWK übergeben. Das Forschungsnetzwerk

Bioenergie hat im Juni 2021 eine [Stellungnahme zu Wasserstoff aus und mit Biomasse](#) veröffentlicht. Im Forschungsnetzwerk Energiewendebauen wurde 2021 eine Arbeitsgruppe Geothermie eingerichtet. Insgesamt werden damit zentrale Forschungs- und Anwendungsbereiche der Energiewende in aktiven Strukturen abgebildet.

Akademienprojekt Energiesysteme der Zukunft

Das Akademienprojekt Energiesysteme der Zukunft bündelt die Expertise der Akademien der Wissenschaften. Die vom BMBF geförderte Initiative von acatech, Leopoldina und Akademienunion setzt Impulse für die Debatte über Herausforderungen und Chancen der Energiewende in Deutschland. Im Projekt ESYS entwickeln mehr als 120 Fachleute Handlungsoptionen zur Umsetzung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energieversorgung. 2021 wurden so Vorschläge und Stellungnahmen für einen klimagerechten Ausbau der Photovoltaik und Windenergie sowie zur Resilienz digitalisierter Energiesysteme erarbeitet und zur Diskussion gestellt.

1.2.3 Forschung für die Innovationssprünge von morgen

Die Energiewende ist auch eine langfristige Aufgabe. Genauso wichtig wie die Unterstützung des Innovationstransfers, der Marktvorbereitung und Anwendung von Technologien mit einem hohen Reifegrad ist deshalb die Grundlagenforschung. Sie ist die Basis für die Innovationen von morgen und übermorgen. Die Förderung des BMBF ist daher konsequent darauf ausgerichtet, die Grundlagenforschung mit den Anforderungen der Industrie zu verknüpfen und so den Prozess von der Forschungsphase hin zur marktreifen Innovation zu beschleunigen. Exemplarisch hierfür stehen die Kopernikus-Projekte für die Energiewende. Die Projekte sind langfristig auf bis zu zehn Jahre angelegt. Über drei Förderphasen werden von der Theorie und Konzeptentwicklung über die Validierung bis zur Großdemonstration Innovationen in Schlüsselbereichen der Energiewende vorbereitet.

Ein weiteres Beispiel für diesen Ansatz ist das Projekt „Wasserstoff weitergedacht: Dünnschichtkatalysatoren für eine nachhaltige Chemie mit erneuerbaren Energien“ (CatLab). Hier wird eine einzigartige Forschungsplattform aufgebaut, die Katalysatorforschung und Dünnschichttechnologien mit Messmethoden während des Betriebs (Operando-Analytik) vereint. Das Ziel ist die Entwicklung neuartiger Dünnschichtkatalysatoren für die Erzeugung und den Transport von wasserstoffbasierten chemischen Energieträgern. Das Projekt schlägt dabei eine Brücke zwischen Grundlagenforschung und Industrie – Unternehmen der Chemieindustrie sind von Anfang an beteiligt.

1.2.4 Von der Forschung in die Praxis

Das Kernziel der Forschungsförderung ist es, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beim Entwickeln, Erforschen und Erproben innovativer Technologien und Anwendungen in Bereichen zu unterstützen, in denen Marktkräfte alleine nicht ausreichen. Dies geschieht durch eine breite Förderung entlang der gesamten Wertschöpfungskette des Energiesystems und entlang sämtlicher Entwicklungsstufen. Dabei sollen vielfältige Lösungen für die Herausforderungen der Energiewende entstehen, damit die Klimaschutzziele effizient erreicht werden.

Ein Erfolgskriterium ist dabei, dass Innovationen zur Transformation des Energiesystems aus den Forschungslaboren und Teststationen heraus schnell auf den Markt gelangen. Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung ist daher konsequent darauf ausgerichtet, Forschungsergebnisse zügig in die energiewirtschaftliche Praxis und in marktfähige Anwendungen zu bringen. Damit leistet die Forschungsförderung im Energiebereich einen wichtigen Beitrag, die Energieversorgung zu modernisieren, die deutsche und europäische Wirtschaft zu stärken und den Industriestandort sowie Arbeitsplätze und Wertschöpfung zu sichern. Gleichzeitig unterstützt Deutschland damit den internationalen Klimaschutz, nicht zuletzt durch

den Export hierzulande mithilfe der Förderung aus Steuergeldern entwickelter Technologien und Lösungen.

1.2.5 Transparenz und Kommunikation

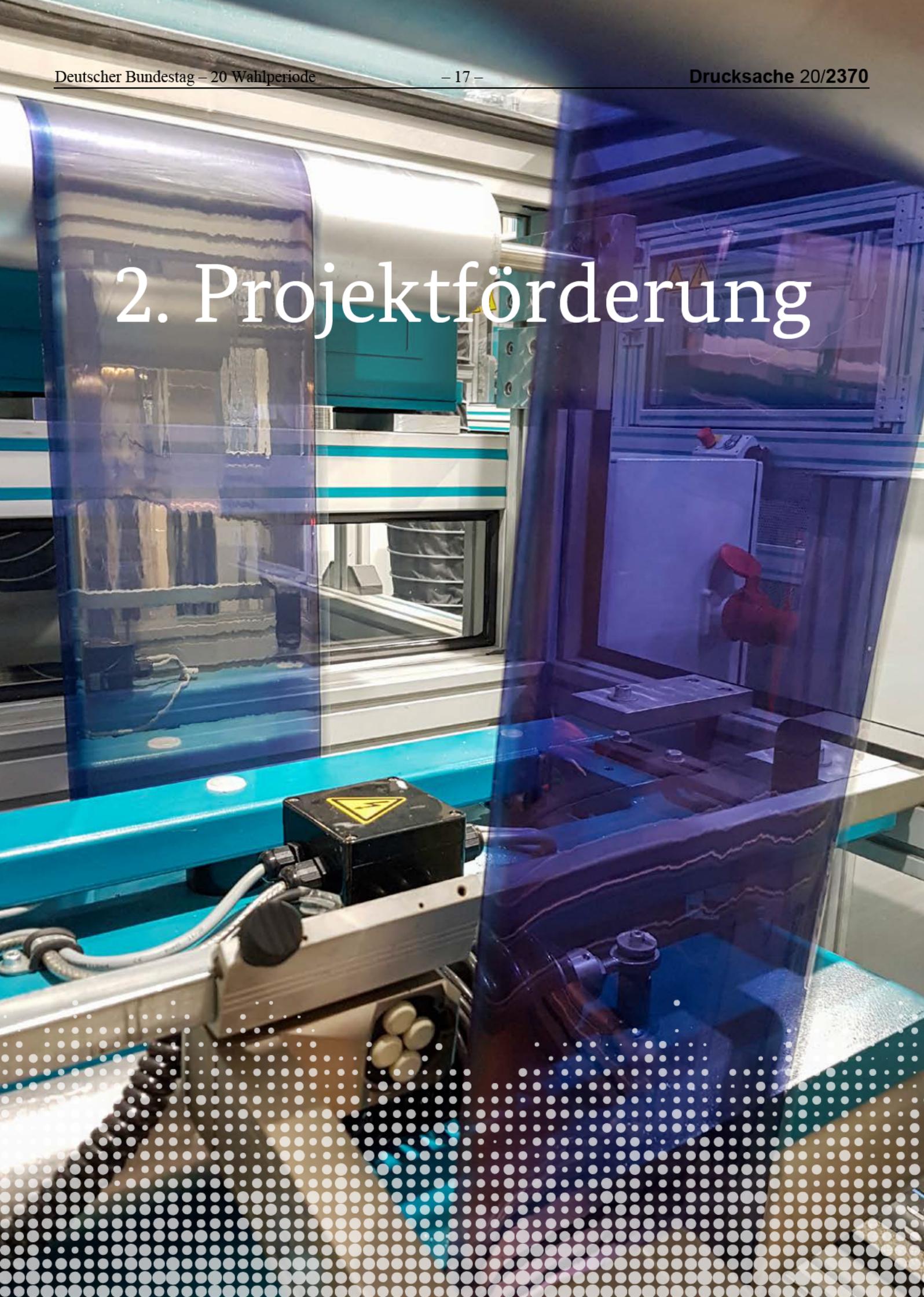
Eine transparente Kommunikation der Energieforschungspolitik gegenüber allen Gruppen, allen voran den Bürgerinnen und Bürgern, ist ein wichtiges Element des 7. Energieforschungsprogramms. Denn nur gemeinsam gelingt es, Innovationen aus der Forschung in das Energiesystem zu übernehmen.

Daher informiert die Bundesregierung über vielfältige Kanäle sowohl die Wirtschaft und Wissenschaftscommunity als auch die Öffentlichkeit über aktuelle Fortschritte, Entwicklungstrends, noch offene Forschungsfragen sowie über Erfolge und Herausforderungen auf dem Weg zu einem klimafreundlichen Umbau der Energieinfrastruktur.

Auf der zentralen Website des BMWK zur Energieforschung (www.energieforschung.de) finden Interessierte umfangreiche Informationen rund um die Ziele, Strukturen und Kerntemen der Energieforschungspolitik sowie aktuelle Förderangebote. Vier Fachportale zu spezifischen Themen der Energieforschung bieten einen vertieften Einblick in die Projektförderung und Forschungsvorhaben. Die Portale bieten Inhalte zu den Förderschwerpunkten Energieoptimierte Gebäude und Quartiere, Stromerzeugung, Energiewende in der Industrie und Energiesystemforschung.

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

2. Projektförderung



2.1 Strategische Förderformate

2.1.1 Reallabore der Energiewende

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

Mittlerweile haben insgesamt zehn Reallabore ihre Arbeit aufgenommen, sechs von ihnen sind 2021 gestartet. Die Projekte sind aus dem ersten Ideenwettbewerb des BMWK im Jahr 2019 hervorgegangen.

Reallabore der Energiewende im Bereich „Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien“:

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

Reallabore der Energiewende im Bereich „Energieoptimierte Quartiere“:

- Großwärmepumpen in Fernwärmenetzen (GWP)
- Darmstädter Energie-Labor für Technologien in der Anwendung (DELTA)
- Integrierte WärmeWende Wilhelmsburg IW3
- TransUrban.NRW
- SmartQuart – Smarte Energiequartiere

Im Ideenwettbewerb für eine wissenschaftliche Transferforschung der Reallabore Wasserstoff hat sich das Projekt Trans4Real durchgesetzt. Das Konsortium unter Leitung der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) in München hat im April 2021 seine Arbeit aufgenommen. Die Fachleute werden neben einer übergreifenden Ergebnissynthese die Reallabore untereinander vernetzen und Lernerfahrungen und Handlungsoptionen ableiten. Mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen aus den Reallaboren unterstützt Trans4Real den Aufbau einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und die Integration des Gases in das Energiesystem der Zukunft.

Die Reallabore zu den energieoptimierten Quartieren werden von der Begleitforschung „Energiewendebauen“ unterstützt und profitieren insbesondere von Modul III „Quartier“ der Begleitforschung unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT.

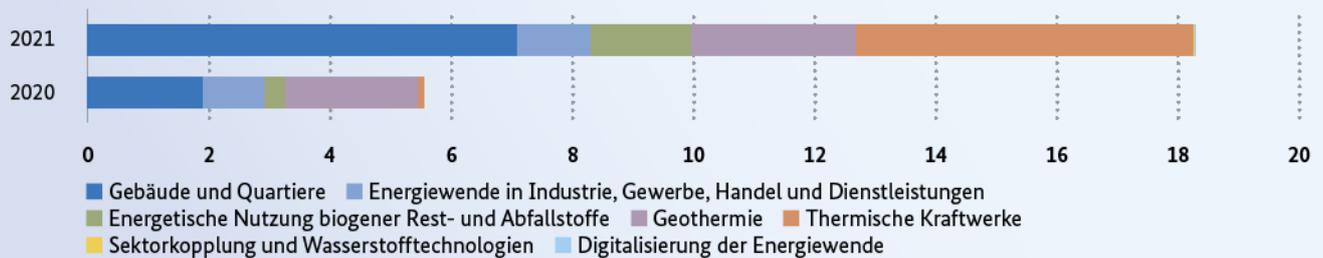
Aus den Erfahrungen der ersten Umsetzungsphase hat das BMWK das Förderformat der Reallabore der Energiewende weiterentwickelt und als wichtige Säule der Energieforschung verstetigt. Das neue Förderkonzept wurde im Juli 2021 veröffentlicht. Es adressiert themenoffen alle Bereiche der angewandten Energieforschung aus dem 7. Energieforschungsprogramm. Kernziel der systemisch angelegten Projekte müssen Fortschritte bei der Energiewende und ein Beitrag zur Klimaneutralität sein. Zudem müssen die Reallabore der Energiewende eine direkte Emissionsminderung von Treibhausgasen nachweisen können. Mit dem Konzept betont das BMWK den hohen Praxisbezug des Förderformats. Das BMWK will künftige Reallabore der Energiewende maßstabgerecht mit bis zu 15 Millionen Euro Fördermittel pro Partner und in der Regel 25 Millionen Euro Fördervolumen für das Gesamtvorhaben unterstützen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Reallabore der Energiewende hat das BMWK im Jahr 2021 147 laufende Vorhaben mit rund 18,29 Millionen Euro gefördert. Zudem

hat das Ministerium in diesem Zeitraum 87 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 216,23 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 5).

Abbildung 5: Fördermittel für Reallabore der Energiewende in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 2, Seite 90)



PROJEKTPORTRÄT

Norddeutsches Reallabor – Energiewende-Allianz für Innovationen und wirksamen Klimaschutz

Die Projektpartner arbeiten an neuen Wegen zur Klimaneutralität. Damit wollen sie wirtschaftliche Impulse am Industriestandort Norddeutschland auslösen. Ziel des Verbundvorhabens ist es, zu erproben, wie CO₂-Emissionen in der Region bis 2035 um 75 Prozent gesenkt werden können. Mit den im Projektzeitraum geplanten Arbeiten sollen 350.000 bis 500.000 Tonnen pro Jahr eingespart werden. Dazu werden Produktions- und Lebensbereiche mit hohem Energieverbrauch dekarbonisiert – insbesondere in der Industrie, aber auch in der Wärmeversorgung und dem Mobilitätssektor. Einen Beitrag hierzu sollen acht Elektrolyseure mit einer Wasserstoff-Erzeugungskapazität von 42 Megawatt leisten. Sie sollen dazu dienen, fossile Energieträger in industriellen Prozessen durch Wasserstoff und seine Derivate zu ersetzen. Außerdem sollen drei Projekte umgesetzt werden, die eine Abwärmenutzung in einem Umfang von 700 Gigawattstunden pro Jahr ermöglichen. Im Mobilitätssektor sollen mehrere Wasserstoff-Tankstellen und mehr als 200 Fahrzeuge in unterschiedlichen Nutzungsszenarien erprobt werden. Der



In der Modellregion des Norddeutschen Reallabors soll Wasserstoff als nachhaltiger Treibstoff für Fahrzeuge eingesetzt werden.

großskalige Ansatz verleiht dem Projekt einen überregionalen Modellcharakter für wasserstoffbasierte Sektorkopplung in Deutschland und Europa.

Zuwendungsempfänger: Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg und 17 weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EWR007A-V

Fördermittelansatz: 52,3 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2021 – 2026

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



PROJEKTPORTRÄT

DELTA – Darmstädter Energie-Labor für Technologien in der Anwendung

Das Reallabor der Energiewende DELTA will zeigen, wie sich eine typische mittelgroße Stadt auf dem Weg zur Klimaneutralität zuverlässig und kostengünstig mit Energie versorgen lässt. Und zwar mit mehr Effizienz, Nutzung von lokal verfügbaren Energieressourcen und vernetzten Energieströmen. Die Fachleute untersuchen die interne Effizienz einzelner Wohn- und Industriequartiere und deren energetische Wechselwirkungen auch mit der städtischen Infrastruktur, etwa dem Gleichstromnetz der Straßenbahn. Zentrale Bausteine sind das Nutzen von industrieller Abwärme und die Elektrolyse von Wasserstoff im Wohngebiet. Zudem werden für Wohngebäude außerhalb der Nutzungsdauer auch der CO₂-Fußabdruck von Aufbau, Ertüchtigung und Dekonstruktion betrachtet. Durch das Verknüpfen urbaner Energiequellen und -senken in Netzen und Speichern für Wärme, Strom, Gas und Wasserstoff im Rahmen der Sektorkopplung können konventionelle Energieträger eingespart werden. Dieser Ansatz soll den Energiebedarf senken, fossile Energieträger verdrängen und dauerhaft mindestens 14.000 Ton-



DELTA erprobt die urbane Energiewende durch interagierende energieoptimierte Quartiere.

nen CO₂ jährlich einsparen. Bei der Transformation zur Klimaneutralität sind auch die Menschen in Darmstadt eingebunden. Sie profitieren von neuen Sharing-Möglichkeiten zur gemeinsamen Nutzung energieintensiv herzustellender Güter (zum Beispiel E-Roller) sowie umweltfreundlicher öffentlicher und individueller Mobilität.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität

Darmstadt und elf weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EWR002A-P

Fördermittelansatz: 40,1 Millionen Euro

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



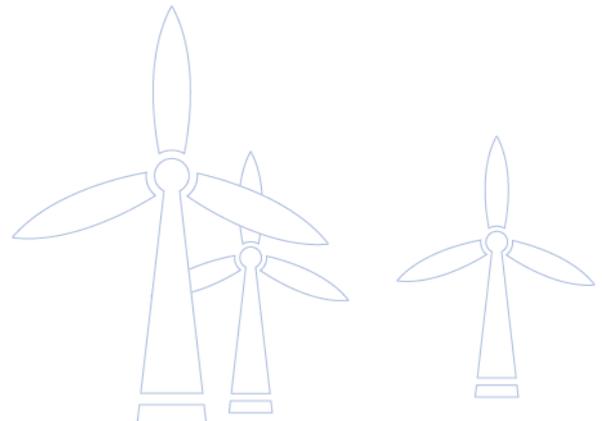
2.1.2 Wasserstoff-Leitprojekte – Technologien für Wasserstofflösungen im industriellen Maßstab

Im Frühjahr 2021 sind die Wasserstoff-Leitprojekte des BMBF gestartet. Die Wasserstoff-Leitprojekte bilden eine der größten Forschungsinitiativen des BMBF zum Thema Energiewende. Sie sind ein Ergebnis des Ideenwettbewerbs „Wasserstoffrepublik Deutschland“. Die industriegeführten Leitprojekte forschen mit mehr als 200 Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft praxisnah zu drei zentralen Wasserstoff-Innovationsfeldern. H₂Giga widmet sich der Serienfertigung und Hochskalierung von Elektrolyseuren, H₂Mare erforscht die Offshore-Wasserstofferzeugung und TransHyDE arbeitet an Wasserstoff-Transportlösungen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Wasserstoff-Leitprojekte hat das BMBF im Jahr 2021 326 laufende Vorhaben mit rund 48,64 Millionen Euro gefördert. Zudem hat das Ministerium in diesem Zeitraum 328 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 688,48 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 6).





PROJEKTPORTRÄT

H₂Mare – Offshore-Produktion von grünem Wasserstoff

H₂Mare erforscht, wie ohne Netzanschluss und mit Hilfe von Offshore-Anlagen grüner Wasserstoff auf hoher See erzeugt werden kann. Zudem testet es die Offshore-Herstellung von Wasserstoff-Folgeprodukten via Power-to-X-Prozessen. Die Produktion von grünem Wasserstoff auf See ohne Anschluss an das örtliche Stromnetz hat den Vorteil, dass Windräder offshore mehr und regelmäßiger Strom erzeugen als onshore. Zudem kann die direkte Kopplung von Windrad und Elektrolyseur Wasserstoff-Produktionskosten sparen und das lokale Stromnetz entlasten.

Neben der Offshore-Wasserstoff-Erzeugung will H₂Mare zudem die Offshore-Herstellung der Power-to-X-Produkte Methan, Methanol, Ammoniak und synthetischer Kraftstoffe (eFuels) erforschen. Dazu treibt H₂Mare auch die Forschung zur Meerwasser-elektrolyse, zur Hochtemperaturelektrolyse sowie zur Gewinnung von CO₂ und Stickstoff aus der Luft und dem Meer voran. Zusätzlich sollen Antworten



Die Partner im Leitprojekt H₂Mare wollen Wasserstoff direkt auf hoher See produzieren.

auf Fragen zu Sicherheit und möglichen Umweltauswirkungen erarbeitet werden, ebenso Lebenszyklusanalysen und Technologiebewertungen.

Zuwendungsempfänger: 32 Partner in vier Verbänden mit 45 Vorhaben

Förderkennzeichen: 03HY300A-03HY303P

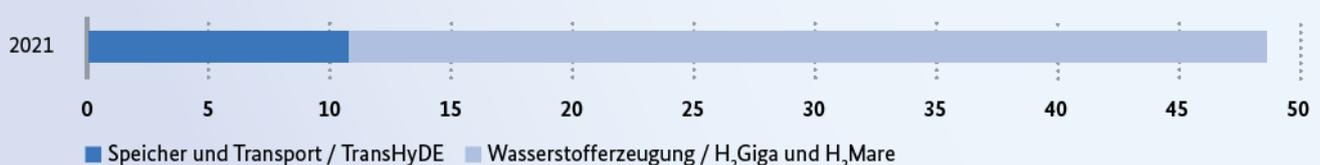
Fördermittelansatz: 104,5 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2021 – 2025

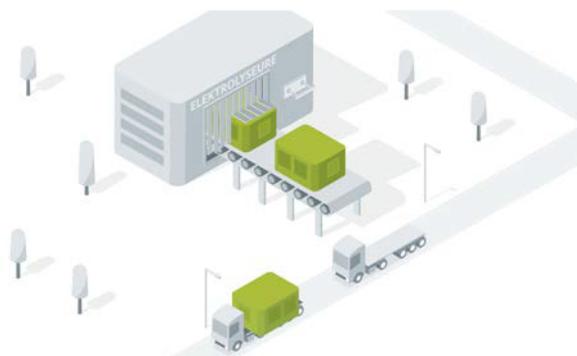
Projektbeschreibung auf EnArgus:



Abbildung 6: Fördermittel für Wasserstoff-Leitprojekte in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 2, Seite 90)



PROJEKTPORTRÄT



Das Leitprojekt H₂Giga will Elektrolyseure zur Wasserstoff-Herstellung in die Serienfertigung bringen.

H₂Giga – Serienfertigung und Hochskalierung von Elektrolyseuren

H₂Giga will Technologien für die serielle Produktion von Elektrolyseuren bereitstellen. Denn um Deutschlands Bedarf an grünem Wasserstoff decken zu können, sind große Kapazitäten an effizienten, robusten und kostengünstigen Elektrolyseuren notwendig. Zwar sind heute bereits leistungsfähige Elektrolyseure am Markt – allerdings erfolgt ihre Herstellung noch immer größtenteils in Handarbeit. Das ist zeitaufwändig und kostenintensiv. Daher machen in den H₂Giga-Projekten etablierte Elektrolyseurhersteller, Zulieferer und Forschungseinrichtungen drei bestehende Elektrolyse-Technologien bereit fürs Fließband und die Hochskalierung: die PEM-Elektrolyse (PEM = Proton Exchange Membrane = protonenleitende Membran), die alkalische Elektrolyse (AEL) und die Hochtemperatur-Elektrolyse (HTEL). Forschungsseitig soll zudem auch die edelmetallfreie und hoch-effiziente Elektrolyse mit anionenleitender Membran (AEM) weiterentwickelt werden.

Zuwendungsempfänger: bisher 115 Partner in 27 Verbänden mit 178 Vorhaben

Förderkennzeichen: 03HY101A-03HY127B

Fördermittelansatz: Bisher festgelegt: 449,2 Millionen Euro, weitere Projekte sind noch in der Antragsphase. Bis zu 500 Millionen Euro stehen insgesamt zur Verfügung.

Projektlaufzeit: 2021 – 2025

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



PROJEKTPORTRÄT



Das Leitprojekt TransHyDE will eine Wasserstoff-Transport-Infrastruktur entwickeln.

TransHyDE – Entwicklung von Transport-technologien für grünen Wasserstoff

TransHyDE bewertet und testet Wasserstoff-Transportlösungen. Denn ohne eine geeignete Transport-Infrastruktur kann die Wasserstoffwirtschaft nicht funktionieren. Bisher ist allerdings noch unklar, welche Lösung am besten wo und in welchem Umfang eingesetzt werden sollte. Technologieoffen treibt das Leitprojekt daher verschiedene Transportmöglichkeiten weiter voran: den Transport in Hochdruckbehältern, den Flüssig-Transport, den Transport in bestehenden und neuen Gasleitungen sowie den Transport von in Ammoniak oder dem Trägermedium LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers) gebundenem Wasserstoff.

Damit all diese Technologien möglichst schnell Teil des Gesamtenergiesystems werden, stößt das Leitprojekt einen eigenen Roadmap-Prozess an. Zusammen mit der Erarbeitung möglicher Standards und Normen sowie Sicherheitsmerkmalen von Wasserstoff-Transport-Technologien (Materialien, Werkstoffe und Sensorik) betrachtet TransHyDE zusätzlich den systemischen Rahmen für eine künftige Wasserstoff-Infrastruktur.

Zuwendungsempfänger: 84 Partner in zehn Verbänden und 105 Vorhaben

Förderkennzeichen: 03HY200A-03HY209Z

Fördermittelansatz: 134,8 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2021 – 2025

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.2 Energiewende in den Verbrauchssektoren

2.2.1 Energie in Gebäuden und Quartieren

In Deutschland entfallen etwa 35 Prozent des Endenergieverbrauchs auf den Gebäudebereich. Zwei Drittel davon werden in Wohngebäuden und ein Drittel in Nichtwohngebäuden verbraucht, dabei entfällt der größte Anteil auf die Raumwärme. Das zeigt, dass die Dekarbonisierung des Gebäudesektors entscheidend für das Erreichen der Klimaziele ist. Mit der Novelle des Klimaschutzgesetzes im Jahr 2021 wurde der Zielwert für die zulässigen Restemissionen des Gebäudesektors im Jahr 2030 gesenkt und liegt nun bei 67 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent. Die Bundesregierung strebt eine erhebliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Wärme an. Dies kann im Gebäude- und Quartiersbereich nur erreicht werden, wenn die Sanierungsrate deutlich erhöht und die Wärme- und Kälteversorgung dekarbonisiert werden.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Leitmotiv der Förderung sind energieoptimierte und klimaneutrale Gebäude und Quartiere der Zukunft. Dies betrifft sowohl Herstellung und Betrieb als auch Modernisierung und Rückbau von Gebäuden. Neben digitalen Konzepten spielen auch innovative Materialien, etwa aus nachwachsenden Rohstoffen, eine wichtige Rolle. Forschende arbeiten an Sanierungskonzepten, bei denen der Gebäudebestand digital erfasst, energetisch optimiert und durch Vorfertigung mit wenig Aufwand auf der Baustelle saniert wird.

Eine erneuerbare, netzgebundene, dezentrale Wärme- und Kälteversorgung sowie Speicher in Gebäuden und Quartieren bilden einen weiteren Forschungsschwerpunkt. Beim Um- und Ausbau der Versorgungsnetze entwickeln die Wissenschaftsteams smarte, digitale Lösungen, um den Anteil erneuerbarer Energien zu erhöhen. Um Nah- und Fernwärme energieeffizient bereitstel-

len zu können, entwickeln sie Lösungen für ein intelligentes Energiemanagement und setzen auf moderne Leitungsnetze.

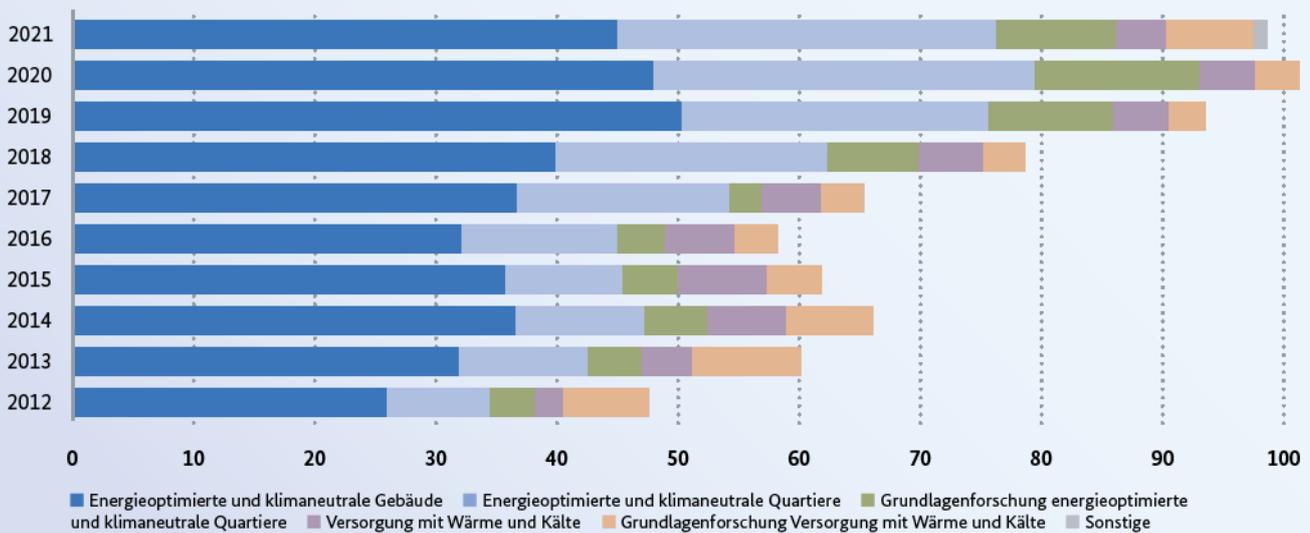
Mit DELTA (siehe Projektsteckbrief, Seite 20) sowie GWP sind zwei weitere Reallabore der Energiewende im Bereich Gebäude und Quartiere gestartet. Ziel von GWP ist es, über Großwärmepumpen Abwärme, natürliche Wärmequellen und erneuerbare Energien in Fernwärmesysteme einzubinden. Das BMBF fördert Städte und Kommunen bei der Erforschung innovativer Energiesysteme und auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung. Mit dem Verbundvorhaben Wärmewende Nordwest sollen unterschiedliche Facetten der Digitalisierung der Wärmewende in Gebäuden und Quartieren in der Region um Oldenburg und Bremen praktisch erforscht und im Zusammenspiel demonstriert werden. Das Vorhaben entwickelt dabei auch eine digitale Wärmewende-Plattform und stellt Ausbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen für Fachkräfte bereit (siehe Projektsteckbrief, Seite 25).

Gemeinsam fördern das BMWK und das BMBF innerhalb der Initiative „Solares Bauen – Energieeffiziente Stadt“ mehrere Leuchtturmprojekte im urbanen Raum. Enthalten sind beispielsweise Konzepte für die Transformation von Bestandsquartieren hin zu einer klimaneutralen Energieversorgung oder Projekte mit dem Fokus auf der Nutzung lokal hergestellten grünen Wasserstoffs als Energiespeicher vor Ort. Auch Aspekte nachhaltiger Mobilität im urbanen Raum finden in der BMBF-Förderung Beachtung. So wurde im Jahr 2021 ein Projekt zur praktischen Umsetzung eines Tools zur Steuerung urbaner Logistik initiiert.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energie in Gebäuden und Quartieren haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2020 1.043 laufende Vorhaben mit rund 98,57 Millionen Euro gefördert. 2020 haben die Ministerien zudem 235 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelsatz von rund 117,27 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 7).

Abbildung 7: Fördermittel für Energie in Gebäuden und Quartieren in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 3, Seite 91)



PROJEKTPORTRÄT

DZWi – Digitaler Zwilling von Wärmeerzeugungssystemen als Wegbereiter für die Entwicklung emissionsarmer Gebäudeenergie-technik

Entwicklungszeiten von Anlagen in der Gebäudeenergie-technik verkürzen und deren praktischen Betrieb optimieren sind Ziele des Vorhabens. Dazu entwickeln die Forschenden zunächst digitale Abbilder (digitale Zwillinge) unterschiedlicher energetischer Wandlungssysteme. Im Vorhaben sind dies Wärmepumpen und Brennstoffzellen. In einer Echtzeitsimulation werden alle wichtigen Komponenten der Geräte dargestellt. Damit erhalten die Forschenden eine nahezu exakte Beschreibung des statischen und dynamischen Verhaltens der Anlagen. Den numerischen Ergebnissen werden online Daten aus dem Felde gegenübergestellt und analysiert. Es soll eine Open-Source-Plattform geschaffen werden, die auch andere Anwendende frei verfügbar nutzen und um weitere Produkte und deren digitale Zwillinge ergänzen können. Damit können Geräte der Gebäudeenergie-technik im gesamten Produktlebenszyklus überwacht und optimiert werden: Über Fehler an Geräten wird der Anlagenbetreiber automatisch digital informiert, kann diese beheben und zusätz-



Mithilfe von digitalen Zwillingen können Geräte der Gebäudeenergie-technik im gesamten Produktlebenszyklus überwacht und optimiert werden.

lich seine Geräte kontinuierlich optimieren. Auch eine Schnittstelle zum Energieversorger ist möglich. Diese könnten dann vorausschauender planen und so zum Beispiel das Niederspannungsnetz besser auslasten.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EN1022A-D

Fördermittelansatz: 1,7 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2023

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



PROJEKTPORTRÄT

Wärmewende Nordwest – Digitalisierung zur Umsetzung von Wärmewende- und Mehrwertanwendungen für Gebäude, Campus, Quartiere und Kommunen im Nordwesten

Die Wärmewende ist eine zentrale Säule der Energiewende. Um den Wärmeverbrauch zu reduzieren, ist neben Sanierungen auch die Digitalisierung von großer Bedeutung. Das Vorhaben Wärmewende Nordwest erforscht, wie sich die Wärmewende in der Region um Oldenburg und Bremen digitalisieren lässt. Eine Smart-Meter-Infrastruktur soll den Wärmebedarf in Gebäuden, Quartieren, Gewerbe und Industrie erfassen und optimieren. Dabei sind intelligente Strom-, Wasser- und Gaszähler an ein Kommunikationsnetz angebunden. Der Experimentalcampus Bauphysik demonstriert, wie sich Gebäude vollständig digitalisieren lassen. Ein zweiter Experimentalcampus erforscht die Sektorkopplung mit innovativen kälte- und wärmetechnischen Anlagen. Wärmewende Nordwest erarbeitet zudem Transformationsstrategien für urbane Fern- und Nahwärmeversorgungssysteme am Beispiel der Stadt Bremen sowie ein Konzept für die klimafreundliche Wärmeversorgung in Kommunen. Das Vorha-



Das Projekt Wärmewende Nordwest will die Wärmewende in der Region um Oldenburg und Bremen digitalisieren.

ben integriert die Forschungsfelder in einer digitalen Wärmewende-Plattform und stellt Ausbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen für Fachkräfte bereit. Damit realisiert das Projekt das Thema Wärmewende erstmals vollumfänglich. Die Ergebnisse sollen sich künftig auf weitere Regionen und Technologien übertragen lassen.

Zuwendungsempfänger: OFFIS e.V. – Institut für Informatik und 20 weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SF0624A-U

Fördermittelansatz: 16,3 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2025

Projektbeschreibung auf EnArgus:



2.2.2 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Die Wirtschaftsleistung in Deutschland wird von Unternehmen getragen. Der Energieverbrauch im industriellen Sektor fällt dabei nicht nur in Traditionsbranchen mit Großprozessen an – etwa Stahl-erzeugung oder Chemie –, sondern auch in zahlreichen kleinen und mittleren Unternehmen in der großen Breite aller Branchen. In Zahlen: Rund ein Drittel des Endenergieverbrauchs in Deutschland entfällt auf die Industrie. 2020 ist dieser im Vergleich zum Vorjahr um knapp 2 Prozent gesunken. Gewerbe, Dienstleistungen und Handel machen weitere rund 15 Prozent des Endenergieverbrauchs aus. Ziel der Forschungsförderung ist es, die Transformation zur klimaneutralen Produktion zu unterstützen, ohne dabei die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit zu gefährden.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Industrie hängt nach wie vor stark von fossilen Energieträgern ab. Deshalb bemüht sich die Energieforschung, Prozesse auf alternative, insbesondere erneuerbare, Energieträger umzustellen. So werden immer mehr Anlagen elektrifiziert, was Strom zur zweitwichtigsten Energiequelle macht. Entscheidend ist jedoch die Senkung des Energieverbrauchs durch Ausschöpfen weiterer Effizienzpotenziale. Ein zentrales Thema für die Forschungsförderung ist die Weiternutzung industrieller Abwärme in anderen Prozessen sowie zum Heizen von Wohn- oder Geschäftsräumen, die mit der Entwicklung von kostengünstigen Speicher- und Leitungstechnologien auch wirtschaftlich attraktiv werden kann.

Auch das Thema Wasserstoff gewinnt in der Industrie zunehmend an Bedeutung: Im Jahr 2021 sind dazu verschiedene Forschungsprojekte gestartet. Hierzu zählen etwa OptiLBO und BrEEGa unter dem Dach der Technologieoffensive Wasserstoff (siehe Kapitel 2.4.3 Sektorkopplung und Wasserstoff, Seite 48) sowie das Reallabor der Energiewende H₂Stahl.

In Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen optimieren und entwickeln Forschende nicht nur einzelne Anlagen oder Maschinenkomponenten, sondern betrachten auch ganze Wertschöpfungsketten. Dieses Vorgehen schließt Verdrängungseffekte aus und stellt sicher, dass im Gesamtsystem Energie eingespart und CO₂-Emissionen gesenkt werden.

Zu den Forschungsthemen im Industriebereich zählen unter anderem Abwärme und industrielle Wärmespeicher, chemische Verfahrenstechnik, CO₂-Kreislaufwirtschaft, Eisen und Stahl, Fertigungstechnik, Hochtemperatursupraleitung, Künstliche Intelligenz und Sensorik, Material- und Ressourceneffizienz, Tribologie (Reibung, Schmie-

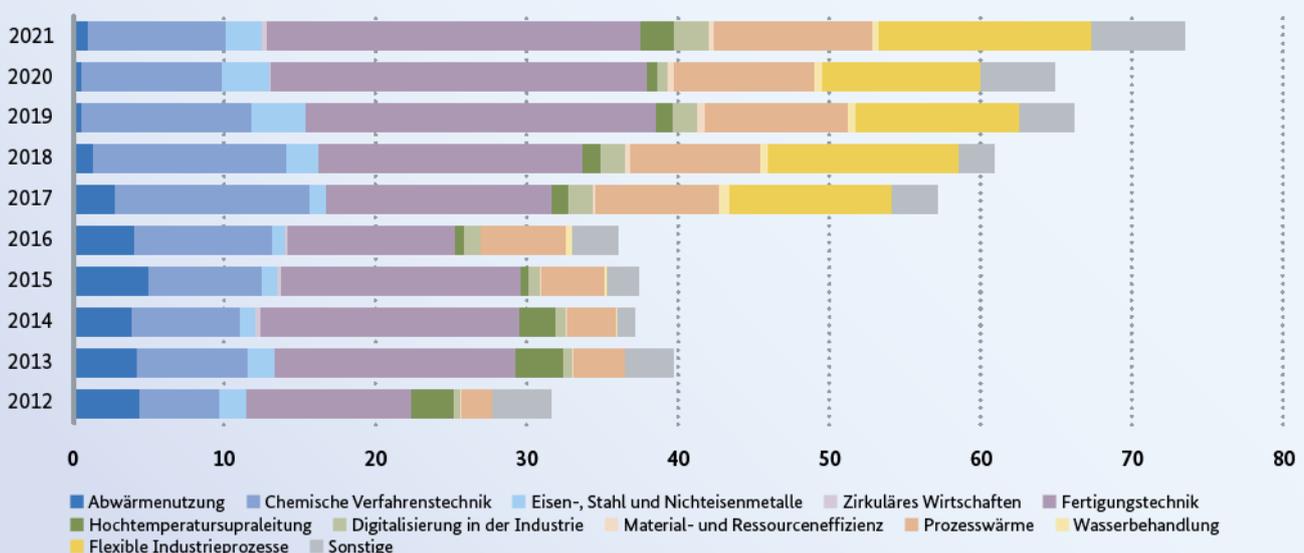
rung, Verschleiß), Wärme- und Kältetechnologien sowie Wassertechnologien.

Das BMBF-geförderte Kopernikus-Projekt für die Energiewende SynErgie befasst sich mit dem künftigen Problem der steigenden fluktuierenden Einspeisung von erneuerbaren Energien. Das Projekt soll insbesondere die energieintensive Industrie (Papier, Glas, Metall und weitere) befähigen, die Energienachfrage an das aktuelle Angebot anzupassen. Hierzu wurden verschiedene Tools entwickelt, mit denen Energieflexibilitätsmaßnahmen identifiziert, charakterisiert und bewertet werden können. Mit der energieflexiblen Modellregion Augsburg soll die Flexibilisierung der Energienachfrage im Zusammenspiel erprobt werden.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2021 720 laufende Vorhaben mit rund 73,49 Millionen Euro gefördert. Zudem haben die Ministerien in diesem Zeitraum 184 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 93,68 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 91)

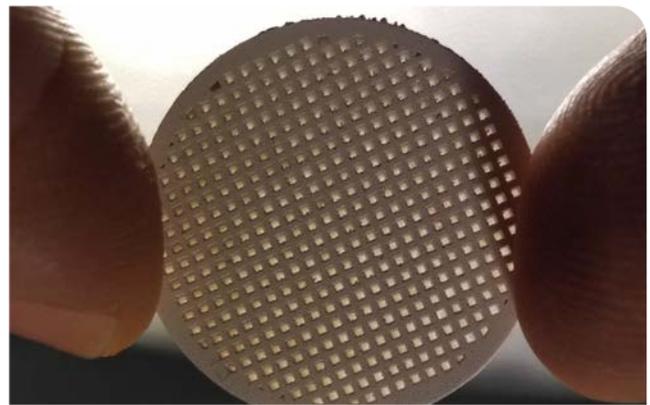




PROJEKTPORTRÄT

AMAZING – Additive Manufacturing for Zero-emission Innovative Green Chemistry

Zu den Grundstoffen diverser Kunststoffe zählen Ethylen und Propylen. Diese werden etwa aus Leichtbenzin, Naphta oder aus Gasen wie Ethan im sogenannten Steamcracking gewonnen. Die dafür nötigen Temperaturen von bis zu 850 Grad Celsius erzeugen fossile Energieträger in einem Rohrofen. Die Grundstoffherstellung ist daher besonders energieintensiv und mit sehr hohen CO₂-Emissionen verbunden. Im deutsch-niederländischen Forschungsprojekt AMAZING wollen Forschende den Prozess nun effizienter gestalten und in einem zweiten Schritt zeitgleich Wasserstoff gewinnen. Im Fokus steht ein Reaktor, für den Keramikmembranen zukünftig additiv gefertigt werden sollen. Die katalytische Funktion der Membranen senkt die nötige Reaktionstemperatur im Prozess. Dies ermöglicht es, den Reaktor auch mit Strom – insbesondere aus erneuerbaren Energien – zu beheizen. Theoretisch lassen sich so an Deutschlands Steamcrackern jährlich rund 5,2 Terawattstunden Energie und fast vier Millionen Tonnen CO₂ einsparen. Weiterhin kann die neuartige Membran den Wasserstoff, der beim Cracking als Nebenprodukt entsteht, rein abspalten



Membranträger aus Magnesiumoxid (MgO), der mittels 3D-Siebdruck hergestellt wurde

und damit nutzbar machen. AMAZING vereint somit zwei Prozesse miteinander, die auch anderen Industriebereichen große Effizienzpotenziale eröffnen.

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Jülich GmbH – Institut für Energie- und Klimaforschung – Werkstoffsynthese und Herstellungsverfahren (IEK-1) und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EN2052A-C

Fördermittelansatz: 1,2 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2024

Projektbeschreibung auf EnArgus:

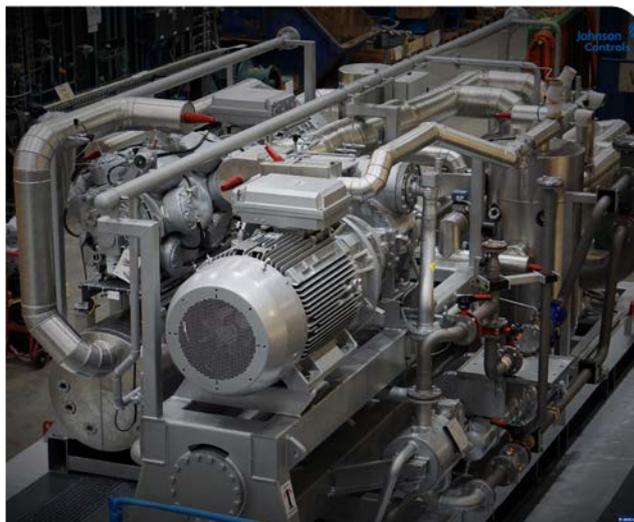
MEHR INFO



PROJEKTPORTRÄT

FernWP – Fern- und Prozesswärmeversorgung durch Wärmepumpen als Ersatz der Kohleverbrennung

Der Ausstieg aus der Kohleverstromung betrifft verschiedenste Branchen, darunter auch die Fernwärmeversorgung. Denn Kohlekraftwerke erzeugen nicht nur Strom, sondern leisten auch einen wesentlichen Beitrag zur Fernwärmeversorgung – jährlich rund 40 Terawattstunden. Als eine zukünftige emissionsärmere und effizientere Lösung gelten Großwärmepumpen. In Ein- und Zweifamilienhäusern sind Wärmepumpen bereits weit verbreitet, doch Fernwärme stellt deutlich höhere Anforderungen an die Leistung und das Temperaturniveau der Anlagen. Hier setzt das Projekt FernWP an: Dessen Team entwickelt eine entsprechend optimierte Wärmepumpe und untersucht gleichzeitig, wie alternative Wärmequellen an Kraftwerksstandorten und in die bereits vorhandene Infrastruktur eingebunden werden können. Um zukünftig auch industrielle Prozesswärme bereitstellen zu können, adaptieren die Projektpartner die Technologie zudem für noch höhere Temperaturen. Eine im Forschungsprojekt FernWP erarbeitete Austauschplattform für Planer und Investoren soll außerdem über die Technologie sowie die Rahmenbedingungen informieren.



Die Projektpartner entwickeln Großwärmepumpen für die Fernwärme, die nicht nur besonders hohe Temperaturen erreichen, sondern sich auch verfügbare Niedertemperaturquellen an Kraftwerksstandorten zu Nutze machen.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG und Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE sowie vier Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EN4015A-E

Fördermittelansatz: 4,5 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2021 – 2025

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.2.3 Schnittstellen der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr

2021 ist der Anteil erneuerbarer Energieträger im Verkehrsbereich von 5,6 Prozent (2019) auf 7,5 Prozent gestiegen. Die Gründe waren ein höherer Biokraftstoff-Anteil und wachsende Zulassungszahlen elektrifizierter Fahrzeuge. Um die Dekarbonisierung des Verkehrssektors zu intensivieren, sind weitere innovative Lösungen notwendig im Personen- und Güterverkehr, auf langen wie kurzen Strecken, auf der Straße, auf der Schiene, zu Wasser und in der Luft.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

In einem dekarbonisierten Energiesystem (gemäß den nationalen und europäischen Klimazielen) ist die direkte Nutzung von erneuerbarem Strom in elektrischen Fahrzeugantrieben im Regelfall die mit großem Abstand energieeffizienteste und wirtschaftlichste Option. Elektromobilität kann mit ihrer Effizienz Dekarbonisierungserfolge des Stromsektors auf den Verkehr übertragen. Das BMWK fördert daher im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms Arbeiten zu einer nachhaltigen batterie-elektrischen Elektromobilität entlang der Wertschöpfungskette von den Rohstoffen über die

Produktion und Nutzung bis hin zu Nachnutzung und Recycling von Batterien. Dazu entwickeln Forschungsteams günstige Akkus mit hoher Energiedichte und langer Lebensdauer. Netzdienliche Ladepunkte sind häufig Elemente sektorübergreifender Projekte. Elektromobilität ist auch auf Basis von wasserstoffbasierten Brennstoffzellen-Antrieben möglich. Den Nachteil der geringeren Effizienz gegenüber Batterien durch Umwandlungsverluste können andere Aspekte, wie die bessere Speichereffizienz von Wasserstoff, zum Teil kompensieren. Stationär eingesetzt, produzieren Brennstoffzellen effizient Strom und Wärme, mit grünem Wasserstoff auch klimaneutral. Wichtige Forschungsthemen in beiden Feldern sind Umweltverträglichkeit, resiliente Wertschöpfungsketten, flexiblere Fertigungsverfahren und Wiederverwertbarkeit.

Wasserstoff gilt als Brückenbauer für die Verkehrswende, da er die Sektorkopplung zwischen Stromwirtschaft und Verkehr ermöglicht. Sowohl durch Elektrolyse von Wasser mit Strom aus erneuerbaren Energien als auch mittels thermochemischer Verfahren aus Biomasse lässt sich grüner Wasserstoff gewinnen. Dieser ermöglicht über weitere Prozessschritte die Herstellung flüssiger oder gasförmiger Kraftstoffe. Mit dem Ansatz einer

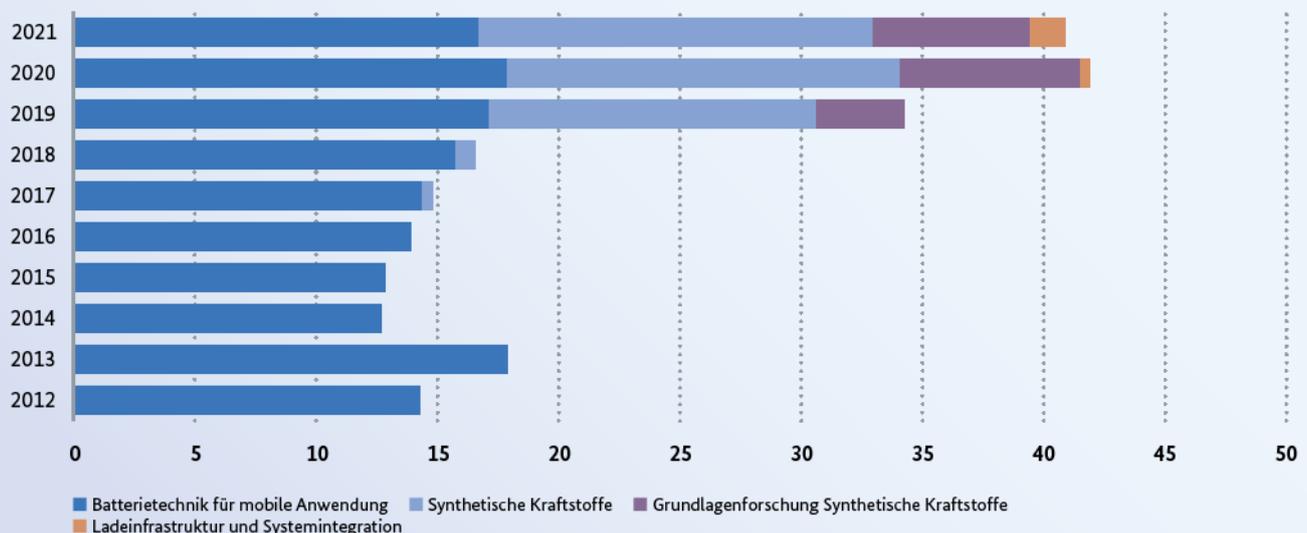
systemischen und marktorientierten Förderung unterstützt das BMWK die Entwicklung von Lösungen, um den Verkehrssektor energieeffizienter, klima- und umweltverträglicher zu gestalten und auch neue, erneuerbare Energiequellen zu erschließen, um so die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern.

Das BMWK fördert synthetische, strombasierte Kraftstoffe mit der Initiative „Energiewende im Verkehr“, ergänzt durch die Begleitforschung BEniVer, die eine Roadmap mit weiteren Handlungsoptionen für den Sektor erstellt. Das BMBF fördert solche Kraftstoffe ebenfalls, mit der Maßnahme NAMOSYN. Über die Zusammenarbeit mit BEniVer fließen auch die NAMOSYN-Ergebnisse in die Roadmap ein.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Schnittstelle der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr haben das BMBF und das BMWK im Jahr 2021 326 laufende Vorhaben mit rund 40,85 Millionen Euro gefördert. 2021 haben die Ministerien zudem 51 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 27,76 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 9).

Abbildung 9: Fördermittel für Energieforschung zu Mobilität und Verkehr in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 3, Seite 91)



PROJEKTPORTRÄT



Das Team von GO3 hat eine kostengünstige und Kobalt-ärmere Generation von Lithium-Ionen-Zellen für Mildhybrid-Fahrzeuge entwickelt.

GO3 – Hochenergie-Lithiumbatterien für Automotive-Anwendungen

Die 48-Volt-Hybridisierung von Fahrzeugen reduziert den Kraftstoffverbrauch um bis zu 15 Prozent. Sie bringt allerdings besondere Anforderungen an die im 48-Volt-System verbauten Batterien mit sich: deutlich häufigeres Auf- und Entladen während der Fahrt, wenig Platz im Fahrzeug und keine externe Aufladung. Im Forschungsprojekt GO3 konnte Bosch zusammen mit CATL eine neue, kostengünstige und Kobalt-ärmere Generation von Lithium-Ionen-Zellen spezifizieren und entwickeln, die genau auf diesen Einsatz ausgelegt ist. Zunächst arbeiteten die Forschungsteams einerseits an Materialien mit hoher Stabilität und Speicherfähigkeit, andererseits an einem langlebigen und zuverlässigen Batteriesystem, das auch bei höheren Betriebstemperaturen noch voll leistungsfähig bleibt. Die Ergebnisse des Projekts konnten bestätigen, dass die Zellen und das Batteriesystem für den Einsatz in Mildhybrid-Fahrzeugen geeignet sind. Nachdem 2019 bereits die Serienproduktion in China anlief, wird seit Ende 2021 die zweite Generation der 48-Volt-Batterie im Bosch-Werk in Eisenach produziert. Bosch geht davon aus, dass knapp jedes dritte neue Fahrzeug im Jahr 2025 in Europa als 48-Volt-Hybrid zugelassen wird.

Zuwendungsempfänger: Robert Bosch GmbH und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ETE002A-D

Fördermittelansatz: 10,3 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2017 – 2021

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



PROJEKTPORTRÄT



SOFC Units – Festoxidbrennstoffzellensysteme für stationäre Anwendungen

Festoxid-Brennstoffzellen (engl. solid oxide fuel cell, kurz SOFC) sind leise und hocheffiziente Energiewandler für Strom und Wärme und können als kleine, dezentrale Kraftwerke in Städten, in Industrie und Handel, zur Stromversorgung von Rechenzentren oder zur Verstärkung der Elektroinfrastruktur dienen. Und sie sind ‚hydrogen-ready‘, können also flexibel mit Wasserstoff, Biogas oder Erdgas betrieben werden. Ihre elektrische Effizienz liegt bei über 60 Prozent, mit Wärmenutzung steigt der Gesamtwirkungsgrad auf über 85 Prozent. Im Rahmen einer Prototypenfertigung konnte Bosch nun innovative, dünne Keramik-auf-Stahl-Beschichtungen für Brennstoffzellen erproben, die ohne teure Rohstoffe wie Platin auskommen, die Betriebstemperatur drastisch senken und so die Lebensdauer erhöhen. Mit dem Aufbau von Pilotanlagen konnte das Unternehmen neue Brennstoffzellensysteme entwickeln und im praktischen Betrieb testen – das Entwicklungsteam musste dazu das System optimieren und die Anlagen digital vernetzen. Mittlerweile laufen über 50 Pilotanlagen in ganz Deutschland, im Jahr 2024 soll die Serienfertigung folgen. Stationäre Brennstoffzellensysteme unterstützen die Transformation des Energiemarktes hin zur Klimaneutralität.

Zuwendungsempfänger: Robert Bosch GmbH

Förderkennzeichen: 03ETB021

Fördermittelansatz: 5,1 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.3 Energieerzeugung

2.3.1 Photovoltaik

Mit Blick auf die Energiewende will die Bundesregierung bis 2045 in Deutschland Klimaneutralität erreichen. Beim fortlaufenden Umbau der Energieversorgung hat Photovoltaik weiterhin eine technologische Schlüsselrolle. Die Bundesregierung hat sich in ihrem Ausbaupfad auf einen erheblichen Zubau von Photovoltaikanlagen geeinigt. Als Zielwert sind 200 Gigawatt bis 2030 festgelegt. Dazu sollen unter anderem bürokratische Hemmnisse beseitigt und innovative Anwendungsgebiete wie die schwimmende Photovoltaik (Floating-PV) oder Agri-Photovoltaik (Agri-PV) gestärkt werden. Die Forschungsförderung nimmt dabei insbesondere anwendungsorientierte Entwicklungen auf, um die Energiewende erfolgreich mitzugestalten, stärkt aber auch weiterhin die Grundlagenforschung als Basis für zukünftige Innovationen.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

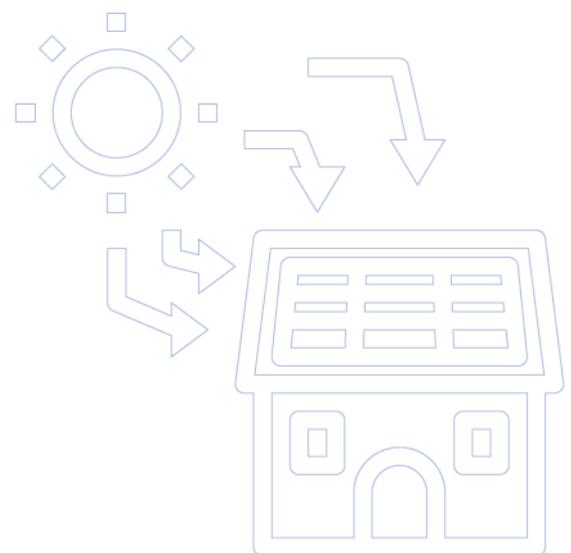
2021 haben sich Expertinnen und Experten aus den unterschiedlichsten Fachgebieten in einer neuen Arbeitsgruppe „Begleitforschung Photovoltaik“ innerhalb des Forschungsnetzwerks Erneuerbare Energien zusammengeschlossen. Durch eine qualifizierte Begleitforschung wollen sie die Forschungsförderung im Bereich der Photovoltaik strategisch und wirtschaftspolitisch optimieren. Dazu hat die Gruppe zunächst drei Themen ausgewählt: die Absicherung der Stromversorgung aus Photovoltaik und korrespondierenden Geschäftsmodellen, techno-sozioökonomische Betrachtungen und Analysen, Partizipation und Akzeptanz sowie Agri-Photovoltaik.

In der Förderung bildet die Photovoltaik in der bebauten Umwelt (PV in the built environment) aktuell einen Schwerpunkt. War bisher die rein bauwerkintegrierte Photovoltaik, also die Installation von Solarmodulen als integraler Teil einer Gebäudehülle, ein zentrales Anliegen, so umfasst

die bebauten Umwelt ein weitreichenderes Anwendungsfeld. Denn hierbei haben die Akteurinnen und Akteure nicht nur die bisher gewohnten Dächer und Fassaden im Blick, sondern ebenfalls verschiedenste andere Baustrukturen wie etwa Lärmschutzwände oder Überdachungen von beispielsweise Plätzen und Bahnhöfen. Indem diese Flächen parallel zur technischen, wirtschaftlichen und energiepolitischen Perspektive auch aus Designaspekten für Photovoltaik erschlossen werden, fügen sie sich in das zukünftige Stadt- und Landschaftsbild ein.

Neben diesem Gebiet spielt die Forschung zu Floating-PV sowie Agri-PV eine zunehmende Rolle. Es wird diskutiert, Solarmodule vermehrt auf Wasserflächen und in der Landwirtschaft – hier auf Flächen zur gleichzeitigen Pflanzen- und Stromproduktion – zu installieren.

Aus technischer Sicht ist es darüber hinaus wichtig, sämtliche Komponenten der Photovoltaikanlagen kontinuierlich weiterzuentwickeln. Dazu zählen etwa die Solarwechselrichter, wo weitere qualitative Verbesserungen angestrebt werden, um höhere Lebensdauern und einen optimierten Betrieb von Photovoltaikanlagen zu erzielen.



Im Rahmen der Grundlagenforschung fördert das BMBF Projekte zu Technologien, mit denen höchste Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung erreicht werden können, beispielsweise das dynamische Feld der Perowskit- und Silizium-basierten Tandem- und Dreifachsolarzellen wie etwa im Projekt MeSa-Zuma (siehe Projektsteckbrief, Seite 33). Ebenso wird die Entwicklung von Demonstratoren für die direkte solare Wasserstofferzeugung weiter vorangetrieben. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Methodenentwicklung, zum Beispiel Echtzeit

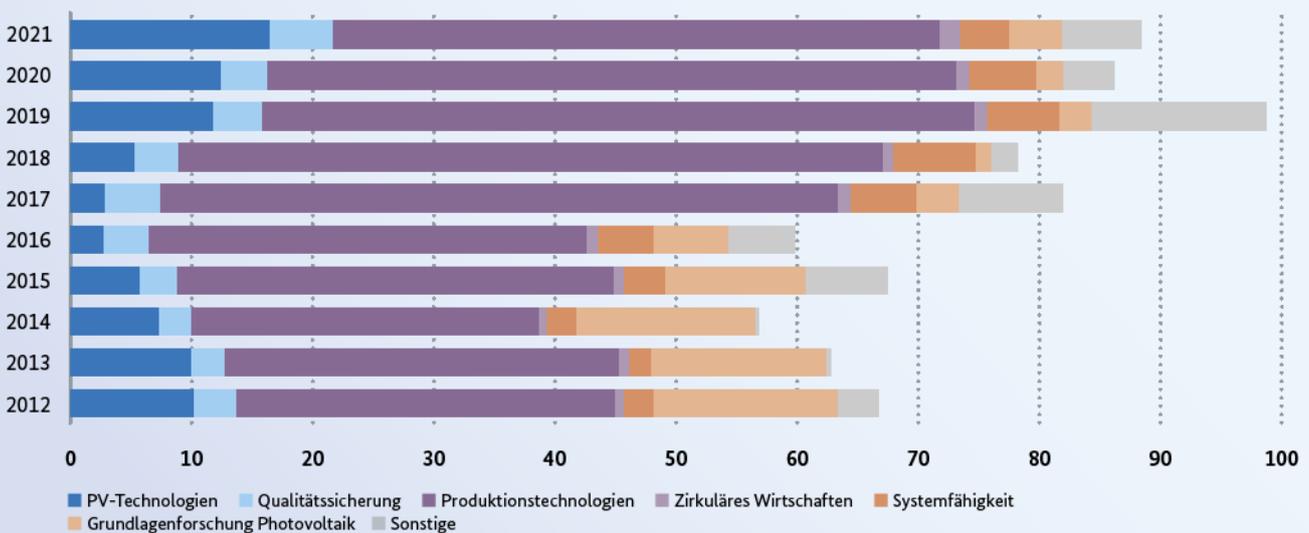
(Operando)-Untersuchungen auf subatomarer Ebene in Solarzellen und anderen Dünnschichtwachstumsprozessen.

Projektförderung

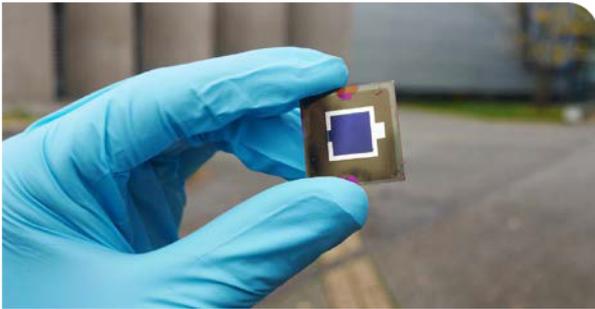
Im Schwerpunkt Photovoltaik haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2021 487 laufende Vorhaben mit rund 88,39 Millionen Euro gefördert. 2021 haben die Ministerien zudem 105 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 64,23 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 10).



Abbildung 10: Fördermittel für Photovoltaik in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 92)



PROJEKTPORTRÄT



Die Weltrekordzelle (hier vor dem Elektronenspeicherring BESSY II) besitzt die für Forschungszwecke übliche Fläche von etwa einem Quadratzentimeter.

MeSa-Zuma – Entwicklung von hocheffizienten und langzeitstabilen Tandemsolarzellen

Um den Anteil des Stroms aus Solarenergie weiter zu erhöhen, muss unter anderem der Wirkungsgrad von Solarzellen gesteigert werden. Deshalb entwickelt die Photovoltaikforschung die verwendeten Materialien kontinuierlich weiter. Das Potenzial der reinen Silizium-Photovoltaik ist bereits weitgehend ausgeschöpft. In den vergangenen Jahren ist daher die Materialklasse der Metallhalogenid-Perowskite in den Fokus gerückt, da sie die Effizienz in Kombination mit Silizium in sogenannten Tandemsolarzellen rasant steigern können. Die BMBF-geförderte Nachwuchsgruppe MeSa-Zuma hat Perowskit-Dünnschichten untersucht und im Jahr 2021 gemeinsam mit weiteren Forschenden einen neuen Wirkungsgrad-Rekord von 29,8 Prozent aufgestellt – nah an der in der Forschung angestrebten 30-Prozent-Marke. Der Rekordwert ist offiziell zertifiziert und im NREL-Chart verzeichnet. Im August 2021 ist das Anschlussprojekt PEROWIN gestartet, das sich neuen Prozess- und Charakterisierungsmethoden für die Realisierung von hocheffizienten Tandemsolarzellen widmet.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Berlin und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SF0540

Fördermittelansatz: 1,4 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2016 – 2021

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



PROJEKTPORTRÄT



Zwei Drittel der weltweit installierten Photovoltaik sind große Solarkraftwerke.

PV-Kraftwerk2025 – Innovationen für die nächste Generation PV-Kraftwerke: neue Bauelemente, Systemlösungen und Wechselrichter für eine kostengünstige und netzdienliche Stromversorgung

Große Solarkraftwerke machen unter den weltweit installierten neuen Photovoltaikanlagen etwa zwei Drittel aus. Sie erbringen Leistungen von bis zu 500 Megawatt. Um die Ziele der Energiewende zu erreichen und den Ausbau erneuerbarer Energien weiter zu unterstützen, müssen diese Photovoltaikkraftwerke zukünftig alle netzdienlichen Aufgaben übernehmen können, welche aktuell noch von konventionellen Kraftwerken ausgeführt werden. Das Wissenschaftsteam im Projekt PV-Kraftwerk2025 bereitet die nächste Generation von Photovoltaikkraftwerken darauf vor, dass die Anlagen künftig sowohl für die Systemstabilität als auch für die Versorgungssicherheit des Stromnetzes mit zuständig sind. Beispielsweise wenn Schwankungen zwischen Angebot und Nachfrage im Netz ausgeglichen werden müssen. Dazu notwendige Komponenten sind unter anderem innovative Halbleiter-Bauelemente für die Leistungselektronik, in die Kraftwerke integrierte Batteriespeicher sowie ein optimiertes Systemkonzept. Die Projektpartner tragen mit ihren Forschungsergebnissen sowie der geplanten Übertragung in Serienprodukte dazu bei, neue Photovoltaikkraftwerke wirtschaftlicher zu betreiben und die Solarstromkosten weiter zu senken.

Zuwendungsempfänger: SMA Solar Technology AG und fünf weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 0324211A-F

Fördermittelansatz: 5,5 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2017 – 2021

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.3.2 Windenergie

Die Nutzung der Windenergie ist entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende in Deutschland. Trotz vergleichsweise schlechter Windbedingungen hat sie 2021 den größten Beitrag zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien geleistet. Im Vergleich zum windreichen Vorjahr sank die Stromerzeugung aus Wind zwar um etwa 14 Prozent auf 132 Terawattstunden (TWh). Damit blieb die Windenergie aber auch in diesem eher windschwachen Jahr vor der Braunkohle der wichtigste Energieträger im deutschen Strommix. Etwa drei Viertel des Windstroms erzeugten Windenergieanlagen an Land (Onshore), ein Viertel Anlagen auf See (Offshore).

Im Jahr 2021 blieb der Zubau von neu installierten Windenergieanlagen an Land mit rund 1,7 Megawatt Leistung auf relativ niedrigem Niveau – obgleich wieder mehr Anlagen installiert wurden als 2020. Ende des Jahres 2021 waren in Deutschland Onshore-Windenergieanlagen mit einer Leistung von rund 56,1 Megawatt Leistung installiert. Damit wuchs die Gesamtleistung um 3 Prozent gegenüber dem Vorjahr.

Auf See wurden im Jahr 2021 keine neuen Anlagen an das Netz angeschlossen. Insgesamt blieb damit die installierte Leistung unverändert bei rund 7,8 Megawatt.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Ziel der Forschungsförderung ist es, die Kosten für Strom aus Windenergie weiter zu senken und die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Anlagen zu erhöhen.

Die Anlagentechnik ist neben dem Standort entscheidend für die Höhe der Stromerzeugungskosten. Anlagenelemente, wie Turm, Getriebe, Generator und Leistungselektronik, können erhebliche Beiträge zur Kostensenkung und Zuverlässigkeitssteigerung liefern. Besonders wichtig ist ein ganz-

heitlicher Anlagenentwurf: Bereits in der Designphase soll berücksichtigt werden, welcher Aufwand für Herstellung, Errichtung, Betrieb, Rückbau und Recycling nötig ist und wie die Anlagen in das Stromnetz integriert werden können. Außerdem müssen sie intelligent und flexibel betrieben werden.

Windhöfliche und einfach zu erreichende Standorte werden an Land immer seltener, sodass der Ausbau der Windenergie vermehrt an Standorten mit erschwerten Bedingungen erfolgt. Es ist daher essenziell, mit geeigneten Verfahren potenziell gute Standorte auszuwählen und dann mit wirtschaftlichen Methoden über einen längeren Zeitraum zu erkunden.

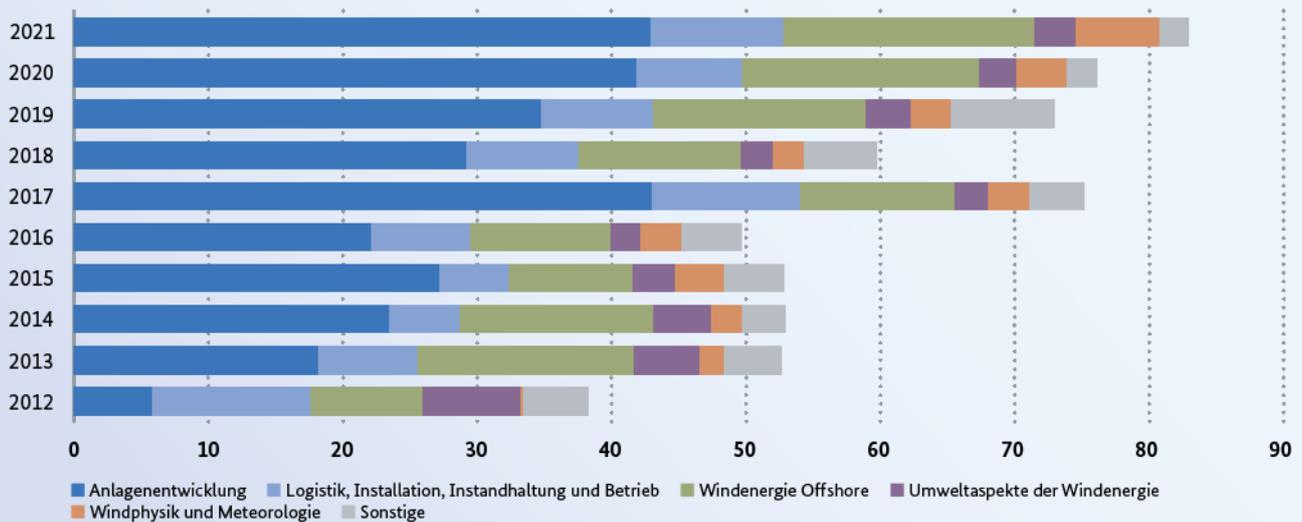
Mit zunehmender Größe moderner Windenergieanlagen kommen immer mehr Bauteile an die Grenzen der Belastbarkeit. Neue Materialien, beispielsweise zur Gewichtsreduktion, sind für einen effektiven und kostengünstigen Anlagenbau und Betrieb deshalb zentral.

Für Offshore-Windparks stellen Logistik und Instandhaltung große Herausforderungen dar: Die Verfügbarkeit der Anlagen ist entscheidend für deren Wirtschaftlichkeit, da Offshore-Windenergieanlagen im Falle eines Defekts nur mit großem Aufwand erreicht werden können. Deshalb sind innovative Netzanbindungs- und Logistikkonzepte wichtig, welche die Verfügbarkeit der Anlagen, den Transport von Personal und Material sowie Konzepte zu Pooling, Betrieb und Wartung berücksichtigen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Windenergie haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2021 insgesamt 472 laufende Vorhaben mit rund 82,87 Millionen Euro gefördert. 2021 haben die Ministerien zudem 84 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 43,90 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 11).

Abbildung 11: Fördermittel für Windenergie in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 4, Seite 92)



PROJEKTPORTRÄT

WERAN plus – Wechselwirkung Windenergieanlagen und terrestrische Navigation/Radar plus

Drehfunkfeuer sind Navigationseinrichtungen für den Luftverkehr, die durch Windenergieanlagen gestört werden könnten. Um diese Beeinträchtigungen zu vermeiden, wird die Errichtung von Windenergieanlagen im Umfeld von Drehfunkfeuern häufig nicht zugelassen. Im Forschungsvorhaben WERAN hat die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) mit ihren Projektpartnern die wissenschaftlichen Grundlagen zur Beurteilung der Wechselwirkung untersucht und eine neue Messtechnik sowie Simulationen entwickelt. Forscherinnen und Forscher erarbeiten im aktuell laufenden Nachfolgeprojekt WERAN plus nun neue Prognosemethoden, um die mögliche Störwirkung von Windenergieanlagen auf Drehfunkfeuer bereits im Vorhinein realistisch einschätzen zu können. Dies gilt sowohl für sogenannte DVOR-Navigationsanlagen (Doppler Very High Frequency Omnidirectional Radio Range) als auch konventionelle VOR. Mit der neu entwickelten Prognosemethode kann in Zukunft schneller und genauer über Bauanträge entschieden werden. Sie ermöglicht klare wissenschaftlich und juristisch belastbare Vorhersagen für die Störwirkung geplanter Windparks. Das verbesserte



Das Fraunhofer IWES hat ein innovatives Verfahren entwickelt, um bestehende Fundamente von Offshore-Windenergieanlagen für Repowering zu nutzen.

Prognosewerkzeug wurde bereits in die Praxis umgesetzt: Seit 1. Juni 2020 gilt eine neue Berechnungsformel in der Genehmigungsprüfung. So konnten im vergangenen Jahr schon zusätzliche Windenergieanlagen mit einer Leistung von insgesamt rund 700 Megawatt im Umkreis von Drehfunkfeuern genehmigt werden.

Zuwendungsempfänger: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 0324252A-D

Fördermittelansatz: 1,3 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2023

Projektbeschreibung auf EnArgus:



PROJEKTPORTRÄT

InGROW – Innovatives Gründungssystem für Repowering von Offshore-Windenergieanlagen

Windenergieanlagen auf See sind für eine Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren ausgelegt. Sie können nur dann länger betrieben werden, wenn die am intensivsten genutzten Bauteile überprüft und im Falle von Defekten oder Schwächen ausgetauscht werden. Das ist insbesondere für Komponenten, die sich unter Wasser befinden, schwierig bis unmöglich.

Das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES hat eine Alternative für Offshore-Windparks entwickelt: ein Repowering, das die bestehenden Anlagenelemente nutzt. Beim bereits an Land etablierten Repowering ersetzen Windparkbetreiber alte Anlagen durch neue, leistungsstärkere. Auch offshore liegen die Vorteile auf der Hand: die Standorte sind bereits bekannt, sodass aufwändige Erkundungsarbeiten entfallen. Auch ein Netzanschluss ist schon vorhanden. Wenn zudem eine bereits vorhandene Monopile-Gründung – eine Pfahlgründung, die tief in den Meeresboden gerammt wurde – weiter genutzt werden kann, können weitere erhebliche Kosten eingespart werden. Neue Windenergieanlagen sind allerdings meist schwerer als die älteren Anlagen. Deshalb muss die Gründung höheren Belastungen standhalten können.



Ein mit Messtechnik ausgestatteter Oktokopter erfasst Messdaten in verschiedenen Höhen und Entfernungen rund um eine Windenergieanlage.

Im Forschungsprojekt InGROW hat das Projektteam nun ein Gründungskonzept entwickelt, das bestehende Monopile zusätzlich verstärkt (mittels Jacket-Strukturen auf Suction Buckets) und so ein Repowering ohne Komplettaustausch der Gründungsstruktur ermöglicht. Dieses innovative Konzept hat das Fraunhofer IWES als internationales Patent angemeldet.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES

Förderkennzeichen: 03EE3003

Fördermittelansatz: 550.000 Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2021

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO 

2.3.3 Bioenergie

Energetisch genutzte Biomasse steuert einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der ehrgeizigen Ziele Deutschlands beim Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien bei. Bioenergie kann in allen Verbrauchssektoren (Wärme, Strom, Verkehr) Verwendung finden und ist damit die vielseitigste unter den erneuerbaren Energien. Sie ist unabhängig von Witterungsbedingungen sowie Tages- und Jahreszeiten verfügbar und gut speicherbar. Das macht sie zum unverzichtbaren Zulieferer zur schwankenden Energiebereitstellung aus Wind und Sonne. Sowohl im Wärme- als auch im Verkehrssektor

macht die Bioenergie bereits einen Großteil der genutzten erneuerbaren Energien aus. Gleichwohl kann durch die Forschungsförderung die nachhaltige und systemgerechte Nutzung der verschiedenen Biomassearten weiter optimiert werden.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das BMWK fokussiert im Förderschwerpunkt „energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe“ des 7. Energieforschungsprogramms auf die Entwicklung und Erprobung zukunftsweisender Technologien sowie Verfahrens- und Prozessopti-

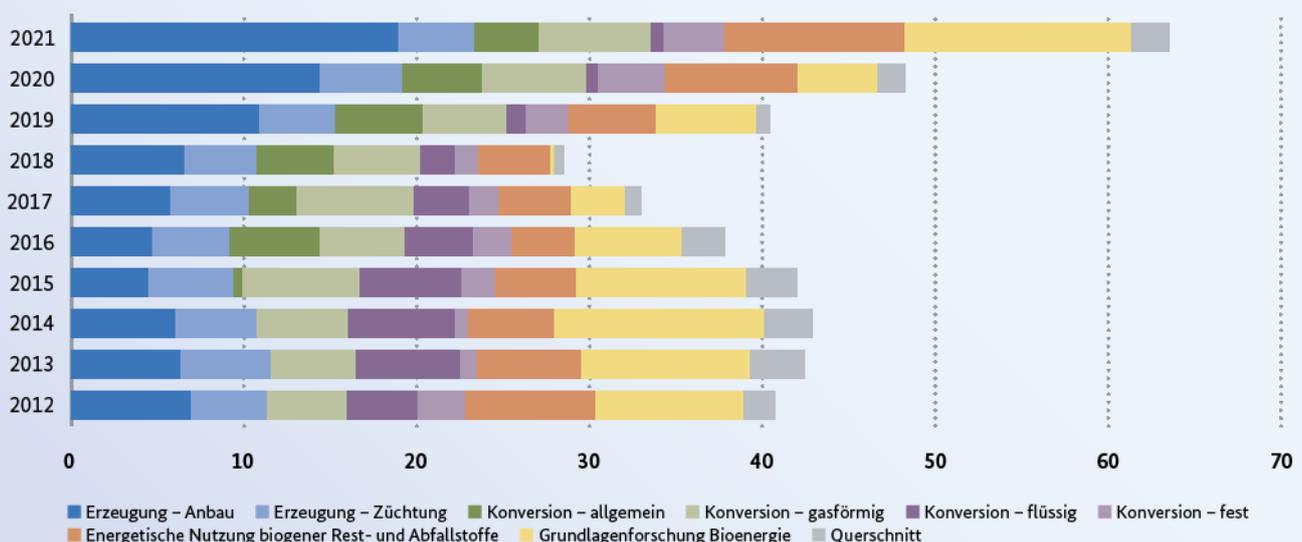
mierungen, die eine effiziente, wirtschaftliche und vor allem nachhaltige Nutzung der Bioenergie ermöglichen. So fördert das Ministerium praxisorientierte Lösungen mit Demonstrations- und Pilotcharakter, die die flexible Erzeugung von Strom und Wärme aus Biomasse, die Bereitstellung von Biokraftstoffen sowie die Erschließung biogener Rest- und Abfallstoffe unterstützen. Weitere Aspekte sind die Systemintegration, Sektorkopplung, Digitalisierung sowie die erfolgreiche Kombination von Anlagen und Konzepten zur Nutzung erneuerbarer Energien.

Seit 2021 rücken außerdem Vorhaben zur biogenen Wasserstoffherzeugung in den Fokus, welche auch im Rahmen der Technologieoffensive Wasserstoff gefördert werden. Klassische Forschungseinrichtungen, aber auch klein- und mittelständische Unternehmen, die Markteinführungen innovativer Technologien verfolgen, gehören zu den Fördermittelempfängern. Mit dem Ziel der Vernetzung und des Wissenstransfers wird der Förderschwerpunkt vom DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH wissenschaftlich begleitet. Ein aktiver Austausch zwischen den Forschenden wird durch das Forschungsnetzwerk Bioenergie ermöglicht.

Das BMBF fördert im Schwerpunkt Bioenergie unter anderem Vorhaben, die am Einsatz von erneuerbar erzeugten Kraftstoffen im Mobilitätssektor arbeiten. So entwickelt etwa das Verbundprojekt probioLNG eine Prozesskette zur Bereitstellung von flüssigem Biomethan als Treibstoff für landwirtschaftliche Maschinen. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit afrikanischen Staaten fördert das Ministerium Projekte, die dem Problem unkontrolliert entsorgter Abfälle begegnen, indem sie daraus Bioenergie gewinnen. Das Vorhaben Waste2Energy wandelt beispielweise in Ghana mithilfe grüner Energie aus der Sonne und verschiedener Zersetzungsverfahren in einer Hybrid-Photovoltaik-Bio-gas-Pyrolyse-Anlage Abfall in Energie um.

Das BMEL fördert Forschungsvorhaben im Bereich Bioenergie über das Förderprogramm Nachhaltigkeits Rohstoffe, das von der Fachagentur Nachhaltigkeits Rohstoffe e.V. (FNR) betreut wird und über ein jährliches Volumen von insgesamt rund 85 Millionen Euro verfügt. Zu den Schwerpunkten zählen u. a. nachhaltiges Stoffstrom-Management zur optimalen Versorgung von Produktions- und Verarbeitungsanlagen mit biogenen Ressourcen, die Entwicklung von Konzepten für eine nachhaltige Erzeugung und Verwertung nachwachsender

Abbildung 12: Fördermittel für Bioenergie in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 92)



Rohstoffe unter besonderer Berücksichtigung der Ressource Wasser sowie auch die dezentrale Erzeugung von Wertstoffen in aquatischen Systemen, zum Beispiel mit Algen, Cyanobakterien oder Wasserpflanzen zur Verbreiterung der Rohstoffbasis. Es kann dabei insbesondere auch auf die Expertise des Deutsche Biomasse Forschungszentrums zurückgreifen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Bioenergie hat die Bundesregierung im Jahr 2021 762 laufende Vorhaben mit rund 63,72 Millionen Euro gefördert. 2021 haben die beteiligten Ministerien zudem 195 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 47,10 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 12).

PROJEKTPORTRÄT

WeMetBio – *Bedarfsgerechte Speicherung fluktuierender erneuerbarer (Wind-) Energie durch Integration der Biologischen Methanisierung im Rieselbettverfahren im Energieverbund in Schleswig-Holstein*

Die Energiewende ist eines der ehrgeizigen klimapolitischen Ziele der Bundesregierung. Um dieses Ziel zu erreichen, muss der Ausbau erneuerbarer Energien vorangetrieben werden. Bei der Produktion von Solarstrom aus Photovoltaikanlagen oder der Stromerzeugung durch Windenergieanlagen (WEA) ergibt sich das Problem der Abhängigkeit der erneuerbaren Stromerzeugung von Sonnenstand beziehungsweise Windgeschwindigkeit. Damit erneuerbare Energie zur Hauptenergiequelle werden kann, muss diese speicherbar sein. Die Bioenergie bietet hier den Vorteil, dass sie tages- und jahreszeitlich unabhängig zur Verfügung steht und in Form von Biogas gut speicherbar ist. Die Kopplung der verschiedenen erneuerbaren Energien stellt somit eine wichtige Voraussetzung für eine gelingende Energiewende dar. Zudem verlieren in den nächsten Jahren viele Biogasanlagen und WEA den Anspruch auf die im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) verankerte Vergütung. Viele Betreiber stehen vor der Herausforderung, wirtschaftliche Post-EEG-Konzepte für Bestandsanlagen zu entwickeln.

An diesem Spannungsfeld setzt das WeMetBio-Projekt an. Das Ziel der Durchführbarkeitsstudie war es, die Integration der Biomethanisierung im Rieselbettverfahren in den Energieverbund aus einer Biogasanlage und Post-EEG-WEA für einen konkreten Standort zu bewerten. Dadurch sollen bisher nicht



Im Projekt WeMetBio wird die Integration einer innovativen Pilotanlage zur Biomethanisierung im Rieselbettverfahren in den Energieverbund von Biogas- bzw. Biomethananlagen, Windkraftanlagen sowie die Methaneinspeisung ins Erdgasnetz geprüft.

genutzte Stromüberschüsse sowie CO₂ verwertet und der Abbau von Post-EEG-WEA verhindert werden. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass eine Speicherung von Windenergie in Form von Power-to-Gas-Methan in verschiedenen ländlichen Regionen umgesetzt werden kann.

Zuwendungsempfänger: Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg und Hochschule Flensburg

Förderkennzeichen: 2219NR134, 2219NR401

Fördermittelansatz: 190.000 Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2021

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.3.4 Geothermie

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

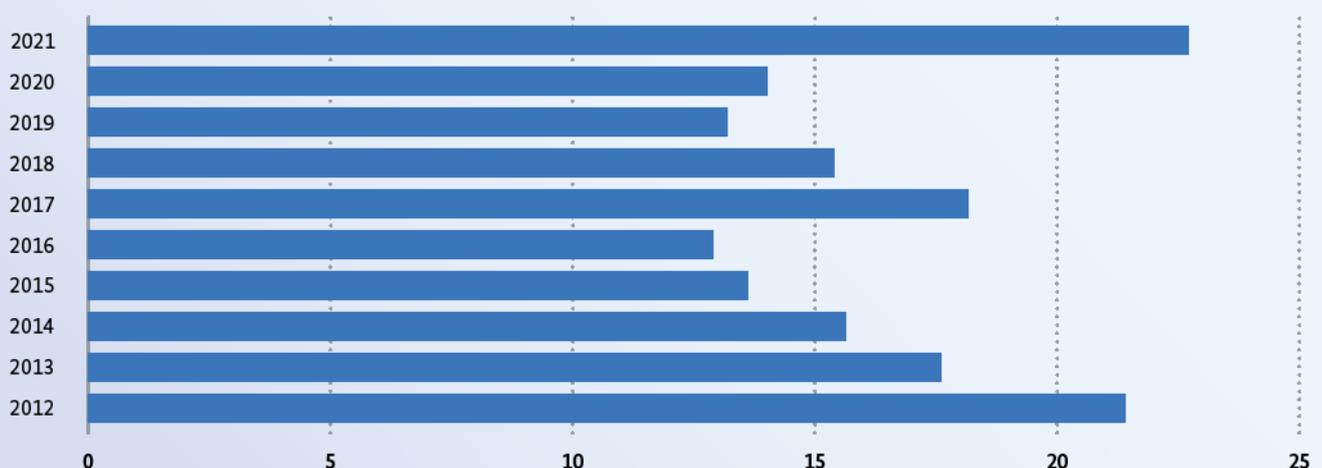
Strategisch soll die Nutzung der Geothermie zur Wärme- und Kälteversorgung sowie zum Speichern von Wärme in Deutschland weiter ausgebaut werden. Forschungsprojekte, die das BMWK im 7. Energieforschungsprogramm fördert, sollen dazu beitragen, Geothermie schnell einsetzbar zu machen, Kosten und Risiken beim Erschließen und Nutzen von Erdwärme zu reduzieren sowie Bekanntheit und Akzeptanz der Geothermie zu steigern. Mit einem besonderen Fokus auf Demonstrations- und Pilotvorhaben soll der Praxistransfer neuer Technologien beschleunigt werden.

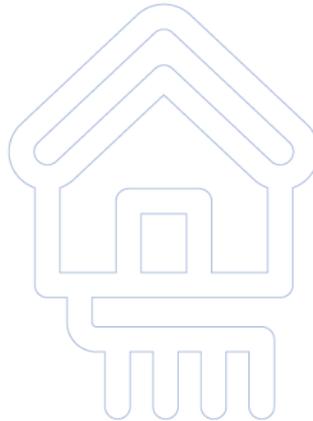
Projektförderung

Im Schwerpunkt Geothermie hat das BMWK im Jahr 2021 111 laufende Vorhaben mit rund 22,71 Millionen Euro gefördert. 2021 hat das Ministerium zudem 25 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 19,47 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 13).



Abbildung 13: Fördermittel für Geothermie in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 92)





PROJEKTPORTRÄT

HuKmeN – Heizen und Kühlen mit einem Netz:
Eine neuartige Maschine macht den Bau großer Erdwärmekollektoren zur Nutzung oberflächennaher Geothermie wirtschaftlicher und zuverlässiger

Erdwärmekollektoren sind horizontal im Boden verlegte Rohrsysteme, die dem Erdreich in geringen Tiefen Wärme entziehen oder zuführen. Als erneuerbare Wärme- und Kältequelle zum Heizen und Kühlen von Gebäuden mittels Wärmepumpen und passiver Kühlung sowie als Wärmespeicher liefern sie einen wichtigen Beitrag zur Wärmewende.

Bisher müssen für den Kollektor-Bau große Mengen Erde bewegt werden. Dies führt zu hohen Kosten und schließt viele Flächen als Wärmequelle aus. Um die Potenziale besser zu nutzen, sind daher Technologien und Verfahren nötig, um großflächige Kollektoren weniger bodeninvasiv und somit kostengünstiger zu verlegen. Zu diesem Zweck haben Forschende der Technischen Universität Dresden mit ihrem Konsortialpartner Doppelacker im Vorgängerprojekt KollWeb eine neuartige Maschine zum grabenarmen Verlegen von Erdwärmekollektoren entwickelt. Im laufenden Forschungsprojekt wird der sogenannte Kollektorweber in der Praxis getestet. Ziel ist es, seine Leistung, Zuverlässigkeit und reibungslose Ein-



Der Kollektorweber wird auf einem Versuchsfeld auf seine Praxistauglichkeit getestet.

bindung in das Montageverfahren sicherzustellen. Die Ergebnisse sollen die Voraussetzung schaffen, in Zukunft erneuerbare Wärme und Kälte mittels skalierbarer Erdwärmekollektoren kostengünstig, zuverlässig und klimaschonend bereitzustellen.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden und Doppelacker GmbH
(Unterauftragnehmer und assoziierter Partner)

Förderkennzeichen: 03EE4028

Fördermittelsatz: 4,9 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2021 – 2025

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.3.5 Wasserkraft und Meeresenergie

Wasserkraft macht etwa 3 Prozent der deutschen Stromproduktion aus. Gegenüber Wind- und Sonnenenergie bietet sie einen entscheidenden Vorteil: Wasserkraft ist weitgehend witterungsunabhängig und somit kontinuierlich verfügbar. Geeignete Standorte sind mit vorhandenen Technologien jedoch nahezu ausgeschöpft.

Forschende setzen daher auf Technologien, um die Leistung der Anlagen zu erhöhen und neue Standorte zu erschließen. Auch wird erforscht, wie Wasserkraft dazu beitragen kann, besser auf einen

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

Projektförderung

Im Schwerpunkt Wasserkraft und Meeresenergie hat das BMWK im Jahr 2021 acht laufende Vorhaben mit rund 0,93 Millionen Euro gefördert (vgl. Abb. 14).

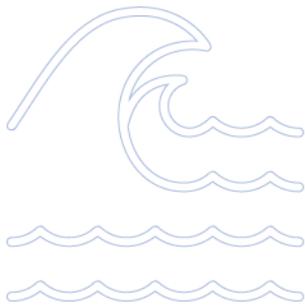
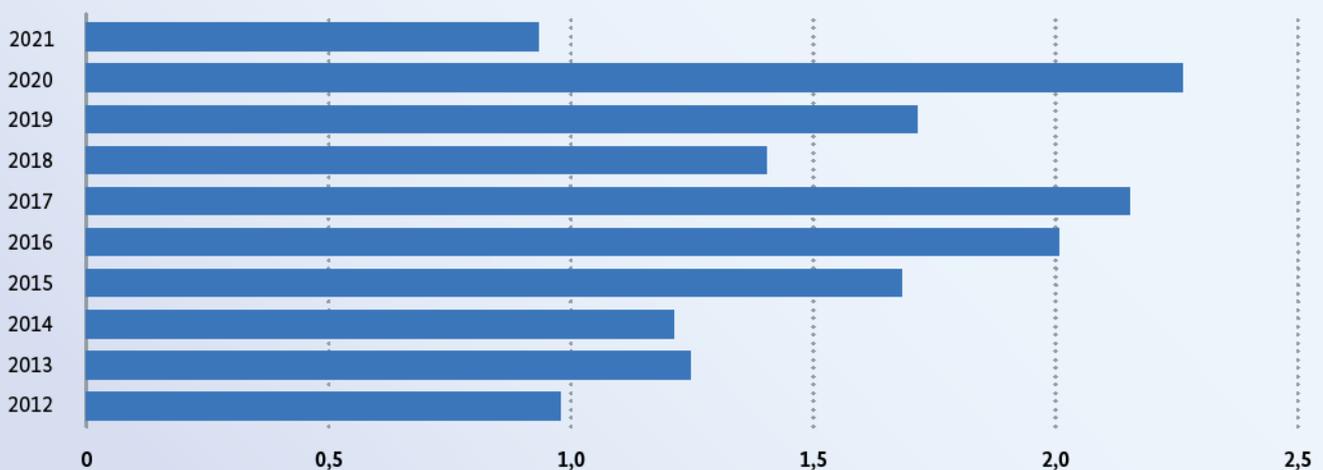


Abbildung 14: Fördermittel für Wasserkraft und Meeresenergie in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 92)



2.3.6 Thermische Kraftwerke

Thermische Kraftwerke spielen weiterhin eine entscheidende Rolle beim Umbau des Energiesystems. Statt mit Kohle oder Erdgas sollen sie künftig mit nicht-fossilen Brennstoffen wie Wasserstoff oder superkritischem Kohlenstoffdioxid betrieben werden. Superkritisches CO₂ hat die Dichte einer Flüssigkeit und die Viskosität eines Gases. Dieser Zustand entsteht bei circa 31 Grad Celsius und einem Druck von 74 bar.

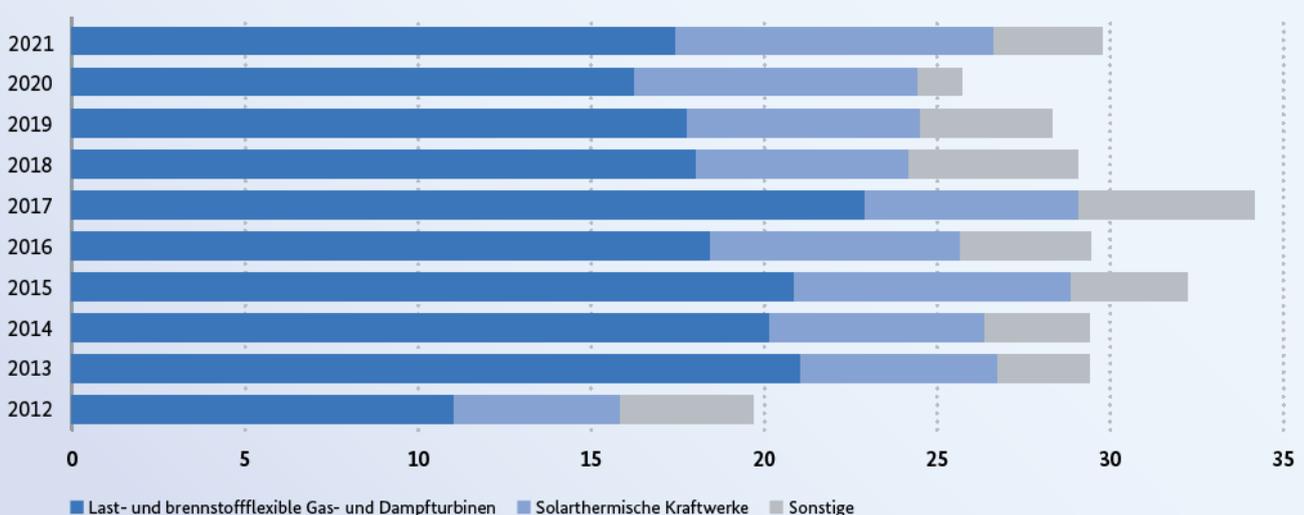
Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Turbomaschinenteknologie ist das Herz konventioneller Kraftwerke. Turbinen werden als zentrale Komponenten der Power-to-X-to-Power-Technologien zur Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen benötigt: Wird nicht benötigter grüner Strom beispielsweise zum Speichern in Gase (Power-to-Gas), in flüssige Brenn- und Kraftstoffe (Power-to-Liquid) und in chemische Grundstoffe (Power-to-Chemicals) umgewandelt, können Turbinen den transformierten Strom bei Bedarf rückverstromen. Thermische Kraftwerke sollen

künftig mit nicht-fossilen Brennstoffen betrieben werden. Da diese den Kraftwerksbetrieb anders beanspruchen als fossile Brennstoffe, müssen geeignete Materialien, Komponenten und Verfahrenstechniken erforscht werden.

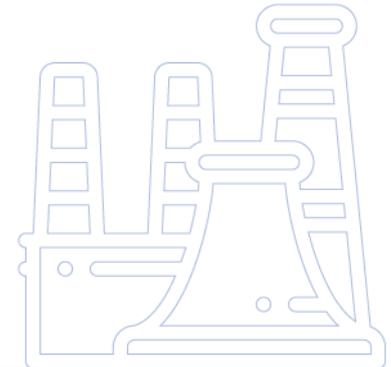
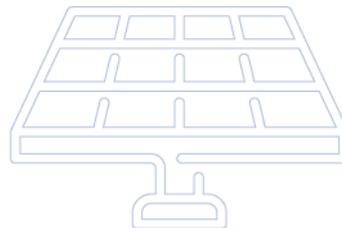
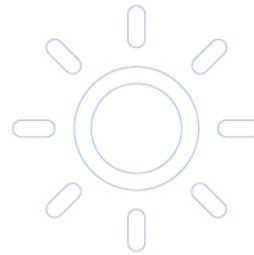
In Regionen mit starker direkter Sonneneinstrahlung wie in Südeuropa oder Nordafrika kommen verstärkt solarthermische Kraftwerke zum Einsatz. Werden thermische Speicher in solche Anlagen integriert, können die Kraftwerke den solar gewonnenen Strom bei Bedarf bereitstellen, auch wenn die Sonne nicht scheint. Ziel bei der solarthermischen Kraftwerksforschung ist es, Konzepte und Pilotprojekte zu entwickeln, um das Zusammenwirken unterschiedlicher Erneuerbare-Energien-Technologien mit Strom- und Wärmespeichern zu untersuchen und zu optimieren. Dabei spielen alternative Wärmeträger wie Salz oder Silikon anstelle von Thermoöl eine entscheidende Rolle. Mit ihnen können höhere Wirkungsgrade und damit geringere Stromkosten erreicht werden.

Abbildung 15: Fördermittel für Thermische Kraftwerke in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 92)



Projektförderung

Im Schwerpunkt thermische Kraftwerke hat das BMWK im Jahr 2021 360 laufende Vorhaben mit rund 29,77 Millionen Euro gefördert. 2021 hat das Ministerium zudem 74 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 39,12 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 15).



PROJEKTPORTRÄT

High Performance Solar 2 (HPS2) – Demonstration einer solarthermischen Parabolrinnenanlage und Dampferzeugersystem basierend auf Flüssigsalz als Wärmeträgermedium

Ein internationales Forschungsteam erprobt in einer Testanlage im portugiesischen Évora, wie eine solarthermische Parabolrinnenanlage künftig mit Flüssigsalz anstelle von Thermoöl betrieben werden kann. Geleitet wird das Projekt vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Für den Einsatz von Flüssigsalz sprechen die vergleichsweise niedrigeren Beschaffungskosten und die höhere Maximaltemperatur, auf die sich das Salz erhitzen lässt. Daraus resultieren zum einen höhere Kraftwerkswirkungsgrade. Zum anderen kann mehr Energie im Wärmespeicher für die nächtliche Stromproduktion zur Verfügung gestellt werden.

Kommerzielle Solarkraftwerke nutzen schon heute große Tanks mit Flüssigsalz als Wärmespeicher. Allerdings laufen solche Kraftwerke bisher mit einem sogenannten Zweikreisssystem: mit synthetischem Öl im Kollektorfeld und Flüssigsalz im Speichersystem. Das HPS2-Wissenschaftsteam untersucht nun in der Praxis den Einsatz von Salz als Wärmetransport- und Speichermedium. In Zukunft



Luftaufnahme der HPS2-Forschungsanlage: Parabolrinnenspiegel (links oben), bedachter Drainage-Speicher (links unten), Stahlbau mit Speichertanks und Dampferzeugersystem (unten), Büro und Leitwarte-Container (Mitte).

wäre dann lediglich ein Kreissystem nötig. Die Investitions- und die Betriebskosten ließen sich reduzieren, wodurch die Kosten von regelbarem, speicherbarem und erneuerbarem Strom signifikant gesenkt würden.

Zuwendungsempfänger: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 0324097A-C

Fördermittelansatz: 4,6 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2016 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.4 Systemintegration

2.4.1 Stromnetze

Das Stromnetz ist das Rückgrat der Energiewende. Die veränderte Erzeugung aus erneuerbaren Quellen stellt das Netz jedoch vor Herausforderungen: Strom wird über zunehmende Entfernungen transportiert – im Extremfall von der Erzeugung an den windreichen Küsten zum Verbrauch im bevölkerungsreichen Westen und Süden. Die Übertragungs- und Verteilnetze müssen zudem auf die steigende dezentrale und lokale Strom-Einspeisung sowie neue Großverbraucher wie Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen ausgerichtet werden. Beim Betrieb muss berücksichtigt werden, dass die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien vom Wetter abhängt und daher schwankt. Für die gesellschaftliche Einbettung des Stromnetzausbaus ist es entscheidend, mögliche gesundheitliche Risiken weiter zu untersuchen.

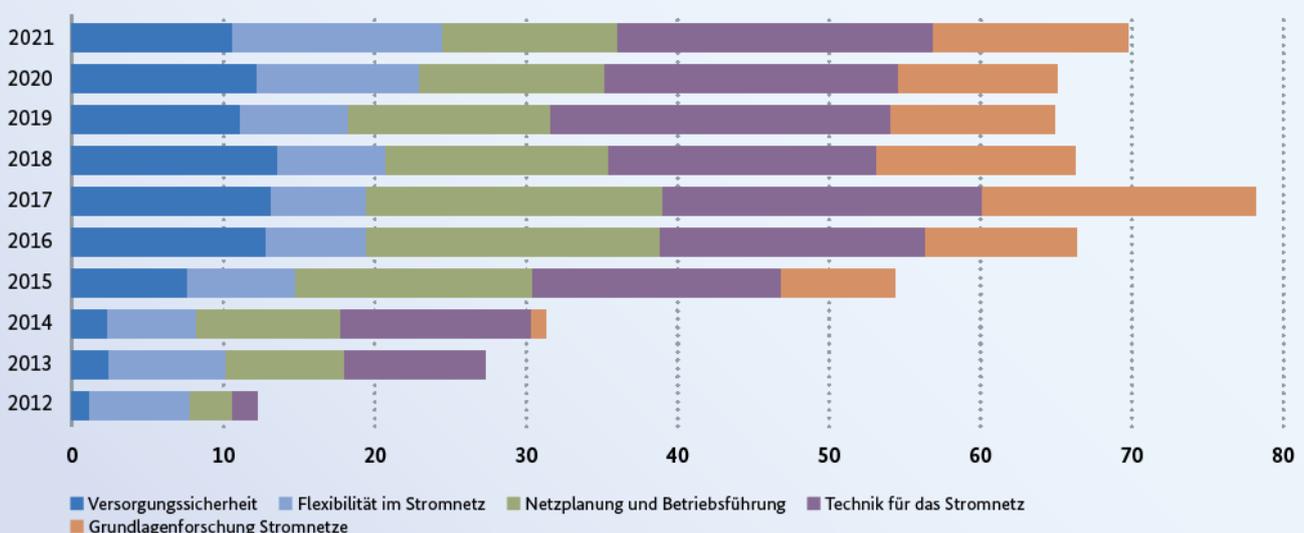
Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Forschungsziele adressieren verschiedene Ebenen. So gilt es, Betriebsmittel, wie Stromrichter, Erdkabel, Leitungen und Schaltanlagen, zu verbessern. Das BMWK unterstützt auch, dass Fachleute die neuen dezentralen Versorgungsstrukturen über alle Spannungsebenen und Sektorgrenzen (Strom, Wärme, Verkehr) hinweg zuverlässig verknüpfen. Geförderte Akteure entwickeln zudem Notfall-Konzepte, etwa für Stromausfälle. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt auf Automatisierung, Digitalisierung und Informationstechnik. Die Fortschritte helfen, das Energiesystem durch bessere Steuerung effizienter zu nutzen und dabei das Sicherheitsniveau zu halten oder zu verbessern.

Das BMWK hat 2021 auch das Förderprogramm „Schaufenster Intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende (SINTEG)“ abgeschlossen. Die Projektpartner haben in Praxistests Musterlösungen für die digitale Energieversorgung der Zukunft erarbeitet. Das Programm war eine Maßnahme zur Innovationsförderung des BMWK außerhalb des Energieforschungsprogramms.

Abbildung 16: Fördermittel für Stromnetze in Mio. Euro

(Daten siehe Tabelle 5, Seite 93)



Auch das BMBF fördert ganzheitliche und vorausschauende Lösungsansätze für das Stromnetz der Zukunft. So will das Kopernikus-Projekt ENSURE innovative Technologien in der Praxis oder mittels computergestützter Simulation testen. Erprobt werden soll, wie Stromnetze flexibel auf die Einspeisung erneuerbarer Energien reagieren können und Strom ohne große Verluste vom Netz in Elektro-Autos gelangen kann. ENSURE untersucht den Austausch von Energiereserven zwischen Teilnetzen und deren intelligente Vermaschung. Ein digitales Umspannwerk soll zeigen, wie sich Stromflüsse künftig automatisiert steuern lassen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Stromnetze haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2021 556 laufende Vorhaben mit rund 69,75 Millionen Euro gefördert. Zudem haben die Ministerien 100 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 54,75 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 16).

PROJEKTPORTRÄT

SPANNeND – *Spannungskoordination unter Nutzung von Blindleistung zwischen Netzbetreibern Digital*

Der Wandel des Energiesystems zu einer dezentralen Erzeugung bedeutet auch für Netzkoordination und -betrieb einen Wechsel hin zu einer dezentralen Organisation. Dem trägt ein neuer Redispatch-2.0-Prozess Rechnung. Allerdings zielt dieser Prozess primär auf Wirkleistung ab. Die beim Transport lokal erzeugte Blindleistung findet noch keine explizite Berücksichtigung im Koordinationsprozess. Dabei sorgt Blindleistung dafür, dass die Netzspannung stabil bleibt und Wirkleistung sicher verteilt werden kann. Die Herausforderung besteht darin, dass Blindleistung sich hoch nichtlinear verhält und auch nur relativ lokal erzeugt und eingesetzt werden kann. Das Projektteam von SPANNeND will daher eine einheitliche, robuste und interoperable Methode entwickeln, um Blindleistungspotenziale aus dem Verteilnetz verlässlich in die Übertragungsnetzführungsprozesse zu integrieren. Der Einsatz von Blindleistung soll dabei die Redispatch-Dimensionierung optimieren und die Netze weiter stabil und sicher halten. Die Blindleistungsflexibilität, die dem Übertragungsnetzbetreiber zur Verfügung steht, soll einheitlich über die Redispatch-Plattform angeboten werden und damit die notwendigen Redispatch-Maßnahmen optimal dosieren (minimieren). Durch die Arbeiten sollen die Planbarkeit des Netzbetriebs, die Systemsicherheit und



Spannungskoordination mithilfe von Blindleistung

-stabilität steigen sowie Kosten für den Redispatch und das Netzengpassmanagement sinken. Auf Basis von Vorarbeiten rund um die Blindleistungsoptimierung (Q-OPF) und -bereitstellung will das Forschungsteam standardisierte Methoden, inklusive Umsetzungs- beziehungsweise Implementierungsrichtlinien, erarbeiten und bei den beteiligten Verteilnetzbetreibern in Feldtests erproben.

Zuwendungsempfänger: emsys grid services GmbH und fünf weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EI4040A-F

Fördermittelansatz: 1,9 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2022 – 2024

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.4.2 Stromspeicher

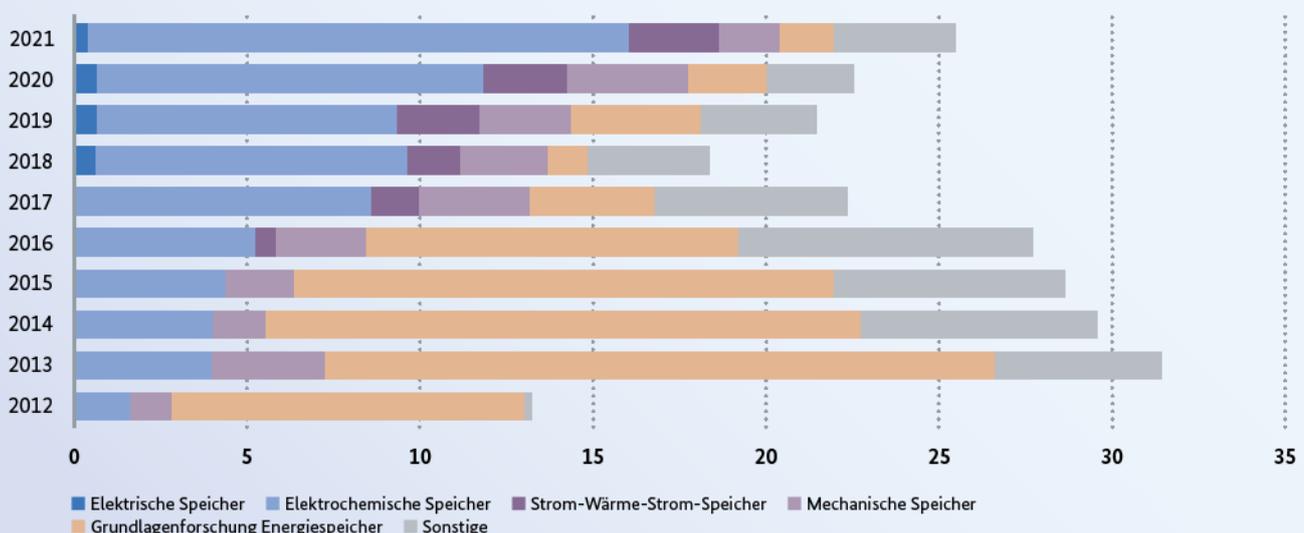
Stromspeicher werden im Energiesystem der Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Sie helfen, den momentanen Bedarf an elektrischer Energie von ihrer Erzeugung zeitlich zu entkoppeln. Als Leistungsspeicher – mit einer Speicherdauer von Sekunden bis Minuten und hohem Verhältnis von Leistung zu Speicherkapazität – können Lastspitzen von bis zu 18 Megawatt abgedeckt werden. So stabilisieren Stromspeicher das Netz und tragen zur Versorgungssicherheit bei. Als Verschiebespeicher helfen sie beim Ausgleich innerhalb eines Tages, um zum Beispiel den Eigenverbrauch von Strom aus einer PV-Anlage zu erhöhen. So müssten Windenergieanlagen in windreichen Wetterlagen nicht abgeregelt werden, weil die Kapazität des Netzes nicht mehr ausreicht. Langzeitspeicher haben nur wenige Lade- und Entladezyklen pro Jahr, sie helfen, langfristige Flauten bei erneuerbaren Energien auszugleichen. Zudem sind Speicher ein wichtiges Bindeglied der Sektorkopplung, die die Versorgungsbereiche Strom, Wärme und Verkehr verknüpfen und das Energiesystem effizienter machen können.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Ziel kontinuierlicher Forschung und Entwicklung ist es, die Kosten von Speichern zu senken oder ihre technischen Eigenschaften zu verbessern. Zugleich treten gerade bei starkem Wachstum von Speicherkapazitäten Fragen der Verfügbarkeit von notwendigen Ressourcen zu deren Herstellung sowie der damit verbundenen Umwelteinwirkung auf den Plan. Es gilt also, die Abhängigkeit von sogenannten kritischen Rohstoffen im Sinne der Nationalen Rohstoffstrategie der Bundesregierung zu verringern. Auch die Umweltbilanz über den gesamten Lebenszyklus von Speichern soll optimiert werden.

In für Deutschland zentralen Branchen stellen Batterien einen immer größeren Teil der Wertschöpfung dar. Um Investitionen anzustoßen und in diesem Zukunftsfeld künftig unabhängig von Importen sein zu können, stehen die verschiedenen elektrischen und elektrochemischen Speicher im Mittelpunkt der BMWK-Förderung. Dabei stehen elektrochemische Speicher für diverse wiederauf-

Abbildung 17: Fördermittel für Stromspeicher in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 93)



ladbare Batterien (inklusive Redox-Flow- und Hochtemperatur-Batterien) sowie Superkondensatoren (sogenannte SuperCaps). Das ökonomische Ziel: Technologische Kompetenz zur Batteriezelle in Deutschland bündeln und stärken sowie europaweit eine großskalige Produktion auf Basis von Forschung und Innovation etablieren. Dafür hat das BMWK im März 2021 einen Förderaufruf zur Batterieforschung veröffentlicht. Die Initiative begleitet und unterstützt den Aufbau einer Batterie-Wertschöpfungskette, der derzeit im Rahmen zweier IPCEI-Projekte erfolgt. IPCEI steht für „Important Projects of Common European Interest“. Darüber hinaus fördert das BMWK mechanische Speicher (Druckluft und -gas, Pump- sowie Schwungmassenspeicher) und Hochtemperatur-Wärmespeicher für die Stromspeicherung (Carnot-Batterien).

Die Förderung des BMBF fokussiert Batterietechnologien der nächsten Generation wie Metall-Luft-, Festkörper- oder neuartige Redox-Flow-Batterien. Der Schwerpunkt liegt auf Materialfragen einschließlich neuartiger Materialkombinationen. Beispielsweise arbeitet das deutsch-französische Projekt MOLIBE (siehe Projektsteckbrief, rechts) an Metall- und Flüssigkeitsfreien Organischen Lithium-Ionen-Batterien als nachhaltige und sichere Energiespeicher. In weiteren Projekten wurden Konzepte für besonders kostengünstige wieder aufladbare Zink-Ionen-Batterien oder Eisen-Redox-Flow-Systeme als Perspektiven für stationäre Stromspeicher untersucht.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Stromspeicher haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2021 228 laufende Vorhaben mit rund 25,47 Millionen Euro gefördert. 2021 haben die Ministerien zudem 48 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 19,09 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 17).

PROJEKTPORTRÄT



Lithium-Ionen-Batterien werden als die vielversprechendste Technologie zur reversiblen Energiespeicherung betrachtet.

MOLIBE – Metall- und Flüssigkeitsfreie Organische Lithium-Ionen-Batterien als nachhaltige und sichere Energiespeicher

Für eine erfolgreiche Energiewende sind effiziente Energiespeicher essenziell. Lithium-Ionen-Batterien ermöglichen eine hocheffiziente reversible Energiespeicherung und haben sich als Standard in der Elektromobilität etabliert. Hohe Kosten und verbleibende Sicherheitsaspekte stehen einem universellen Einsatz aber immer noch im Wege. Die hohen Kosten entstehen unter anderem durch benötigte Materialien wie Kobalt, Nickel oder eben Lithium. Die Sicherheitsbedenken gelten der leichten Entflammbarkeit sowie der geringen Stabilität der flüssigen Elektrolyte. Das deutsch-französische Forschungsprojekt MOLIBE entwickelt deshalb vollständig feste, metallfreie wieder aufladbare Batterien, die auf organischen Aktivmaterialien und polymeren Elektrolytsystemen basieren. 2021 konnten die Forschenden einen ersten großen Erfolg verzeichnen: Sie haben organische Vollzellen erarbeitet, die für mehrere hundert Zyklen stabil laufen, die allerdings noch Lithium-Ionen enthalten. Eine der beiden entwickelten Halbzellen ist sogar über 5.000 Zyklen stabil. Der effiziente und nachhaltige Syntheseprozess für die Aktivmaterialien ist ein wichtiger Baustein für eine mögliche Kommerzialisierung der Technologie.

Zuwendungsempfänger: Karlsruher Institut für Technologie und fünf weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SF0583A+B

Fördermittelansatz: 400.000 Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2023

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.4.3 Sektorkopplung und Wasserstoff

Im Zuge der Energiewende gilt es, erneuerbar erzeugte Energieträger in alle Sektoren des Energiesystems einzuführen. Die Sektoren Industrie, Verkehr und Wärme lassen sich bisher nur schwer klimaneutral gestalten. Die Sektorkopplung soll dazu beitragen, auch diese Bereiche zu dekarbonisieren. Grüner Wasserstoff – hergestellt aus erneuerbarem Strom mittels Elektrolyse – gilt dabei als Schlüsselement. Er kann in der Stahlproduktion oder der chemischen Industrie als Rohstoff genutzt werden. Im Verkehrssektor kann er den Flug-, See- und Teile des Schwerlastverkehrs defossilisieren, indem er direkt in Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb zum Einsatz kommt, oder aber als Bestandteil synthetischer Kraftstoffe – etwa für den Schiffs- und den Flugverkehr.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

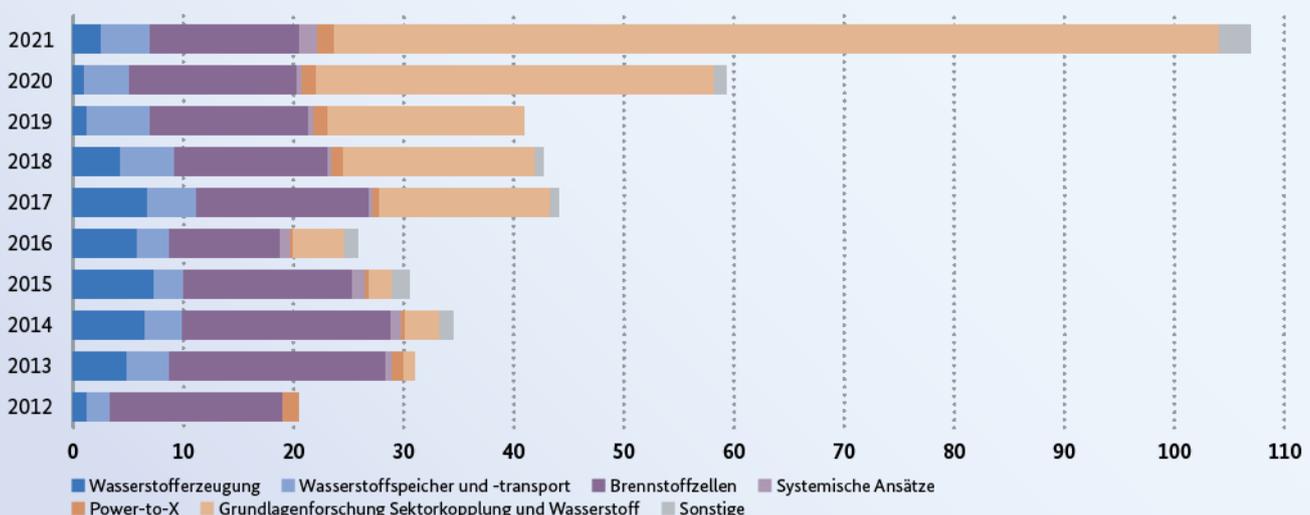
Deutschland hat 2020 seine Ziele für den Einstieg in eine Wasserstoffwirtschaft in der Nationalen Wasserstoffstrategie verankert. Die NWS bildet einen kohärenten Handlungsrahmen für die künftige Erzeugung, den Transport und die Nutzung von Wasserstoff und legt den Grundstein für den

Markthochlauf. Grüne Wasserstofftechnologien bieten enorme Chancen für den Klimaschutz, zukunftsfähige Arbeitsplätze und neue Wertschöpfungspotenziale – gerade auch für die Exportindustrie. 2021 haben das BMBF und das BMWK großangelegte Forschungsinitiativen aufgelegt, um diese Chancen zu heben. Die Basis des nationalen und internationalen Markthochlaufs wird durch eine Vielzahl von Einzelprojekten der angewandten Energieforschung gelegt. Diese wurden im Jahr 2021 insbesondere im Rahmen des Förderaufrufs „Technologieoffensive Wasserstoff“ sichtbar.

Auch erste Projekte der Grundlagenforschung grüner Wasserstoff haben ihre Arbeit aufgenommen – sie forschen zu Schlüsseltechnologien von morgen und übermorgen entlang der gesamten Wasserstoff-Wertschöpfungskette. Erste Ergebnisse der Studie H2Atlas haben das große Potenzial der Sub-Sahara-Region zur Erzeugung und zum Export grünen Wasserstoffs gezeigt. Um vor Ort gezielt Expertise aufzubauen und Fachkräfte auszubilden, hat das BMBF das „International Master Program in Energy and Green Hydrogen“ (IMP-EGH) aufgelegt (siehe Projektsteckbrief, Seite 49).

Auf europäischer Ebene wird der Markthochlauf durch „Important Projects of Common European

Abbildung 18: Fördermittel für Sektorkopplung und Wasserstoff in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 5, Seite 93)



Interest“ (IPCEI) für Wasserstofftechnologien und -systeme vorangetrieben (siehe Kapitel 5.1 Innovationsförderung der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms, Seite 84). Mit der Technologieoffensive Wasserstoff verbreitert das BMWK gemeinsam mit dem BMDV das Förderangebot. Sie spricht neue Empfängergruppen an, ihre Entwicklungsanstrengungen zur Wasserstoffherzeugung sowie die Nutzung von Wasserstoff in industriellen Prozessen, zur Speicherung und zum Transport in Gasnetzen auszuweiten. Begleitet wird die Offensive durch systemanalytische Arbeiten für eine globale Wasserstoffwirtschaft.

Gemeinsam fördern das BMWK und das BMBF das Verbundvorhaben H2-Kompass (siehe Projekthighlight im Kapitel 2.5.1 Energiesystemanalyse, Seite 52), das die Basis für eine deutsche Wasserstoff-Roadmap erarbeiten soll.

Aufgrund der unmittelbaren politischen Bedeutung des Energieträgers Wasserstoffs für die Energiewende werden strategisch hervorgehobene Projekte zu diesem Forschungsbereich im Rahmen der Reallabore der Energiewende des BMWK sowie der Wasserstoff-Leitprojekte des BMBF gefördert (siehe Kapitel 2.1 Strategische Förderformate, Reallabore der Energiewende und Wasserstoff-Leitprojekte, Seite 18).

Projektförderung

Im Schwerpunkt Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien haben das BMBF und das BMWK im Jahr 2021 396 laufende Vorhaben mit rund 106,47 Millionen Euro gefördert. 2021 haben die Ministerien zudem 223 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 220,99 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 18).

PROJEKTPORTRÄT

GSP Green H2 – Internationales Masterprogramm für Energie und Grünen Wasserstoff

Subsahara-Afrika hat großes Potenzial, mittels Sonnen- und Windenergie grünen Wasserstoff zu erzeugen – mehr als für den lokalen Bedarf benötigt wird. Der Export, etwa nach Deutschland, könnte wirtschaftlich viele positive Effekte auf die Entwicklung der Region haben. 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 „International Master Program in Energy and Green Hydrogen“ soll in vorerst zwei Durchläufen insgesamt 120 Studierende aus allen 15 Ländern der Wirtschaftsgemeinschaft der westafrikanischen Staaten (ECOWAS) für das Zukunftsthema „Grüner Wasserstoff“ qualifizieren. Der zweijährige Studiengang wird an vier westafrikanischen Universitäten angeboten. Ein Semester und die Abschlussarbeit werden die Studierenden zudem in Deutschland absolvieren. Das Masterprogramm



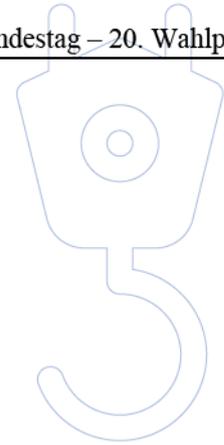
Das Masterprogramm soll den Fachkräfte-Nachwuchs in Afrika fit für grünen Wasserstoff machen.

bildet dabei die gesamte Wertschöpfungskette des grünen Wasserstoffs ab – von der Produktion über die Speicherung bis hin zu Nutzung und Anwendung.

Zuwendungsempfänger: West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use (WASCAL) und zwei weitere Verbundpartner
Förderkennzeichen: 03SF0626A-C
Fördermittelansatz: 16,2 Millionen Euro
Projektlaufzeit: 2021 – 2025
Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO





PROJEKTPORTRÄT

OptiLBO – Energieeffiziente und CO₂-neutrale Stahlproduktion durch Einsatz additiver Fertigung und intelligenter Steuerung im Elektrolichtbogenofen

Die Stahlbranche hat in Deutschland Tradition und liefert einen der wichtigsten Werkstoffe für diverse Industriezweige. Sowohl die Primär- als auch die Sekundärstahlherstellung stoßen prozessbedingt große Mengen CO₂ aus. Bei der Sekundärroute wird Stahlschrott im Elektrolichtbogenofen eingeschmolzen und neuer Stahl gewonnen. Die für das Schmelzen notwendige Energie wird hauptsächlich in Form von Strom bereitgestellt, unterstützt durch gasbeheizte Brenner. Das Team des Forschungsprojekts OptiLBO entwickelt dafür nun ein innovatives Brennersystem. Dieses soll mithilfe einer verbesserten Technologie sowie einer intelligenten Steuerung den bisherigen Erdgasverbrauch um bis zu 25 Prozent reduzieren. Jährlich bedeutet das rund fünf Gigawattstunden eingesparte Energie sowie 900 Tonnen weniger CO₂-Ausstoß. Zudem soll das Brennersystem anstelle von Erdgas auch teilweise bis vollständig (erneuerbaren) Wasserstoff nutzen können. Hierbei sind noch höhere Einsparungen zu erwarten. Deshalb untersuchen die Forschenden, wie sich Wasserstoff sowohl rein als auch anteilig im Gasge-



Forschende wollen Stahl nachhaltiger herstellen mit Wasserstoff.

misch auf den Schmelzprozess auswirkt. OptiLBO ist damit das erste Forschungsprojekt, das im Rahmen der Technologieoffensive Wasserstoff gefördert wird.

Zuwendungsempfänger: Gas- und Wärme-Institut

Essen e. V. und drei Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EN2069A-D

Fördermittelansatz: 2,6 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2021 – 2025

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO 

2.5 Systemübergreifende Forschungsthemen

2.5.1 Energiesystemanalyse

Energiesystemanalysen dienen Akteuren in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft als quantitative Grundlage für Entscheidungen, beispielsweise in Bezug auf Betrieb und Management von Energieinfrastrukturen. Sie stellen Modelle für kommunale, regionale, nationale oder internationale Energiesysteme bereit oder bilden Energiesysteme einzelner Industriebetriebe oder Gebäude ab.

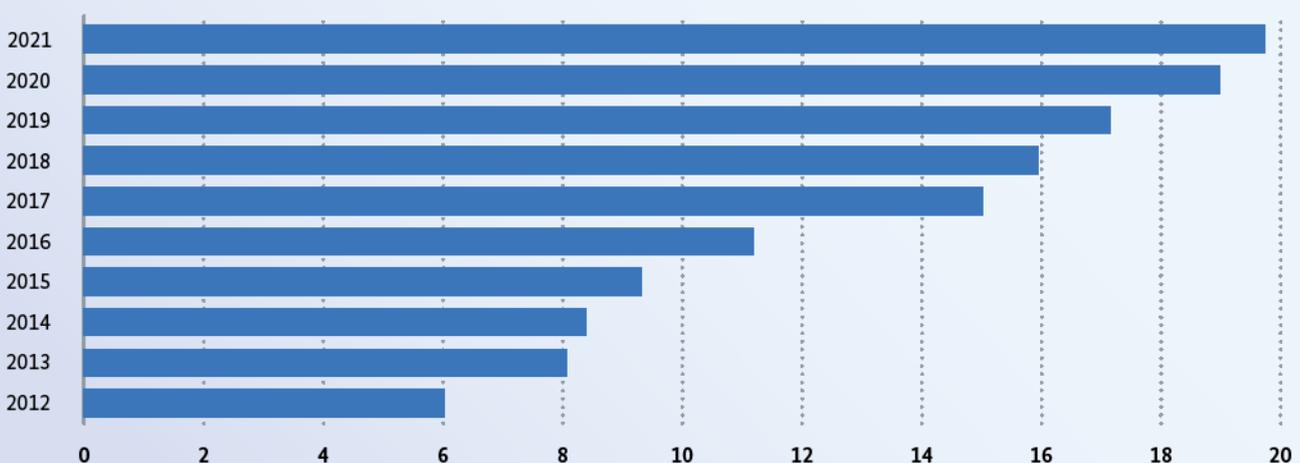
Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Offene Forschungsansätze, sprich Open Science, werden in der Systemanalyse immer wichtiger. Das BMWK sieht in Open Science das Potenzial, den Wissenstransfer und die Effizienz der Forschung zu verbessern, und hat daher den Projektträger Jülich beauftragt, ein umfassendes Meinungsbild aus der systemanalytischen Forschungscommunity einzu-

holen. Die Ergebnisse der Befragung wurden im Juli 2021 veröffentlicht und in die Strategieentwicklung des Ministeriums zu Open Science in der Systemanalyse eingebracht. Im Rahmen des Jahrestreffens des Forschungsnetzwerks Systemanalyse im Mai 2021 wurde gemeinsam mit Vertretern aus Industrie und Beratung diskutiert, wie der Ergebnistransfer ausgebaut und Praxisakteure besser eingebunden werden können. Die Ergebnisse werden in die Weiterentwicklung des Förderschwerpunkts und der Netzwerkarbeit einfließen.

Im Dezember 2021 haben die MODEX-Projekte ihre Forschungsarbeiten abgeschlossen. Innerhalb des thematischen Verbunds haben sechs Verbundteams aus 39 Partnern in den letzten drei Jahren Modellexperimente zu aktuellen systemanalytischen Fragestellungen mit 40 Modellen durchgeführt. MODEX hat das Ziel, die zunehmend komplexen Modelle der Energiesystemanalyse methodisch zu vergleichen. Zudem sind 2021 im Rahmen der Technologieoffensive Wasserstoff fünf Projektverbünde mit systemanalytischen Fragestellungen gestartet.

Abbildung 19: Fördermittel für Energiesystemanalyse in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 94)



Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiesystemanalyse haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2021 224 laufende Vorhaben mit rund 19,74 Millionen Euro gefördert. 2021 haben die Ministerien zudem 49 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 21,48 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 19).

PROJEKTPORTRÄT

H2-Kompass – *Werkzeug zur Erstellung einer Roadmap für eine deutsche Wasserstoffwirtschaft*

Wasserstoff wird in der Energieversorgung zukünftig eine herausragende Rolle spielen. Die Voraussetzungen dafür sind Innovationen, die den notwendigen Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft ermöglichen. Die Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung sieht daher eine Roadmap vor, die einen langfristigen Rahmen für die deutsche Forschungs- und Innovationspolitik entlang der gesamten Wasserstoff-Wertschöpfungskette vorgeben soll. Das gemeinsam durch das BMWK und das BMBF geförderte Projekt H2-Kompass erstellt und bewertet daher Handlungsoptionen und Anwendungsszenarien für Wasserstoff und legt dadurch eine fundierte Basis für die Entwicklung der Wasserstoff-Roadmap. Dabei werden ökonomische, technologische, ökologische und soziale Aspekte gleichwertig berücksichtigt. Neben einer Meta-Analyse bereits existierender Studien und dem Dialog mit Interessengruppen wird H2-Kompass die zahlreichen Aktivitäten und Akteure der Wasserstoff-Forschung und -Wirtschaft abschließend in einem Atlas zusammenführen.



Das Projekt H2-Kompass will den Weg in die klimafreundliche Wasserstoff-Wirtschaft zeigen.

Zuwendungsempfänger: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. und DECHEMA – Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

Förderkennzeichen: 03EWT002A+B

Fördermittelansatz: 4,3 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2021 – 2023

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.5.2 Digitalisierung der Energiewende

Ob Stromnetze oder Gebäude, Wohnquartiere und Fabriken – die Digitalisierung berührt alle Bereiche der Energieforschung. Innovative Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) spielen daher eine Schlüsselrolle für ein energieeffizientes und flexibles Energiesystem.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Mit dem Förderaufruf „Kommunikationstechnologien für die Energiewirtschaft“ hat sich das BMWK an Konsortien gewandt, die IKT in der Energiewirtschaft erforschen. Das sorgt für eine verbesserte Einbindung von erneuerbaren Energien, Sektorkopplung und Energieeffizienz. Den Förderaufruf DigENet I hat das BMWK veröffentlicht, um die Weiterentwicklung von Smart-Meter-Gateways (SMGW) anzureizen. Dabei geht es darum, Erzeugung, Speicherung und Verbrauch mittels SMGW-Kommunikationsplattformen zu vernetzen, Konzepte zur Flexibilisierung von Erzeugung und Verbrauch zu erarbeiten, Partizipation am Energiesystem zu ermöglichen und Datenprodukte und Mehrwertdienste zu verbessern.

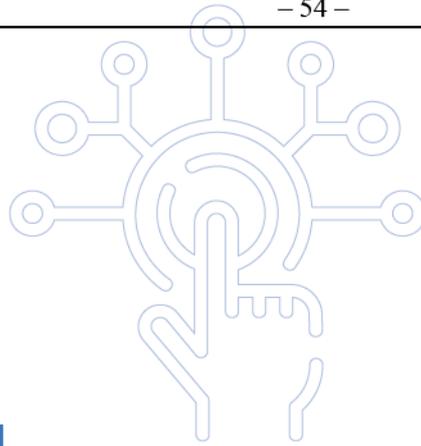
Das BMBF fördert die Digitalisierung ebenfalls als Querschnittsthema im Rahmen der anwendungsorientierten Grundlagenforschung – etwa innerhalb von Vorhaben zur Modellierung komplexer Energiesysteme oder zur Entwicklung digitaler Marktplätze für den lokalen Energiehandel und Dienstleistungen rund um energetisch-bauliche Maßnahmen sowie zur verbesserten Darstellung energierelevanter Daten für Planer und die Bevölkerung mittels Augmented Reality. Das Verbundvorhaben Wärmewende Nordwest arbeitet aktuell daran, die Wärmewende in der Region um Bremen und Oldenburg zu digitalisieren (siehe auch Projektsteckbrief, Seite 25).

Projektförderung

Im Schwerpunkt Digitalisierung der Energiewende haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2021 44 laufende Vorhaben mit rund 5,06 Millionen Euro gefördert. Zudem haben die Ministerien Projekte in diesem Forschungsbereich im Rahmen der Reallabore der Energiewende neu bewilligt (vgl. Abb. 20).

Abbildung 20: Fördermittel für die Digitalisierung der Energiewende in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 94)





PROJEKTPORTRÄT

DiMA-Grids – Digitale Geschäftsmodelle mit selbstbestimmten Anwendern für smarte Verteilnetze

Ziel des Vorhabens ist es, die Digitalisierung der Energiewende voranzubringen. Dazu untersuchen die Projektpartner, wie Prosumer, also Verbraucher, die sowohl Strom produzieren als auch konsumieren, aktiviert werden können. Das können zum Beispiel Privathaushalte oder Kleingewerbe sein, die etwa eine Photovoltaikanlage installiert haben. Diesen Endkunden soll die Möglichkeit gegeben werden, nicht benötigten Strom, sogenannte Flexibilität, über eine Internet-Plattform bereit- und so dem Verteilnetzbetreiber zur Verfügung zu stellen. Dieses Vorgehen ermöglicht, dass überschüssiger Strom im Energiesystem weitergeleitet und an anderer Stelle genutzt werden kann. Dafür untersucht das Team wirtschaftliche, technische und regulatorische Fragestellungen mit dem Ziel, neue digitale Geschäftsmodelle zu entwickeln. Damit diese umgesetzt werden können, bedarf es eines flexiblen, automatisiert steuerbaren Stromnetzes (Smart Grid). Das heißt, die Partner arbeiten auch daran, das Verteilnetz zu einem modernen digitalen System umzubauen. Darauf aufbauend untersuchen sie, wie neue Geschäfts-



Als Prosumer nehmen Verbraucher aktiv am Energiemarkt teil, beispielsweise durch das Einspeisen von Strom von der Solaranlage auf dem eigenen Dach.

modelle energiewirtschaftlich sinnvoll und datenschutzkonform unter Wahrung der informationellen Selbstbestimmung implementiert werden können.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI und fünf weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EI6038A-F

Fördermittelansatz: 1,2 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2021 – 2023

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.5.3 Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende

Neben der Integration erneuerbarer Energien umfasst eine nachhaltige Energiewende auch den gesamtwirtschaftlichen Rohstoff- und Ressourcenbedarf. Die Energieforschung zu Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende verbindet das Sichern von energiewendespezifischen Rohstoffen und Ressourcen mit allgemeinen Ideen der Material- und Ressourceneffizienz und dem zirkulären Wirtschaften (Circular Economy). Auf diese Weise sollen der Primärenergiebedarf und energiebedingte CO₂-Emissionen nachhaltig sinken.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Im Januar 2021 hat das BMWK zu dem Forschungsbereich einen Expertenworkshop durchgeführt und einen ersten Förderaufruf veröffentlicht. Dabei lag der Fokus des Ministeriums auf interdisziplinären Projekten mit einem system- und technologieübergreifenden Ansatz und einer starken Unternehmensbeteiligung, um den späteren

Praxistransfer der Ergebnisse sicherzustellen. Auf Basis des Förderaufrufs wurden 2021 zehn Verbundvorhaben neu bewilligt und drei weitere vorbereitet. An den bewilligten Projekten sind 20 Unternehmen, sowohl KMU als auch Großunternehmen, und Forschungseinrichtungen beteiligt. Erforscht werden unter anderem eine energieeffizientere Kreislaufwirtschaft kritischer Rohstoffe, Vergleiche von Akkusystemen für Elektromobilität, digitale Lösungen für industrielle Produkte in einer Circular Economy, ein ressourcenschonenderes Recycling von Polycarbonat-Abfällen oder Konzepte zum stofflichen Werterhalt petrochemischer Produkte. SUMATRA ist als erstes Vorhaben in diesem Forschungsbereich im Juni 2021 gestartet.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende hat das BMWK im Jahr 2021 vier laufende Vorhaben mit rund 0,07 Millionen Euro gefördert. 2021 hat das Ministerium zudem 43 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 10,66 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 21).

Abbildung 21: Fördermittel für Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 6, Seite 94)



PROJEKTPORTRÄT

SUMATRA – Nachhaltigere LED-Beleuchtungssysteme – vom Recycling zurück in die Anwendung

Moderne LEDs haben große Fortschritte für die Energieeffizienz von Beleuchtungssystemen ermöglicht. Dennoch gibt es beim Einsatz und Recycling der genutzten Ressourcen Optimierungspotenzial. Das SUMATRA-Team will zum Aufbau einer Kreislaufwirtschaft in der Beleuchtungsbranche beitragen. Das Konsortium vereint hierfür einen Leuchtenhersteller, Trilux, Experten für Recycling, Interseroh, den Hersteller von LED- und Lichtsteuerungssystemen Osram, sowie Forschende zu Ökobilanzierungen vom Fraunhofer IZM. Die Fachleute wollen LED-Systeme nachhaltiger machen, indem sie die Produktgestaltung optimieren und neue Nutzungskonzepte entwerfen. Der Ersatz von Leuchtstoffröhren durch LEDs kann somit energiebedingte CO₂-Emissionen reduzieren. Begrenzt verfügbare Materialien sollen sparsam genutzt und vor allem Ressourcen mit niedrigem Umwelteinfluss zum Einsatz kommen. Dazu will das Team das Design von Beleuchtungssystemen aus der Perspektive der letzten Stufe des Lebenszyklus (Recycling/Re-Use) heraus entwickeln. Aufbauend auf einer Life-Cycle-Analyse und einer Nachhaltigkeitsstrategie wollen sie das „Future Luminaire Design“ vollständig auf Wiederverwend- und Wiederverwertbarkeit ausrichten, damit die Einzelteile und Komponenten der LED-



Moderne LED-Beleuchtung kommt im Futurium Berlin – dem Haus der Zukünfte – schon zum Einsatz. Das Projekt SUMATRA denkt LED-Beleuchtung noch einen Schritt weiter.

Leuchten künftig über 25 Jahre genutzt werden können. Im Erfolgsfall sollen Best-Practice-Impulse für die Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft in der Beleuchtungsindustrie, aber auch in anderen Branchen, entstehen.

Zuwendungsempfänger: TRILUX GmbH & Co. und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EI5001A-D

Fördermittelansatz: 540.000 Euro

Projektlaufzeit: 2021 – 2023

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO 

2.5.4 CO₂-Technologien

Da sich in einigen industriellen Prozessen die Entstehung von Kohlendioxid nicht verhindern lässt, sucht die Forschung nach Möglichkeiten, CO₂ abzuscheiden und entweder zu speichern (Carbon Capture and Storage, CCS) oder als Ausgangsstoff für neue Produkte zu nutzen (Carbon Capture and Utilization, CCU).

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

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

So fördert das BMBF beispielsweise im Rahmen des Kopernikus-Projekts P2X die Weiterentwicklung von Anlagen, die CO₂ aus der Atmosphäre abscheiden und als Ausgangsstoff für synthetische Treib-

stoffe nutzen. Das Vorhaben Carbon2Chem entwickelt einen CCU-Ansatz für ein Stahlwerk und überträgt diesen auf weitere Emissionsquellen. In der Fördermaßnahme CO₂-WIN werden Projekte im Bereich CCU gefördert, die eine Anwendung im Energiebereich aufweisen. Hierzu gehören das Projekt Bio-UGS, bei dem eine biologische Umwandlung von CO₂ in Methan in Untergrundspeichern erfolgt, und das Projekt CO₂SimO, bei dem die gleiche Umwandlung photoelektrochemisch untersucht wird. Besonders innovativ ist der Ansatz des „Künstlichen Blatts“ im Projekt DEPECOR, bei dem die Umwandlung von CO₂ in langkettige Kohlenwasserstoffe durch künstliche Photosynthese untersucht wird. Im Projekt CO₂-LiPriSek liegt der Fokus auf dem Recycling von Lithium aus Alt-Batterien durch Karbonatisierung, wodurch Materialien erhalten werden können, die als „battery-grade“ primäres Lithiumcarbonat ersetzen können.

Das BMWK fördert anwendungsorientierte Technologien, um geschlossene Kohlenstoffkreisläufe zeitnah im Markt zu ermöglichen. Diese wurden 2021 insbesondere durch den Förderaufruf „CO₂-Abscheidung und -Nutzung in der Grundstoffindustrie“ sichtbar. Die Forschungsförderung soll

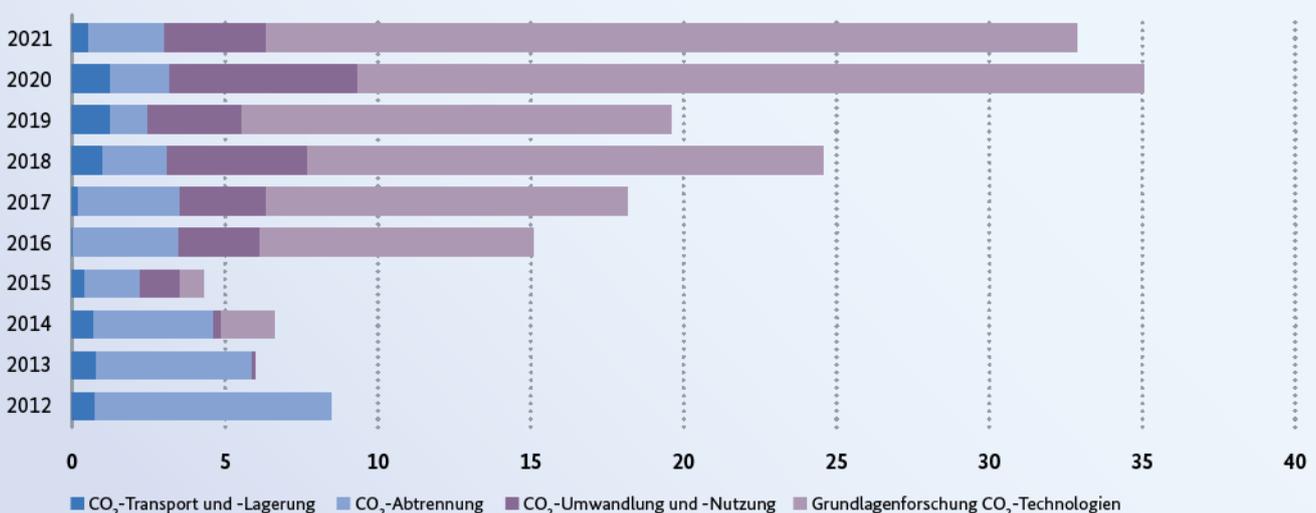
auch dazu beitragen, dass deutsche Unternehmen und Forschungseinrichtungen eine Vorreiterrolle bei diesen exportrelevanten Technologien einnehmen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt CO₂-Technologien haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2021 102 laufende Vorhaben mit rund 32,87 Millionen Euro gefördert. 2021 haben die Ministerien zudem 48 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 25,34 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 22).



Abbildung 22: Fördermittel für CO₂-Technologien in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 94)



PROJEKTPORTRÄT

ACT-AC²OCem – Beschleunigung der Markteinführung der CO₂-Abscheidung in der Zementproduktion durch Einsatz der Oxyfuel-Technologie

Zement ist weltweit ein wichtiger Baustoff. Doch bei seiner Produktion fallen prozessbedingt große Mengen Kohlendioxid an. Im Forschungsprojekt AC²OCem arbeiten Teams aus Forschung und Industrie von fünf europäischen Ländern daran, wie die Oxyfuel-Technologie dazu beitragen kann, dass Zementwerke fast kein CO₂ ausstoßen. Beim Oxyfuel-Verfahren wird der Verbrennungsprozess zur Klinkerherstellung nicht mit Luft, sondern mit reinem Sauerstoff initiiert. Dies führt dazu, dass das bei der Verbrennung und Umwandlung von Kalkstein zu Kalk entstehende CO₂ ohne aufwändiges Nachbehandeln als hochwertiger Rohstoff – etwa für Polymere und Grundchemikalien – weitergenutzt werden kann. In AC²OCem analysieren die Forschenden unter anderem, wie die Oxyfuel-Technologie in der ersten Generation bei bereits bestehenden Zementwerken eingesetzt werden kann. Darüber hinaus wird die Oxyfuel-Technologie der zweiten Generation für neu zu errichtende Zementanlagen erforscht. Hierfür wird unter anderem ein neuartiges



Feuerungskonzept inklusive eines speziell entwickelten Oxyfuel-Ofenbrenners erstmals in einer Pilotanlage getestet.

Zuwendungsempfänger: Universität Stuttgart und drei weitere nationale sowie sieben internationale Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EE5024A-D

Fördermittelansatz: 1,7 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2023

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.5.5 Energiewende und Gesellschaft

Energiewende und Klimaschutz werden durch die Gesellschaft, die Wirtschaft, aber auch Einzelpersonen initiiert, getragen und umgesetzt. Konsumenten werden zu mitgestaltenden Prosumern, Energiegemeinschaften oder neue Geschäftsfelder entstehen und lösen eine zentralisierte Energieversorgung ab. Gesellschaftliche Aspekte sind daher für die Energieforschung immer relevanter.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

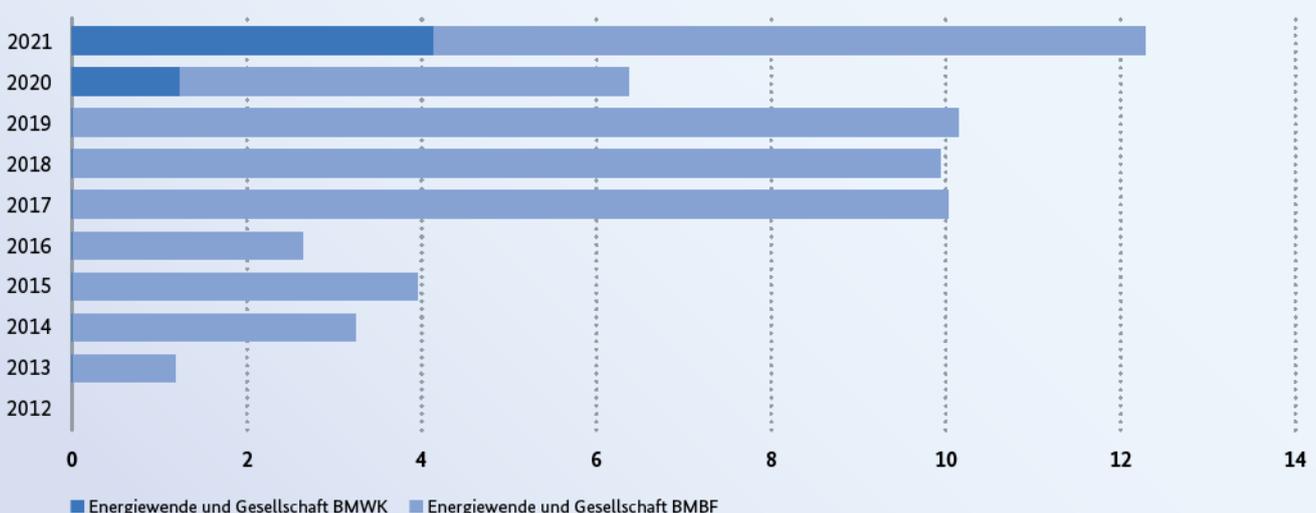
Aus dem zweiten Förderaufruf „Energiewende und Gesellschaft“ des BMWK sind 2021 33 Vorhaben gestartet. Fachleute untersuchen beispielsweise in einem der Projekte, wie sich neue Arbeitsstrukturen, energetisch, gesundheitlich oder ökonomisch im Vergleich zur traditionellen Arbeitswelt auswirken und welche Energieeinsparungen im Transport oder in Büros möglich sind. Andere Projekte befassen sich mit Simulations-, Visualisierungs- und Kommunikationsformen, Chancen und Risiken der Digitalisierung oder finanziellen Beteiligungsmöglichkeiten von Kommunen, Genossenschaften und Bevölkerung an Energiewendemaßnahmen wie auch mit Akzeptanz und Partizipation. Noch offene

Forschungsfragen will das BMWK in weiteren Förderaufrufen adressieren. Gesellschaftliche Aspekte adressiert das BMBF bei der Förderung in den Regionen Deutschlands, die im Zuge des Kohleausstiegs eine enorme Transformation vollziehen müssen. Die Vorhaben der Initiative „Wissenschaftliche Unterstützung und Begleitung der Transformation in der Lausitz“ wirken aktiv am Strukturwandel in der Lausitz mit. 2021 hat das BMBF zudem den Aufbau des Helmholtz-Clusters für Wasserstoffwirtschaft (HC-H2) gestartet. Wie das Vorhaben iNew 2.0 (siehe Projektsteckbrief, Seite 60) soll auch HC-H2 den Strukturwandel im Rheinischen Revier mit wissenschaftsbasierten Innovationen und Demonstrationsprojekten gestalten. Das Verbundvorhaben WissKommEnergiewende will der Bevölkerung deutschlandweit in einer Ausstellung Kernthemen der Energiewende näherbringen (siehe Projektsteckbrief, Seite 61).

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiewende und Gesellschaft haben das BMWK und das BMBF im Jahr 2021 107 laufende Vorhaben mit rund 4,12 Millionen Euro gefördert. Zudem haben die Ministerien 41 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelantrag von rund 8,93 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 23).

Abbildung 23: Fördermittel für Energiewende und Gesellschaft in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 94)



PROJEKTPORTRÄT

Dialogbrücken – Stromnetzausbau vor Ort: Die Rolle von Kommunen als Dialogbrücken zwischen nationaler Planung und lokalem Protest

Der Ausbau der Übertragungsnetze gilt als Flaschenhals der Energiewende. Für viele Menschen bedeutet er einen Eingriff in das Lebensumfeld, aber ohne lokalen Nutzen. Häufig kommt es vor Ort zu Protesten und Widerstand, die den Ausbau verzögern. Das erschwert die Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem. Die Projektpartner des vom BMWK geförderten Vorhabens haben das Selbstverständnis von Kommunen als Schlüsselakteur in der Öffentlichkeitsbeteiligung zum Stromnetzausbau analysiert. Das Ziel: Herausfinden, wie Städte, Gemeinden und Landkreise beim Um- und Ausbau des Energiesystems hierzulande agieren. Dafür arbeitete das Konsortium die Bedingungen und Faktoren heraus, die das Handeln von Kommunen in ihrer Funktion als Dialogbrücken zwischen nationaler Planung und lokalem Willen der Bevölkerung beeinflussen. Darauf aufbauend haben die Fachleute Empfehlungen und Lösungsmöglichkeiten abgeleitet, um Kommu-



Für den erfolgreichen Dialog zwischen Planern und Öffentlichkeit haben die Kommunen eine wichtige Mittlerfunktion.

nen als zentrale Akteure für die Energiewende nachhaltig zu stärken. Dafür setzte das Team auf Reflexion, Dialog und Austausch zwischen den am Stromnetzausbau Beteiligten, die das Projekt im Rahmen eines Beirats begleiteten. Dieser Dialog soll langfristig weitergeführt und zum Verständnis und zur intensiveren Zusammenarbeit von Multiplikatoren führen.

Zuwendungsempfänger: Deutsches Institut für Urbanistik und Ruhr-Universität Bochum

Förderkennzeichen: 03EI5207A+B

Fördermittelansatz: 290.000 Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



iNEW 2.0 – Inkubator für Nachhaltige Elektrochemische Wertschöpfungsketten

Der Ausstieg aus der Kohleenergie ist beschlossene Sache. Neben dem Ausbau erneuerbarer Energien zur Sicherung des Strombedarfs stellt sich die Frage, wie es mit den Kohleregionen Deutschlands weitergehen soll – insbesondere für regionale Arbeitsmärkte. Das BMBF-geförderte Projekt iNEW 2.0 widmet sich deshalb dem erfolgreichen Übergang des Rheinischen Braunkohlereviers zu einem Zukunftsrevier für nachhaltiges Wirtschaften. Die Forschenden wollen neuartige Elektrolyseverfahren zur Anwendung in nachhaltigen Power-to-X-Wertschöpfungsketten entwickeln. Power-to-X ist als Schlüsseltechnologie zur Sektorkopplung und zur Etablierung einer Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft prädestiniert, um den Strukturwandel und den Weg in eine erfolgreiche klimaneutrale Post-Kohle-Ära zu gestalten. Der P2X-Ansatz ermöglicht dabei klimaneutrale Industrieprozesse unter Verwendung von erneuerbar erzeugtem Strom und regenerativen Ressourcen auf Basis von CO₂. So wird aus einem klimaschädlichen Gas ein nachhaltiger Rohstoff. iNEW



Das Projekt iNEW 2.0 will den Übergang des Rheinischen Braunkohlereviers zu einem Zukunftsrevier für nachhaltiges Wirtschaften mitgestalten.

2.0 will zudem bestehende Arbeitsplätze in den energieintensiven Industrien durch den Übergang zu klimaverträglichen Power-to-X-Technologien sichern und gleichzeitig neue Arbeitsplätze in der Technologieentwicklung und im Anlagenbau schaffen.

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Jülich GmbH und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SF0627A-C

Fördermittelansatz: 23 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2021 – 2024

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



PROJEKTPORTRÄT

Wissenschaftskommunikation Energiewende (WissKommEnergiewende) – Ein Ausstellungsprojekt zur deutschen Energieforschung

Seit vielen Jahren arbeiten Forschende an Technologien und Konzepten zur Gestaltung der Energiewende. Vieles davon ist bereits heute einsatzbereit, anderes steckt noch in den Kinderschuhen. Ob die Energiewende gelingen wird, hängt aber nicht nur von der Wissenschaft ab – maßgeblich wird auch sein, ob die Gesellschaft sie mittragen wird. Das Projekt WissKommEnergiewende will Bürgerinnen und Bürgern deshalb die Kernthemen der Energiewende näherbringen und gleichzeitig erforschen, wie eine erfolgreiche Wissenschaftskommunikation von Energiethemata gelingen kann. Dafür entwickelt es eine Ausstellung, die Partizipationselemente mit Wirkungsforschung verbindet. Das Projekt fördert Dialog und Austausch: Es holt Meinungen, Fragen, Wünsche und Ideen zur Energiewende von den Bürgerinnen und Bürgern ein. Diese liefern einerseits Input für die Ausstellung selbst, andererseits werden sie im Rahmen eines Begleitforschungsprojekts analysiert und dienen als Basis für die künftige Energie- und Klima-Kommunikation. Im Konsortium WissKommEnergiewende arbeiten Projektpartner aus der



Das Projekt WissKommEnergiewende entwickelt eine Ausstellung, die Partizipationselemente mit Wirkungsforschung verbindet.

Wissenschaft in einer bisher einzigartigen Konstellation mit Ausstellungshäusern und Kommunikations-expertinnen und -experten eng zusammen. Die Ausstellung soll im August 2022 starten.

Zuwendungsempfänger: DECHEMA – Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. und sechs weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SF0625A-H

Fördermittelansatz: 7,6 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2021 – 2024

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.5.6 Materialforschung für die Energiewende

Damit die Energiewende gelingen kann, müssen auch bestehende Technologien weiterentwickelt und effizienter gestaltet werden. Dafür sind unter anderem innovative Materialien erforderlich. Das BMBF widmet der Entwicklung von Materialinnovationen in der Grundlagenforschung daher einen Schwerpunkt.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

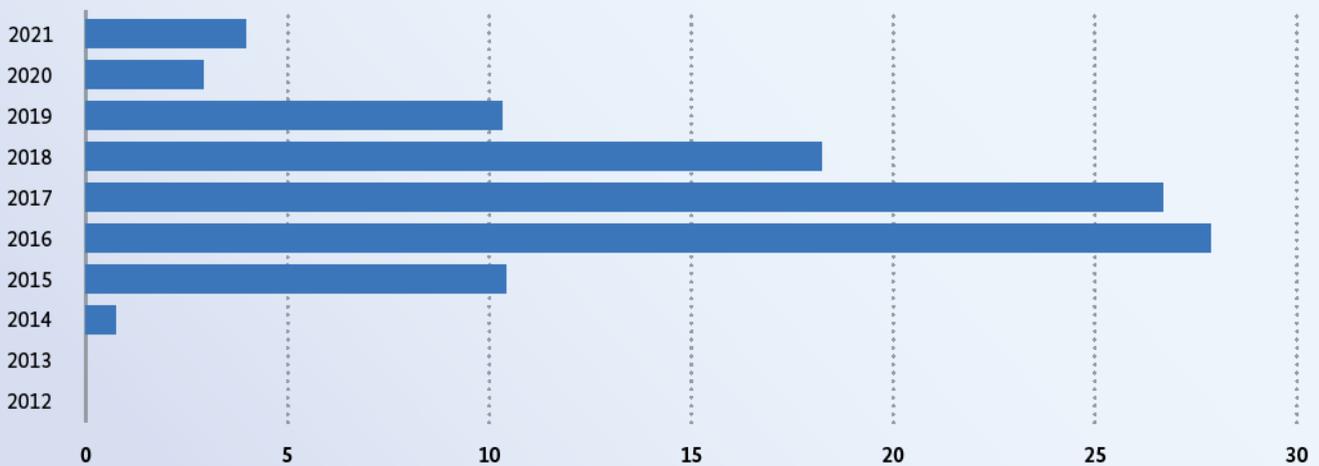
2021 wiesen die Projekte in der Materialforschung eine große Bandbreite auf – wie die Entwicklung neuer Werkstoffe für die Optimierung von PEM-Brennstoffzellen, elektrochemischen Energiespeichern und Windenergieanlagen, vielversprechen-

der Hochleistungsmaterialien für die Photovoltaik sowie neuartiger Materialien für Gasturbinen. Das Projekt PSUMEA-3 forscht beispielsweise an fluorfreien Membranen und Elektroden für Brennstoffzellen und Elektrolyse (siehe Projektsteckbrief, Seite 62). Das Vorhaben MeSa-Zuma hat durch die Entwicklung neuartiger Materialien im Jahr 2021 sogar einen neuen Wirkungsgradrekord bei Tandemsolarzellen erzielt (siehe Projektsteckbrief, Kapitel 2.3.1, Photovoltaik, Seite 33).

Projektförderung

Im Schwerpunkt Materialforschung für die Energiewende hat das BMBF im Jahr 2021 sieben laufende Vorhaben mit rund 3,96 Millionen Euro gefördert (vgl. Abb. 24).

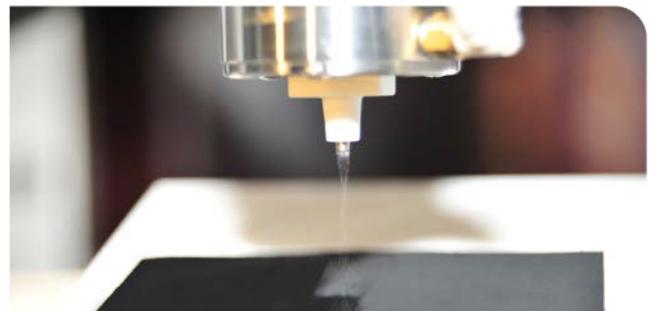
Abbildung 24: Fördermittel für Materialforschung für die Energiewende in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 94)



PROJEKTPORTRÄT

PSUMEA-3 – Fluorfreie Membran-Elektroden-Einheiten für PEM-Brennstoffzellen und Wasser-Elektrolyseure

Ein wichtiger Teil der Energiewende ist die Dekarbonisierung des Verkehrssektors und damit die Elektrifizierung der Mobilität. Im PKW-Bereich wird sich mittelfristig vor allem im Stadtverkehr das Elektroauto durchsetzen. Im Luft- und Seeverkehr sowie Teilen des Schwerlastverkehrs setzt man hingegen aufgrund der größeren Reichweiten zunehmend auf die wasserstoffbetriebene Brennstoffzelle oder synthetische Kraftstoffe. Für den breiten Einsatz muss die Brennstoffzellen-Technologie allerdings noch effizienter werden. Eine wichtige Stellschraube sind dabei die verwendeten Materialien, insbesondere in der Polymermembran, dem Kernstück der PEM-Brennstoffzelle. So hat das Projekt PSUMEA-2 einen neuen Membrantyp entwickelt, der kostengünstiger als die am Markt etablierten Membranen ist, aber gleichzeitig mit deren Leistungsdichten und Wirkungsgraden mithalten kann. Auch auf umweltschädliches Fluor wird verzichtet. Das Projekt PSUMEA-3 schließt nahtlos an das Vorgängervorhaben an. Die Forschenden haben die Membran mit Partnern aus Industrie und Wissen-



Direkte Membranabscheidung auf die Elektrodenstrukturen mittels Ultraschall-Spray-Beschichtung

schaft weiterentwickelt. Die im Vorhaben entwickelten Fluor-freien Brennstoffzellenkomponenten definieren einen neuen Stand der Technik, der in Teilen höher liegt als derjenige konventionellerer Technologien und darüber hinaus wesentlich umweltfreundlicher ist.

Zuwendungsempfänger: Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EK3045A-D

Fördermittelansatz: 1,4 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2021

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.6 Nukleare Sicherheitsforschung

Um die forschungspolitischen Vorgaben des 7. Energieforschungsprogramms sowie des Konzeptes der Bundesregierung zur Kompetenz und Nachwuchsentwicklung für die nukleare Sicherheit auszugestalten, hat das BMWK im Januar 2021 das Projektförderprogramm „Forschungsförderung zur nuklearen Sicherheit“ veröffentlicht. In den Forschungsschwerpunkten des Programms werden aktuelle Herausforderungen der nuklearen Sicherheit auf den Gebieten Reaktorsicherheitsforschung, verlängerte Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle, Endlagerung sowie übergreifende Querschnittsfragen adressiert.

2.6.1 Reaktorsicherheitsforschung

Kernaufgabe der Reaktorsicherheitsforschung ist es, durch Forschung und Entwicklung zu einem fortschreitend höheren Sicherheitsniveau von Kernkraftwerken im In- und Ausland beizutragen und die Kompetenz- und Nachwuchsentwicklung für die nukleare Sicherheit in Deutschland zu fördern.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Themenschwerpunkte der Reaktorsicherheitsforschung umfassen neben den in Deutschland verbleibenden Anwendungsfällen für die Nach- und Restbetriebsphase von Kernkraftwerken im Wesentlichen auch sicherheitstechnische Fragestellungen zu den im Ausland betriebenen oder in

Abbildung 25a: Fördermittel für Reaktorsicherheitsforschung 2012 – 2020 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 7a, Seite 95)

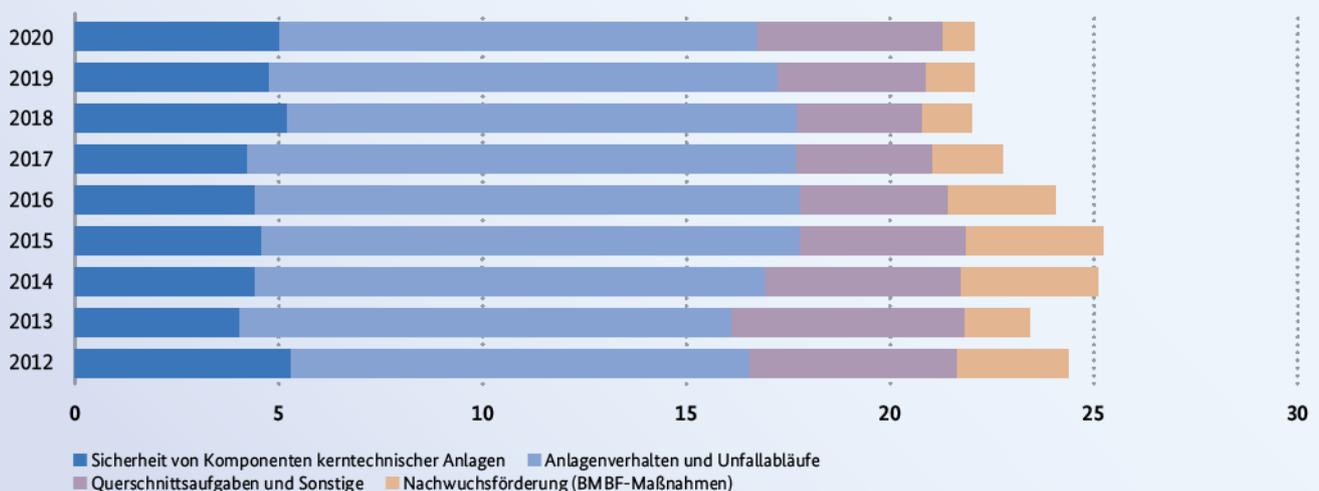


Abbildung 25b: Fördermittel für Reaktorsicherheitsforschung 2021 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 7b, Seite 95)

Entwicklung befindlichen Anlagen. Dabei stehen zunehmend neue Reaktoren und Anlagenkonzepte im Fokus der sicherheitsgerichteten Betrachtungen. Geforscht wird zur Bewertung der Sicherheit von Komponenten und Strukturen, zu Nachweisverfahren für die Beherrschung von Transienten, Stör- und Unfällen sowie zu Wechselwirkungen zwischen Mensch und Technik und probabilistischen Sicherheitsanalysen.

Die Einbindung deutscher Forschungsarbeiten in internationale Aktivitäten ist dabei von hoher Bedeutung und wird beispielsweise durch die Mitarbeit in herausragenden multilateralen Forschungsprojekten der OECD/NEA gestärkt. 2021 hat Deutschland sich an 15 dieser Projekte beteiligt.

Projektförderung

Die Projektförderung in der Reaktorsicherheitsforschung erfolgte durch das BMWK und wird laufend durch ein Programm zur Nachwuchsförderung des BMBF ergänzt. Das BMWK hat im Jahr 2021 141 laufende Vorhaben mit rund 21,08 Millionen Euro gefördert, das BMBF zwölf Vorhaben mit 1,32 Millionen Euro, davon acht Neubewilligungen mit einem Fördermittelansatz von 6,07 Millionen Euro. 2021 hat das BMWK zudem 30 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 21,90 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 25a, b).

PROJEKTPORTRÄT

THAI-VI-Programm – Experimentelle Untersuchungen zum Spaltproduktverhalten und der Wasserstoffbeherrschung bei Stör- und Unfallabläufen im Sicherheitsbehälter

Zur Analyse und Bewertung von Stör- und Unfällen im Sicherheitsbehälter von Kernkraftwerken dienen Simulationsprogramme, die mit hochwertigen experimentellen Daten validiert werden. Durch Experimente im technischen Maßstab erzeugt die THAI-Versuchsanlage (THAI: Thermohydraulics, Hydrogen, Aerosols, Iodine) solche Daten. Sie werden in der deutschen wie auch internationalen Reaktorsicherheitsforschung intensiv genutzt und anteilig durch internationale Partner finanziert.

In der sechsten Phase des THAI-Programmes wurden Experimente zum Verhalten brennbarer Gase, zur Thermohydraulik, zum Spaltproduktverhalten sowie zur Physik von Wasservorlagen durchgeführt. Die Versuchsdaten waren Grundlage für einen internationalen Benchmark von Simulationsprogrammen und sind in multinationale Initiativen zur Reaktorsicherheit eingeflossen. Durch die Weiterentwicklung



Die circa 10 Meter hohe Versuchsanlage THAI besteht aus zwei Versuchsbehältern, die flexibel separat oder kombiniert zur Untersuchung von Phänomenen im Sicherheitsbehälter von Kernkraftwerken genutzt werden.

der Versuchsanlage können nun neben Wasserstoff auch Szenarien mit Kohlenmonoxid im technischen Maßstab untersucht werden.

Zuwendungsempfänger: Becker Technologies GmbH

Förderkennzeichen: 1501594

Fördermittelansatz: 3,9 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2021

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.6.2 Forschung zu verlängerter Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle

Ziel des Forschungsgebietes ist es, wissenschaftliche Grundlagen und Erkenntnisse für die absehbar notwendige verlängerte Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle sowie für die Behandlung dieser Abfälle bis zur Endlagerung fortzuentwickeln.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

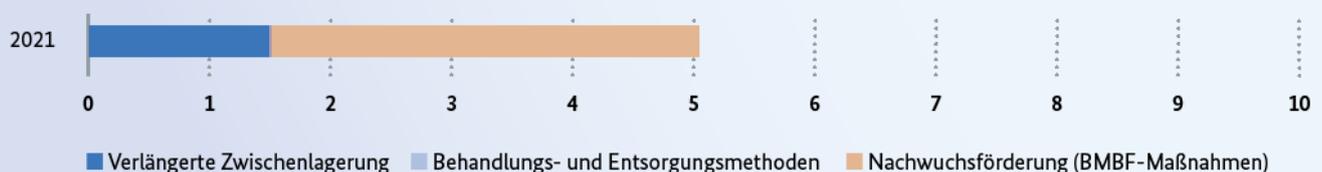
Gegenstand der Untersuchungen sind der Zustand der eingelagerten hochradioaktiven Abfälle und der Behälter, die Auswirkungen der Lagerung auf ihre Transportier- und Handhabbarkeit sowie die Schutzwirkung der Gebäude über die verlängerten Nutzungsdauern. Um die Abfälle optimal auf die Endlagerung vorzubereiten, werden für die Zeit nach der Zwischenlagerung wissenschaftliche Grundlagen zu möglichen Behandlungs- und Konditionierungsoptionen erarbeitet. Gleichzeitig werden Entwicklungen zur Entsorgung im Ausland verfolgt und auch alternative beziehungsweise ergänzende Abfallbehandlungs- und Entsorgungsmethoden untersucht, um diese für eine mögli-

che Anwendung in Deutschland bewerten zu können. Im Jahr 2021 wurden zwei Vorhaben der Nachwuchsförderung erfolgreich abgeschlossen, in denen die Integrität von Brennelementhüllrohren bei längerfristiger Zwischenlagerung experimentell untersucht und neue Bewertungsmethoden hierzu entwickelt wurden. Auch die Einbindung in internationale Forschungsaktivitäten wurde intensiviert, indem beispielsweise eine Studie deutscher und internationaler Forscher zur Behandlung hochradioaktiver Abfälle gestartet wurde.

Projektförderung

Im Schwerpunkt verlängerte Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle hat das BMWK im Jahr 2021 15 laufende Vorhaben mit rund 1,57 Millionen Euro gefördert. Die Nachwuchsförderung in der Entsorgungsforschung durch das BMBF erfolgte mit 3,64 Millionen Euro in 33 Vorhaben. Davon wurden vier Vorhaben mit einem Fördermittelansatz von 1,99 Millionen Euro in 2021 durch das BMBF neu bewilligt. 2021 hat das BMWK zudem sechs Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 1,31 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 26).

Abbildung 26: Fördermittel für Forschung zur verlängerten Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 7b, Seite 95)



PROJEKTPORTRÄT

iCross – Integrität von Endlagersystemen für radioaktive Abfälle – Skalenübergreifendes Systemverständnis und Systemanalyse (Teilprojekt A-E)

Das interdisziplinäre Vorhaben iCross bündelt Forschungs- und Entwicklungsexpertisen in der Helmholtz-Gemeinschaft zu den Themen Nuklear-, Geo-, Biowissenschaften sowie Umweltsimulationen in einem Projekt. Dabei werden bislang nicht vollständig verstandene Prozesse von der molekularen Ebene bis zur regionalen Skala untersucht, bewertet und beschrieben. Ziel ist es, gezielt Laborexperimente durchzuführen, Parameter abzuleiten und relevante Abläufe skalenübergreifend mit fortgeschrittenen Simulationsmethoden zu beschreiben (Upscaling). Die Validierung der Simulationen erfolgt experimentell, auch in Untertagelaboren. Eine Besonderheit des Verbundvorhabens ist die BMBF-geförderte Beteiligung der Helmholtz-Zentren als neuer Konsortialpartner an dem internationalen Forschungsprogramm im Mont-Terri-Untertagelabor in der Schweiz ([Mt-Terri-Projekt](#)), wo mit deutscher Beteiligung ein neuer Experimentaltunnel entstand.

Weitere Beteiligungen an Experimenten im Felslabor Grimsel (Kristallingestein) sind vorgesehen. Die Arbeiten konzentrieren sich damit auf Wirtsgesteine,



Ganzheitlicher Blick auf sichere Endlagersysteme für nukleare Abfälle

die in der Vergangenheit nicht im Fokus der deutschen Endlagerforschung standen. Ein wichtiger Fokus liegt auf der Einbindung und Vernetzung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler.

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Jülich GmbH und vier weitere Verbundpartner

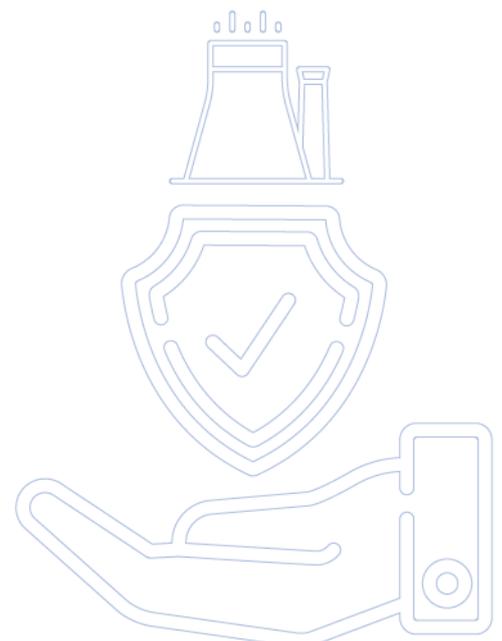
Förderkennzeichen: 02NUK053A-E

Fördermittelansatz: 7,5 Millionen Euro (davon 50 Prozent aus Mitteln der Projektförderung des Bundes und 50 Prozent aus Mitteln der Programmorientierten Forschung der Helmholtz-Gemeinschaft)

Projektlaufzeit: 2018 – 2022

Projektbeschreibung auf EnArgus:

MEHR INFO



2.6.3 Forschung zu Endlagerung

Aufgabe der Endlagerforschung ist die Bereitstellung und Fortentwicklung wissenschaftlicher Grundlagen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle, die im Wesentlichen aus dem durch den deutschen Atomausstieg auf Ende 2022 befristeten Betrieb von Kernkraftwerken stammen.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

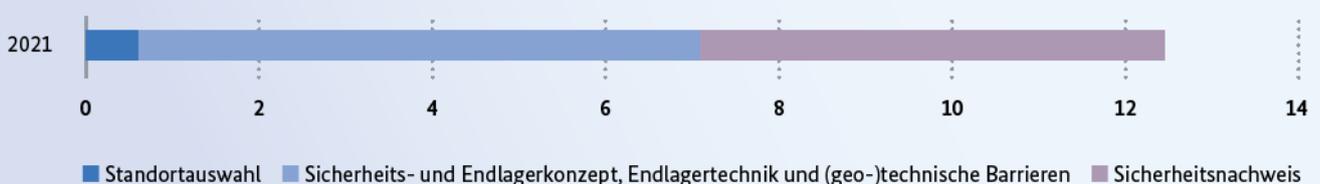
Die Forschung umfasst Fragen zur Standortauswahl, zu Sicherheits- und Endlagerkonzepten bis hin zum Sicherheitsnachweis. Die Förderschwerpunkte liegen auf der Generierung experimenteller Daten sowohl in Feld- als auch Laborversuchen, der Weiterentwicklung der Methodik sowie des Instrumentariums für den Safety Case, der Untersuchung der Wirksamkeit des Barrierensystems inklusive Monitoring, auf der Entwicklung von Konzepten zu Transport- und Einlagerungstechniken und der Szenarienentwicklung für begleitendes Prozessmanagement. Vorhaben zu soziotechnischen Fragestellungen komplettieren das Forschungsfeld. Die Erarbeitung neuer Erkennt-

nisse erfolgt auch im internationalen Kontext durch die Einbindung der Arbeiten in die internationale Projektlandschaft. So hat sich Deutschland 2021 an zwei neuen Projekten im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit mit internationalen Partnern beteiligt. Hierdurch wurden Untersuchungen an konkreten Standorten und die Aneignung systemspezifischer Kenntnisse ermöglicht. Mit schwedischen Forschungsinstitutionen begannen 2021 neue Kooperationen zur Endlagerung in Kristallingestein. Trotz der pandemischen Lage konnte die Kooperation sowohl mit den USA als auch mit China fortgesetzt werden.

Projektförderung

Die Projektförderung des BMWK wird von der Forschungsförderung des BMBF flankiert, welche ebenfalls den Kompetenzerhalt durch Nachwuchsförderung unterstützt. Im Schwerpunkt Endlagerung, ergänzt um die Forschung zu Querschnittsfragen, hat das BMWK im Jahr 2021 115 laufende Vorhaben mit rund 16,22 Millionen Euro gefördert. 2021 hat das Ministerium zudem 21 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 8,8 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 27).

Abbildung 27: Fördermittel für Forschung zur Endlagerung in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 7b, Seite 95)



PROJEKTPORTRÄT



Einbindung interessierter Bürgerinnen und Bürger in Forschungsaktivitäten durch Diskussion

TRANSENS – *Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland. Forschung zur Verbesserung von Qualität und Robustheit der soziotechnischen Gestaltung des Entsorgungspfades*

Das Vorhaben TRANSENS betreibt erstmalig in Deutschland transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle. Interessierte Bürgerinnen und Bürger werden in Forschungsaktivitäten von Wissenschaftsteams eingebunden, um Wissenstransfer, Lernprozesse, Kritikfähigkeit und wechselseitiges Verständnis zu fördern. Die Forschung erfolgt in Themenkorridoren, die an der Schnittstelle zwischen naturwissenschaftlich-technischer Forschung einerseits sowie sozial- und geisteswissenschaftlicher Forschung andererseits angesiedelt sind. Es wird geprüft, welchen Beitrag transdisziplinäre Forschung leisten kann, die soziotechnischen Prozesse in Zusammenhang mit der nuklearen Entsorgung zu begreifen und damit zur Verbesserung der Qualität und Robustheit des deutschen Entsorgungsweges und der wissenschaftlich-technischen Grundlagen für ein Endlager beizutragen.

Zuwendungsempfänger: Institut für Endlagerforschung der Technischen Universität Clausthal und neun weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 02E11849A-J

Fördermittelansatz: 14,78 Millionen Euro (davon 75 Prozent aus Mitteln des Bundes und 25 Prozent aus Mitteln der Volkswagenstiftung)

Projektlaufzeit: 2019 – 2024

Projektbeschreibung auf EnArgus:



2.6.4 Strahlenforschung

Das BMBF förderte im Berichtsjahr 2021 über seine Förderrichtlinie zur nuklearen Sicherheitsforschung und Strahlenforschung im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms weiterhin Verbünde und Projekte zur Strahlenforschung.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das BMBF fördert Vorhaben zu strahlenbiologischen, strahlenmedizinischen, epidemiologischen und radioökologischen Fragestellungen im Bereich der anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Dies dient der Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik und leistet damit einen substanziellen Beitrag zum Aufbau, zur Entwicklung und zum Erhalt der wissenschaftlich-technischen Kompetenz, da in Deutschland weiterhin Kompetenzen auf den genannten Gebieten in Behörden, Industrie, Forschung und in der Medizin benötigt werden. Insgesamt unterstützte das BMBF 2021 im Rahmen dieser Projekte circa 150 Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler in ihrer Ausbildung – dieser BMBF-Förderschwerpunkt trug somit substanziell zu Kompetenzbildung und Kompetenzerhalt in der Strahlenforschung in Deutschland bei. Aus den projektgeförderten Forschungsvorhaben wurden zahlreiche Publikationen in wissenschaftlich hochrangigen beziehungsweise anerkannten Journalen veröffentlicht. In den Forschungsverbänden wurden gesellschaftlich sehr relevante sowie wissenschaftlich hochaktuelle Themen bearbeitet. Hierzu zählten auch einige Vorhaben, die mit ihren Forschungsergebnissen zum Erfolg der nationalen Dekade gegen den Krebs beitrugen. 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.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Strahlenforschung hat das BMBF im Jahr 2021 56 laufende Vorhaben mit rund 8,69 Millionen Euro gefördert. 2021 hat das Ministerium zudem fünf Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 1,29 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 28).

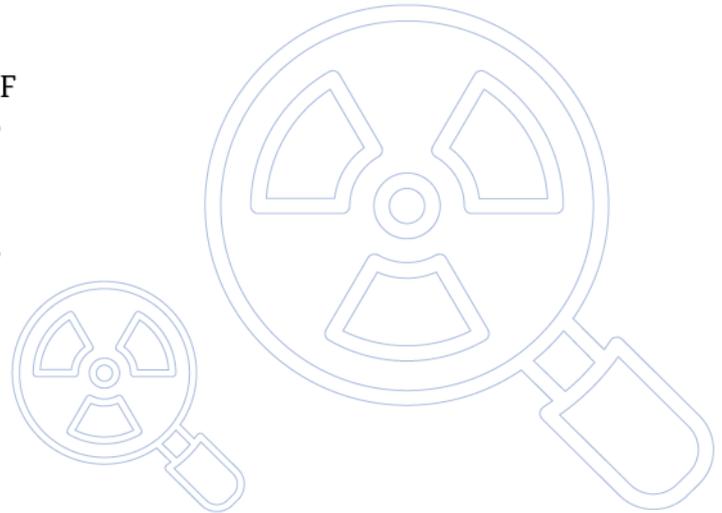
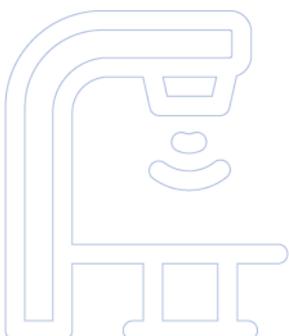
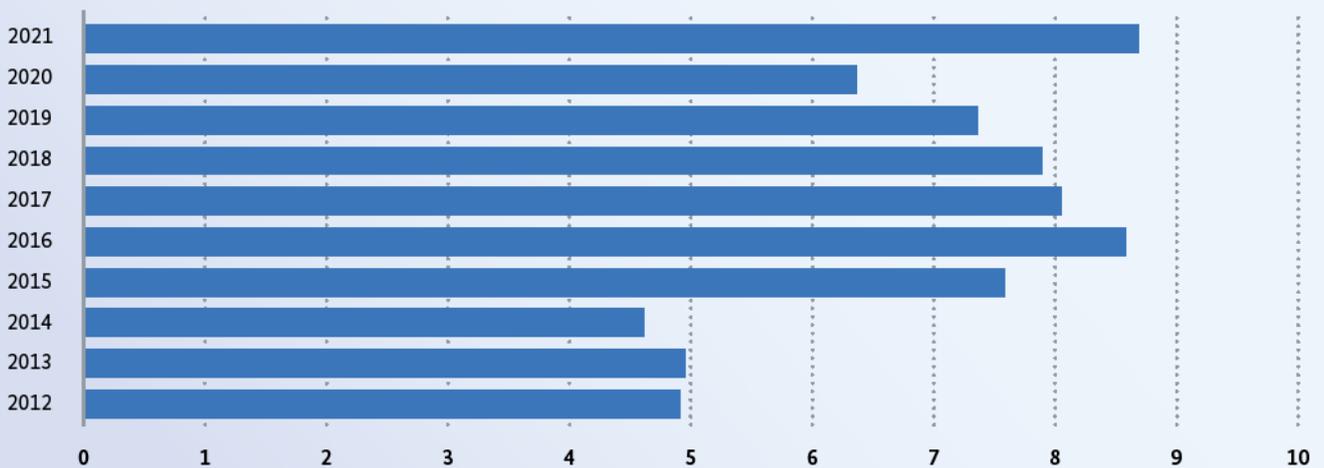


Abbildung 28: Fördermittel für Strahlenforschung in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 7b, Seite 95)



3. Institutionelle Energieforschung



3. Institutionelle Energieforschung

Institutionell geförderte Forschungseinrichtungen tragen in hohem Maße zur Energieforschung in Deutschland bei. Der Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) ist explizit Teil des 7. Energieforschungsprogramms, da er aufgrund der programmorientierten Förderung der Energieforschung zugeordnet werden kann. Dagegen ist eine eindeutige Zuordnung von institutionell geförderten Forschungsarbeiten den thematisch verwandten und für die Energieforschung in Deutschland ebenso bedeutsamen Arbeiten anderer Forschungsorganisationen wie der Fraunhofer-Gesellschaft oder der Max-Planck-Gesellschaft nur eingeschränkt möglich. Gleichwohl bringen sowohl grundlagen- als auch anwendungsorientierte Arbeiten der oben genannten Institutionen sowie Forschungsergebnisse aus Querschnittsbereichen wie der Materialforschung die Energieforschung ebenfalls voran. Seit 2021 setzt der Forschungsbereich Energie seine Forschung für die Energiewende im Rahmen der vierten Periode der programmorientierten Förderung (PoF IV) in neuen programmatischen Strukturen fort. In PoF IV am Forschungsbereich 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) beteiligt. Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) ist ein wissenschaftlich assoziiertes Zentrum. Den Herausforderungen zum Umbau des Energiesystems begegnet der Forschungsbereich Energie mit seiner wissenschaftlichen Schwerpunktsetzung in vier Programmen.

Das Programm „Energiesystemdesign“ verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz. Es bündelt systemanalytische, sozialwissenschaftliche und ökonomische Kompetenzen rund um das Design der Energiesysteme der Zukunft. Neben der Analyse von Energiesystemen stehen auch deren Digitalisierung sowie die Entwicklung von Systemtechnologien im Fokus. Beispielhaft seien folgende Aktivitäten genannt:

- Aufbau und Betrieb von Forschungsinfrastrukturen in den Laboren „Energy Lab 2.0“ (Karlsruher Institut für Technologie), „Living Lab Energy Campus“ (Forschungszentrum Jülich) und „NESTEC“ (DLR Institut für Vernetzte Energiesysteme).
- Richtungsweisende Werkzeuge, wie zum Beispiel frei verfügbare Softwarelösungen, Daten und Benchmarks, wurden der Öffentlichkeit und Forschenden im Rahmen der Helmholtz Energy Computing Initiative (HECI) weltweit zur Verfügung gestellt.
- Um Auswirkungen der Kopplung von Strom- und Gasnetzen detailliert analysieren zu können, werden geeignete Modellierungs- und Simulationsansätze von den Helmholtz-Zentren DLR, FZJ und KIT gemeinsam entwickelt. Dabei spielt auch der Einsatz von Wasserstoff eine Rolle.
- Einsatz des am KIT entwickelten Electrical Data Recorder (E.DR) in einer weltumspannenden Messkampagne. Die Daten wurden am KIT und FZJ archiviert und analysiert. Messreihen, Analyse-Software, Geräte-Design und Ergebnisse wurden als Open Database in Nature Communications publiziert.
- Identifizierung der öffentlichen Wahrnehmung der Bioökonomie in einer computergestützten Textanalyse deutscher Zeitungsartikel. Die Ergebnisse zeigen ein abweichendes Verständnis der Bioökonomie zwischen der Öffentlichkeit und der wissenschaftlichen Fachwelt auf.

Im Programm „Materialien und Technologien für die Energiewende“ (MTET) forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in einem interdisziplinären Ansatz an Materialien und Technologien zur Energieerzeugung, -wandlung und -speicherung sowie zur Energie- und Ressourceneffizienz. Beispielhighlights aus der Forschung des Programms MTET sind:

- Nachhaltige CO₂-neutrale Treibstoffe sind ein wichtiger Baustein der Energiewende in schwer elektrifizierbaren Bereichen. Im DLR-Projekt Future Fuels konnte die signifikante Reduktion von Klimawirkungen durch Flugzeuge beim

Einsatz nachhaltiger Luftfahrttreibstoffe gezeigt werden. Des Weiteren wurden solar gestützte Herstellungsprozesse und neuartige patentierte Wasserstoff-optimierte Brennerkonzepte entwickelt.

- An der bioliq®-Pilotanlage des KIT wurde das Konzept der Herstellung grüner Kraftstoffe aus Restbiomasse mit hohem Technologiereifegrad im Verbundprojekt „ReFuels“ demonstriert.
- Der Einsatz von flüssigem Natrium als Wärmeträger für Konzentratorkraftwerke führt zu höherer Effizienz. Im Rahmen der Messkampagne SOMMER wurden Leistungsdichten von bis zu vier Megawatt pro Quadratmeter bei hoher Stabilität der Ergebnisse erzielt.
- Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen (siehe Steckbrief zur Weltrekord-Photovoltaikzelle des HZB, Seite 74).
- Am DLR wurden Simulationsmethoden entwickelt, welche mit einem sehr hohen Detailgrad strukturelle und materialspezifische Eigenschaften von Batterieelektroden berücksichtigen. In Kombination mit hochauflösender Analytik am HZB und entsprechender elektrochemischer Charakterisierung wurde damit eine validierte Plattform zum virtuellen Design von Batteriematerialien geschaffen, welche es erlaubt, die Leistung und Lebensdauer neuartiger Batterien zu optimieren.
- Am FZJ wurde ein gekoppeltes System aus großflächigen Photovoltaik-Modulen mit direkter Wasserstoffherzeugung aufgebaut und betrieben. Bei einem Wirkungsgrad der H₂-Erzeugung von etwas über 10 Prozent wurden in einem Jahr mehr als 245.000 Liter Wasserstoff erzeugt.
- Die Lücke zwischen hochbrillanten Röntgenuntersuchungen und dem tatsächlichen Betrieb von Katalysatoren für synthetische Kraftstoffe unter industriellen Bedingungen konnte erstmals geschlossen werden. Ein kommerzieller Katalysator für die Erzeugung von Kraftstoffen konnte unter realistischen Bedingungen untersucht werden.
- SOC-Stack und -System (siehe Steckbrief zu im reversiblen 9.000-Stundenbetrieb bewährten Hochtemperatur-Festoxidwandlern (SOC) zur Erzeugung und Verstromung von Wasserstoff (DLR und FZJ), Seite 74).

Das Programm „Fusion“ (FUSION) erforscht und entwickelt die physikalischen und technischen Grundlagen für Auslegung und Bau eines Fusionskraftwerks. Es ist Teil der europäisch koordinierten und geförderten Fusionsforschung. Als Highlights aus der Forschung des Programms FUSION seien hier beispielhaft genannt:

- Mit dem Hybrid-Szenario mit magnetischen Pumpen hat das IPP einen starken Kandidaten für ein stationäres Tokamak-Szenario entwickelt. Tokamak ist der bislang am besten untersuchte Anlagentyp und setzt auf Fusion mithilfe magnetischen Einschlusses. Das magnetische Pumpen funktioniert ähnlich wie ein Dynamo und versetzt magnetischen Fluss nach außen. Dadurch steigt der zentrale Sicherheitsfaktor – ein Maß für die Verdrillung der Magnetfeldlinien und somit entscheidend für die Plasmastabilität – auf den Wert 1. Dies hat zwei positive Effekte: Zum einen wird die zentrale Sägezahninstabilität vermieden. Zum anderen kann Strom über diesen Umweg außerhalb des Zentrums getrieben werden bei gleichzeitig besserer Effizienz des Zentrums aufgrund der höheren Temperatur. Mit Parametervariationen in ASDEX Upgrade, dem „Axialsymmetrischen Divertor-Experiment“, konnte bestätigt werden, dass der Antrieb des magnetischen Pumpens mit dem Plasmadruck skaliert und die Einsatzschwelle vom Stromprofil im Zentrum abhängt.
- Zur in-situ Überwachung des Tritiuminventars im Reaktorgefäß des Versuchs-Fusionreaktors ITER werden laserbasierte Oberflächendiagnostiken entwickelt und erprobt. Für ITER sind Einlagerungen des radioaktiven Tritiums in Berylliumschichten auf Wolfram im inneren Divertor (Vorrichtung im Reaktor zur Entfernung von Helium-4 und Verunreinigungen) durch Experimente am europäischen Fusionsexperiment JET identifiziert worden. Hinzu kommen Modellierungen von JET und ITER als wichtigster Beitrag zur Tritiumrückhaltung. Am FZJ konnte bei der Untersuchung von Berylliumschichten mit definiertem Deuteriumgehalt auf Wolframsubstraten mit Laser-induzierter

Desorption gezeigt werden, dass mit steigendem Energieeintrag durch Laserpulse im Millisekundenbereich das eingelagerte Deuterium vollständig freigelassen und über Quadrupol-Massen-Spektroskopie nachgewiesen werden kann.

Im Programm „Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung“ (NUSAFE) werden wesentliche Forschungsarbeiten zu Zwischen- und Endlagerung, zum Rückbau kerntechnischer Anlagen, zur Sicherheit von Kernreaktoren sowie zur Strahlenforschung durchgeführt. Als Highlights aus der Forschung des Programms NUSAFE seien hier beispielhaft genannt:

- Im Rahmen der Aktivitäten zur internationalen Kernmaterialüberwachung wurden die ersten offiziell verfügbaren mikropartikulären Referenzmaterialien für die Qualitätskontrolle zertifi-

ziert. Zudem wurde ein NUSAFE-Partner für die Bereitstellung und Lieferung von Mikropartikel-Referenzmaterialien offiziell qualifiziert. Darüber hinaus konnten durch Untersuchungen mittels Röntgenstrahlung neue Erkenntnisse über den Alterungsprozess von Uranoxid-Partikeln nach deren Produktion gewonnen werden. Diese Erkenntnisse lassen erstmals Schlussfolgerungen hinsichtlich geeigneter Lagerbedingungen und der Lebensdauer der Referenzpartikel zu.

- Mit der Fertigstellung einer maßgeschneiderten Open-Source-Simulationsplattform können wichtige Prozesse in Sicherheitsbehältern untersucht werden. Es werden gute Ergebnisse hinsichtlich Vorhersagegüte, Skalierbarkeit und numerischer Effizienz erreicht.

Der Mitteleinsatz im Forschungsbereich Energie ist in den Abbildungen 29a und b dargestellt.

Abbildung 29a: Fördermittel für Institutionelle Energieforschung 2014 – 2020 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 8, Seite 96)

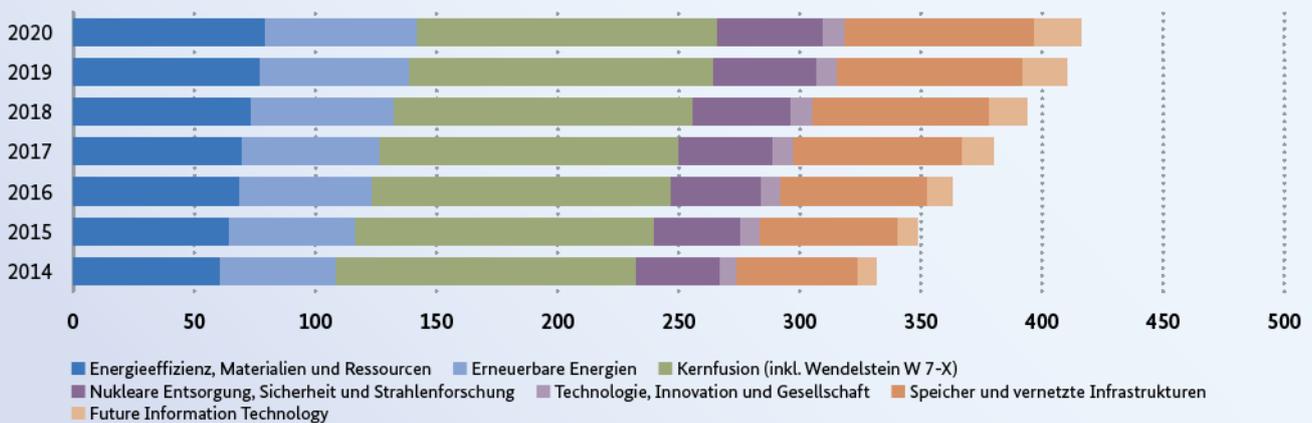


Abbildung 29b: Fördermittel für Institutionelle Energieforschung ab 2021 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 8, Seite 96)



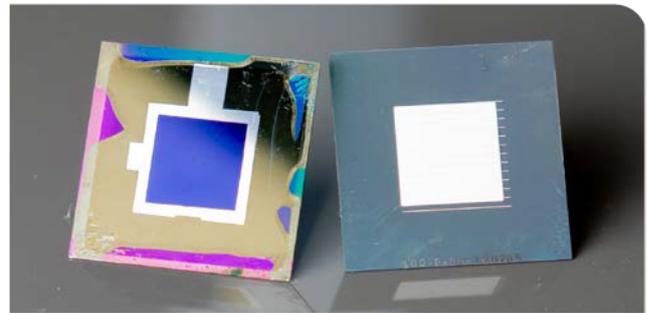
PROJEKTPORTRÄT

Perowskit-Silizium-Tandemsolarzelle – Verbesserungen in der Optik bringen eine Weltrekord-Photovoltaikzelle

Heutige Solarmodule werden hauptsächlich aus Silizium hergestellt. Die Kombination von Silizium mit der neueren Materialklasse der Perowskite zu Tandemsolarzellen hat in den letzten Jahren Effizienzverbesserungen ermöglicht.

Ein weiterer großer Schritt hin zu einer Effizienz von 30 Prozent und darüber hinaus konnte nun von einem Team am HZB durch die Verbesserung der Optik erreicht werden. Mithilfe von Computersimulationen wurde die bestmögliche Nanotextur für die Silizium-Oberfläche gefunden. Verbesserungen an der Rückseite der Zelle konnten die Einkopplung des infraroten Lichts in den Silizium-Absorber optimieren.

Die neue Perowskit-Silizium-Tandemsolarzelle wurde mit einem Weltrekord-Wirkungsgrad von 29,8 Prozent



Die Perowskit-Silizium-Tandemsolarzelle beruht auf zwei Innovationen: einer nanotexturierten Frontseite (links) und einer Rückseite mit dielektrischem Reflektor (rechts).

vom Fraunhofer ISE Callab zertifiziert und in dem renommierten [NREL-Wirkungsgradchart](#) verzeichnet.

Beteiligte Helmholtz-Zentren: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB)

Beteiligte Programme: Erneuerbare Energien (RE, PoF III) / Materialien und Technologien für die Energiewende (MTET, PoF IV)

rSOC – reversible Hochtemperatur-Stack und -System Im reversiblen 9.000-Stundenbetrieb bewährt – SOC-Stack und -System

Mit Hochtemperatur-Festoxidwandlern (SOC) ist es sowohl möglich, mit Strom durch Elektrolyse Wasserstoff zu erzeugen, als auch umgekehrt, als Brennstoffzelle betrieben, Wasserstoff bei Bedarf zu verstromen. Dabei kann derselbe Zellenstapel für beide Vorgänge mit sehr hoher Effizienz eingesetzt werden.

Ein 30-Ebenen-Stack wurde am DLR wechselseitig im Brennstoffzellen- und Elektrolyse-Modus für mehr als 9.000 Betriebsstunden und bei mehr als 300 Betriebswechseln im Langzeitbetrieb getestet und vermessen. Es wurden die niedrigsten Degradationsraten im internationalen Vergleich für den reversiblen SOFC-/SOEC-Betrieb gemessen (Elektrolyse: 0,25 Prozent/1.000 Stunden, Brennstoffzelle: 0,52 Prozent/1.000 Stunden). Ein Jülicher Aufbau wurde für mehr als 9.000 Betriebsstunden reversibel betrieben. Hierbei konnte erstmals eine Brenngasnutzung von mehr als 99 Prozent gezeigt werden.

Durch eine spezielle Betriebsführung der Brenngase konnte bei einer Brennstoffzellenleistung von 5,4 Kilo-



Stackmodul für rSOC-System

watt Gleichstrom (0,5 Ampere pro Quadratzentimeter) ein vergleichsweise hoher elektrischer Wirkungsgrad von 62,7 Prozent erreicht werden.

Beteiligte Helmholtz-Zentren: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Forschungszentrum Jülich (FZJ)

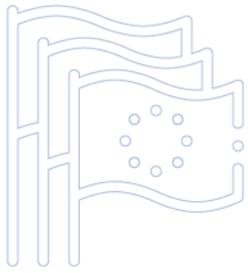
Beteiligte Programme: Speicher und vernetzte Infrastrukturen (SCI, PoF III)/Materialien und Technologien für die Energiewende (MTET, PoF IV)

MEHR INFO



A close-up photograph of several hands of different skin tones (light, medium, and dark) stacked together in a circular arrangement, symbolizing unity, teamwork, and collaboration. The hands are wearing various colored sleeves, including white, blue, and purple. The background is a light, neutral color.

4. Europäische und internationale Zusammenarbeit



4.1 Europäische Vernetzung in der Energieforschung

Deutschland beteiligt sich an umfangreichen europäischen Aktivitäten zu Forschung, Innovation und Vernetzung im Energiebereich. Den politisch-strategischen Rahmen bildet der [Europäische Green Deal](#), der eine moderne, ressourceneffiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft ohne Netto-Treibhausgasemissionen bis 2050 anstrebt.

Forschung und Innovation sind entscheidend für den Übergang zu einem stabilen und widerstandsfähigen Energiesystem auf Basis erneuerbarer Energien. Dazu trägt insbesondere der [Europäische Strategieplan für Energietechnologie \(SET-Plan\)](#) bei, in dem die Zusammenarbeit zwischen EU-Staaten, Unternehmen und Forschungseinrichtungen gefördert, nationale Forschung koordiniert und an regionale Bedürfnisse sowie die Verfügbarkeit erneuerbarer Energieressourcen angepasst werden.

Die kofinanzierte Clean Energy Transition Partnership (CETP) setzt die Fördermaßnahmen im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon Europe um. Entsprechende Aufrufe werden ab 2022 von den beteiligten Ländern veröffentlicht. Die CETP bündelt nationale und regionale Ressourcen, um in Europa Fragmentierungen im Energieforschungsbereich zu überwinden. In ihrer strategischen Forschungs- und Innovationsagenda befasst sie sich unter anderem mit der Entwicklung sauberer, erschwinglicher Energieerzeugungs- und -umwandlungstechnologien, der Entwicklung eines klimaneutralen, flexiblen und robusten Energiesystems sowie mit Speichertechnologien und ihrer Integration in das Energiesystem.

Deutschland beteiligt sich auch an der kofinanzierten Partnerschaft Driving Urban Transitions to a Sustainable Future (DUT). Die DUT adressiert globale urbane Herausforderungen mit einem integrativen Ansatz, um durch länderübergreifende koordinierte Forschung den Entscheidungsträgern in Kommunen, Unternehmen und Gesellschaft Lösungen und Handlungsmöglichkeiten zu bieten. Die Partnerschaft wird neben gemeinsamen Förderaufrufen ein europäisches Forschungs- und Innovationszentrum für städtische Angelegenheiten entwickeln und so auch zur Mission für klimaneutrale und intelligente Städte beitragen.

Clean Hydrogen Joint Undertaking (JU) hat als institutionalisierte öffentlich-private Partnerschaft zu Wasserstoff im November 2021 die Nachfolge des Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) angetreten. Sie soll die Verbesserung sauberer Wasserstofftechnologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette beschleunigen und wird zu den Zielen der Europäischen Wasserstoffstrategie beitragen. Bis zu einer Milliarde Euro werden hierfür in den kommenden sieben Jahren in Horizon Europe bereitgestellt, ergänzt durch eine weitere Milliarde Euro von privater Seite.

Angestoßen von Deutschland, wurde im Kontext der Neuausrichtung des Europäischen Forschungsraums eine Initiative zu grünem Wasserstoff initiiert: ERA Pilot on Green Hydrogen entwickelt eine europäische Forschungs- und Innovationsagenda für die Wettbewerbsfähigkeit von grünem Wasserstoff.

Zudem ist Deutschland federführend an der Initiierung von Important Projects of Common European Interest (IPCEI) für Wasserstoff beteiligt (siehe Kapitel 5.1 Innovationsförderung der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms, Seite 84).

4.2 Forschungsrahmenprogramm der EU (Horizon Europe)

[Horizon Europe](#) ist das neunte europäische Rahmenprogramm für Forschung und Innovation (2021 – 2027) und mit einem Gesamtbudget von 95,5 Milliarden Euro eines der wichtigsten Instrumente der EU zur Stärkung des Europäischen Forschungsraums und zur Förderung von Innovationen und Technologien.

Es leistet einen Beitrag für das Erreichen der UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung und stärkt die Wettbewerbsfähigkeit und das Wachstum der EU und bekämpft zugleich den Klimawandel. Horizon Europe erleichtert die Zusammenarbeit von Wirtschaft und Forschung in der EU. Darüber hinaus stärkt es die Wirkung von Forschung und Innovation mit Blick auf die Entwicklung und Umsetzung der EU-Politik und die Bewältigung globaler Herausforderungen.

Forschungs- und Innovationsförderung im Energiebereich bündelt Horizon Europe im [Cluster 5 – Klima, Energie und Mobilität](#). Übergreifendes Ziel dieses Clusters ist die Beschleunigung des grünen und digitalen Übergangs und des damit verbundenen Wandels von Wirtschaft, Industrie und Gesellschaft, um Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu machen. Das umfasst den Übergang zur Treibhausgasneutralität des Energie- und Mobilitätssektors bis spätestens 2050 bei gleichzeitiger Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, Widerstandsfähigkeit und des Nutzens für die Gesellschaft.

Die Fördermaßnahmen und Aktivitäten der Arbeitsprogramme sollen somit zur Umsetzung des Pariser Klimaabkommens, Europäischen Green Deals, Europäischen Konjunkturprogramms und anderer EU-Prioritäten in den Bereichen Klima, Energie und Mobilität beitragen.

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

Erfolgreiche Beteiligung deutscher Antragssteller im Energiebereich in Horizon 2020

Für das Vorgängerprogramm Horizon 2020 wurden 2021 abschließende Zahlen vorgelegt. Im Programmbereich sichere, saubere und effiziente Energie waren Antragssteller aus Deutschland überdurchschnittlich stark an Verbundvorhaben beteiligt. Im Programmzeitraum von 2014 bis 2020 wurden rund 4,281 Milliarden Euro Fördermittel für insgesamt 900 Verbundprojekte bereitgestellt. Deutschland hat sich in 562 dieser Projekte mit insgesamt 1.273 Projektteilnehmenden engagiert. Damit waren Akteure aus Deutschland in 62,4 Prozent aller Verbundprojekte im Energiebereich von Horizon 2020 vertreten und haben davon in 122 Projekten die verantwortungsvolle Rolle der Koordination übernommen (Abbildung 30). Insgesamt konnten deutsche Projektbeteiligte dabei rund 557 Millionen Euro an Fördermitteln einwerben. Deutschland liegt somit vor Spanien, Frankreich und Italien an erster Stelle, mit 13 Prozent der bewilligten Gesamtfördersumme im betrachteten Programmbereich (Abbildung 31).

Abbildung 30: Anzahl der Zuwendungsempfänger nach Ländern im Kernbereich der Energieforschung in Horizon 2020 (2014 – 2020)

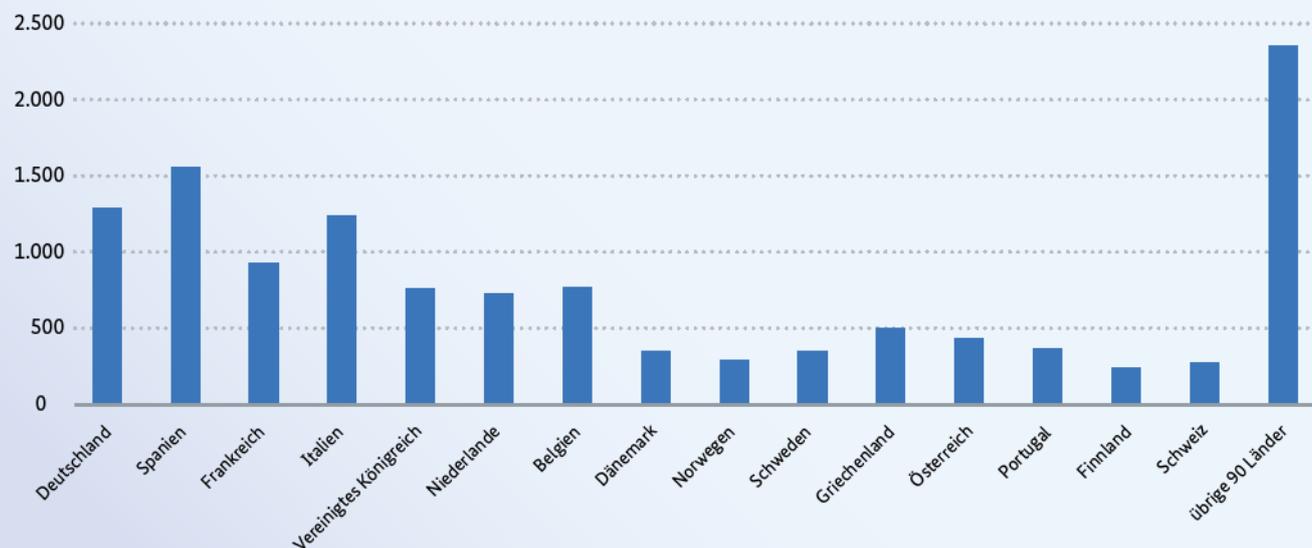
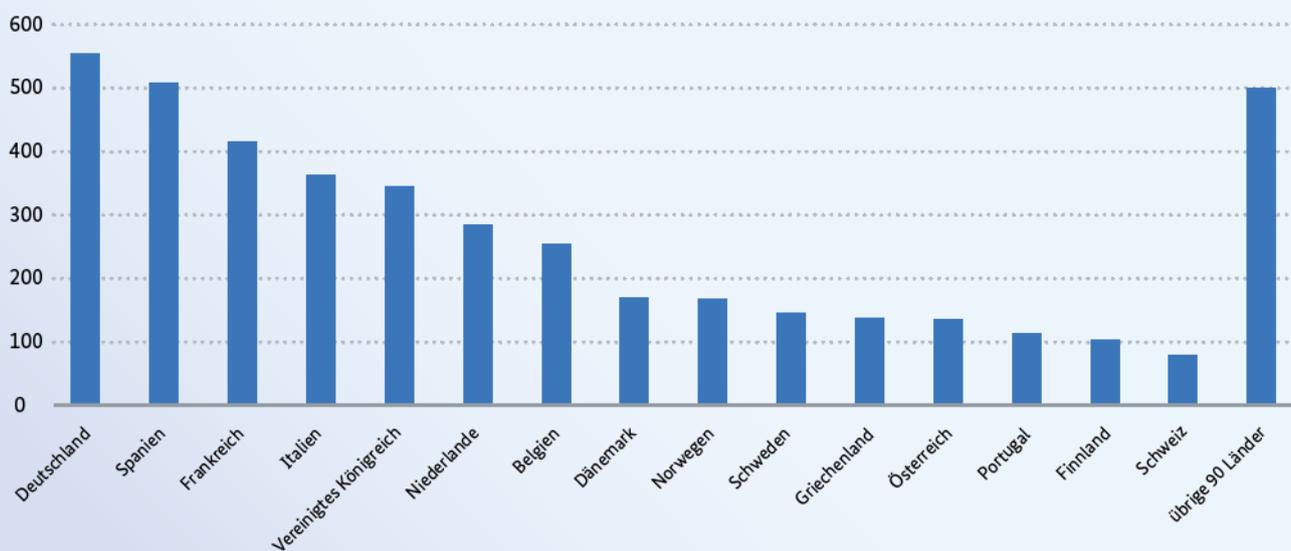


Abbildung 31: Länderverteilung der Fördermittel in Mio. Euro im Kernbereich der Energieforschung in Horizon 2020 (2014 – 2020)



Schwerpunkte der Energieforschung in Horizon 2020

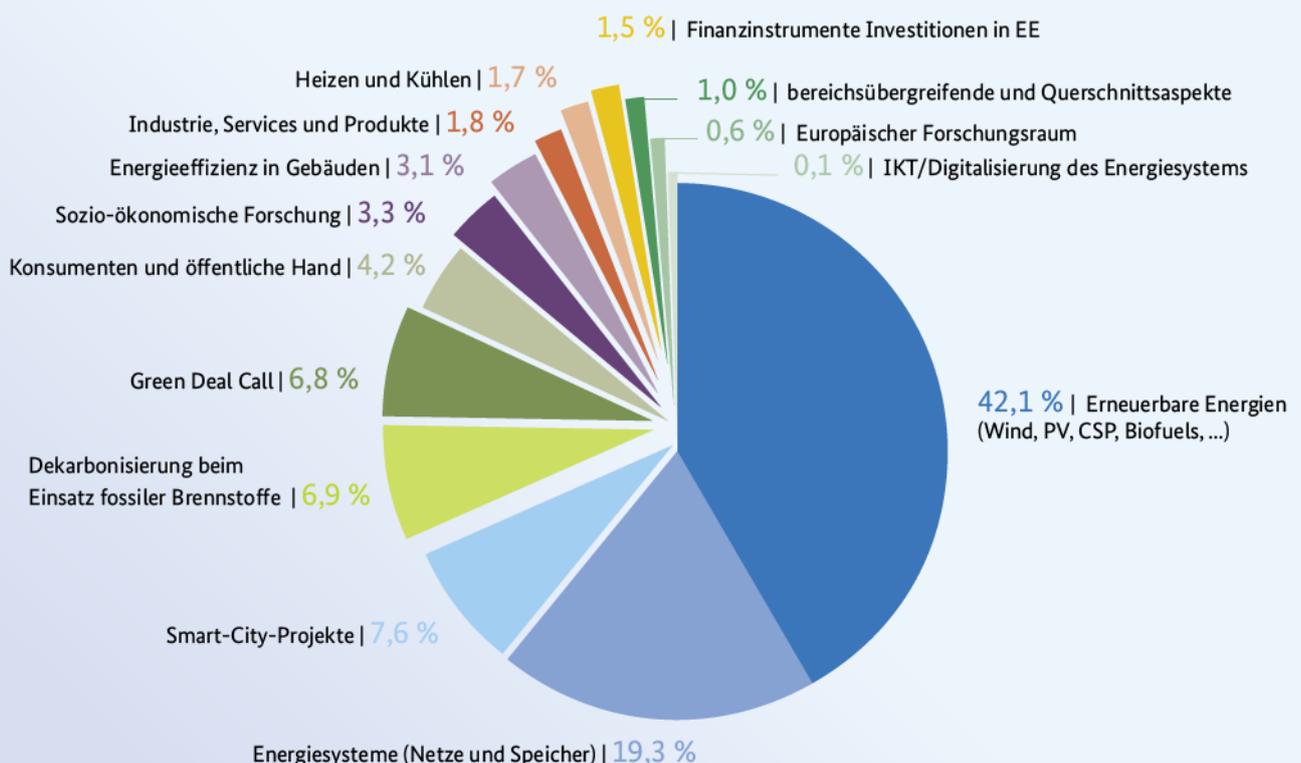
Die Projektbeteiligung der Zuwendungsempfänger aus Deutschland konzentriert sich mit über 50 Prozent auf die Themenfelder erneuerbare Energien und Energiesysteme. Dies spiegelt sich auch in der Verteilung der eingeworbenen Fördermittel nach Themenbereichen wider (Abbildung 32). Ein deutlicher Schwerpunkt liegt auf Forschungs- und Demonstrationsvorhaben in diesen Technologiefeldern: erneuerbare Energien mit 42,1 Prozent und Energiesysteme (Netze und Speicher) mit 19,3 Prozent. Es folgen Smart-City-Projekte mit 7,6 Prozent und Verbundprojekte zur Dekarbonisierung beim Einsatz fossiler Brennstoffe mit 6,9 Prozent.

Themen rund um Wasserstoff sind in der Abbildung nicht aufgeführt, da sie innerhalb der öffentlich-privaten Partnerschaft Fuel Cells and Hydrogen

gefördert wurden (siehe Kapitel 4.1 Europäische Vernetzung in der Energieforschung, Seite 76). In diesem Programmbereich ist Deutschland an 107 Vorhaben beziehungsweise an 80 Prozent aller Verbundprojekte beteiligt. Dahinter stehen 278 Projektteilnehmende (18,4 Prozent aller Beteiligten) und rund 160 Millionen Euro eingeworbene Fördermittel. Das entspricht 25 Prozent der gesamten Fördersumme im Programmzeitraum.

Weitere energierelevante Themen, die wie etwa die Materialforschung außerhalb des Programmbeereichs sichere, saubere und effiziente Energie angesiedelt waren, sind in dieser Auswertung nicht berücksichtigt.

Abbildung 32: Verteilung von Fördermitteln nach Themenbereichen im Kernbereich der Energieforschung in Horizon 2020 (2014 – 2020)



4.3 Internationale Zusammenarbeit

Die Bundesregierung setzt neben der umfangreichen europäischen Zusammenarbeit in der Energieforschung auch auf die internationale Kooperation innerhalb globaler Organisationen und Initiativen.

Internationale Energieagentur (IEA)

Die [Internationale Energieagentur \(IEA\)](#) ist eine selbstständige Einrichtung innerhalb der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und widmet sich der internationalen Kooperation im Energiesektor. Der Fokus im Bereich Technologie und Innovationen liegt auf Forschung und Entwicklung, Demonstration und Verbreitung nachhaltiger Energietechnologien. Die IEA vereint 30 Mitgliedstaaten, darunter die Bundesrepublik Deutschland unter der Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, und acht assoziierte Partnerstaaten.

Die Aktivitäten im Bereich Energieforschung koordiniert das Forschungsgremium Committee on Energy Research and Technology (CERT). Dem CERT sind Arbeitsgruppen (Working Parties) und multilaterale Technologieinitiativen, die sogenannte Technology Collaboration Programmes (TCP), unterstellt, welche das gesamte energietechnologische Spektrum abdecken.

Die Zusammenarbeit im Bereich Energieforschung erfolgt in den Technologieinitiativen. Mit den TCP setzt die IEA ihr Technologieprogramm um, welches zum Aufbau eines nachhaltigen, sicheren und bezahlbaren weltweiten Energieversorgungssystems beitragen soll. Neben den IEA-Mitgliedschaften haben auch interessierte Partnerländer die Möglichkeit, sich zu engagieren. Innerhalb der TCP können Forschungseinrichtungen und privatwirtschaftliche Unternehmen in allen Bereichen der nicht-nuklearen Energieforschung sowie der Fusion (über Euratom) länderübergreifend zusammenarbeiten. Deutschland ist zurzeit an 23 von insgesamt 38 laufenden TCP beteiligt. 2021 ist

Deutschland dem C3E TCP beigetreten. Die Initiative beschäftigt sich mit der Stärkung von Frauen im Energiesektor.

Mission Innovation

Die zwischenstaatliche Initiative Mission Innovation (<http://mission-innovation.net>) fördert weltweit die Entwicklung, den Ausbau und die Verfügbarkeit sauberer, kostengünstiger Energietechnologien und -lösungen. Dies soll durch höhere öffentliche Investitionen und das Engagement der Privatwirtschaft gelingen. Zusätzlich hat Mission Innovation das Ziel, die Aufmerksamkeit für das Potenzial von Energieinnovationen zu erhöhen.

Mission Innovation hat 23 Mitglieder, 22 Staaten und die Europäische Kommission, und wurde 2015 auf der 21. UNFCCC-Vertragsstaatenkonferenz (COP21) gegründet. Im Juni 2021 wurde auf dem sechsten Ministertreffen (MI-6) die zweite Phase gestartet und der Startschuss für drei neue Innovationsmissionen gegeben. Auf der 26. UNFCCC-Vertragsstaatenkonferenz (COP26) im November 2021 wurden vier weitere Missionen vorgestellt, um die Entwicklung sauberer Technologien für Städte, Industrie, CO₂-Abscheidung sowie klimafreundlicher Brennstoffe, Chemikalien und Materialien zu beschleunigen.

Die sieben Innovationsmissionen:

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

Die Bundesregierung engagiert sich in verschiedenen Missionen. Zum einen ist Deutschland, vertreten durch das BMWK, Mitglied der Clean Hydrogen Mission. Diese will den Preis von sauberem Wasserstoff bis 2030 unter zwei US-Dollar pro Kilogramm senken und unterstützt den Aufbau einer globalen Wasserstoffwirtschaft. Darüber hin-

aus beteiligt sich die Bundesregierung an der Green Powered Future Mission. Durch diese sollen Stromnetze in verschiedenen Regionen und Klimazonen bis 2030 bis zu 100 Prozent variable erneuerbare Energien effektiv in ihren Erzeugungsmix integrieren und zugleich ein kosteneffizientes, sicheres und widerstandsfähiges System erhalten. Außerdem beteiligt sich die Helmholtz-Gemeinschaft an der Innovation Platform Materials for Energy, das sich die beschleunigte Entwicklung von neuen Materialien für Technologien für erneuerbare Energien zum Ziel gesetzt hat.

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

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

4.4 Internationale Forschungsinitiativen

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

Bilaterale Kooperationen in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung

Das BMBF stärkt die europäische Zusammenarbeit in der Energieforschung auch durch bilaterale Forschungsk Kooperationen (2+2-Projekte). Seit 2018 fördert das BMBF gemeinsam mit der französischen Agence Nationale de la Recherche (ANR) Forschungsk Kooperationen zu hochinnovativen Lösungen für eine effiziente, bezahlbare und umweltfreundliche Energieversorgung, die in einem übergreifenden Ansatz mehrere Sektoren

(Energie, Verkehr, Industrie und Haushalte) betrachten. Neben technischen Aspekten sollen auch ökonomische und gesellschaftliche Herausforderungen der Energiewende in einem systemischen Ansatz berücksichtigt werden. Aspekte zur Kooperation im Bereich Energie sind regelmäßig Inhalt bei hochrangigen bilateralen Gesprächen des BMBF mit dem französischen Forschungsministerium.

2021 ist zudem ein Großteil der acht deutsch-griechischen Forschungsverbände zu den Themenfeldern „Energiesparende Technologien“, „Technologien zur Erzeugung und Speicherung Erneuerbarer Energie“, „Intelligente Netze“, „Reduzierung der umwelt- und klimaschädlichen Auswirkungen der Energieerzeugung aus konventionellen Energieträgern“ und „Wissenschaftliche und technologische Unterstützung für öffentliche Energiepolitik“ abgeschlossen worden. Neben einem hohen Innovationsgrad zeichneten sich die ausgewählten Vorhaben durch eine hohe Praxisrelevanz für mehr Nachhaltigkeit und mehr Sicherheit in der europäischen Energieversorgung aus. Auf der Basis dieser guten Erfahrungen in der deutsch-griechischen Zusammenarbeit ist geplant, diese auch in Zukunft mittels einer weiteren bilateralen Fördermaßnahme auszubauen. Dieser Gedanke wurde in Form einer gemeinsamen Absichtserklärung („Declaration of Intent“) am 20. Juli 2021 in Athen konkretisiert und von Vizeminister Dimas und vom damaligen Parlamentarischen Staatssekretär Rachel gemeinsam unterzeichnet. Thematisch stehen erneuerbare Energien erneut im Fokus.

Agendaprozess Grüner Wasserstoff

Innerhalb der deutschen EU-Ratspräsidentschaft hat das BMBF einen mitgliedstaatengetragenen Agendaprozess zu Forschung und Innovation für grünen Wasserstoff initiiert und im Rahmen von Ratschlussfolgerungen zum neuen Europäischen Forschungsraum bestätigt. 2021 wurden dringliche Forschungs- und Innovationsfragen in einem öffentlichen europaweiten Dialogprozess identifiziert. Die Ergebnisse werden in einer strategischen

Forschungs- und Innovationsagenda für den Europäischen Forschungsraum (SRIA) zusammengeführt und wurden am 18. März 2022 veröffentlicht. Es ist geplant, Wege zur Umsetzung der Ergebnisse der SRIA auf einer hybriden Fachkonferenz am 16. und 17. Mai 2022 in Berlin gemeinsam mit Experten aus EU-Mitgliedstaaten zu eruieren.

Rahmenbekanntmachung „Internationale Kooperationen Grüner Wasserstoff“

Die im März 2021 gestartete Rahmenbekanntmachung treibt die Vernetzung deutscher Akteure mit internationalen Partnern in Forschungsprojekten entlang der gesamten Wasserstoffwertschöpfungskette voran. Sie dient als Grundlage für die Ausgestaltung maßgeschneiderter Förderkonzepte zu grünem Wasserstoff.

In der internationalen Wasserstoffkooperation ist Kanada ein wichtiger Partner, insbesondere als potenzieller Lieferant von grünem Wasserstoff für Deutschland. Im Jahr 2021 wurde mit dem kanadischen National Research Council (NRC) eine Förderbekanntmachung für gemeinsame Projekte von Wissenschaft und Wirtschaft gestartet. Außerdem werden in Zusammenarbeit mit dem Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC) seit Oktober 2021 zehn gemeinsame Vernetzungsvorhaben gefördert.

Internationales Zukunftslabor Grüner Wasserstoff

Das vom BMBF geförderte Internationale Zukunftslabor „REDEFINE Hydrogen Economy (H2E)“ hat am 1. Dezember 2021 an der Technischen Universität München seine Forschungsarbeit aufgenommen. Es widmet sich der umweltfreundlichen Produktion von grünem Wasserstoff durch neuartige Technologien wie der Hochtemperatur-Elektrolyse, der innovativen Vergasung von Biomasse und der Synthese von Basischemikalien und Energieträgern. In dem Zukunftslabor arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 13 Ländern (Australien, Brasilien, Deutschland, Italien, Kanada,

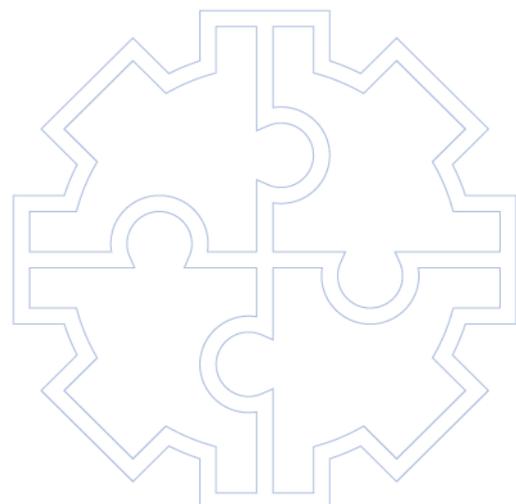
Litauen, Niederlande, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, USA und Vereinigtes Königreich).

Partnerschaft mit Afrika zu erneuerbaren Energien

An dem von der EU-Kommission mitfinanzierten Fünf-Jahres-Programm „Long term European African Partnership on Renewable Energy“ (LEAP-RE) beteiligt sich das BMBF mit zwei Millionen Euro. LEAP-RE soll eine langfristige Partnerschaft zwischen Europa und Afrika im Bereich Forschung und Innovation zu erneuerbaren Energien mit aufbauen. Der erste Förderaufruf richtete sich 2021 an Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft mit Forschungs- und Innovationsprojekten entlang der gesamten Wertschöpfungskette erneuerbarer Energien.

Kooperation mit den Westbalkanstaaten

Im Rahmen der themenoffenen Förderbekanntmachung zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten zwischen Deutschland und den Westbalkanstaaten (WBC 2019) fördert das BMBF seit Mai 2021 das Vorhaben NOVATRODES. In diesem entwickelt das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM zusammen mit der Universität Belgrad in Serbien innovative beschichtete poröse Elektroden für die großtechnische Produktion von Wasserstoff.



5. Weitere energierelevante Förderaktivitäten



5.1 Innovationsförderung der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms

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

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

Eingebettet in die Nationale Wasserstoffstrategie wurde das [IPCEI Wasserstoff](#) im Dezember 2020 während der deutschen EU-Ratspräsidentschaft durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gemeinsam mit 22 EU-Mitgliedstaaten und Norwegen gestartet. Am 28. Mai 2021 wurden 62 deutsche Großvorhaben ausgewählt, um in den Notifizierungsprozess fortzuschreiten. Darunter Vorhaben für Erzeugungsanlagen mit über zwei Gigawatt Elektrolyseleistung für die Produktion von grünem Wasserstoff, innovative Vorhaben der Stahl- und Chemieindustrie und Projekte im Bereich Infrastruktur und Mobilität. So soll der Markthochlauf von Wasserstofftechnologien und -systemen im Rahmen der Fördermöglichkeit der Important Projects of Common European Interest (IPCEI) (deutsch: Wichtige Vorhaben von gemeinsamem europäischen Interesse) unterstützt werden. Flankiert durch die Förderung des BMWK und des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) soll das IPCEI als gemeinsame Investitionsanstrengung kooperierender europäischer Unternehmen einen wichtigen Impuls im europäischen Binnenmarkt leisten, Wachstum, Beschäftigung, Innovationsfähigkeit und die globale Wettbewerbsfähigkeit in ganz Europa stärken.

Mit über acht Milliarden Euro Förderung aus Bundes- und Landesmitteln ist das IPCEI Wasserstoff das bislang größte europäische Projekt dieser Art,

das allein in Deutschland Investitionen in Höhe von 33 Milliarden Euro entlang der gesamten Wasserstoffwertschöpfungskette auslösen soll.

Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt erschließen

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

Im BMDV-Expertennetzwerk bündeln sechs renommierte Ressortforschungseinrichtungen (BAST, BfG, BSH, DWD, EBA/DZSF, BAW) und eine Fachbehörde (BAG) aus dem Geschäftsbereich des BMDV ihre Expertisen und forschen gemeinsam und verkehrsträgerübergreifend unter der Vision „Das Verkehrssystem resilient und umweltgerecht gestalten“ an politisch besonders relevanten und konkreten Fragestellungen in strategisch wichtigen Themenfeldern. Das Themenfeld 5 „Erneuerbare Energien“ im Expertennetzwerk befasst sich in einem verkehrsträgerübergreifenden Ansatz mit der Erschließung erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur (beispielsweise durch Potenzialabschätzungen von Photovoltaik- und perspektivisch Geothermieanlagen entlang von Bundesverkehrswegen) und der Identifizierung von Einsparpotenzialen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nehmen hierbei auch neue Systeme, wie beispielsweise sich selbst versorgende (Zug-)Brücken oder Straßenoberflächen und Schallschutzwände mit integrierter Photovoltaik, in den Blick. Neben den technischen Analysen werden auch Lösungsvorschläge erarbeitet, um organisatorische und rechtliche Barrieren für den gegenseitigen Austausch erneuerbarer Energien zwischen den Verkehrsträgern und zwischen öffentlichen und privaten Einrichtungen abzubauen.

Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovation

Im Rahmen der Förderinitiative Forschungscampus fördert das BMBF zwei Forschungscampi mit Energiebezug: Flexible Elektrische Netze (FEN) und Mobility2Grid. FEN untersucht, wie Energie mithilfe von Gleichstromnetzen hochflexibel verteilt werden kann. Seit 2019 betreibt FEN am Campus der RWTH Aachen das erste Forschungsnetz für Mittelspannungs-Gleichstrom in der Megawattklasse.

Mobility2Grid forscht auf dem EUREF-Campus in Berlin an Energiewende und Elektromobilität in vernetzten urbanen Arealen. Zu den Forschungsfeldern gehören zum Beispiel ein virtuelles Kraftwerk oder netzdienliche Batteriespeicher von Elektrofahrzeugen.

Living Labs Europe Competition (LLEC)

Im Kontext der EU-Ratspräsidentschaft 2020 hatte das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz die Initiative für ein EU-weites Wettbewerbsformat zu einer klimaneutralen Transformation urbaner Räume eingebracht. Wettbewerbe sind ein attraktives Format, um Gesellschaftsgruppen auf großer Breite anzusprechen. Sie sind spannend, dokumentieren herausragende Leistungen und bieten einen Kontext, der Forschungsideen schneller in die Umsetzung bringt. Die Living Labs Europe Competition (LLEC) (<https://www.ptj.de/living-labs>) will im End-Use-Bereich Quartierstransformationen für klimaneutrale Nachbarschaften hervorbringen. Mit der Prämierung herausragender Konzepte an verschiedenen Punkten der Transformation schafft sie Öffentlichkeit, zeigt Best Cases und bringt Veränderungsprozesse hin zu inklusiveren, ästhetischeren und nachhaltigeren Quartieren in die Anwendung.

Der Vorschlag mündete 2021 erfolgreich in den Dialog mit der EU-Kommission über eine mögliche Zusammenarbeit mit dem New European Bauhaus. Mit dieser Initiative will die Kommission Projekte fördern, die Nachhaltigkeit und Ästhetik im öffentlichen Raum zusammenführen. Auf Arbeitsebene konnte LLEC in der neuen Partnerschaft Driving Urban Transition (DUTP) als zentraler Baustein der Verwertungsstrategie eingebettet werden. Die DUT-Partnerschaft will die urbane Transformation als Teil europäischer Forschungsförderprogramme vorantreiben.

Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) im BMDV

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

BMDV Gesamtförderkonzept Erneuerbare Kraftstoffe

Mit der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS) wurde bereits im Jahr 2013 eine verkehrsträgerübergreifende Informations- und Orientierungsgrundlage für die Energiewende im Verkehr geschaffen. Darauf aufbauend ist im Klimaschutzprogramm 2030 das Thema erneuerbare Kraftstoffe für die Minderung von Treibhausgasemissionen im Verkehr aufgenommen worden, um technologieoffen sowohl strombasierte synthetische Kraftstoffe

(E-Fuels) als auch fortschrittliche Biokraftstoffe aus Abfall- und Reststoffen in ihrer Weiterentwicklung zu unterstützen und deren Markteintritt beziehungsweise Markthochlauf zu fördern. Die Bedeutung von erneuerbaren Kraftstoffen, insbesondere von E-Fuels, für einen klimaneutralen Verkehrssektor wurde zuletzt auch im Koalitionsvertrag der Bundesregierung nochmals bekräftigt.

Das BMDV-Gesamtkonzept Erneuerbare Kraftstoffe greift diesen Kontext auf und sieht ein vier-säuliges Förderprogramm vor, welches technologieoffen und verkehrsträgerübergreifend das gesamte Spektrum der (Weiter-)Entwicklung von strombasierten Kraftstoffen und fortschrittlichen Kraftstoffen bis hin zu deren Erzeugung und Markthochlauf abdeckt. Der Fokus bei der Forschung und Entwicklung liegt mit zwei laufenden Fördermaßnahmen sowohl auf der Optimierung von einzelnen Produktionsschritten und -verfahren als auch deren Gesamtprozessintegration zur Herstellung von erneuerbaren Kraftstoffen. Um darüber hinaus weitere Investitionshemmnisse für Erzeugungsanlagen hin zum Markthochlauf dieser Kraftstoffe abzubauen, werden im Jahr 2022 zwei weitere Fördermaßnahme veröffentlicht.

Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“

Zur weiteren Reduzierung der wissenschaftlichen Unsicherheiten zu möglichen gesundheitlichen Wirkungen im Bereich der mit dem Stromnetzausbau verbundenen elektrischen und magnetischen Felder wurde im Ressort des BMUV das Forschungsprogramm „[Strahlenschutz beim Stromnetzausbau](#)“ konzipiert. Dieses Programm umfasst über 40 Einzelvorhaben und wird begleitend zum Stromnetzausbau durchgeführt. Über 10 Einzelvorhaben konnten bereits abgeschlossen werden.

5.2 Forschungsförderung der Länder

Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) führt der Projektträger Jülich (PtJ) bereits seit 2008 eine jährliche Abfrage der nicht-nuklearen Energieforschungsförderung der Länder durch.

Der aktuellen Erhebung für das Haushaltsjahr 2020 zufolge belaufen sich diesbezügliche Gesamtaufwendungen der Länder auf 387,4 Millionen Euro. Dabei entfallen 209,9 Millionen Euro auf die Projektförderung und 177,5 Millionen Euro auf die institutionelle Förderung.

Den forschungspolitischen Schwerpunkt bildet die Technologieförderung im Bereich der Systemintegration und systemübergreifenden Forschungsthemen mit einem Gesamtvolumen von 142,6 Millionen Euro. Dabei rückt die Sektorenkopplung im Vergleich zu den Vorjahren noch stärker in den Fokus, die Forschungsaktivitäten zu Energiespeichertechnologien (54,7 Millionen Euro), Wasserstofftechnologien (36,1 Millionen Euro) und Brennstoffzellen (20,7 Millionen Euro) konnten teils massiv ausgebaut werden.

Während Baden-Württemberg eine Vorreiterrolle in den Themenfeldern Energiespeicherung (16,9 Millionen Euro) und Wasserstoff (14,1 Millionen Euro) zukommt, so widmet sich allen voran Niedersachsen mit knapp 7,6 Millionen Euro der Brennstoffzellenforschung. Die finanzielle Unterstützung des Themas Stromnetze bewegt sich mit 9,1 Millionen Euro leicht unter dem Vorjahresniveau, mit einem Fördervolumen von 2,1 Millionen ist Niedersachsen auch hier führend.

Die Interaktionen zwischen gekoppelten Energiesektoren werden mithilfe der übergreifenden Forschungsdisziplin Energiesystemanalyse untersucht und im Rahmen valider Mittel- und Langfristszenarien prospektiv betrachtet. Die zunehmende Komplexität der Energieversorgung setzt eine umfassende holistische Systemmodellierung vor-

aus, dies spiegelt sich in den bemerkenswerten Förderanstrengungen (22 Millionen Euro) der Länder wider. Mit 7,8 Millionen Euro liefert Nordrhein-Westfalen den höchsten Forschungsbeitrag.

Im direkten Vergleich zum Vorjahr hat sich die Forschungsförderung im Themenfeld Regenerative Energien nahezu verdoppelt auf einen Gesamtbeitrag von 125,8 Millionen Euro. Die größte finanzielle Unterstützung erfährt dabei das Forschungsthema Solarthermie/Photovoltaik mit Aufwendungen in Höhe von 36,1 Millionen Euro und wird in Bayern mit etwa 15 Millionen Euro am stärksten gefördert. Intensiviert wurden auch die länderseitigen Forschungsanstrengungen im Bereich der Windenergie (24,8 Millionen Euro), standortbedingt liefert Niedersachsen mit 19,5 Millionen den mit Abstand größten Beitrag. Mit 22 Millionen Euro bewegt sich die Technologieförderung im Bereich Bioenergie auf ähnlich hohem Niveau und wird in Bayern (13,9 Millionen Euro) maßgeblich vorangetrieben.

Auch Geothermie (9,8 Millionen Euro) hat einen starken finanziellen Zuwachs erfahren, die gegebene

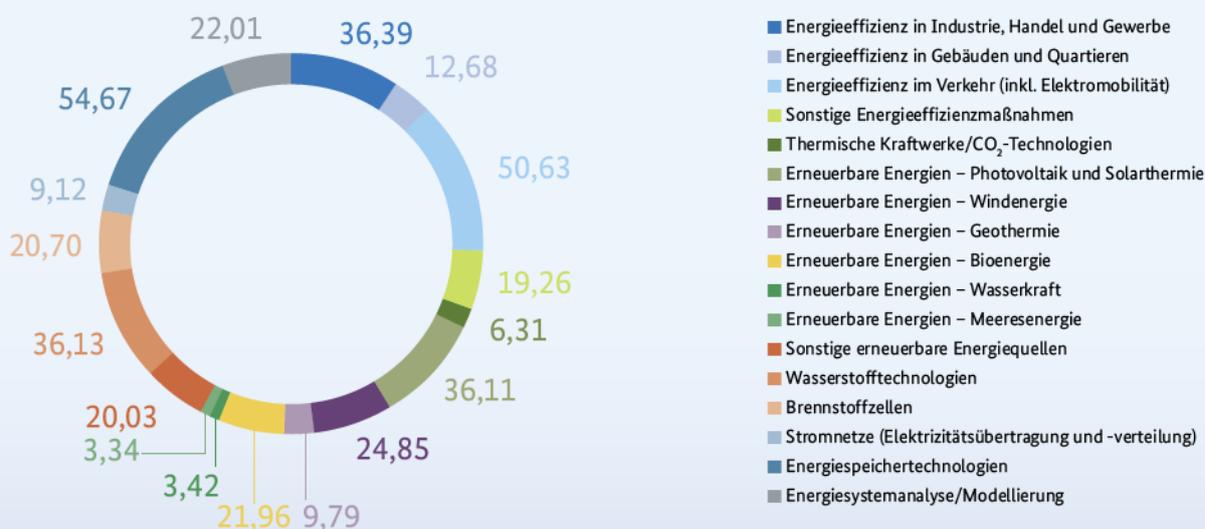
nen geologischen Voraussetzungen für ihre technologische Erforschung werden in Niedersachsen (5,8 Millionen Euro) genutzt.

Forschungsaktivitäten im Nischenbereich der mit 3,4 Millionen Euro geförderten Wasserkraft zielen ausschließlich auf eine Leistungssteigerung bestehender Anlagen ab. Das Thema Meeresenergie (3,4 Millionen Euro) widmet sich vorrangig der Fortentwicklung von Turbinen und Konvertern, Niedersachsen nimmt sich dieser Thematik mit 3 Millionen Euro an.

Im Förderbereich der thermischen Kraftwerke/CO₂-Technologien belaufen sich die Forschungsaktivitäten 2020 auf 6,3 Millionen Euro, die höchsten Förderaufwendungen liefert der Kraftwerkstandort Nordrhein-Westfalen mit 3,3 Millionen Euro.

Eine weitere tragende Säule der deutschen Energieforschung sind Fördermaßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in den Verbrauchssektoren, länderseitig werden diese mit insgesamt 118,9

Abbildung 33: Aufwendungen der Länder für die nicht-nukleare Energieforschung nach Förderthemen entsprechend der IEA Technologieklassifikation ab 2018 (Daten siehe Tabelle 12, Seite 99)



Millionen Euro finanziell vorangetrieben. Wie in den Vorjahren bildet die Energieeffizienz im Verkehr, welche auch den Ausbau der Elektromobilität umfasst, mit Aufwendungen in Höhe von 50,6 Millionen Euro den technologiespezifischen Schwerpunkt. Hervorzuheben sind in diesem Themenfeld die umfassenden Forschungsaufwendungen des Fahrzeugstandorts Baden-Württemberg (19 Millionen Euro). Das Forschungsthema Energieeffizienz in Gebäuden und Quartieren wird in den Ländern mit 12,7 Millionen Euro beforscht, Hessen trägt 4,2 Millionen dazu bei. Die Energieeffizienz in Industrie, Handel und Gewerbe wird insgesamt mit 36,4 Millionen Euro beforscht und bildet in Berlin mit einer Förderung von 8 Millionen Euro den Förderschwerpunkt.

Mit einem Fördervolumen von 87,9 Millionen Euro heben sich die Aufwendungen der Energieforschungsförderung in Niedersachsen von den anderen Ländern ab, gefolgt von Baden-Württem-

berg (78,7 Millionen Euro), Bayern (76,5 Millionen Euro), Nordrhein-Westfalen (43,8 Millionen Euro) und Sachsen (28,5 Millionen Euro). Auch die Forschungsförderung in Hamburg (16,9 Millionen Euro), Hessen (16,2 Millionen Euro) und Schleswig-Holstein (9,3 Millionen Euro) ist äußerst beachtenswert.

Mit einem Fördervolumen von über 387 Millionen Euro im Bereich der nicht-nuklearen Energieforschung tragen die Länder bedeutend zum nationalen Energiewendeprozess sowie zur Erreichung der von der Bundesregierung postulierten Klimaziele bei.

Der ausführlichere Bericht „Förderung der nicht-nuklearen Energieforschung durch die Länder im Jahre 2020“ kann neben den anderen bislang veröffentlichten Länderberichten über die [Website des Projektträgers Jülich](#) abgerufen werden.

Abbildung 34: Aufwendungen der Länder für nicht-nukleare Energieforschung nach Ländern 2014–2020 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 10, Seite 98)

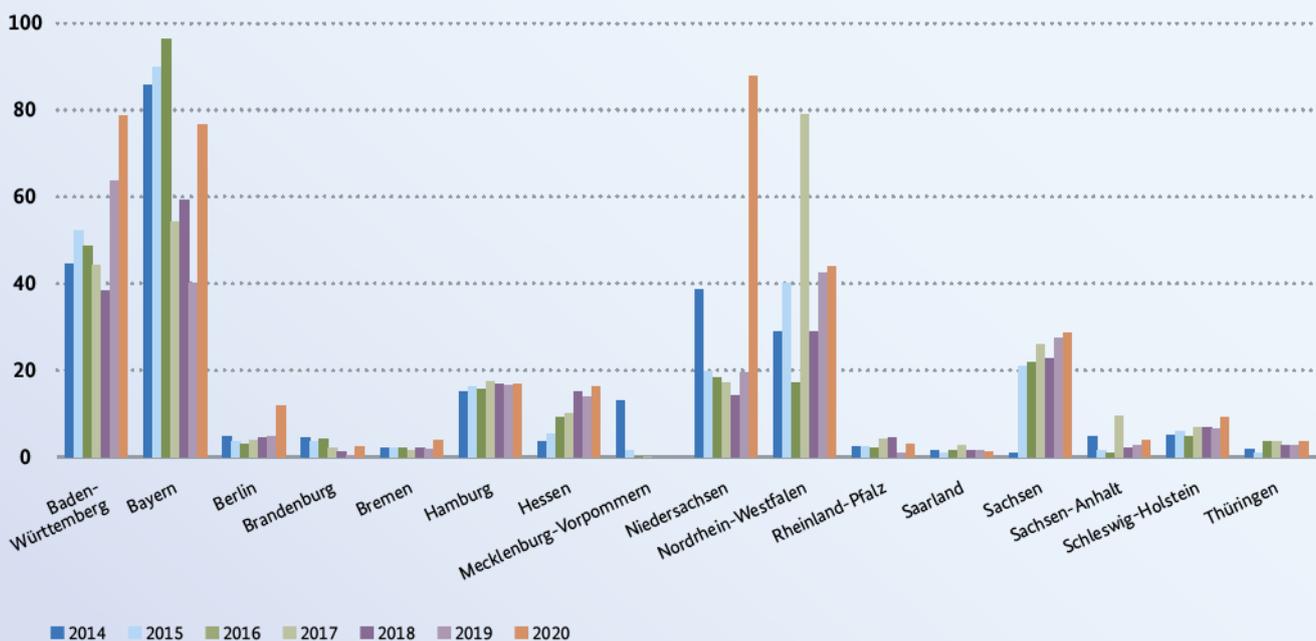
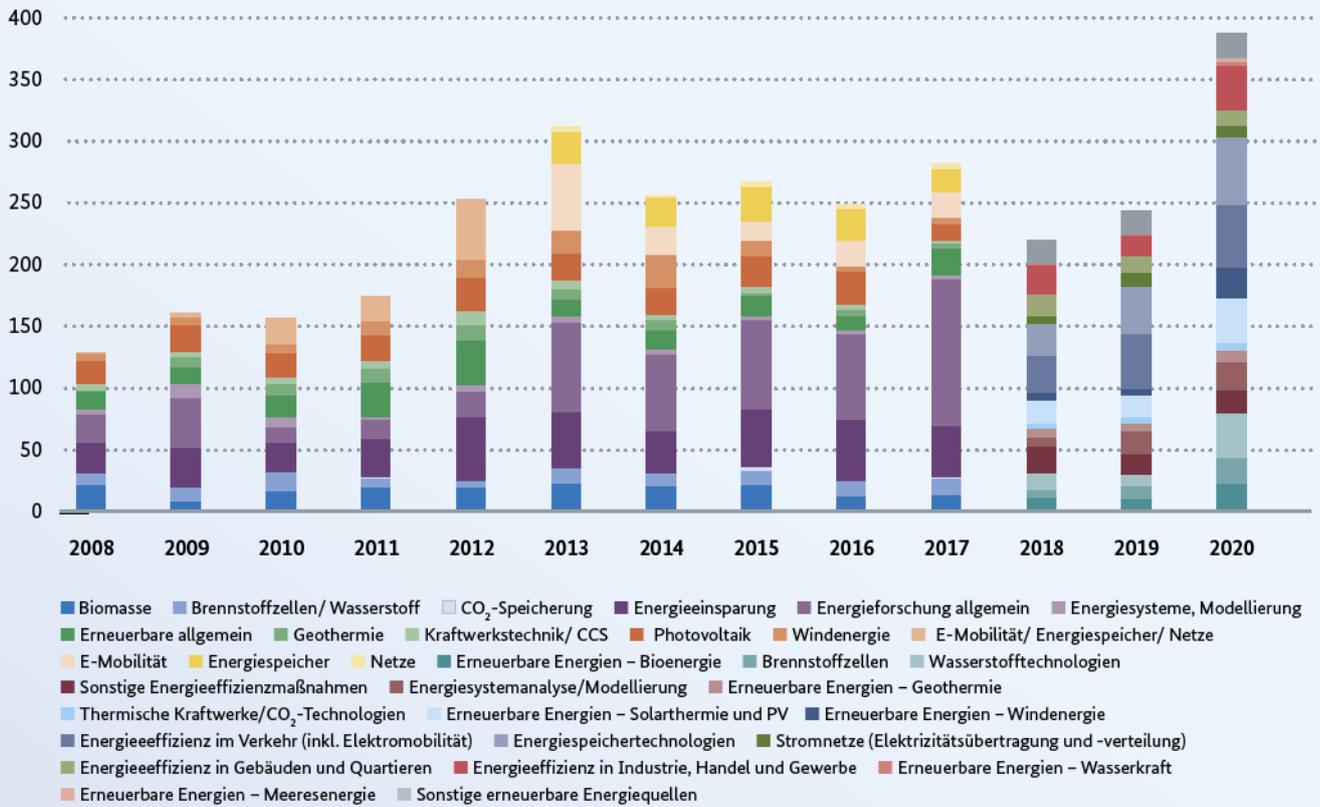


Abbildung 35: Aufwendungen der Länder für die nicht-nukleare Energieforschung nach Förderthemen 2008 – 2020 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 11 – 12, Seite 98/99)



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
Projektförderung	487,65	525,44	536,28	659,45	635,25	703,66	750,59	945,17
Strategische Förderformate						–	5,53	66,93
Energiewende in den Verbrauchssektoren	115,89	112,04	108,08	137,28	156,04	193,92	208,03	212,92
Energieerzeugung	198,95	209,86	191,67	244,49	212,36	255,36	252,60	288,39
Systemintegration: Netze, Speicher, Sektorkopplung	95,22	113,30	119,79	144,44	127,15	127,11	146,61	201,69
Systemübergreifende Forschungsthemen der Energiewende	34,29	44,49	71,01	86,12	92,22	78,31	91,61	123,42
Nukleare Sicherheitsforschung	43,29	45,74	45,73	47,13	47,48	48,98	46,21	51,82
Institutionelle Förderung (HGF)	331,60	348,69	362,81	379,63	393,75	410,29	415,78	314,42
Begleitende Maßnahmen	28,14	34,72	35,03	28,20	25,76	34,47	49,63	51,38
Gesamt	847,39	908,85	934,12	1.067,28	1.054,75	1.148,42	1.216,00	1.310,97

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	laufend in 2021	neu bewilligt in 2021	neu bewilligt in 2021
Reallabore der Energiewende	–	5,53	18,29	147	87	216,23
Energieoptimierte und klimaneutrale Gebäude	–	0,14	1,22	5	–	–
Energieoptimierte und klimaneutrale Quartiere	–	1,70	5,06	47	17	41,61
Versorgung mit Wärme und Kälte	–	0,06	0,80	17	12	21,31
Energiewende in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	–	–	–	3	3	37,13
Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe	–	1,01	1,22	5	–	–
Geothermie	–	0,35	1,66	7	–	–
Thermische Kraftwerke	–	2,17	2,72	2	–	–
Wasserstoffherzeugung	–	0,11	5,04	49	33	93,85
Systemische Ansätze	–	–	0,54	8	8	7,59
Digitalisierung in der Energiewende	–	–	0,04	4	14	14,74
Wasserstoff-Leitprojekte	–	–	48,64	326	328	688,48
Speicher und Transport / TransHyDE	–	–	10,71	105	105	134,76
Wasserstoffherzeugung / H ₂ Giga und H ₂ Mare	–	–	37,93	221	223	553,72
Gesamt	–	5,53	66,93	473	415	904,71

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

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €										Anzahl Projekte			Förder- summe in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	laufend in 2021	neu bewilligt in 2021	neu bewilligt in 2021	
Energiewende in Gebäuden und Quartieren	47,52	60,11	66,11	61,85	58,21	65,38	78,63	93,51	101,27	98,57	1.043	235	117,27	
Energieoptimierte und klimaneutrale Gebäude	25,83	31,82	36,55	35,64	32,00	36,57	39,78	50,24	47,86	44,90	539	102	31,12	
Energieoptimierte und klimaneutrale Quartiere	8,60	10,67	10,59	9,65	12,94	17,57	22,52	25,35	31,51	31,24	291	70	38,68	
Grundlagenforschung Energieoptimierte und klimaneutrale Quartiere	3,63	4,49	5,19	4,65	3,88	2,73	7,50	10,22	13,63	9,92	79	20	11,21	
Thermische Energiespeicher	2,38	4,15	6,51	7,33	5,75	4,84	5,33	4,65	4,52	4,19	48	16	9,87	
Versorgung mit Wärme und Kälte	7,08	8,99	7,27	4,59	3,64	3,67	3,51	3,06	3,74	7,15	83	24	11,61	
Grundlagenforschung Versorgung mit Wärme und Kälte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,17	3	3	14,78	
Sonstige	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Energiewende in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	31,58	39,69	37,17	37,39	36,00	57,12	60,92	66,20	64,88	73,49	720	184	93,68	
Abwärmenutzung	4,37	4,21	3,88	4,98	4,03	2,78	1,26	0,55	0,56	0,98	20	5	2,71	
Chemische Verfahrenstechnik	5,23	7,30	7,13	7,49	9,11	12,83	12,83	11,22	9,21	9,12	117	28	23,26	
Eisen, Stahl und Nichteisenmetalle	1,81	1,77	0,98	0,97	0,86	1,09	2,07	3,56	3,15	2,36	46	9	6,02	
Zirkuläres Wirtschaften	-	0,05	0,34	0,32	0,12	0,03	-	-	0,16	0,29	6	-	-	
Fertigungstechnik	10,93	15,93	17,13	15,82	11,09	14,82	17,49	23,19	24,80	24,75	265	65	26,57	
Hochtemperatur- supraleitung	2,81	3,10	2,37	0,53	0,62	1,18	1,15	1,07	0,70	2,15	9	-	-	
Industriemotoren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Digitalisierung in der Industrie	0,44	0,65	0,70	0,74	1,07	1,59	1,69	1,61	0,66	2,30	21	15	7,79	
Material- und Ressourceneffizienz	0,09	0,06	0,07	0,09	0,01	0,18	0,28	0,49	0,43	0,37	4	-	-	
Prozesswärme	2,02	3,41	3,29	4,14	5,65	8,15	8,58	9,45	9,36	10,51	90	31	15,71	
Wasserbehandlung	-	-	0,04	0,18	0,35	0,72	0,58	0,57	0,51	0,41	9	-	-	
Flexible Industrieprozesse	-	-	-	-	-	10,70	12,54	10,80	10,43	14,05	58	2	1,10	
Sonstige	3,89	3,22	1,24	2,12	3,07	3,03	2,44	3,67	4,93	6,19	75	29	10,53	
Energiewende im Verkehr	14,22	17,83	12,61	12,80	13,87	14,78	16,49	34,21	41,87	40,85	326	51	22,76	
Batterietechnik für mobile Anwendung	14,22	17,83	12,61	12,80	13,87	14,28	15,63	17,06	17,80	16,59	159	34	11,95	
Synthetische Kraftstoffe	-	-	-	-	-	0,50	0,86	13,51	16,19	16,29	111	11	7,49	
Grundlagenforschung Synthetische Kraftstoffe	-	-	-	-	-	-	-	3,64	7,44	6,49	38	-	-	
Ladeinfrastruktur und Systemintegration	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	1,48	18	6	3,32	
Sonstige	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Gesamt	93,33	117,63	115,89	112,04	108,08	137,28	156,04	193,92	208,03	212,92	2.089	470	233,71	

Tabelle 4 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Energieerzeugung“

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €										Anzahl Projekte		Förder- summe in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	laufend in 2021	neu bewilligt in 2021	neu bewilligt in 2021
Photovoltaik	66,74	62,73	56,83	67,41	59,78	81,90	78,24	98,69	86,19	88,39	487	105	64,23
PV-Technologien	10,11	9,88	7,22	5,64	2,65	2,75	5,24	11,75	12,40	16,40	73	19	11,60
Qualitätssicherung	3,49	2,80	2,65	3,07	3,79	4,60	3,65	3,97	3,83	5,24	55	30	12,22
Produktionstechnologien	31,33	32,49	28,77	36,05	36,10	55,93	58,11	58,86	56,81	50,05	250	36	22,35
Zirkuläres Wirtschaften	0,75	0,85	0,63	0,91	0,99	1,14	0,82	1,01	1,16	1,72	13	1	0,96
Systemfähigkeit	2,43	1,87	2,40	3,40	4,57	5,41	6,85	5,99	5,50	4,00	49	9	5,31
Grundlagenforschung Photovoltaik	15,21	14,49	14,83	11,59	6,17	3,51	1,33	2,69	2,27	4,39	6	1	4,49
Sonstige	3,41	0,34	0,34	6,75	5,51	8,56	2,24	14,41	4,23	6,60	41	9	7,30
Windenergie	38,24	52,57	52,88	52,85	49,68	75,11	59,73	72,95	76,06	82,87	472	84	43,90
Anlagenentwicklung	5,74	18,14	23,40	27,09	21,99	42,92	29,13	34,69	41,82	42,79	181	23	13,85
Logistik, Installation, Instandhaltung und Betrieb	11,83	7,38	5,25	5,18	7,38	11,00	8,34	8,30	7,83	9,96	104	25	9,99
Windenergie Offshore	8,30	16,09	14,34	9,19	10,45	11,56	12,03	15,88	17,61	18,67	90	18	13,60
Umweltaspekte der Windenergie	7,25	4,91	4,31	3,23	2,25	2,48	2,42	3,34	2,83	3,08	31	6	1,33
Windphysik und Meteorologie	0,21	1,78	2,34	3,63	3,03	3,06	2,33	2,96	3,70	6,18	46	8	4,56
Sonstige	4,91	4,27	3,24	4,53	4,58	4,08	5,49	7,79	2,26	2,18	20	4	0,57
Bioenergie	40,83	42,57	43,00	42,10	37,88	33,03	28,54	40,52	48,37	63,72	762	195	47,10
Erzeugung – Anbau	6,91	6,31	5,98	4,43	4,69	5,70	6,52	10,86	14,39	18,97	243	78	19,10
Erzeugung – Züchtung	4,43	5,25	4,77	4,92	4,49	4,58	4,20	4,44	4,78	4,35	57	17	4,51
Konversion – allgemein	–	–	–	0,53	5,22	2,73	4,46	5,03	4,64	3,76	64	12	2,30
Konversion – gasförmig	4,61	4,87	5,27	6,84	4,92	6,79	5,04	4,88	6,05	6,46	113	34	7,97
Konversion – flüssig	4,11	6,12	6,19	5,92	3,97	3,21	1,98	1,12	0,68	0,78	8	1	0,28
Konversion – fest	2,78	0,94	0,73	1,92	2,23	1,77	1,34	2,43	3,85	3,49	41	3	0,83
Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe	7,52	6,05	5,06	4,69	3,66	4,17	4,20	5,12	7,71	10,48	199	47	11,05
Grundlagenforschung Bioenergie	8,61	9,81	12,16	9,89	6,17	3,13	0,22	5,83	4,63	13,13	11	–	–
Querschnitt	1,86	3,22	2,85	2,97	2,53	0,94	0,59	0,80	1,65	2,29	26	3	1,05
Thermische Kraftwerke	19,68	29,38	29,39	32,22	29,44	34,14	29,05	28,30	25,72	29,77	360	74	39,12
Last- und brennstoffflexible Gas- und Dampfturbinen	11,00	21,01	20,12	20,82	18,42	22,87	18,01	17,74	16,22	17,41	210	33	18,71
Solarthermische Kraftwerke	4,82	5,72	6,23	8,01	7,21	6,20	6,13	6,75	8,19	9,19	111	27	11,43
Sonstige	3,87	2,66	3,04	3,39	3,81	5,07	4,90	3,80	1,31	3,17	39	14	8,98
Geothermie	21,42	17,61	15,64	13,61	12,89	18,15	15,38	13,19	14,01	22,71	111	25	19,47
Wasserkraft und Meeresenergie	0,98	1,25	1,21	1,68	2,01	2,15	1,40	1,71	2,26	0,93	8	–	–
Gesamt	187,89	206,10	198,95	209,86	191,67	244,49	212,36	255,36	252,60	288,39	2.200	483	213,83

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

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €										Anzahl Projekte		Förder-
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	laufend in 2021	neu bewilligt in 2021	neu bewilligt in 2021
Stromnetze	12,20	27,31	31,24	54,32	66,32	78,14	66,24	64,85	65,05	69,75	556	100	54,75
Versorgungssicherheit	1,04	2,32	2,23	7,50	12,75	13,10	13,51	11,02	12,11	10,52	78	14	8,23
Flexibilität im Stromnetz	6,67	7,75	5,88	7,21	6,60	6,30	7,13	7,14	10,71	13,88	118	9	2,43
Netzplanung und Betriebsführung	2,80	7,82	9,53	15,65	19,45	19,56	14,74	13,35	12,29	11,54	124	37	16,92
Technik für das Stromnetz	1,69	9,42	12,64	16,39	17,52	21,07	17,71	22,50	19,36	20,83	193	38	18,29
Grundlagenforschung Stromnetze	-	-	0,96	7,57	10,01	18,11	13,15	10,85	10,58	12,97	43	2	8,88
Sonstige	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energiespeicher	13,23	31,43	29,57	28,63	27,69	22,35	18,37	21,43	22,53	25,47	228	48	19,09
Elektrische Speicher	-	-	-	-	-	0,02	0,61	0,63	0,63	0,39	15	6	1,60
Elektrochemische Speicher	1,60	3,96	3,99	4,36	5,22	8,54	8,99	8,68	11,19	15,64	121	24	10,95
Strom-Wärme-Strom-Speicher	-	-	-	-	0,58	1,39	1,54	2,36	2,42	2,60	6	-	-
Mechanische Speicher	1,19	3,26	1,53	1,97	2,60	3,19	2,53	2,65	3,48	1,76	20	5	1,78
Grundlagenforschung Energiespeicher	10,20	19,37	17,21	15,61	10,79	3,60	1,17	3,77	2,30	1,56	21	-	-
Sonstige	0,25	4,84	6,84	6,70	8,50	5,59	3,54	3,34	2,52	3,53	45	13	4,77
Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien	20,33	30,85	34,41	30,35	25,77	43,95	42,53	40,82	59,02	106,47	396	223	220,99
Wasserstoffherzeugung	1,08	4,78	6,35	7,17	5,70	6,66	4,21	1,13	0,86	2,36	30	23	11,83
Wasserstoffspeicher und -transport	2,17	3,84	3,46	2,76	2,85	4,36	4,90	5,73	4,10	4,50	46	26	10,39
Brennstoffzellen	15,64	19,58	18,82	15,23	10,04	15,67	13,81	14,31	15,17	13,48	121	62	29,74
Systemische Ansätze	-	0,62	0,96	1,12	0,99	0,32	0,33	0,46	0,43	1,60	9	2	1,19
Power-to-X	1,45	0,96	0,40	0,39	0,19	0,62	1,06	1,33	1,35	1,58	13	3	1,38
Grundlagenforschung Sektorkopplung und Wasserstoff	-	1,08	3,04	2,10	4,63	15,53	17,36	17,78	35,99	80,12	145	91	160,58
Sonstige	-	-	1,39	1,58	1,37	0,79	0,85	0,08	1,13	2,83	32	16	5,89
Gesamt	45,76	89,60	95,22	113,30	119,79	144,44	127,15	127,11	146,61	201,69	1.180	371	294,83

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

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €										Anzahl Projekte		Förder-
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	laufend in 2021	neu bewilligt in 2021	neu bewilligt in 2021
Energiesystemanalyse	6,02	8,06	8,39	9,32	11,18	15,01	15,94	17,16	18,97	19,74	224	49	21,48
Digitalisierung in der Energiewende	-	-	-	-	-	-	-	-	2,68	5,06	44	-	-
Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	4	43	10,66
CO ₂ -Technologien	8,47	5,97	6,60	4,28	15,06	18,15	24,58	19,57	35,05	32,87	102	48	25,34
CO ₂ -Transport und -Lagerung	0,72	0,74	0,67	0,38	-	0,18	0,96	1,23	1,22	0,49	10	6	1,77
CO ₂ -Abtrennung	7,75	5,12	3,90	1,80	3,46	3,30	2,11	1,23	1,95	2,48	29	17	5,46
CO ₂ -Umwandlung und -Nutzung	-	0,11	0,27	1,30	2,64	2,83	4,61	3,04	6,15	3,35	28	20	7,84
Grundlagenforschung CO ₂ -Technologien	-	-	1,76	0,79	8,95	11,84	16,90	14,08	25,74	26,54	35	5	10,27
Programmkooperation Industrielle Gemeinschaftsforschung	-	-	-	-	0,05	2,52	4,22	5,47	4,90	5,71	47	8	3,90
Energiewende und Gesellschaft	-	1,18	3,25	3,95	2,64	10,02	9,93	10,15	6,37	12,28	107	41	8,93
Energiewende und Gesellschaft – angewandte Energieforschung	-	-	-	-	-	-	-	0,00	1,23	4,12	81	41	8,93
Energiewende und Gesellschaft – Grundlagenforschung	-	1,18	3,25	3,95	2,64	10,02	9,93	10,14	5,14	8,16	26	-	-
Materialforschung	-	-	0,72	10,41	27,87	26,68	18,21	10,30	2,90	3,96	7	-	-
Grundlagenforschung Energierrelevante Nutzung des Untergrundes	4,51	4,65	4,22	3,69	3,59	1,81	2,02	1,36	2,35	3,55	43	4	2,20
Technologieoffene Förderung mit internationalem Fokus	-	0,05	1,03	2,00	0,65	0,28	2,11	3,88	11,73	24,46	88	4	18,91
Sonstige Grundlagenforschung	20,95	16,99	10,07	10,84	9,96	11,64	15,22	10,42	6,64	15,70	18	8	10,59
Gesamt	39,95	36,90	34,29	44,49	71,01	86,12	92,22	78,31	91,61	123,42	684	205	102,01

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 ¹	Anzahl Projekte			Fördersumme in Mio. €
	2021	laufend in 2021	neu bewilligt in 2021	neu bewilligt in 2021
Reaktorsicherheitsforschung	22,39	153	38	27,97
Prüfung und Bewertung der Sicherheit von Komponenten und Strukturen	5,03	47	13	5,58
Nachweisverfahren zur Beherrschung von Transienten, Stör- und Unfällen	14,04	78	16	15,32
Wechselwirkung Mensch-Technik und probabilistische Sicherheitsanalysen	2,01	16	1	0,99
Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen)	1,32	12	8	6,07
Forschung zur verlängerten Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle	5,18	46	8	2,80
Verlängerte Zwischenlagerung	1,52	11	1	0,46
Abfallbehandlungs- und Konditionierungsoptionen für die Endlagerung	–	–	–	–
Behandlungs- und Entsorgungsmethoden	0,02	2	3	0,34
Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen)	3,64	33	4	1,99
Endlagerforschung	12,44	98	20	8,46
Standortauswahl	0,60	6	2	1,60
Sicherheits- und Endlagerkonzepte; Endlagertechnik und (geo-)technische Barrieren	6,49	46	15	4,10
Sicherheitsnachweis	5,36	46	3	2,76
Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen)	–	–	–	–
Forschung zu Querschnittsfragen	3,12	16	1	0,34
Wissens- und Kompetenzmanagement	1,05	2	–	–
Sozio-technische Fragestellungen	1,82	12	–	–
Kernmaterialüberwachung (Safeguards)	0,25	2	1	0,34
Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen)	–	–	–	–
Strahlenforschung (BMBF)	8,69	56	5	1,29
Gesamt	51,82	369	72	40,85

1 Neuausrichtung der Förderung ab 2021

Tabelle 8 | Institutionelle Förderung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €							
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PoF III	331,60	348,69	362,81	379,63	393,75	410,29	415,78	
Energieeffizienz, Materialien und Ressourcen	60,49	64,12	68,43	69,45	73,00	76,67	78,60	
Erneuerbare Energien	47,84	51,91	54,37	56,73	59,09	61,51	62,94	
Kernfusion (inkl. Wendelstein W 7-X)	123,51	123,51	123,51	123,51	123,51	126,00	78,23	
Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung	34,62	35,76	37,27	38,84	40,47	42,16	19,63	
Technologie, Innovation und Gesellschaft	7,11	7,65	7,95	8,25	8,54	8,84	9,00	
Speicher und vernetzte Infrastrukturen	49,93	57,12	60,47	69,61	72,86	76,21	43,32	
Future Information Technology	8,11	8,62	10,81	13,24	16,28	18,90	124,07	
PoF IV								312,42
Energiesystemdesign								34,60
Materialien und Technologien für die Energiewende								208,09
Fusion								31,28
Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung (NUSAFE II)								38,46
Gesamt¹	331,60	348,69	362,81	379,63	393,75	410,29	415,78	314,42

1 Bemerkung

Die Gesamtsumme für 2021 entspricht nicht der Summe der Einzelpositionen. Die Gesamtsumme enthält 2 Mio. Euro zusätzlich für einen themenübergreifenden 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
Projektförderung und begleitende Maßnahmen				800,21	996,55
0901 / 68601 ³	BMWK	Innovation, Technologie und Neue Mobilität	Industrieforschung für Unternehmen		3,85
0903 / 68301	BMWK	Energie und Nachhaltigkeit	Energieforschung	534,50	572,26
0903 / 68602	BMUV	Energie und Nachhaltigkeit	Sicherheitsforschung für kerntechnische Anlagen	38,33	40,33
0903 / 68608 ³	BMWK	Energie und Nachhaltigkeit	Reallabore der Energiewende		18,98
1005 / 68611	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	37,83	42,11
1005 / 89311			Zuschüsse zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe (Investitionen)		
3004 / 68541	BMBF	Forschung für Innovationen, Hightech-Strategie	Energietechnologien und effiziente Energienutzung, Grüner Wasserstoff – Forschungs- und Entwicklungsvorhaben	117,77	185,84
3004 / 68541	BMBF	Forschung für Innovationen, Hightech-Strategie	Energietechnologien und effiziente Energienutzung, Grüner Wasserstoff – Forschungs- und Entwicklungsvorhaben	10,68	14,32
3004 / 68542 ³	BMBF	Forschung für Innovationen, Hightech-Strategie	Umwelttechnologien, Ressourcen und Geoforschung		3,55
6092 / 68304	BMWK	Energie- und Klimafonds	Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Elektromobilität	14,64	15,37
6092 / 68502	BMWK	Energie- und Klimafonds	Anwendungsorientierte Grundlagenforschung Grüner Wasserstoff	29,42	99,79
6092 / 68616 ³	BMWK	Energie- und Klimafonds	CO ₂ -Vermeidung und -Nutzung in Grundstoffindustrien		0,11
6092 / 68626 ⁴	BMWK	Energie- und Klimafonds	Reallabore der Energiewende ⁵	17,04	
6092 / 89203 ³	BMWK	Energie- und Klimafonds	Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie		0,01
6092 / 89304 ³	BMWK	Energie- und Klimafonds	Industrielle Fertigung für mobile und stationäre Energiespeicher		–
Institutionelle Förderung (HGF)				415,78	314,42
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
3004 / 68570 & 3004 / 89470	BMBF	Forschung für Innovationen, Hightech-Strategie	HGF-Zentren – Betrieb & HGF-Zentren – Investitionen	384,79	265,88
Gesamt				1.216,00	1.310,97

1 Bundeshaushalt 2021 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 68301 verschoben.

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

Ressort ¹ Thema	Mittelabfluss in Mio. €	
	2020	2021
BMWK	597,18	659,14
Projektförderung und begleitende Maßnahmen	566,19	610,59
Institutionelle Förderung (DLR)	30,99	48,54
BMEL	37,83	42,11
Projektförderung und begleitende Maßnahmen	37,83	42,11
BMUV	38,33	40,33
Projektförderung und begleitende Maßnahmen	38,33	40,33
BMBF	542,66	569,39
Projektförderung und begleitende Maßnahmen	157,87	303,51
Institutionelle Förderung (HGF, ohne DLR)	384,79	265,88
Gesamt	1.216,00	1.310,97

1 Zuständigkeit entsprechend dem Organisationserlass des Bundeskanzlers vom 08.12.2021

6.2 Fördermittel für Energieforschung der Länder

Tabelle 10 | Aufwendungen der Länder für nicht-nukleare Energieforschung nach Ländern
2008 – 2020 in Mio. Euro

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

Tabelle 11 | Aufwendungen für die nicht-nukleare Energieforschung nach Förderthemen
2008 – 2017¹ in Mio. Euro

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

1 Ab 2018 mit anderer Klassifikation fortgeführt, siehe Tabelle 12

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

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

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

