

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Bundesbericht Energieforschung 2021

Forschungsförderung für die Energiewende

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Forschungsförderung für die Energiewende	7
1.1 Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung	8
1.1.1 Energieforschung im Zeichen der COVID-19-Pandemie	8
1.1.2 Mittelentwicklung	8
1.1.3 Evaluationen und Erfolgskontrollen	9
1.2 Strukturen der Energieforschungspolitik	12
1.2.1 Ressortaufgaben	12
1.2.2 Koordination der Energie Forschungsförderung	12
1.2.3 Nationale Vernetzung	12
1.2.4 Reallabore der Energiewende	15
1.2.5 Forschung für die Innovationssprünge von morgen	17
1.2.6 Transparenz und Kommunikation	17
2. Projektförderung	19
2.1 Energiewende in den Verbrauchssektoren	20
2.1.1 Energie in Gebäuden und Quartieren	20
2.1.2 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen.....	24
2.1.3 Schnittstellen der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr	26

	Seite
2.2 Energieerzeugung	30
2.2.1 Photovoltaik	30
2.2.2 Windenergie	32
2.2.3 Bioenergie	35
2.2.4 Geothermie	38
2.2.5 Wasserkraft und Meeresenergie	40
2.2.6 Thermische Kraftwerke	40
2.3 Systemintegration	42
2.3.1 Stromnetze	42
2.3.2 Stromspeicher	44
2.3.3 Sektorkopplung und Wasserstoff	47
2.4 Systemübergreifende Forschungsthemen	51
2.4.1 Energiesystemanalyse	51
2.4.2 Digitalisierung der Energiewende	53
2.4.3 Ressourceneffizienz für die Energiewende	54
2.4.4 CO ₂ -Technologien (inkl. Carbon2Chem)	55
2.4.5 Energiewende und Gesellschaft	57
2.4.6 Materialforschung für die Energiewende	60
2.5 Nukleare Sicherheitsforschung	61
2.5.1 Reaktorsicherheitsforschung	61
2.5.2 Entsorgungs- und Endlagerforschung	63
2.5.3 Strahlenforschung	65
3. Institutionelle Energieforschung	67
3.1 Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft	68
3.2 Fusionsforschung	71
4. Europäische und internationale Zusammenarbeit	73
4.1 Europäische Vernetzung in der Energieforschung	74
4.2 Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union (Horizon 2020)	75
4.3 Internationale Zusammenarbeit	77
4.4 Bilaterale Forschungskooperationen	78

	Seite
5. Weitere energierelevante Förderaktivitäten	80
5.1 Aktivitäten der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms	82
5.2 Forschungsförderung der Länder	84
6. Tabellen	86
6.1 Fördermittel im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung	86
6.2 Fördermittel für Energieforschung der Länder	92

Bildnachweis

acatech / Stemmler / S. 52
Amran Al-Ashouri / HZB / S. 31
Andre Künzelmann / UFZ / S. 66/67, 70
BMBF / Hans-Joachim Rickel / S. 56
Dirk Mahler / Fraunhofer ISE / S. 18/19
DLR / S. 41
Evonik Industries AG / S. 49
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE / S. 32
Freiberger Compound Materials GmbH / S. 26
Institut für Solarenergieforschung Hameln / S. 23
Mark Bittner / TU Braunschweig / S. 34
Moritz Leg / S. 57
Oez/Oez / S. 60
Open District Hub e. V. / S. 22
PD Dr. Satyanarayana Narra, Universität Rostock / S. 37
Projektträger Jülich / S. 15
Raffinerie Heide / S. 16
S. Schefer, swisstopo / S. 64
Stiftungsprofessur für Baumaschinen, Technische Universität Dresden / S. 45
Susan Yin / Unsplash / S. 58
SWM / S. 39
Technische Universität Clausthal,
Forschungszentrum Energiespeichertechnologien / S. 46
Thomas Reimer / S. 50
Ulrich Pucknat / Pucknat Pictures S. 29
Ulrike Schümann / S. 36
Volkswagen Aktiengesellschaft / S. 29
WZR ceramic solutions GmbH / Titel, S. 3
AdobeStock
donvictori0 / S. 28
fineart-collection / S. 38
industrieblick / S. 25
keBu.Medien / S. 54
lovelyday12 / S. 6/7
magele-picture / S. 59
malp / S. 49
Natascha / S. 35
peterschreiber.media / S. 43
Sergey Ryzhov / S. 62
solvod / S. 52
Tarnero / S. 80/81
Westend61 / S. 72/73
zhu difeng / S. 23

Bundesbericht Energieforschung 2021
Forschungsförderung für die Energiewende



A glowing lightbulb is positioned on the left side of the frame, resting on a mound of dark, rich soil. The background is a soft, out-of-focus green, suggesting a natural or outdoor setting. The lightbulb is illuminated from within, casting a warm, golden glow. The overall composition is clean and modern, with a focus on natural elements and innovation.

1. Forschungs- förderung für die Energiewende

1.1 Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

1.1.1 Energieforschung im Zeichen der COVID-19-Pandemie

Das Jahr 2020 stand im Zeichen der COVID-19-Pandemie. Die Beschränkungen, die zur Eindämmung der Pandemie notwendig waren, machten es teilweise notwendig, Forschungsarbeiten neu zu planen und das Vorgehen anzupassen. Insgesamt ist es mit Flexibilität und Kreativität gelungen, auch in diesem ungewöhnlichen Jahr die Forschung für die Energiewende weiter voranzubringen. Dabei konnten Ergebnisse der Energieforschung auch im Kontext der COVID-19-Pandemie nutzbringend verwertet werden. Beispielsweise helfen Erkenntnisse aus Vorhaben zur hocheffizienten Wärmedämmung und thermischen Speichern, den Transport von Impfstoffen bei sehr tiefen Temperaturen zu organisieren. Zudem konnten Energieforschungsinfrastrukturen zur Lüftungstechnik für die Forschung zu COVID-19 eingesetzt werden. Dies unterstreicht den Wert von Forschung und Wissenschaft für die Gesellschaft, deren Ergebnisse und Anwendungsfälle oft im Vorhinein nicht absehbar sind.

Ein breites Spektrum an Lösungsoptionen verfügbar zu machen, ist auch mit Blick auf den Klimawandel essenziell und Ziel der Forschungsförderung im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms. Denn trotz des gegenwärtigen Fokus auf die COVID-19-Pandemie galt und gilt, die zentralen, langfristigen Ziele der Forschung für die Energiewende nicht aus den Augen zu verlieren: das klimaneutrale Energiesystem der Zukunft vorzubereiten und dabei eine verlässliche und bezahlbare Energieversorgung sicherzustellen. Diese Herausforderung zu meistern ist gerade für die Bundesrepublik Deutschland als Industriestandort von entscheidender Bedeutung für langfristigen wirtschaftlichen Fortschritt und gesellschaftlichen Wohlstand.

Die Bundesregierung fördert bereits seit den 1970er Jahren mit ihren fortlaufenden Energieforschungsprogrammen das Entwickeln neuer Technologien und Anwendungen für eine moderne Energieversorgung. Diese Förderung hat früh auch erneuerbare Energietechniken miteingeschlossen und die Basis für deren Erfolg gelegt. Seit 2018 läuft das nunmehr 7. Energieforschungsprogramm, das umfassend auf die Förderung von technischen und nicht-technischen Innovationen für die Energiewende ausgerichtet ist. Das größte Augenmerk liegt dabei auf dem beschleunigten Transfer von Innovationen aus den Laboren, Testräumen und Köpfen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in die energiewirtschaftliche Praxis und das gesellschaftliche Leben.

Die Verabschiedung der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) im Juni 2020 verleiht der sektorübergreifenden Energiewende einen weiteren Schub. Die Forschung und Entwicklung rund um Wasserstoff (H₂) als Energieträger trägt maßgeblich dazu bei, die ambitionierten Ziele der NWS zu erreichen. Erste Maßnahmen der Energieforschung zur Umsetzung der NWS sind bereits im Jahr 2020 gestartet.

1.1.2 Mittelentwicklung

Das 7. Energieforschungsprogramm unterstreicht die hohe Bedeutung von Forschung und Entwicklung für den Erfolg der Energiewende. Durch öffentliche Förderung unterstützt die Bundesregierung die umfangreichen Forschungsaktivitäten von Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Hochschulen und weiteren Organisationen in ihren Anstrengungen, zum Gelingen der Energiewende beizutragen. Zugleich unterstreicht die Struktur der Fördermittelvergabe, dass Forschung, Entwicklung und Demonstration von Energie- und Effizienztechnologien vornehmlich Aufgabe der Wirtschaft sind.

Im Jahr 2020 hat der Bund 1,216 Milliarden Euro in die Energieforschung investiert. Dies ist ein Anstieg von rund sechs Prozent im Vergleich zum Vorjahr.

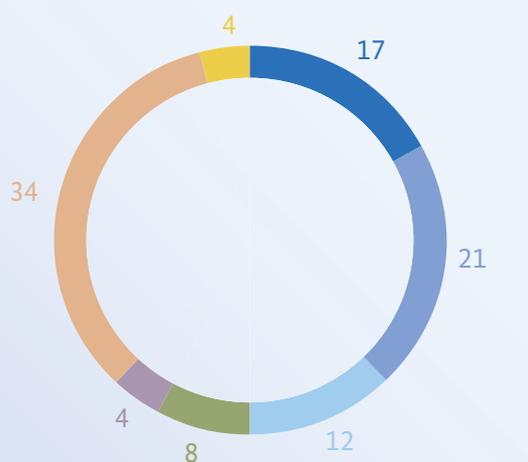
750,62 Millionen Euro sind dabei auf die Projektförderung entfallen. Insgesamt haben die Bundesministerien im Jahr 2020 5.980 laufende Projekte aus Steuermitteln unterstützt und 1.590 Vorhaben neu bewilligt. Im Bereich der nicht-nuklearen Energieforschung tragen Unternehmen mit Eigenanteilen von insgesamt 303,6 Millionen Euro zur Finanzierung von Forschungsprojekten bei. Weitere 415,78 Millionen Euro wurden im Rahmen der institutionellen Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft (HGF) für den Forschungsbereich Energie der HGF aufgewandt.

1.1.3 Evaluationen und Erfolgskontrollen

Evaluationen und Erfolgskontrollen sind wertvolle Instrumente, um den effizienten und wirksamen Einsatz von Steuergeldern für Fördermaßnahmen zu überprüfen. Außerdem lassen sich dadurch Rückschlüsse für das Ausgestalten künftiger Maßnahmen ziehen, sei es hinsichtlich der finanziellen, administrativen, strategischen oder inhaltlichen Ausrichtung. Die Bundesregierung ist nach der Bundeshaushaltsordnung verpflichtet, Erfolgskontrollen zu allen umgesetzten Maßnahmen durchzuführen. Dies wird jeweils durch die Ministerien selbst übernommen. Evaluationen unterstützen die Erfolgskontrollen der Bundesregierung und werden durch externe Dritte durchgeführt.

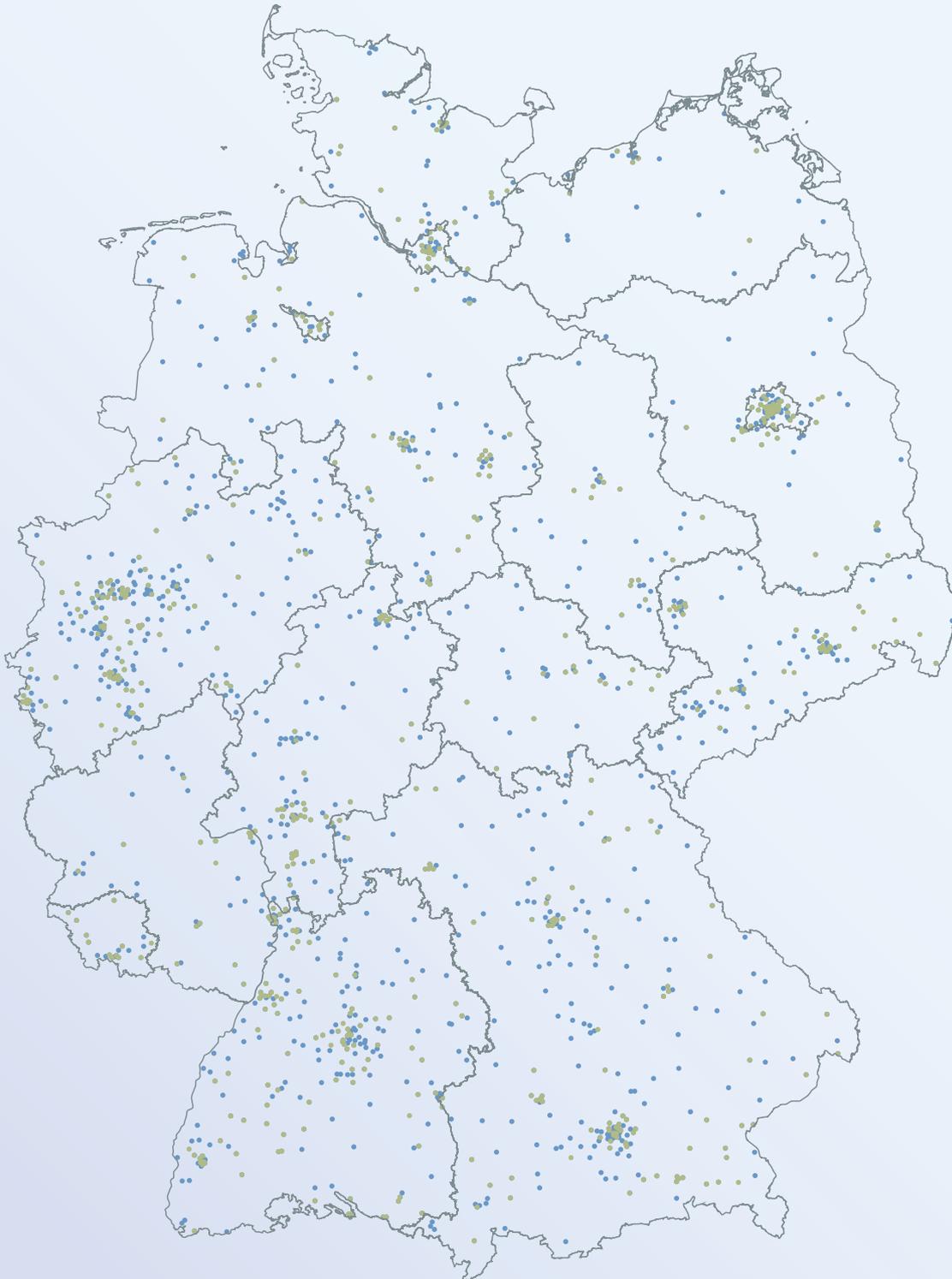
Für das 7. Energieforschungsprogramm wurde 2020 eine begleitende Evaluation zur Förderung der angewandten Energieforschung nach den beihilferechtlichen Vorschriften vorbereitet. Diese soll 2021 starten und die Fördermaßnahmen des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gemäß der Förderbekanntmachung „Angewandte nicht-nukleare Forschungsförderung im 7. Energieforschungsprogramm ‚Innovationen für die Energiewende‘“ sowie die Förderrichtlinie „Reallabore der Energiewende“ betrachten. Die begleitende Evaluation soll die Wirksamkeit der Förderformate in Bezug auf die Ziele des 7. Energieforschungsprogramms verifizieren. Das schließt auch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit ein. Darüber hinaus werden die Effekte der Förderung auf die verschiedenen Zielgruppen untersucht.

Abbildung 1: Übersicht der Fördermittel 2020 im 7. Energieforschungsprogramm in Prozent (Daten siehe Tabelle 1, Seite 86)



- Projektförderung: Energiewende in den Verbrauchssektoren
- Projektförderung: Energieerzeugung
- Projektförderung: Systemintegration: Netze, Speicher, Sektorkopplung
- Projektförderung: Systemübergreifende Forschungsthemen der Energiewende
- Projektförderung: Nukleare Sicherheitsforschung
- Institutionelle Förderung (Helmholtz-Gemeinschaft)
- Begleitende Maßnahmen

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



Quelle: GeoBasis-DE/BKG 2020 (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

**1,216
Mrd. Euro**



Gesamtfördermittel 2020
im 7. Energieforschungsprogramm
(Vorjahr: 1,148 Mrd. Euro)

2020 hat der Bund

1.590 Projekte

neu bewilligt
(Vorjahr: 1.662)



2020 hat die Bundesregierung
im 7. Energieforschungsprogramm

5.980

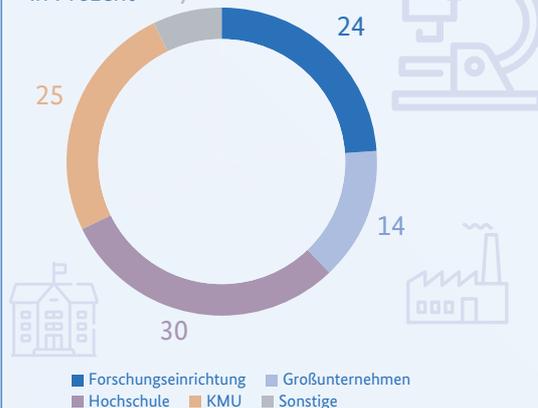
Projekte gefördert (Vorjahr: 5.903)

303,6 Mio. Euro

Eigenanteil von Unternehmen
an neu bewilligten Forschungs-
und Entwicklungsprojekten
im Jahr 2020 (nicht-nukleare
Energieforschung)



Zuwendungsempfänger
neu bewilligter Vorhaben 2020
in Prozent



Mittelabfluss in Mio. €



44 Prozent

Fördermittelanstieg im
Vergleich zu 2014 und 6 Prozent
Fördermittelanstieg im Vergleich zu 2019



122,5 Mio. Euro

Fördermittel für KMU für 2020
neu bewilligte Forschungsprojekte
der nicht-nuklearen Energieforschung
(nach deutscher KMU-Definition)

1.2 Strukturen der Energieforschungspolitik

1.2.1 Ressortaufgaben

Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung wird von den Bundesministerien für Wirtschaft und Energie (BMWi), Bildung und Forschung (BMBF) sowie Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) verantwortet. Das BMWi ist dabei für die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik zuständig und vertritt die Bundesrepublik Deutschland in europäischen und internationalen Gremien zu diesem Politikfeld. Das ambitionierte Programm fußt auf einer ressortübergreifenden, themenorientierten Struktur und stärkt das Nutzen von Synergien in themenorientierten Kooperationen. Es ist unterteilt in Projektförderung und institutionelle Förderung.

Die Arbeitsteilung der Projektförderung orientiert sich am technologischen Reifegrad, dem Technology Readiness Level (TRL), der zu erforschenden Technologien und Anwendungen. Dieser bewertet den wissenschaftlich-technischen Status einer Technik auf einer Skala von 1 bis 9. Das BMBF fördert Projekte der anwendungsorientierten Grundlagenforschung mit einem TRL von 1 bis 3, die die Basis für zukünftige Innovationen legen. Zudem unterstützt es mit einer durch den Projektträger Jülich bereitgestellten Intranet-Plattform den wissenschaftlichen Nachwuchs und den akademischen Austausch und Wissenschaftskooperationen auf EU- und internationaler Ebene. Das BMWi verantwortet die Förderung der anwendungsnahen Forschung und Entwicklung sowie der Reallabore der Energiewende (TRL 3 bis 9) und hat die Projektförderung multilateraler Forschungskooperationen auf EU- und internationaler Ebene übernommen. Das BMEL fördert anwendungsnahe Forschungsarbeiten zur energetischen Biomassennutzung.

Im Bereich der institutionellen Förderung verantworten das BMBF und das BMWi gemeinsam die strategische Ausrichtung des Forschungsbereichs Energie der HGF. Das BMWi ist für die institutio-

nelle Förderung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) zuständig, das BMBF ist für die institutionelle Förderung der weiteren beteiligten Helmholtz-Zentren verantwortlich.

1.2.2 Koordination der Energieforschungsförderung

Die Energiewende ist eine große gesamtgesellschaftliche Aufgabe, für deren Erfolg das Zusammenwirken aller Maßnahmen und Instrumente entscheidend ist. Aus diesem Grund kommt dem engen Austausch mit jenen Bundesressorts, die stark energieabhängige Aufgabenbereiche verantworten, eine besondere Bedeutung zu. Hierzu zählt beispielsweise das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) mit den dort angesiedelten energieabhängigen Themen Mobilität und Verkehr oder auch die Zusammenarbeit mit dem für Klimaschutz zuständigen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Auch über die Bundesebene hinaus ist ein enger Austausch unverzichtbar, gerade mit den Ländern und Kommunen, aber auch mit der Energiewirtschaft, Verbänden und gesellschaftlichen Vertretungen.

1.2.3 Nationale Vernetzung

Dialog, Austausch und Vernetzung sind insbesondere für die Energiewende in ihrer großen Komplexität unabdingbar, um die vielen Elemente, Entwicklungspfade und Dynamiken dieses gesellschaftlichen Großprojekts zusammenzuführen.

Energiewende-Plattform Forschung und Innovation (FuI-Plattform)

Im Bereich der Energieforschung hat das BMWi mit der Energiewende-Plattform Forschung und Innovation (FuI-Plattform) ein Forum für den Dialog zwischen Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und der Zivilgesellschaft geschaffen. Die Plattform ermöglicht den Austausch zu aktuellen Entwicklungen in der Energieforschung und das Diskutieren neuer Ansätze für Zukunftsstrategien sowie die

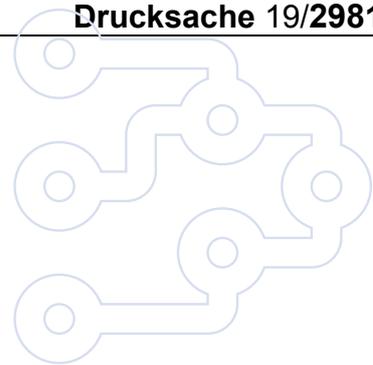
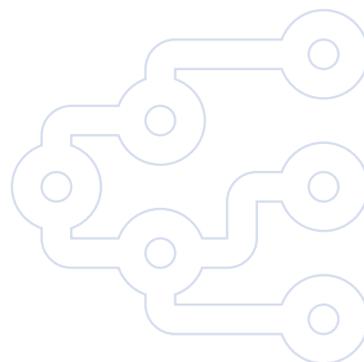
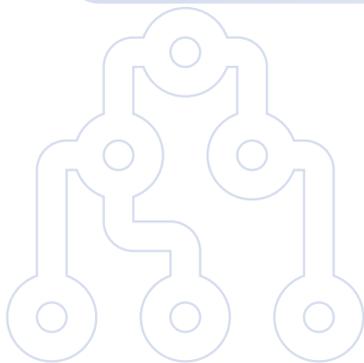
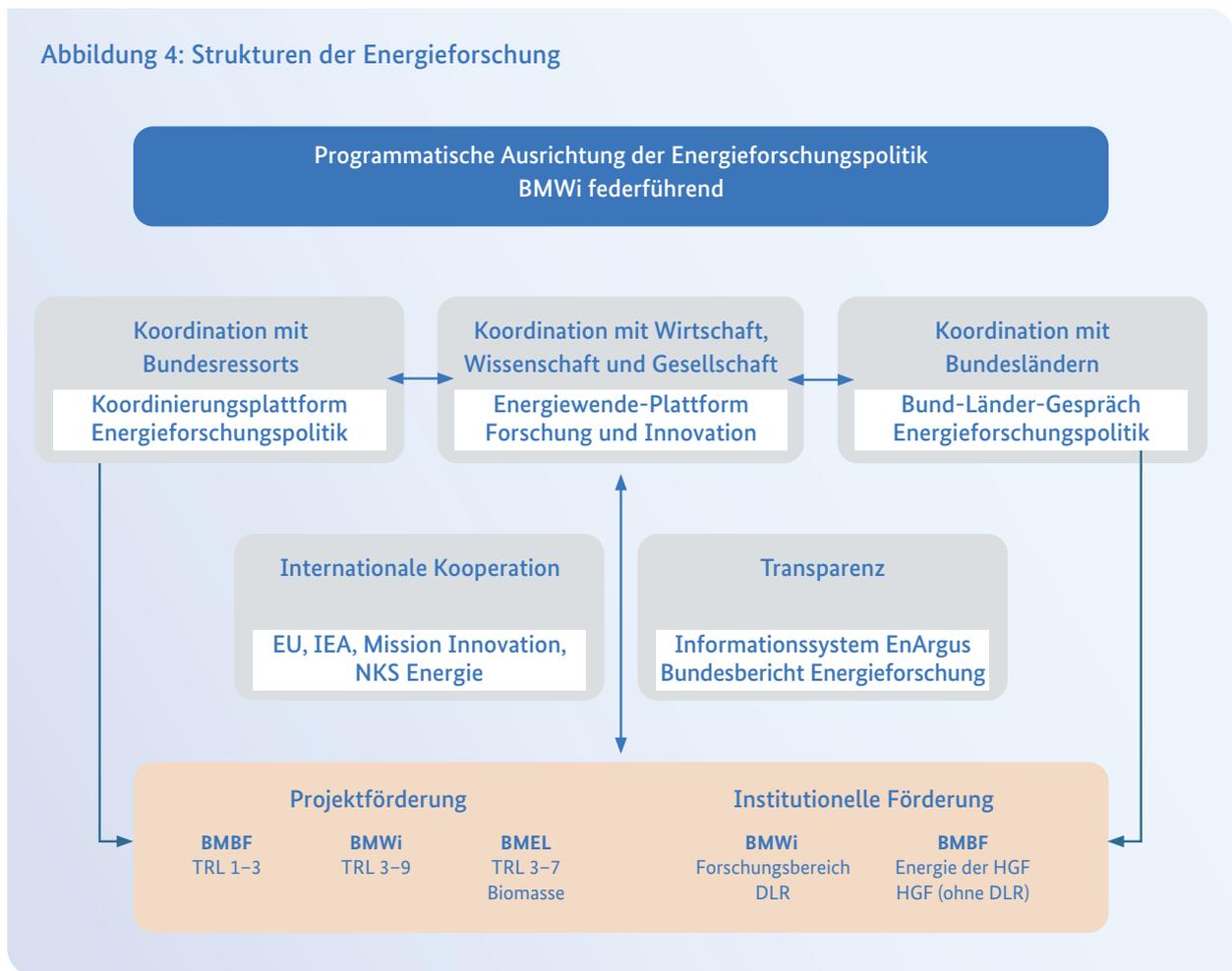


Abbildung 4: Strukturen der Energieforschung



Verzahnung von Forschung und energiewirtschaftlicher Praxis. Die Mitglieder kommen in der Regel einmal im Jahr zu einer Jahressitzung zusammen. Im Februar 2020 hat die achte Sitzung stattgefunden. Die FuI-Plattform bildet zudem das Dach für die Forschungsnetzwerke Energie, bündelt und koordiniert sie. Neben der FuI-Plattform tauscht sich das BMWi als federführendes Ressort für die Energiewende zudem in regelmäßigen Bund-Länder-Gesprächen mit Vertreterinnen und Vertretern der 16 Landesregierungen zu Fragestellungen der Energieforschung aus.

Forschungsnetzwerke Energie

Die Forschungsnetzwerke Energie repräsentieren die große Bandbreite der Energieforschung in Deutschland und haben sich als dialogorientierte Foren für den Austausch zwischen Forschung, Politik und Industrie etabliert. Als wichtige Schnittstelle zwischen Forschung, Praxis und Politik werden sie vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Die nunmehr neun Netzwerke widmen sich den Schwerpunktthemen Bioenergie, Gebäude und Quartiere, Energiesystemanalyse, erneuerbare Energien, flexible Energieumwandlung, Industrie und Gewerbe, Stromnetze, Start-ups und Wasserstoff. Gemeinsam erarbeiten die Mitglieder Ideen, um den Transfer von Forschungsergebnissen in die energiewirtschaftliche Praxis zu unterstützen. Die Philosophie hinter den Netzwerken ist ein selbstorganisierter Austausch in Form gemeinsamer Veranstaltungen, Webinare, Arbeitsgruppen und Meinungsabfragen. Zudem bieten sie die Möglichkeit, an energiepolitischen Fragestellungen und deren Lösung zu partizipieren.

Im September 2020 hat das jüngste Forschungsnetzwerk seine Arbeit aufgenommen und widmet sich Wasserstofftechnologien. Mit einem breit angelegten Themenansatz unterstützt das Forschungsnetzwerk die Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung. Die über 1.000 Mitglieder des Netzwerks haben sich im Herbst 2020 in

den Konsultationsprozess zur Vorbereitung eines Förderaufrufs des BMWi zu Wasserstofftechnologien eingebracht, der im Dezember 2020 durch das Ministerium veröffentlicht wurde.

Darüber hinaus gab es auch in den bereits etablierten Forschungsnetzwerken Energie im Jahr 2020 viele Aktivitäten in den verschiedenen Arbeitsgruppen. Zunehmend finden diese auch netzwerkübergreifend statt und fördern somit den sektoren- und technologieübergreifenden Dialog als zentralen Bestandteil einer vernetzten Energieforschung. So haben die Netzwerke zu Energiewendebauen und Bioenergie im Dezember 2020 beispielsweise eine gemeinsame digitale Fachkonferenz zur systemischen Integration der Bioenergie und weiterer erneuerbarer Energien in Gebäuden und Quartieren durchgeführt. Bedingt durch die COVID-19-Pandemie war dieser Austausch vornehmlich in den digitalen Raum verlagert, dennoch konnten auf diese Weise die Mitglieder weiterhin ihre Zusammenarbeit vertiefen, nicht zuletzt durch eine durch den Projektträger Jülich bereitgestellte Intranet-Plattform.

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. In 2020 wurden so Stellungnahmen zur Energiewende in Europa, zu zentralen und dezentralen Elementen im Energiesystem, zur Bepreisung von Energieträgern und zu einem effizienten und effektiven Netzengpassmanagement erarbeitet und zur Diskussion gestellt.

1.2.4 Reallabore der Energiewende

Reallabore nehmen als Testräume für neue Entwicklungen und Technologien am Innovationsstandort Deutschland eine immer wichtigere Rolle ein – dies gilt auch und gerade für den Umbau der Energieversorgung. Mit den Reallaboren der Energiewende hat das BMWi daher im 7. Energieforschungsprogramm ein starkes Förderinstrument verankert, um Innovationen bei ihrem Sprung in das reale Leben zu unterstützen. Sie schließen die Lücke zwischen dem Dreiklang aus Grundlagen- und angewandter Forschung und der energiewirtschaftlichen Praxis. Nach dem Motto, raus aus den Laboren und Forschungsumgebungen – rein in die Praxis. Nur wenn neuen Technologien und Systemen dieser Sprung gelingt, können sie schlussendlich ihren Beitrag für das Gelingen der Energiewende leisten. Die Reallabore bilden hierfür innerhalb eines abgesteckten Rahmens die Blaupausen.

Das Jahr 2020 hat den Startschuss für gleich vier Reallabore der Energiewende gesetzt. Bereits zu Beginn des Jahres haben im Januar die Arbeiten zu SmartQuart begonnen, das im Dezember 2019 als

erstes Reallabor durch das BMWi bewilligt wurde. Es beschäftigt sich mit smarten, energieoptimierten Quartieren und will in drei ausgewählten Modellregionen eine klimaneutrale Energieversorgung erreichen. Das im August 2020 gestartete Reallabor IW3 – Integrierte WärmeWende Wilhelmsburg will zeigen, dass eine verlässliche und bezahlbare Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energien möglich ist. Das Reallabor WESTKÜSTE100 (siehe Projektsteckbrief, Seite 16) widmet sich seit August 2020 dem Anliegen, industrielle Prozesse von Unternehmen mithilfe von Wasserstoff aus Windenergieanlagen umweltfreundlicher zu machen. Das Reallabor TransUrbanNRW befasst sich schließlich mit dem Strukturwandel in den Kohleregionen in Nordrhein-Westfalen. Die Partner wollen in vier Stadtquartieren die klassische, teilweise auf Kohle basierende Fernwärmeversorgung langfristig durch eine CO₂-arme Wärme- und Kälteversorgung ersetzen.

Im Frühjahr 2020 hat das BMWi einen Ideenwettbewerb für die wissenschaftliche Transferforschung zu den Reallaboren mit dem Fokus Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien ausgerufen. Ziel ist die übergreifende Ergebnissynthese, dabei liegt der



PROJEKTSTECKBRIEF

WESTKÜSTE100 – *Supply-Chain-orientierte Energiewende trifft Dekarbonisierung der Industrie*

WESTKÜSTE100 ist ein Reallabor der Energiewende des BMWi. Mit dem Reallabor und weiteren Vorhaben der Projektinitiative ENTREE100 entsteht eine Blaupause für einen klimafreundlichen Wirtschaftsstandort und eine integrierte Energiewende. WESTKÜSTE100 betrachtet neben der branchenübergreifenden Sektorkopplung auch die industrielle Dekarbonisierung. Das Team will eine regionale Wasserstoffwirtschaft im industriellen Maßstab abbilden und skalieren und hat dafür die Westküste Schleswig-Holsteins ausgewählt. Die Region hat viele Windenergieanlagen und bietet geeignete geologische Speicheroptionen. WESTKÜSTE100 will grünen Wasserstoff mithilfe von Windstrom erzeugen und damit industrielle Prozesse lokaler Unternehmen umweltfreundlicher machen. Hierzu installiert der Verbund eine 30-Megawatt-Elektrolyseanlage und will aus Betrieb, Wartung, Steuerung und Netzdienlichkeit wertvolle Erkenntnisse für den nächsten Skalierungsschritt ableiten. Hinzu kommt ein Modellnetz, um den Wasserstoff von einem Zwischenspeicher über eine Wasserstoff-Pipeline zu einem Autohof und den Stadtwerken Heide zu transportieren. Dort wird der Wasserstoff in das bestehende Erdgasnetz für die Wärmeversorgung eingespeist. Außerdem soll eine Machbarkeitsstudie den Einsatz von



Luftaufnahme der Raffinerie Heide in Hemmingstedt in Schleswig-Holstein. Das Unternehmen ist der Projektkoordinator des Reallabors WESTKÜSTE100.

unvermeidbarem CO₂ aus der regionalen Zementproduktion für die Herstellung klimafreundlicher Flugtreibstoffe in der Raffinerie bewerten. Darüber hinaus erarbeitet das Konsortium Betriebs- und Geschäftsmodelle sowie Empfehlungen für die Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens. Hinzu kommen Untersuchungen sozioökonomischer Parameter, um die Akzeptanz von Wasserstoff zu steigern.

Zuwendungsempfänger: Raffinerie Heide GmbH und neun weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EWR009A-L

Fördermittelansatz: 30 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2025

Schwerpunkt auf systemanalytischen Arbeiten. Durch das Auswerten der Erkenntnisse auf projektübergreifender Ebene sollen Innovationen aus den Reallaboren schneller in den Markt kommen. Insgesamt haben sich elf Konsortien beworben. Die Transferforschung ist im April 2021 gestartet.

1.2.5 Forschung für die Innovationssprünge von morgen

Die Energiewende ist eine langfristige Aufgabe. Genauso wichtig wie die Unterstützung der Markteinführung und Anwendung von Technologien mit einem hohen Reifegrad ist deshalb die Grundlagenforschung. Diese legt die Basis für die Innovationen von morgen und übermorgen.

Die Förderung des BMBF ist konsequent darauf ausgerichtet, die Grundlagenforschung mit den Anforderungen der Industrie zu verknüpfen und so den Prozess von der Forschungsidee zur marktreifen Innovation zu beschleunigen. Exemplarisch für diesen Ansatz stehen die Kopernikus-Projekte für die Energiewende. In einer konzertierten Aktion von Forschung, Wirtschaft und Zivilgesellschaft bearbeiten vier groß und langfristig angelegte Projekte die Schlüsselfelder der Energiewende. Mit dem 2020 gestarteten Projekt Ariadne (siehe Projektsteckbrief im Kapitel 2.4.5 Energiewende und Gesellschaft, Seite 57) entwickelt die Initiative die gesellschaftswissenschaftliche und systemische Energieforschung weiter.

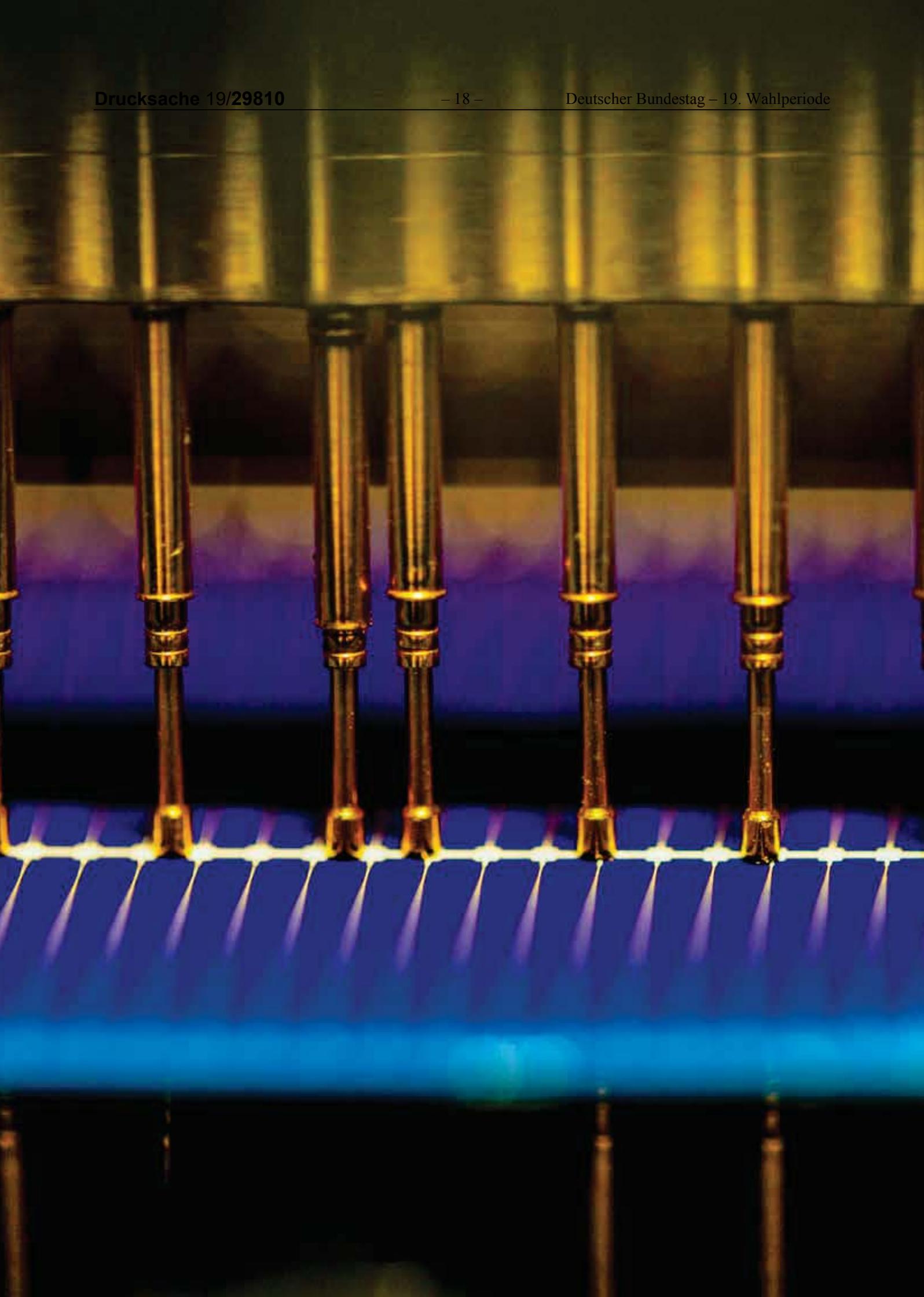
1.2.6 Transparenz und Kommunikation

Die Energiewende durchdringt alle Bereiche des gesellschaftlichen Miteinanders. Von der öffentlichen Infrastruktur bis in den beruflichen Alltag und die privaten Lebenswelten der Bürgerinnen und Bürger. Es ist die Aufgabe verantwortungsvoller Energiepolitik, nicht nur Innovationen durch Forschungsförderung auf dem Weg in die Praxis zu unterstützen, sondern das Entstehen dieser neuen Technologien, Systeme und Lösungen durch eine transparente Forschungskommunikation zu begleiten. Forschungskommunikation

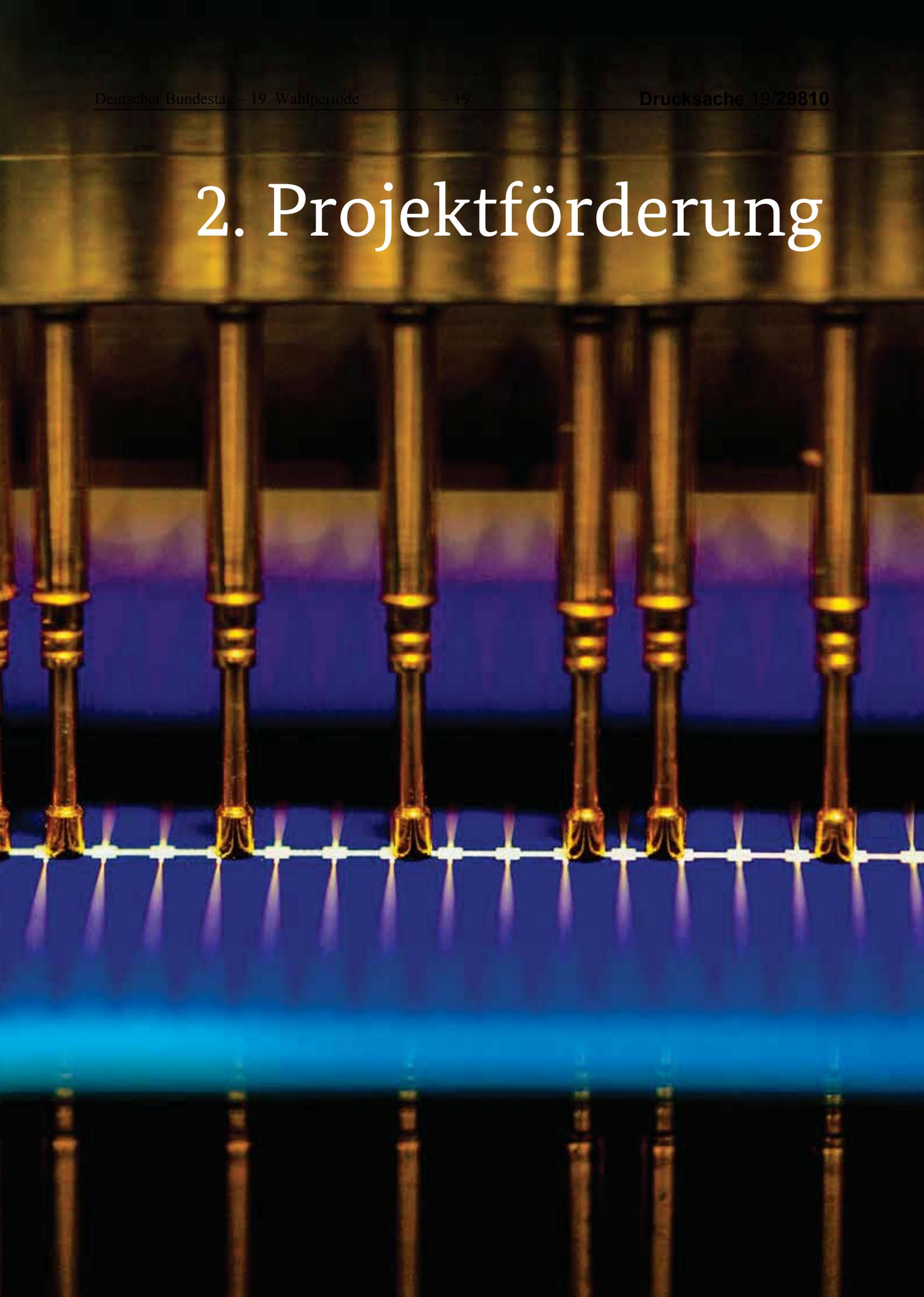
unterstützt auf diese Weise einerseits den Praxistransfer von Innovationen durch entsprechende Fachinformationen für die Wissenschaftscommunity und die Energiewirtschaft und informiert andererseits die breite Öffentlichkeit umfassend über aktuelle Forschungsfragen, Fortschritte und Entwicklungstrends.

Das Webportal www.energieforschung.de, das der Projektträger Jülich im Auftrag des BMWi umsetzt, informiert zentral über die Ziele, Struktur und Kernthemen der Energieforschungspolitik sowie aktuelle Förderangebote. Vertiefende Einblicke in die Projektförderung und Forschungsvorhaben zu den einzelnen Förderschwerpunkten bieten vier Fachportale, die ebenfalls durch den Projektträger Jülich umgesetzt werden.

EnArgus (www.enargus.de) ist das zentrale Informationssystem der Energieforschungsförderung. Das webbasierte Portal gibt einen Überblick über durch den Bund öffentlich geförderte Forschungsprojekte im Energiebereich und informiert über Technologien und Fachbegriffe. Seit November 2020 ist EnArgus auch auf Englisch verfügbar.



2. Projektförderung

A close-up photograph of a fountain's jets. The jets are arranged in a row, and each is emitting a small, upward-pointing spray of water. The water is illuminated from below, creating a bright blue glow. The jets themselves are made of a dark material, possibly metal, and have a decorative, fluted design. The background is dark, making the blue light and the white water spray stand out.

2.1 Energiewende in den Verbrauchssektoren

2.1.1 Energie in Gebäuden und Quartieren

Laut dem 2019 beschlossenen Klimaschutzgesetz (KSG) dürfen im Jahr 2030 nur noch 70 Millionen Tonnen CO₂ im Gebäudesektor emittiert werden. Dies entspricht gegenüber 1990 einem Rückgang von 67 Prozent. Bis 2050 soll das Ziel der Klimaneutralität erreicht werden. Die Emissionen des Gebäudesektors entstehen durch die Verbrennung der fossilen Energieträger Mineralöl und Erdgas zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser. Treibhausgasemissionen aus Stromanwendungen in Gebäuden (Stromheizungen, Wärmepumpen etc.) und aus der Wärmenetzversorgung werden im KSG dem Sektor Energiewirtschaft zugerechnet.

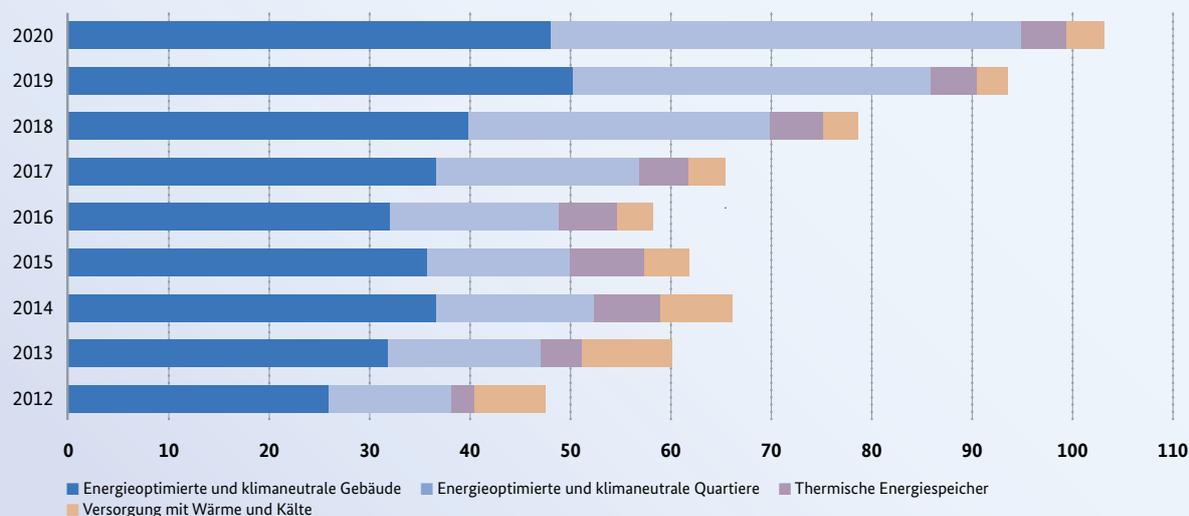
Für die Energieforschung ist das langfristige Ziel der Klimaneutralität, in allen Sektoren, die entscheidende Richtschnur. Das bedeutet, dass nicht nur Lösungen gefunden werden müssen, wie auf den Einsatz fossiler Energieträger in Gebäuden ver-

zichtet werden kann, sondern gleichzeitig müssen Emissionen vermieden werden, die bei der Errichtung von Gebäuden und der Herstellung von Gebäudetechnologien anfallen (graue Energie). Auch die Versorgung von Gebäuden und Quartieren mit Energie über Wärme- und Stromnetze sowie klimaneutrale Energieträger darf 2050 keine Emissionen mehr verursachen. Das geht umso leichter, je weniger Energie benötigt wird. Insgesamt wird daher ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt, der auch soziale und gesellschaftliche Aspekte mit einbezieht.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Bei der Entwicklung von Technologien und Konzepten im Gebäude- und Quartiersbereich werden auch immer die Nutzerbedürfnisse im Blick behalten. Auf Gebäudeebene spielen optimierte Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen sowie die Weiterentwicklung von Baustoffen, Materialien und Gebäudetechnik eine wichtige Rolle. Es werden einzelne Gebäude, Ensembles sowie Schnittstellen zu benachbarten Gebäuden und zum Quartier analysiert.

Abbildung 5: Fördermittel für Energieeffizienz in Gebäuden, Quartieren und Städten in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 2, Seite 87)



Das systemische Zusammenwirken von Gebäuden, Quartieren und Energieinfrastruktur gewinnt an Bedeutung. Gebäude und Quartiere übernehmen einen wachsenden Anteil an der bedarfsnahen, dezentralen Bereitstellung von Wärme, Kälte und Strom. Um Nah- und Fernwärme energieeffizient bereitstellen zu können, sind entsprechende Leitungsnetze und eine Infrastruktur für das Energiemanagement erforderlich. Smarte, digitale Lösungen spielen hier in der aktuellen Forschungsförderung eine wichtige Rolle.

Im Januar 2020 haben die Forschungsarbeiten von SmartQuart begonnen, dem ersten Reallabor der Energiewende. An drei unterschiedlich strukturierten Standorten wird eine dezentrale, nachhaltige und wirtschaftliche Energieversorgung in und zwischen Quartieren umgesetzt. Dazu werden die zentralen lokalen Akteure vom Bewohner bis hin zum Energieversorger und lokalen Technologieanbieter mit einbezogen.

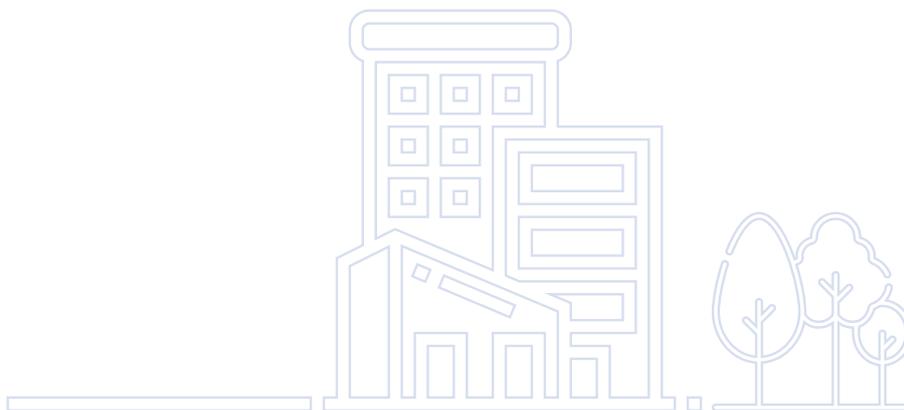
Mit TransUrban.NRW ging im Mai 2020 das zweite Reallabor der Energiewende an den Start. Ziel des Projekts ist es, die klassische, teilweise auf Kohle basierende Fernwärmeversorgung durch eine klimafreundlichere Infrastruktur zu ersetzen. Die Ergebnisse können auf jeweils ähnlich strukturierte Standorte in Deutschland übertragen werden.

Mit der Leitinitiative Zukunftsstadt und ihren zahlreichen Förderaktivitäten unterstützt das BMBF Kommunen ganz konkret dabei, den nachhaltigen Wandel konstruktiv und wirksam zu gestalten, wobei Energiethemen eine zentrale Rolle spielen. So wurde im Jahr 2020 ein Projekt initiiert, welches die Planungsgrundlagen für ein Tool zur Urbanen Logistik aus dem Vorgängerprojekt räumlich erweitert und gleichzeitig die praktische Umsetzung der bisherigen Ergebnisse vorantreibt.

In der von BMWi und BMBF gemeinsam geförderten Initiative Solares Bauen – Energieeffiziente Stadt werden eine Vielzahl von energiewende-relevanten Themen im urbanen Raum abgedeckt, so zum Beispiel die Nutzung lokal hergestellten grünen Wasserstoffs als Energiespeicher für Quartiere.

Projektförderung

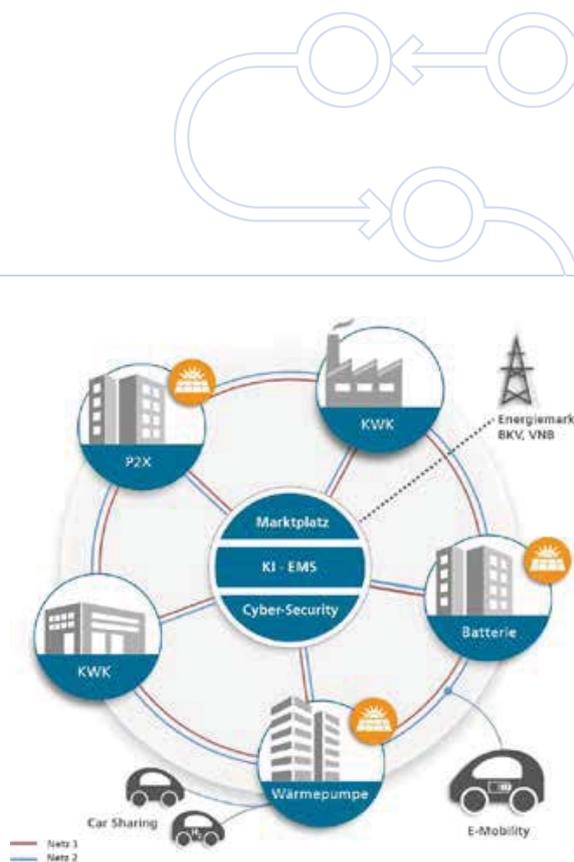
Im Schwerpunkt Energie in Gebäuden und Quartieren haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2020 948 laufende Vorhaben mit rund 103,16 Millionen Euro gefördert. 2020 haben die Ministerien zudem 220 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 127,16 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 5).



PROJEKTSTECKBRIEF

ODH@Jülich – *Open-Data-basierte Planungswerkzeuge für die sektorübergreifende Energieversorgung im Quartier mittels offener, integrierter IKT-Ökosysteme*

Die Energiewende verknüpft die Infrastrukturen der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität immer enger. Der Austausch von Energie zwischen ihnen bietet viele Chancen für den nachhaltigen, kohlendioxidneutralen Umbau des Energiesystems, so auch für die Wärmeerzeugung in Quartieren. Einen wertvollen Beitrag hierzu leistet der Open District Hub e.V. (ODH), indem er als neutrale Plattform Austausch und Zusammenarbeit zwischen Unternehmen aus Energie- und Wohnungswirtschaft und der Forschung fördert. Ziel ist es, gemeinsam die intelligente Versorgung von Quartieren mit lokal erzeugter, erneuerbarer Energie voranzubringen, wozu umfassende Modelle und moderne Werkzeuge für den Betrieb der technischen Anlagen nötig sind. Die Verknüpfung der Sektoren schafft ein komplexes System mit starken Wechselwirkungen und Rückkopplungen. Das Projekt ODH@Jülich entwickelt hierfür ein für alle Nutzer offenes, alle Sektoren umfassendes Planungs- und Simulationswerkzeug, das Investitionsentscheidungen für Versorgungssysteme erleichtert. Das Vorhaben bietet durch eine öffentlich zugängliche Plattform Akteuren, wie beispielsweise dem Open District Hub e.V., eine Unterstützung zum Gelingen der Energiewende im Quartier.



Visualisierung der Akteure und Systeme im IKT-Öko-System für die cross-sektorale Verbindung von Netzbetreiber, Energielieferant, Consumer und Prosumer im Quartier

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung mit sechs Instituten

Förderkennzeichen: 03SF0608

Fördermittelansatz: 7,5 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2025

PROJEKTSTECKBRIEF



Bürogebäude mit Glasfassaden sind für den Einsatz der solarthermischen Jalousien gut geeignet.

Arkol – Entwicklung von architektonisch hoch integrierten Fassadenkollektoren mit Heat-Pipes

Ein Forschungskonsortium unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE hat zwei Typen von Solarkollektoren entwickelt, die sich in transparente und opake Gebäudehüllen integrieren lassen. Somit können Fassadenflächen jetzt besser für die Wärmeerzeugung genutzt werden. Die solarthermischen Jalousien können sowohl als Wärmelieferant als auch als Sonnenschutz dienen. Sie werden zwischen Glasscheiben, etwa in Doppelfassaden, eingesetzt. Über Wärmerohre (Heat-Pipes) wird die Wärme abgeführt. Dies ist auch bei der zweiten Entwicklung, den Streifenkollektoren, der Fall. Diese werden in eine vorgehängte hinterlüftete Fassade integriert. Die Technik ermöglicht es gemeinsam mit der „trockenen“ thermischen Anbindung der Wärmerohre, dass die Streifenkollektoren in unterschiedlichen Varianten geliefert und stufenlos auf der Unterkonstruktion positioniert werden können. Die Internationale Energieagentur (IEA) hat die Entwicklung der solarthermischen Jalousien als eines der besten „Today in the lab tomorrow in future“-Projekte ausgezeichnet. 2020 startete das Folgeprojekt DESTINI. Hier sollen die solarthermischen Jalousien weiterentwickelt werden. Ein Folgeprojekt zum Streifenkollektor befindet sich in Planung.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und vier weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 032857 A-C

Fördermittelansatz: 2,1 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2016 – 2020

PROJEKTSTECKBRIEF



In dieser Siedlung bei Hameln wird der optimale Einsatz von Kompressionswärmepumpen erprobt.

WPUQ – EnEff:Stadt Verbundvorhaben: Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier – Erneuerbar betriebene Wärmepumpen zur Minimierung des Primärenergiebedarfs

Mehr als die Hälfte der Primärenergie kann bei der Wärmeversorgung von Quartieren mit Kompressionswärmepumpen eingespart werden. Voraussetzung hierfür: Die Anlagen kommen im Quartiersverbund optimal geregelt zum Einsatz. Am Beispiel von zwei Quartieren in der Nähe von Hameln und Augsburg wollen die Forschenden zeigen, dass dies möglich ist. Die erforderliche elektrische Energie für den Antrieb der Wärmepumpen soll dabei zu einem möglichst hohen Anteil aus erneuerbaren Energien stammen. Quellen hierfür sind unter anderem lokal auf Einzelgebäuden angebrachte Photovoltaikanlagen sowie Windenergieanlagen. Vorhersagemodelle sollen ermöglichen, dass der Bedarf der Nutzer sowie das Angebot an erneuerbaren Energien möglichst wirtschaftlich aufeinander abgestimmt werden. Mit welchen Betriebsstrategien optimale Werte erreicht werden können, untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter Leitung des Instituts für Solarenergieforschung. Am Ende des Projekts werden die Forschenden Planungshilfen für die Praxis zur Verfügung stellen. Diese sollen Expertinnen und Experten dabei unterstützen, mit Wärmepumpen versorgte Bestands- und Neubauquartiere zu planen und zu betreiben.

Zuwendungsempfänger: Institut für Solarenergieforschung und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ET1444A-D

Fördermittelansatz: 1,3 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2017 – 2021

2.1.2 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Rund ein Drittel des Endenergieverbrauchs entfällt in Deutschland auf den industriellen Sektor. Gewerbe, Handel und Dienstleistungen brauchen mit rund 15 Prozent etwa die Hälfte. Hauptsächlich decken Erdgas, Strom, Mineralöl und in der Industrie auch Kohle den Energiebedarf. Insbesondere Strom übernimmt eine immer wichtigere Rolle, umso mehr industrielle Prozesse elektrifiziert werden. Je nach Region werden auch zunehmend erneuerbare Energien genutzt. Im Vergleich zu den Jahren zuvor konnte die Industrie 2019 ihren Energieverbrauch um rund vier Prozent senken.

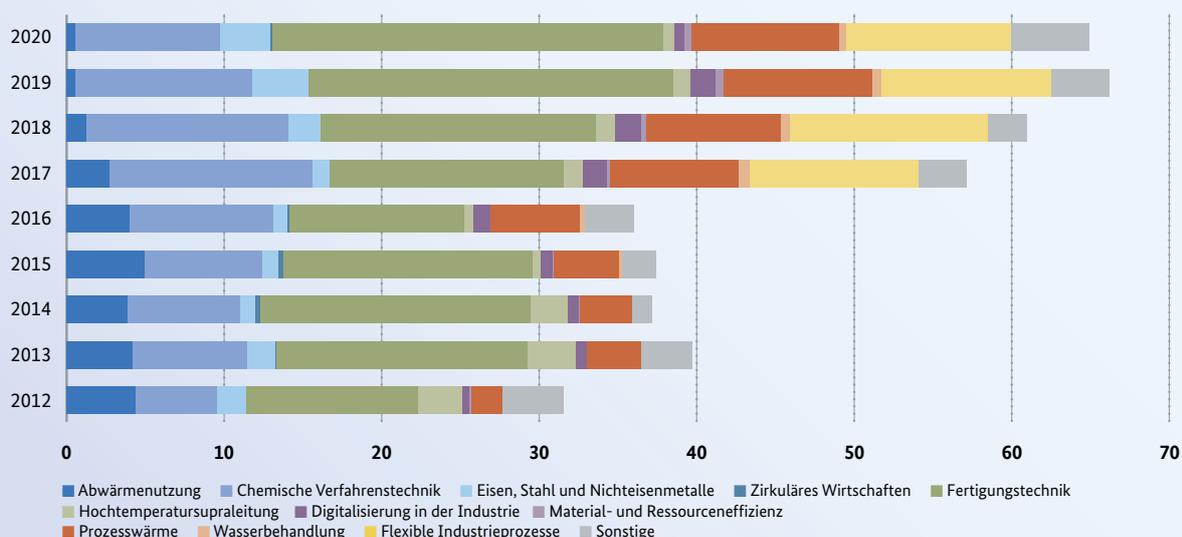
Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Prozesswärme macht etwa zwei Drittel des Industrie-Energiebedarfs aus, während der Antrieb von Maschinen und Motoren dafür sorgt, dass ein weiteres Viertel auf mechanische Energie entfällt. Ein großer Teil der hier eingesetzten Energie geht in Form von Abwärme verloren. Unternehmen und

Wissenschaft haben daher die Aufgabe, energieeffiziente Lösungen zu entwickeln. So können sie etwa die entstandene Abwärme für weitere Industrieprozesse sowie zum Heizen nutzbar machen oder einen Prozess bei gleichbleibender Produktqualität energetisch optimieren. Geschehen kann das an einzelnen Anlagen oder Maschinenkomponenten, vor allem aber an ganzen Wertschöpfungsketten, vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt. Wichtig ist eine gute Planung, bei der die Forschung hilft: Flexible und digital vernetzte Prozesse helfen Unternehmen idealerweise, Kosten zu sparen und ihre Wettbewerbsfähigkeit auszubauen. Kann der industrielle Sektor seine Energieeffizienz steigern und vermehrt neue Energiequellen nutzen, etwa Abwärme, Strom aus erneuerbaren Energien und grünen Wasserstoff, wird er zu einer klimaneutralen Zukunft beitragen.

Um dieses Ziel zu erreichen, unterstützt die Politik verschiedenste Forschungsthemen in der Industrie. Dazu zählen Abwärme und industrielle Wärmespeicher, chemische Verfahrenstechnik, CO₂-Kreislaufwirtschaft, Eisen und Stahl, Fertigungstechnik, Hochtemperatursupraleitung, Künstliche Intelli-

Abbildung 6: Fördermittel für Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 2, Seite 87)



genz und Sensorik, Material- und Ressourceneffizienz, Tribologie (Reibung, Schmierung, Verschleiß), Wärme- und Kältetechnologien sowie Wassertechnologien.

Das BMBF fördert in der Förderinitiative Kopernikus-Projekte für die Energiewende unter anderem den Verbund SynErgie, der aufzeigt, wie die Industrie Schwankungen in der regenerativen Stromerzeugung durch eine Anpassung des Stromverbrauchs der Produktionsprozesse ausgleichen kann und welche kurz- und langfristigen regulatorischen Änderungsoptionen zur Förderung von energieflexiblem Verhalten im Strommarktdesign bestehen. Das Projekt hat 2020 unter anderem ein Online-Tool veröffentlicht, mit dem Unternehmen ihr Potenzial für eine energieflexible Produktion schnell und einfach ermitteln können.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2020 706 laufende Vorhaben mit rund 64,88 Millionen Euro gefördert. 2020 haben die Ministerien zudem 134 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 67,77 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 6).



PROJEKTSTECKBRIEF

MPS – Modulare Produktionslinien für Spezialchemikalien

Im Forschungsprojekt MPS bauen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein modulares und intelligent vernetztes Gesamtsystem für die Produktion von Spezialchemikalien als Modellvorhaben im realen Maßstab und unter realen Bedingungen auf. Das Projekt ist Teil der EnPro-Forschungsinitiative und setzt die Ergebnisse vorangegangener Forschungsprojekte aus dem Labor in einem Produktionsumfeld um. Etwa in ESIMEM, Mi2Pro, Skampi, TeiA und ORCA erarbeitete Teillösungen für eine modulare Produktion fließen in die Darmstädter Pionieranlage für die Chemiefabrik der Zukunft ein und werden erfolgreich zusammengeführt. Mit einer modularen Produktionsanlage können derzeit im Batchverfahren hergestellte Erzeugnisse auf eine kontinuierliche Fahrweise umgestellt werden – hier liegt ein Energieeinsparpotenzial von rund 30 Prozent im Vergleich zum aktuellen Stand der Technik. Mit modularen Anlagen können neueste Technologien in bestehende Prozesse unkompliziert eingebunden werden, um höchstmögliche Effizienz und Qualität in der Produktherstellung zu



Produktlebenszyklen in der Chemieindustrie verkürzen sich; individualisierte Produkte und eine flexible Produktion sind gefragt – eine modulare Produktion macht das möglich.

erzielen. Forschungs- und Entwicklungsziel ist, die Energieeffizienz unter Marktbedingungen zu erhöhen sowie den Prozess- und die Produktionsanlagenentwicklung mit wiederverwendbaren Standardmodulen zu beschleunigen.

Zuwendungsempfänger: MERCK Kommanditgesellschaft auf Aktien

Förderkennzeichen: 03EN2059A8

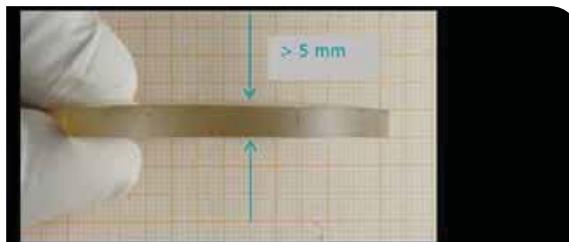
Fördermittelansatz: 3,45 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2023

PROJEKTSTECKBRIEF

ENKRIST – Energieeinsparung bei der Herstellung von besseren Karbid- und Nitrid-Halbleiterkristallen

Schaltleistungswandler ermöglichen komplexe Funktionen in Bereichen der Industrie bis hin zu Haushaltsgeräten – etwa bei intelligenten Motoren und drahtlosen Ladevorrichtungen. Neuartige Leistungsschalter werden auf Substraten aus besonders geeigneten WBG-Halbleitern (engl.: wide-bandgap) abgechieden. Basierend auf Galliumnitrid (GaN) und Siliziumkarbid (SiC) zeigen diese gegenüber anderen Halbleitern geringere Verluste, ermöglichen höhere Schaltfrequenzen und Betriebstemperaturen, sind robust in rauen Umgebungen und bieten hohe Durchbruchspannungen. Die Kristallzüchtung von WBG-Halbleitern ist sehr energie- und kostenintensiv – alle Prozesse arbeiten bei hohen Temperaturen. Das Forschungsprojekt Enkrist hat die Prozessketten energetisch optimiert, die Qualität verbessert und die Länge der Kristalle erhöht. Bei der SiC-Kristallzüchtung konnte Enkrist die Länge und Ausbeute hochwertiger Kristalle jeweils verdoppeln sowie den Energieverbrauch um 37 Prozent reduzieren. Der Energieauf-



2"-GaN Kristall mit verbesserter Kristallqualität und 5 mm Kristalllänge

wand bei GaN-Kristallen wurde auf etwa zehn Prozent des Ausgangswertes gesenkt. So lassen sich die Substratkosten deutlich reduzieren. Die verbesserten Kristalle wurden demonstriert, um nun mit neuen, innovativen Leistungsbauerelementen das große Energieeinsparpotenzial umzusetzen.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme IISB und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ET1398A-D

Fördermittelsatz: 3,12 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2016 – 2020

2.1.3 Schnittstellen der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr

Der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrsreich liegt noch bei unter sechs Prozent. Um hier Fortschritte zu erzielen, sind verschiedenste Lösungen gefragt – im Individualverkehr und im Schwerlastverkehr, auf langen wie kurzen Strecken, auf der Straße, zu Wasser und in der Luft. Die gesamte Bandbreite innovativer Antriebstechnologien ist notwendig, um bei weiter steigendem Verkehrsaufkommen die Dekarbonisierung voranzubringen: Elektromobilität, Wasserstoff-/Brennstoffzellentechnologie, strombasierte Kraftstoffe und Biokraftstoffe. Die verschiedenen Optionen ergänzen sich dabei: Während die Elektromobilität insbesondere bei PKW klar im Vorteil ist, sind Wasserstoff und alternative Kraftstoffe gerade im Schiffs-,

Schwerlast- und Flugverkehr nach aktuellem Stand der Forschung eine geeignete Dekarbonisierungslösung.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Wasserstoff spielt eine zentrale Rolle bei alternativen Antriebstechnologien. Auch bei synthetischen, strombasierten Kraftstoffen: Grüner Wasserstoff lässt sich aus Wasser gewinnen mittels Elektrolyse auf Basis von Strom aus Wind und Sonne oder auch über thermochemische Verfahren. Über weitere Prozessschritte kann der Wasserstoff zur Herstellung flüssiger oder gasförmiger Kraftstoffe genutzt werden.

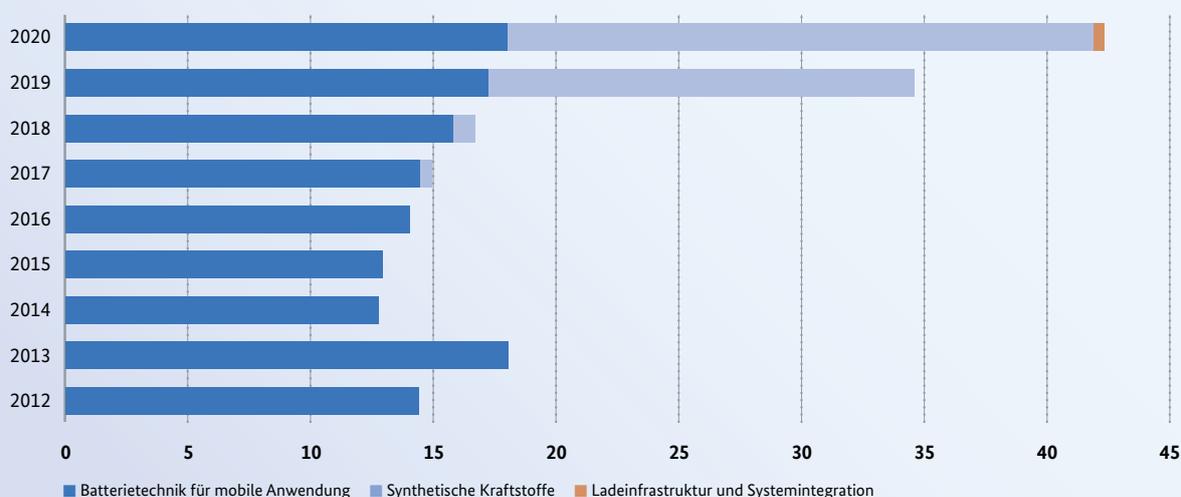
In der BMWi-geförderten Initiative „Energiewende im Verkehr“ konzentrieren sich 15 technische Forschungsverbünde auf die Herstellung und Nutzung solcher strombasierter Kraftstoffe. Die Maßnahme ist programmübergreifend gestaltet. Je nach Forschungsschwerpunkt fördert das BMWi die Projekte entweder im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung, dem Programm „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ oder dem maritimen Forschungsprogramm des Ministeriums. In die begleitenden Aktivitäten dieser Förderinitiative eingebunden, fördert das BMBF die Maßnahme „Nachhaltige Mobilität durch synthetische Kraftstoffe“ (NAMOSYN), die gleichzeitig Teil des Klimaschutzprogramms der Bundesregierung ist. Zur Halbzeit der Initiative haben die Verbünde auf der Statuskonferenz 2020 Zwischenergebnisse vorgestellt (siehe Projektsteckbrief MethQuest). Und: Die flankierende Begleitforschung hat gemeinsam mit den technisch ausgerichteten Vorhaben eine Methodik entwickelt, die den Vergleich der potenziellen Herstellungskosten unterschiedlicher Kraftstoffkandidaten ermöglichen kann.

Neben den strombasierten Kraftstoffen bieten auch Biokraftstoffe Optionen für eine nachhaltige Mobilität. Hier haben 2020 die ersten fünf BMWi-geförderten Projekte die Arbeit aufgenommen. PyroMar beispielsweise konzentriert sich auf Möglichkeiten für die maritime Energiewende (siehe Projektsteckbrief, Seite 36).

Mit dem Ansatz einer systemischen und zugleich marktorientierten Förderung trägt das BMWi dazu bei, den Verkehrssektor nicht nur energieeffizienter, klima- und umweltverträglicher zu gestalten, sondern auch neue, regenerative Energiequellen zu erschließen und so die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern.

Die Elektromobilität hat das Potenzial, die Dekarbonisierungserfolge des Stromsektors auf den Verkehr zu übertragen. Um bei der Batterietechnologie die Energiedichte, Lebensdauer oder das Preis-Leistungs-Verhältnis zu erhöhen, arbeiten die Forschenden vor allem an den Akku-Materialien. Auch die Netzdienlichkeit ist ein Thema: Bidirektionale Lademöglichkeiten könnten künftig das Stromnetz

Abbildung 7: Fördermittel für Energieforschung zu Mobilität und Verkehr in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 2, Seite 87)



stabilisieren. Ähnliches gilt für Brennstoffzellen: Im stationären Einsatz können sie bei Bedarf Strom und Wärme liefern, in Last- und Langstrecken-Fahrzeugen ermöglichen sie den klimaneutralen Antrieb mit grünem Wasserstoff. Wichtige Forschungsthemen sind zudem Umweltverträglichkeit, resiliente Wertschöpfungsketten, flexiblere Fertigungsverfahren, Nachnutzung und Recycling.

Zentrale Impulse im Mobilitätsbereich kommen vom Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) und aus Forschungsaktivitäten zu alternativen Antriebstechnologien und Kraftstoffen des BMVI (siehe Kapitel 5.1, Seite 82).

Projektförderung

Im Schwerpunkt Schnittstelle der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr haben das BMBF und das BMWi im Jahr 2020 303 laufende Vorhaben mit rund 41,87 Millionen Euro gefördert. 2020 haben die Ministerien zudem 60 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 24,57 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 7, Seite 27).

PROJEKTSTECKBRIEF

MethQuest – *Methanbasierte Kraftstoffe aus erneuerbaren Quellen für mobile und stationäre Anwendungen*

Methanbasierte Kraftstoffe, die mit Power-to-Gas-Verfahren aus erneuerbaren Quellen gewonnen werden, können helfen, CO₂- und Schadstoffemissionen zu senken. Sie lassen sich in BHKWs, flexiblen Gaskraftwerken und in komprimierter oder verflüssigter Form im PKW-, LKW- und Schiffsverkehr einsetzen. Das Projekt MethQuest entwickelt und optimiert dafür Erzeugungsverfahren und Motorkonzepte. Das Team erwartet Erkenntnisse für die PEM-, Hochtemperatur- und Meerwasser-Elektrolyse, das Bereitstellen von CO₂ und die Methanisierung. Zudem untersuchen die Partner optimierte Motoren für erneuerbare Kraftstoffe in Autos, Schiffen und zur Stromgewinnung und erarbeiten Lösungen, um Strom-, Gas- und Wärmeinfrastrukturen zu koppeln, konkret am Beispiel des Binnenhafens Karlsruhe. Außerdem möchten sie die Klimaauswirkungen und den wirtschaftlichen und ökologischen Nutzen einer großflächigen Einführung von erneuerbarem Methan verstehen. Wichtige Schnittstellen und Synergien werden umfassend analysiert, auch mit Blick auf Effizienz, Kosten und mittel- und langfristige Transformationsprozesse. Dazu führt das Team eine umfangreiche Kopplung unterschiedlicher Teilmodelle des



MethQuest entwickelt und optimiert Erzeugungsverfahren und Motorkonzepte für methanbasierte Kraftstoffe.

deutschen Energiesystems durch. Insgesamt wollen sie durch einen interdisziplinären, holistischen Ansatz technologische Fortschritte entlang der Wertschöpfungskette von der CO₂-neutralen Gaserzeugung über die notwendige Infrastruktur bis hin zur Endanwendung erzielen.

Zuwendungsempfänger: MTU Friedrichshafen und DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT sowie 27 weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EIV041A-I; 19I18010A-G; 03EIV043A-B; 03EIV044A-E; 03EIV045A-F; 03EIV046A-D

Fördermittelansatz: 18 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2021

PROJEKTSTECKBRIEF

DaLion - 4.0 – *Data-Mining als Basis cyber-physischer Systeme in der Lithium-Ionen-Batterie-zellproduktion*

Das Projekt DaLion - 4.0 bildet die Batteriezellproduktion in cyber-physischen Systemen nach. Während die Forschenden im Vorgängerprojekt DaLion zahlreiche Zielgrößen und Parameter der Batterieproduktion untersucht haben, nutzen sie diese nun zum Aufbau eines „digitalen Zwillings“. Mittels moderner Sensoren und eines Data-Mining-Ansatzes stehen riesige Datenmengen zur Verfügung, die in einem sogenannten Data Warehouse zusammenfließen. Sie ermöglichen die Bewertung von Kosten, Umweltwirkungen und anderen Produktionseigenschaften. Verschiedene Prozesse können durch neuartige Messtechnik nicht nur kontrolliert werden; dank der erweiterten Datenaufnahme (und daraus teils automatisiert entstandener Modelle) können konkrete Prozessverbesserungen abgeleitet, im digitalen Zwilling simuliert und auch gleich in der tatsächlichen Produktion umgesetzt wer-



Foto einer Batterie zelle der BatteryLabFactory Braunschweig. Das konnten die Projektpartner aus Wissenschaft und Wirtschaft bereits an der Battery LabFactory Braunschweig zeigen. Damit wird die Zellfertigung in Zukunft deutlich flexibilisiert und aus Umwelt- und Kostensicht weiter optimiert, was einen großen Schritt in Richtung Industrie 4.0 bedeutet.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Braunschweig – Battery Lab Braunschweig (BLB) und sechs weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ETE017A-G

Fördermittelansatz: 5,6 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2021

Deutsch-Kanadische Brennstoffzellenkooperation DEKADE – *Platin-arme Katalysatorsysteme, Elektroden und Membranelektrodeneinheiten für den Brennstoffzellenantrieb*

Um marktfähig zu sein, muss ein Brennstoffzellenantrieb besonders bei Kosten und Dauerbeständigkeit mit dem Verbrennungsmotor konkurrieren können. Abschätzungen zeigen, dass bei serienrelevanten Stückzahlen die Kosten des Brennstoffzellenstapels maßgeblich durch den Edelmetall- beziehungsweise Platingehalt bestimmt werden. Platin kommt bei einer PEM-Brennstoffzelle unter anderem im Katalysator vor. Platinfreie Katalysatoren gibt es zwar, sie zeigen jedoch nicht die gewünschte Leistung und Stabilität und sind somit derzeit ungeeignet für die Automobilindustrie. Im Forschungsprojekt „DEKADE: Diagnose und Entwicklung von Komponenten für automobiler Brennstoffzellen“ unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler seit 2017 neuartige Katalysatorsysteme, Elektroden



und Membranelektrodeneinheiten, die mit nur wenig Platin auskommen. Außerdem erstellen sie ein Modell zur Beschreibung der Membranelektrodeneinheit. 2020 hat das Fraunhofer ISE den f-cell Award in der Kategorie „Research & Development“ gewonnen. Ausgezeichnet wurde dabei der in DEKADE weiterentwickelte Flachbettsiebdruck als industriell skalierbarer Herstellungsprozess für Brennstoffzellen-Elektroden.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SF0544

Fördermittelansatz: 4,2 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2017 – 2020

2.2 Energieerzeugung

2.2.1 Photovoltaik

Die Photovoltaik ist in der Stromproduktion zunehmend eine tragende Säule der Energiewende. Dies spiegelt sich unter anderem in steigenden Ausbautzahlen wider, die auch für die Zukunft durch die Internationale Energieagentur (IEA) prognostiziert werden. Im Oktober 2020 hat die IEA ihren aktuellen World Energy Outlook vorgestellt. Demnach wird der Beitrag der erneuerbaren Energien – allen voran der Photovoltaik – zur Deckung des Strombedarfs bis 2030 auf insgesamt 80 Prozent steigen. Als Grund nennt der Report insbesondere die sinkenden Stromgestehungskosten für Photovoltaik. Sie liegen häufig unter den Stromgestehungskosten neuer Kohle- und Gaskraftwerke.

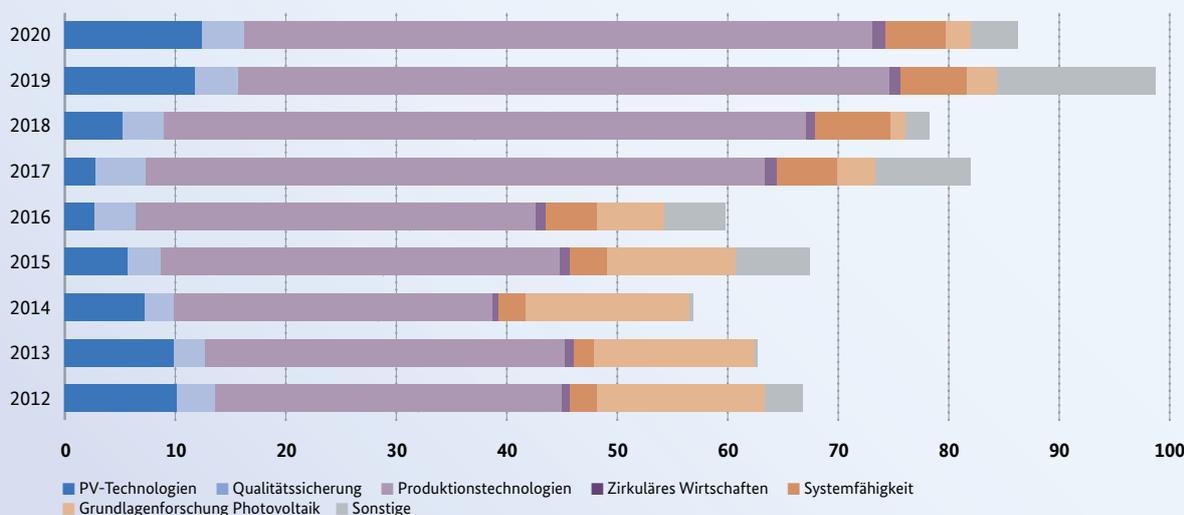
Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Forschungsnetzwerke Energie des BMWi haben sich als Dialogplattform zwischen Wissenschaft, Politik und Wirtschaft etabliert. Vor dem Hintergrund der dynamischen Marktentwicklung

haben Mitglieder des Forschungsnetzwerks Erneuerbare Energien im Dezember 2020 einen Konsultationsprozess zur Photovoltaik gestartet, um die aktuellen Forschungsbedarfe in diesem Bereich zu identifizieren. Grundsätzlich wird angestrebt, durch gezielte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben die Photovoltaik besser in die Energiesysteme einzubinden und die Stromgestehungskosten weiter zu reduzieren.

Ein Schwerpunkt der Forschungsbedarfe liegt bei technologischen Innovationen, die die Themen neue Materialien, wie beispielsweise Perowskite, und neue Strukturen, wie etwa Tandemzellen oder selektive Kontakte, ansprechen. Hier sind globale Champion-Unternehmen mit ihren Entwicklungs- und Pilotproduktionsstätten in Deutschland angesiedelt. Bei Perowskiten handelt es sich in der Solarzellentechnik um ein verhältnismäßig neues Material, das rasante Fortschritte erzielt. Wissenschaftsteams des Helmholtz-Zentrums Berlin (HZB) ist es Anfang 2020 gelungen, aus Perowskit und Silizium eine Tandemsolarzelle zu entwickeln, die einen Wirkungsgrad von 29,15 Prozent erzielt, und somit für diese Zellstruktur einen neuen Weltrekord aufzustellen.

Abbildung 8: Fördermittel für Photovoltaik in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 3, Seite 88)



Auch die Fertigungstechnologien lassen in den kommenden Jahren Innovationen erwarten, die über den Anlagenbau in die Produktion gelangen. Dies wird einerseits durch Digitalisierung und Industrie-4.0-Konzepte erreicht, andererseits werden ebenfalls neue Prozesstechnologien einen entscheidenden Teil dazu beitragen. Hierzu zählt beispielsweise die Kerfless-Wafer-Technologie, die einen alternativen Waferherstellungsprozess ermöglicht. Im Vergleich zur üblichen Waferproduktion wird bei diesem Verfahren weniger Energie verbraucht und gleichzeitig weniger Abfall erzeugt. Die neu entwickelten Kerfless-Wafer lassen sich dadurch mit hoher Qualität und zu niedrigen Kosten produzieren. Schließlich werden im Rahmen des Konsultationsprozesses auch die Themen Qualitätssicherung, Sektorkopplung, Systemintegration und Kreislaufwirtschaft in ihrer Bedeutung für die Photovoltaik betont.

Als wachsende Einsatzgebiete der Photovoltaik sind die bauwerkintegrierte Photovoltaik und die Elektromobilität relevant, um Gebäudefassaden beziehungsweise Elektro-Fahrzeuge mit Solarmodulen auszustatten. Ebenfalls im Bereich der schwimmenden Photovoltaik (Floating PV) werden Forschungsprojekte intensiviert, die die solare Stromproduktion zum Beispiel auf Konversionsflächen wie Tagebaurestseen ermöglichen.

Projektförderung

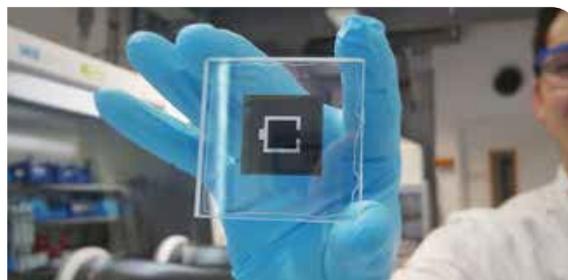
Im Schwerpunkt Photovoltaik haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2020 485 laufende Vorhaben mit rund 86,19 Millionen Euro gefördert. 2020 haben die Ministerien zudem 116 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 65,70 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 8).



PROJEKTSTECKBRIEF

P³T – Perowskit-POLO-PERC-Tandemsolarzellen und -module

Tandemsolarzellen bestehen – im Gegensatz zum Großteil der heute kommerziell eingesetzten Solarzellen – aus zwei Teilzellen mit unterschiedlichen, lichtabsorbierenden Schichten, die übereinander angeordnet werden. Diese Absorber-Schichten kombinieren verschiedenartige Halbleitermaterialien, die in der gestapelten Tandem-Anordnung unterschiedliche Wellenlängenbereiche des einfallenden Sonnenlichts absorbieren. Dadurch nutzen Tandemsolarzellen das Sonnenlichtspektrum effizienter und erzielen theoretisch höhere Wirkungsgrade. An dieser Stelle setzt P³T an. In dem Forschungsprojekt verfolgt das Wissenschaftsteam das Ziel, hocheffiziente, großflächige Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen zu entwickeln. Diese Tandemsolarzellen sollen, basierend auf der Technologie der etablierten PERC-Silizium-Solarzellen, als „drop-in upgrade“ entwickelt und in Demonstrator-Module integriert werden. Innerhalb des Projekts werden somit zentrale Forschungsschwerpunkte bearbeitet, um die industrielle Produktion von



Das Foto zeigt einen Forscher, der eine Tandemsolarzelle präsentiert.

Tandem-Modulen aus Perowskit-Silizium-Solarzellen realisieren zu können. Bereits Anfang 2020 hat das Helmholtz-Zentrum Berlin mit einer Tandemsolarzelle aus Perowskit und Silizium einen Wirkungsgrad von 29,15 Prozent erzielt und damit einen neuen Rekord aufgestellt.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie und fünf weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EE1017A-G

Fördermittelansatz: 3,6 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2022

PROJEKTSTECKBRIEF

Standard-BIPV-System – Entwicklung von standardisierten BIPV-Bauelementen mit integrierter Systemtechnik

Bauwerkintegrierte Photovoltaik (BIPV) liefert ohne zusätzlichen Flächenbedarf elektrische Energie und fungiert gleichzeitig als optisch attraktives Element der Gebäudehülle. Solche Anlagen fördern die gesellschaftliche Akzeptanz der Photovoltaik, denn die Nutzung vorhandener oder ohnehin zu errichtender baulicher Strukturen im urbanen Raum vermeidet nicht nur Flächenversiegelung, sondern bietet auch eine verbrauchsnahe Solarstrom-Produktion. Das Wissenschaftsteam des Projekts Standard-BIPV-System forscht auf dem Gebiet und verfolgt zwei Ziele: Zum einen werden Plug & Power-BIPV-Bauelemente mit integrierter elektrischer Systemtechnik entwickelt, die sich kostengünstig fertigen, unkompliziert in der Bauplanung berücksichtigen und leicht in die Gebäudehülle einbauen lassen. Zum anderen wird eine Potenzialstudie zur Solarenergienutzung durch BIPV durchgeführt. Diese Analyse klassifiziert die für BIPV technisch und wirtschaftlich nutzbaren Flächen am Gebäudebestand in Deutschland, also an Dächern



Das Foto zeigt die Pilotfassade des Forschungsprojekts Standard-BIPV.

sowie Fassaden von Wohn-, Geschäfts- und Industriebauwerken. Das aktuelle Projekt greift Erkenntnisse des Vorläufervorhabens Standard-BIPV auf, in dem die Analyse des BIPV-Flächenpotenzials begonnen und standardisierte Leichtbau-BIPV-Module entwickelt wurden.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und sechs weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EE1061A-G

Fördermittelansatz: 2,1 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2023

2.2.2 Windenergie

Die Windenergie spielt eine entscheidende Rolle für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende. Sie hat den größten Beitrag zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien geleistet und lag im Jahr 2020 nochmals deutlich über dem Rekordergebnis des Vorjahres. Die Windenergie hat mit einer Leistung von rund 131 Terawattstunden (TWh) im Jahr 2020 einen neuen Höchstwert erreicht. Im Vorjahr waren es noch rund 126 TWh. Damit stieg die Windstromerzeugung um vier Prozent gegenüber dem Vorjahreszeitraum. Besonders bemerkenswert war der Rekord im Februar: Mit über 20 TWh wurde der bisherige Höchstwert von März 2019 (15,5 TWh) deutlich übertroffen.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Ziel der Forschungsförderung ist es, die Kosten für Strom aus Windenergie weiter zu senken und die Zuverlässigkeit der Anlagen zu erhöhen. Die Förderung soll dabei unterstützen, dass künftige Anlagen nochmals leistungsstärker, zuverlässiger und mit einer höheren Volllaststundenzahl zur Verfügung stehen.

Die Anlagentechnik ist neben dem Standort entscheidend für die Höhe der Stromerzeugungskosten. Besonders wichtig ist ein ganzheitlicher Anlagenentwurf: Bereits in der Designphase soll berücksichtigt werden, welcher Aufwand für Herstellung, Errichtung, Betrieb, Rückbau und Recycling nötig ist und wie die Anlagen beziehungsweise

Windparks in das Stromnetz integriert werden können. Windenergieanlagen und -parks müssen intelligent und flexibel betrieben werden. Durch fortschrittliche Regelungsstrategien kann der Ertrag verbessert oder die Lebensdauer der Anlagen verlängert werden. Genauere Prognosen erlauben bessere Vorhersagen der Stromgestehung und tragen zur Versorgungssicherheit bei.

Für den weiteren Ausbau der Windenergie werden windhöfliche und einfach zu erreichende Standorte seltener, sodass der Ausbau vermehrt in komplexem Gelände erfolgt. Es ist daher essenziell, mit geeigneten Verfahren potenziell gute Standorte auszuwählen und dann mit möglichst wirtschaftlichen Methoden den Standort über einen längeren Zeitraum zu erkunden.

Mit zunehmender Größe moderner Windenergieanlagen kommen immer mehr Bauteile an die Grenzen der Materialbelastbarkeit. Neue Materialien, beispielsweise zur Gewichtsreduktion oder erhöhten Zuverlässigkeit, sind für einen effektiven und kostengünstigen Anlagenbau und Betrieb zen-

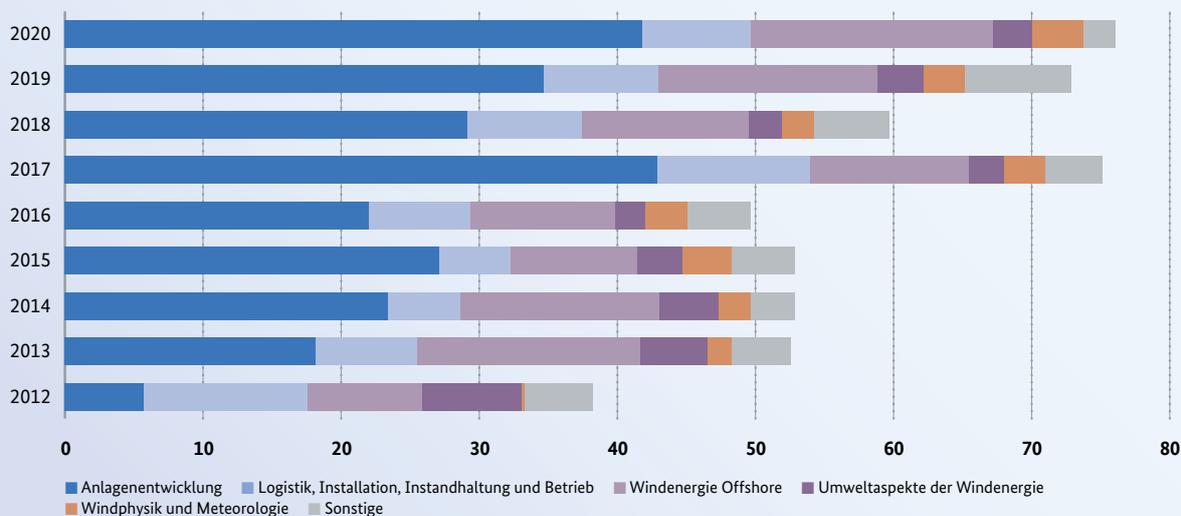
tral. Gleichzeitig werden dabei zunehmend auch Fragen der Wiederverwertbarkeit zur Schließung des Ressourcenkreislaufes betrachtet.

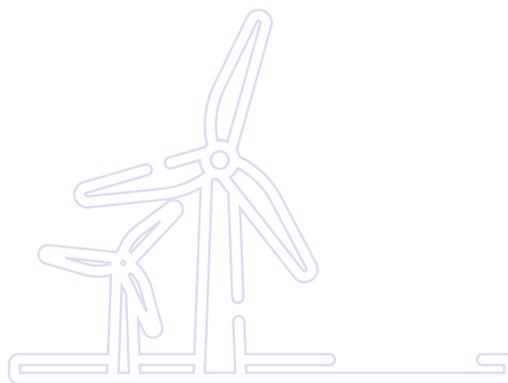
Für den Betrieb von Offshore-Windparks stellen Logistik und Instandhaltung große Herausforderungen dar: Die Verfügbarkeit der Anlagen ist entscheidend für deren Wirtschaftlichkeit, da Offshore-Windenergieanlagen im Falle eines Defekts nur mit großem Aufwand erreicht werden können. Deshalb sind innovative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

Projektförderung

Im Schwerpunkt Windenergie hat das BMWi im Jahr 2020 insgesamt 488 laufende Vorhaben mit rund 76,06 Millionen Euro gefördert. 2020 hat das Ministerium zudem 99 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 65,32 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 9).

Abbildung 9: Fördermittel für Windenergie in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 3, Seite 88)





PROJEKTSTECKBRIEF

X-Wakes – Wie Offshore-Windparks die Windbedingungen auf See verändern

Im Forschungsprojekt X-Wakes untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie sich die Windbedingungen in der Deutschen Bucht ändern, wenn Offshore-Windparks großflächig ausgebaut werden. Denn mit dem Umstieg auf erneuerbare Energien zur Energieversorgung wird auch die Energiegewinnung auf See immer wichtiger. Hier weht der Wind steter und gleichmäßiger als an Land. Doch der Platz ist begrenzt, deshalb werden die Windparks meist in Gruppen, sogenannten Windparkclustern, gebaut. Sie können aus mehreren Hundert nicht weit voneinander entfernten Anlagen bestehen. Hinter den Anlagen entstehen sogenannte Nachlaufströmungen (engl. wakes), in denen die Windgeschwindigkeit deutlich geringer ist und es kräftigere Turbulenzen gibt. Dies führt dazu, dass weiter hinten stehende Anlagen weniger Strom erzeugen und stärker belastet werden.

Für ihre Untersuchungen nutzen die Forschenden verschiedene Methoden: Feste Messeinrichtungen auf den Windenergieanlagen, auf der Forschungsplattform FINO1 und auf Konverter-Stationen übertragen kontinuierlich meteorologische Daten, ein Forschungsflugzeug sammelt diese gezielt neu. Mithilfe von Satellitendaten lassen sich außerdem die Nachlaufströmungen von oben großflächig analysieren. Diese



Ein Forschungsflugzeug liefert hochaufgelöste meteorologische Daten, mit denen die Windbedingungen in Offshore-Windparks präzise analysiert werden können.

Messdaten dienen dazu, Modelle für die Planung von Offshore-Windparks zu verbessern und weiterzuentwickeln. Mit den Forschungsergebnissen sollen im Bau befindliche Windparks optimiert und zukünftige Projekte besser geplant werden. In Zukunft können die Windräder auf See dann entsprechend positioniert und betrieben werden, damit der optimale Windertrag erzielt werden kann.

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

Förderkennzeichen: 03EE3008A-G

Fördermittelansatz: 3,4 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2022

PROJEKTSTECKBRIEF



Der Rückbau von Windenergieanlagen auf See ist aufwändig und kostenintensiv.

SeeOff – Strategieentwicklung zum effizienten Rückbau von Offshore-Windparks

In den nächsten Jahren werden über 15 Offshore-Windparks in der europäischen Nord- und Ostsee nach einer 20- bis 25-jährigen Betriebsdauer zurückgebaut. Für die Windparks in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone schreibt das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) diese Rückbaukonzepte bereits vor, wenn die Windparks genehmigt werden. Eine große Herausforderung für die Windparkbetreiber: Derzeit liegen so gut wie keine Erfahrungen zum Rückbau vor. Die Verfahren und das Vorgehen der Demontage, der Transportlogistik und das anschließende Recycling der Bauteile müssen erarbeitet werden. Im Forschungsprojekt SeeOff entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daher verschiedene Rückbauszenarien. Diese sollen den Windparkbetreibern helfen, die Kosten realistisch einschätzen zu können. Auch bewerten die Forschenden Umwelt- und Arbeitssicherheitsaspekte sowie die gesellschaftliche Akzeptanz der verschiedenen Lösungsoptionen. Die Ergebnisse sollen in ein Handbuch mit Handlungsempfehlungen einfließen.

Zuwendungsempfänger: Hochschule Bremen und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 0324322A-D

Fördermittelansatz: 1,1 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2021

2.2.3 Bioenergie

Bioenergie ist flexibel einsetzbar und insbesondere unabhängig von Witterungsbedingungen sowie Tages- und Jahreszeit verfügbar. Im Bereich der erneuerbaren Energien spielt sie daher weiterhin eine unverzichtbare Rolle. Derzeit stellt sie knapp zwei Drittel der Gesamtproduktion an erneuerbaren Energien in Deutschland – was insbesondere auf eine umfangreiche Nutzung im Verkehrssektor und im Wärmesektor zurückzuführen ist, in denen Bioenergie einen Anteil von etwa 90 Prozent beziehungsweise 86 Prozent hat. Gleichwohl ist die Biomasse an der gesamten Primärenergiebereitstellung mit lediglich 7,6 Prozent beteiligt. Die Forschungsförderung kann einen wichtigen Beitrag zur effizienten und systemgerechten Nutzung der nachhaltig vorhandenen Potenziale leisten.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Zentrale Forschungsbeiträge leistet seit 2008 das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ). Es betreibt anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung im Bereich der energetischen und integrierten stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der Bioökonomie unter besonderer Berücksichtigung innovativer Techniken, wirtschaftlicher Auswirkungen und Umweltbelange. Ein Schwerpunkt seiner Tätigkeit ist die Erhöhung des Systembeitrags der Biomasse unter anderem durch Erarbeitung nachhaltiger Bioenergiestrategien, Bewertung von Biomasseverwertungskonzepten sowie Untersuchungen zu Effizienz und Nachhaltigkeit des Biomasseeinsatzes. Daneben entwickelt das DBFZ vielfältige Konversionsverfahren vom Rohstoff Biomasse zu Biokraftstoffen und chemischen Bioenergeträgern. Hervorzuheben sind weiterhin Arbeiten auf dem Gebiet der intelligenten Biomasseheiztechnologien (SmartBiomass-Heat) sowie zur katalytischen Emissionsminderung an Verbrennungsanlagen für gasförmige, flüssige und feste Bioenergeträger an Festkörperkatalysatoren.

Die energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe ist seit 2018 im Energieforschungsprogramm des Bundes verankert. Das BMWi legt seinen Förderschwerpunkt in der Bioenergie auf diesen Forschungsbereich. Im Fokus steht das Erforschen und Entwickeln von zukunftsweisen Technologien sowie Verfahrens- und Prozessoptimierungen, die eine effiziente, wirtschaftliche und nachhaltige Nutzung der Bioenergie ermöglichen und zur Versorgungssicherheit beitragen. Dazu unterstützt das Ministerium praxisorientierte Lösungen mit Demonstrations- und Pilotcharakter, die das Flexibilisieren der Strom- und Wärmeenergieerzeugung aus Biomasse unterstützen. Systemintegration, Sektorkopplung, Digitalisierung sowie die erfolgreiche Kombination von Anlagen und Konzepten zur Nutzung erneuerbarer Energien sind weitere Aspekte. Um das nachhaltige energetische

Nutzen im (gekoppelten) Wärme- und Strombereich sowie Verkehrsbereich zu verbessern, sollen vor allem Biomassereststoff- und Abfallpotenziale erschlossen werden. Fördermittelempfänger sind klassische Forschungseinrichtungen, vor allem aber auch klein- und mittelständische Unternehmen, die Markteinführungen bestimmter Technologien anstreben.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Bioenergie hat die Bundesregierung im Jahr 2020 insgesamt 707 laufende Vorhaben mit rund 49,38 Millionen Euro gefördert. 2020 haben die Ministerien zudem 179 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 45,47 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 10).

PROJEKTSTECKBRIEF

PyroMar – Umweltfreundliche marine Kraftstoffe für die Schifffahrt aus biogenen Beimischkomponenten

Die Schifffahrt emittiert große Mengen umweltschädliches Schwefeldioxid und CO₂. Ihr weltweiter Anteil am CO₂-Ausstoß beträgt rund drei Prozent und ist damit genauso groß wie der Anteil der Bundesrepublik Deutschland. Um Emissionen zu senken, sind nachhaltigere Diesel- und Schwerölvarianten gefragt. Hierzu zählen beispielsweise Drop-in-Fuels auf Basis nachhaltiger biogener Rohstoffe. Das Projekt PyroMar möchte dies durch neue Technologien zur Herstellung biogener Beimischkomponenten erreichen. Die größten Herausforderungen sind dabei die Skalierbarkeit, um die benötigten Kraftstoffmengen zu produzieren, und die kostenintensiven Verfahren. Als Rohstoff dient dem Verbundteam bislang ungenutzte Biomasse, wie Stroh, Laub, Landschaftspflegeheu oder Strauchschnitt. Den Forscherinnen und Forschern ist es in der ersten Projektphase bereits gelungen, die gesamte Verfahrenskette zur Produktion biobasierter Beimischkomponenten abzubilden. Anschließend erzeugt das Team zwei Mischvarianten mit konventio-



Kreuzfahrtschiffe

nellen Schiffskraftstoffen und überprüft diese an einem 1-Zylinder-Motorteststand. Darüber hinaus führen die Projektpartner ökologische und ökonomische Nachhaltigkeitsbewertungen durch und analysieren Biomassepotenziale, Absatzmärkte und rechtliche Rahmenbedingungen sowie Ansätze für den Transfer in die privatwirtschaftliche Praxis.

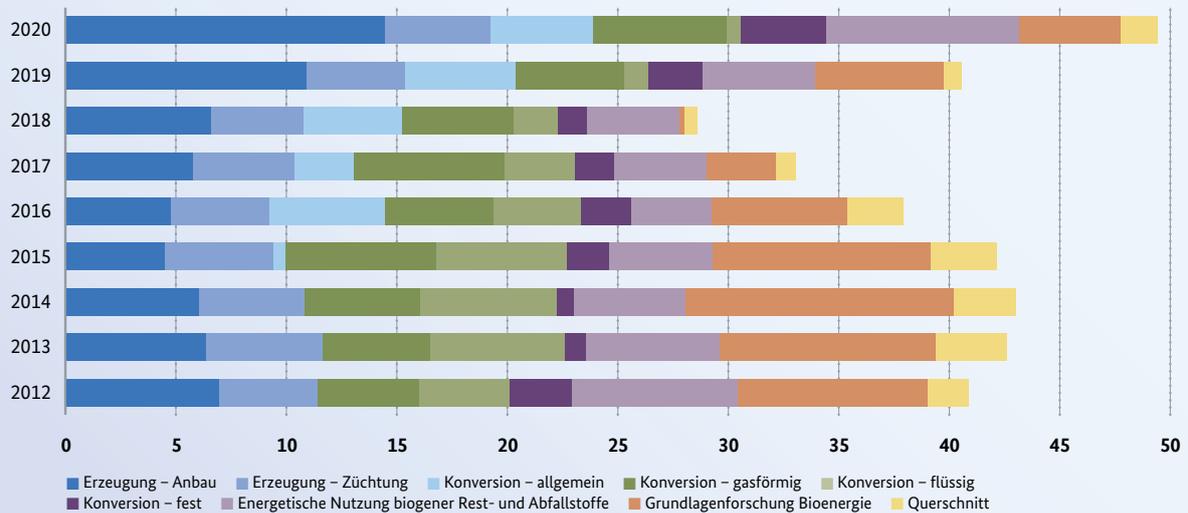
Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EI5412A-C

Fördermittelansatz: 1,3 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2022

Abbildung 10: Fördermittel für Bioenergie in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 3, Seite 88)



PROJEKTSTECKBRIEF

Waste2Energy-Projekt in Ghana – Aus Siedlungsabfällen wird grüne Energie

In Ghana werden täglich mehr als 12.000 Tonnen Siedlungsabfälle unkontrolliert entsorgt. Auf den Hausmüll-Abfallsektor entfällt durch die bei der Verrottung entstehenden Gase rund ein Viertel der gesamten Treibhausgasemissionen Ghanas. Im Projekt Waste2Energy zeigen ghanaische und deutsche Forschende, wie auf der Straße herumliegender Müll sauber zu Energie und Rohstoffen umgewandelt werden kann. Mithilfe grüner Energie aus der Sonne und verschiedener Zersetzungsverfahren wird der Abfall in einer Hybrid-Photovoltaik-Biogas-Pyrolyse-Anlage in Energie umgewandelt. Der Clou: Durch die Verfahren wird Energie gewonnen und gleichzeitig weniger Kohlendioxid ausgestoßen. Weiterhin werden Nährstoffe zurückgewonnen, die von Bauern aus den umliegenden Dörfern als Dünger genutzt werden. Mit der Demonstrationsanlage (400 Kilowatt) werden 4.000 Tonnen Kohlendioxid pro Jahr gespart und 50 Arbeitsplätze geschaffen. Perspektivisch sind allein in Ghana bis zu zehn Großanlagen vorstellbar, die rund



Im Projekt zeigen ghanaische und deutsche Forschende, wie Siedlungsabfälle sauber zu Energie und Rohstoffen umgewandelt werden können.

1.000 Menschen Arbeit geben können. Das trägt zur Verbesserung der Lebensumstände bei: Luft und Straßen werden sauberer und Perspektiven für Arbeit und Wohlstand geschaffen.

Zuwendungsempfänger: Universität Rostock und vier weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SF0591

Fördermittelansatz: 5,9 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2023

PROJEKTSTECKBRIEF

OPTIBIOSY – *Untersuchung der Potenziale und Entwicklung eines Optimierungsmodells für Biogasanlagen im Kontext des zukünftigen Stromsystems*

Biogasanlagen sind wichtige Eckpfeiler der Energiewende und der Versorgung mit erneuerbarem Strom. Strom aus Biogas steht im Wesentlichen kontinuierlich sowie tages- und jahreszeitlich unabhängig zur Verfügung, ist jedoch vergleichsweise teuer. Um Angebotsschwankungen bei anderen erneuerbaren Stromerzeugern (Wind, Solar), die Differenz zwischen Nachfrage und Angebot von Strom auszugleichen und eine sichere und stabile Stromversorgung zu gewährleisten, sind sogenannte Systemdienstleistungen erforderlich. Dazu zählen Spannungs- und Frequenzhaltung, Residuallastversorgung oder Blindleistung. Biogas kann diese Systemdienstleistungen grundsätzlich erbringen, wenn die Anlagenleistung passgenau darauf und auf den fluktuierenden Bedarf zugeschnitten wird. Das mit zwei ostbayerischen Hochschulen durchgeführte Verbundvorhaben Optibiosy soll die Systemstabilität und Energieeffizienz durch Biogasanlagen verbessern. Zunächst werden die Potenziale von Biogas als Anbieter verschiedener Systemdienstleistungen im künftigen Stromsystem dargestellt sowie eine Analyse und Bewertung der möglichen Systemdienst-



Biogasanlagen werden optimal in regionale und überregionale Energiesysteme integriert.

leistungen durch Biogas und der dafür erforderlichen technischen Voraussetzungen unter Berücksichtigung von Anlagengrößen und der jeweiligen Netzeinbindung vorgenommen. Hieraus erfolgen Ableitungen der hierfür erforderlichen Auslegung der Motoren-, Verfahrens- und Anlagentechnik und eine Beschreibung der notwendigen ökonomischen Randbedingungen.
Zuwendungsempfänger: Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg und Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Förderkennzeichen: 22405016, 22410417, 22410517
Fördermittelsatz: 710.000 Euro
Projektlaufzeit: 2018 – 2021

2.2.4 Geothermie

Erdwärme ist eine verlässliche Energiequelle. Mit aktuellen Technologien ist die hydrothermale Geothermie zur Wärmenutzung marktfähig. Laut Bundesverband Geothermie werden in Deutschland aktuell rund 40 Heiz- und Kraftwerke sowie kombinierte Heizkraftwerke betrieben. Im Bereich der oberflächennahen Geothermie sind über 400.000 Anlagen installiert.

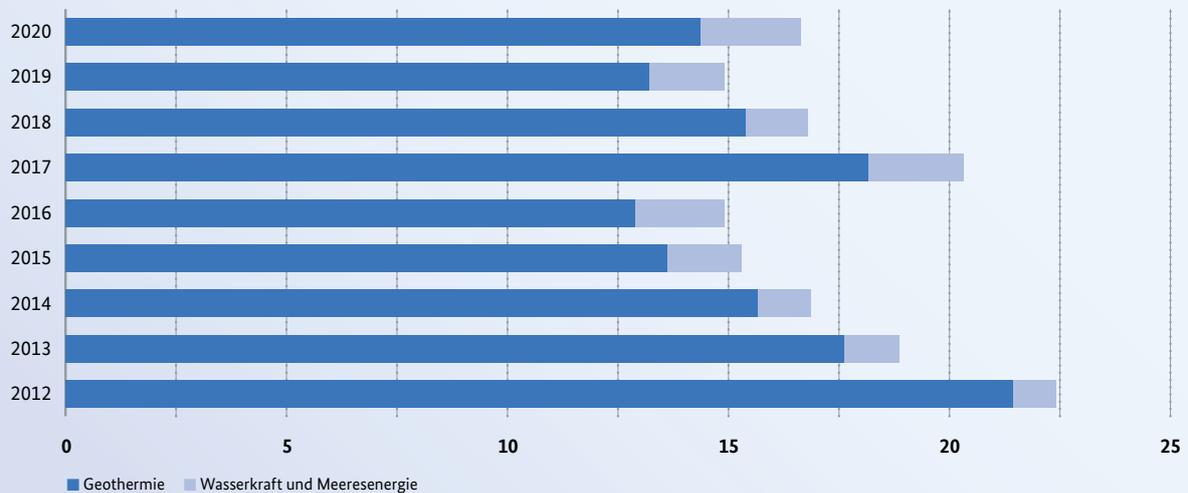
Schwerpunkte legt die Förderung verstärkt auf die Nutzung der Geothermie zur Wärme- und Kälteversorgung sowie zum saisonalen Speichern von Wärme. Forschungsprojekte sollen dazu beitragen,

Kosten und Risiken zu reduzieren, Speichermöglichkeiten zu schaffen sowie Bekanntheit und Akzeptanz der Geothermie zu steigern. Ein Fokus liegt dabei auf Demonstrations- und Pilotvorhaben, mit denen der Praxistransfer neuer Technologien beschleunigt werden kann.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Geothermie hat das BMWi im Jahr 2020 106 laufende Vorhaben mit rund 14,36 Millionen Euro gefördert. 2020 hat das Ministerium zudem 41 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelsatz von rund 40,95 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 11).

Abbildung 11: Fördermittel für Geothermie sowie für Wasserkraft und Meeresenergie in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 3, Seite 88)



PROJEKTSTECKBRIEF

GEOmaRE – Optimierte Regel- und Anlagentechnik mit nachhaltiger Reservoir-Bewirtschaftung für die tiefengeothermischen Wärmeprojekte im Münchner Raum

Im Rahmen ihrer Wärmevision setzen die Stadtwerke München für eine klimaneutrale Energieerzeugung zunehmend auf Tiefe Geothermie. Eine effiziente, regenerative, flächendeckende Fernwärme-Versorgung der bayerischen Metropole München bedarf sowohl einer angepassten Wärmeinfrastruktur als auch einer nachhaltigen Reservoir-Bewirtschaftung. Mit dem Forschungsprojekt GEOmaRe sollen die konzeptionellen und Entwicklungsarbeiten für die anvisierten 400 Megawatt geothermischer Wärme wissenschaftlich und technisch begleitet werden. Neben übergeordneten Fragen zur Wärmeverfügbarkeit und -verwertung in den städtischen Wärmenetzen betrachten die Verbundpartner hierzu in zwei Teilvorhaben ober- sowie untertägige Aspekte der dezentralen Tiefenwärme-Nutzung. Ziel ist es, eine schonende Reservoir-Bewirtschaftung und wirtschaftliche Wärmegewinnung zu ermöglichen.

Zum einen entwickeln die Projektteams innovative Steuerungs- und Regeltechniken, um dezentrale Geo-



Blockbild Tiefe Geothermie

thermie- und andere Bestandsanlagen effizient zu vernetzen. Zum anderen werden mit dem Erheben und Auswerten umfangreicher geophysikalischer, geologischer und hydrochemischer Daten die quantitativen und qualitativen Grundlagen für eine nachhaltige und sichere Wärmegewinnung geschaffen. Bohrtechnische Fragen, insbesondere die Erprobung innovativer Erschließungstechnik, runden das Projektspektrum ab.

Zuwendungsempfänger: SWM Services und Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG)

Förderkennzeichen: 0324332A-B

Fördermittelansatz: 3,1 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2021



2.2.5 Wasserkraft und Meeresenergie

Die Wasserkraft hat im deutschen Energiesystem als kontinuierlich verfügbare erneuerbare Energiequelle seit langem einen festen Platz. Ihr Anteil an der gesamten Stromproduktion in Deutschland beträgt knapp 3,5 Prozent. Auf Basis heutiger Technologien sind geeignete Standorte jedoch nahezu ausgeschöpft.

Forschungsprojekte tragen daher dazu bei, Technologien zu entwickeln, um die Leistung bestehender Anlagen zu steigern, auf einen fluktuierenden Energiebedarf zu reagieren und die ökologische Verträglichkeit zu steigern.

Im Bereich der Meeresenergie werden Entwicklung und Demonstration von Meeresströmungsturbinen sowie Wellenenergiekonvertern gefördert.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Wasserkraft und Meeresenergie hat das BMWi im Jahr 2020 zehn laufende Vorhaben mit rund 2,26 Millionen Euro gefördert (vgl. Abb. 11, Seite 39).

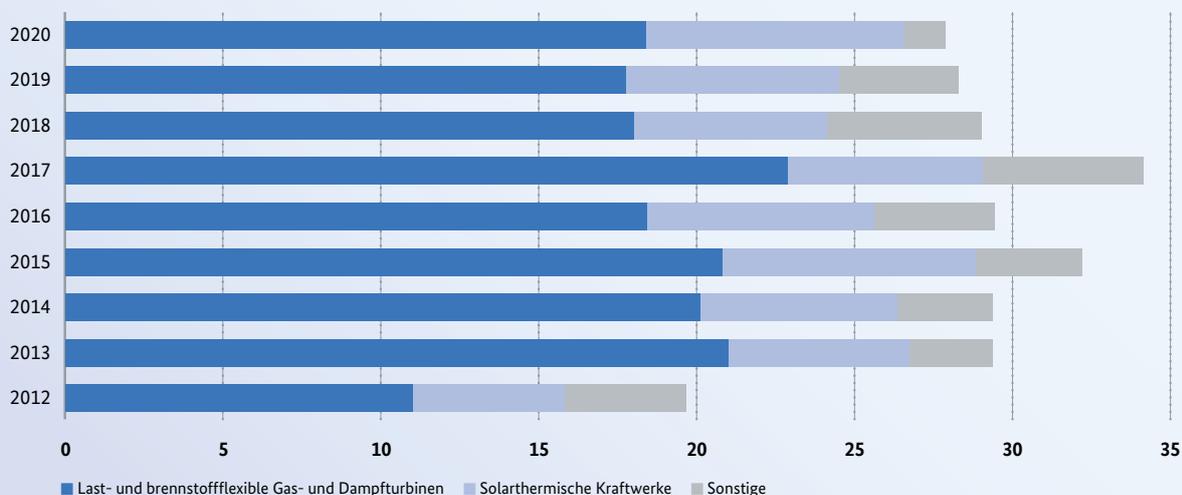
2.2.6 Thermische Kraftwerke

Thermische Kraftwerke können im klimaneutralen Energiesystem der Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Die Energieforschung trägt hier dazu bei, weitere Optionen zu eröffnen, auch für bestehende Infrastrukturen. Zudem gilt es die bestehende Infrastruktur an die veränderte Energielandschaft mit vielen Akteuren anzupassen.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das BMWi unterstützt unter anderem Projekte, die erforschen, wie große Energiespeicher in den Kraft-

Abbildung 12: Fördermittel für Thermische Kraftwerke in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 3, Seite 88)



werkspark integriert werden können. Zeitweise nicht benötigter Strom aus erneuerbaren Energiequellen ließe sich dort beispielsweise mithilfe von Power-to-X-Technologien in grünen Wasserstoff oder Wärme umwandeln und zwischenspeichern. Bei Bedarf könnte daraus wieder Strom erzeugt werden. Zudem werden Forschungsvorhaben zu solarthermischen Kraftwerksprozessen und -komponenten gefördert. In Deutschland ist die direkte Sonneneinstrahlung zwar zu gering, um mit dieser Technik Strom zu produzieren. Deutsche Unternehmen exportieren aber erfolgreich Solartechnik „made in Germany“.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Thermische Kraftwerke hat das BMWi im Jahr 2020 375 laufende Vorhaben mit rund 27,90 Millionen Euro gefördert. 2020 hat das Ministerium zudem 83 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 38,30 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 12).



PROJEKTSTECKBRIEF

VeNiTe – Thermische Kraftwerke – Entwicklung von Verfahren für thermische Nitratsalzspeicher für erhöhte Temperatur und Lebensdauer

Solarthermische Kraftwerke in sonnenreichen Regionen der Erde nutzen seit einigen Jahren vorwiegend Flüssigsalz, um überschüssig erzeugte Wärme bei rund 550 Grad Celsius in großen Tanks zwischenspeichern. Höhere Temperaturen würden den Wirkungsgrad des Kraftwerks zusätzlich erhöhen. Hierzu besteht jedoch noch weiterer Forschungsbedarf. Denn bei Temperaturen über 600 Grad Celsius reagiert das Salz verstärkt mit Gasen im Wärmespeicher. Dadurch kann es zu erhöhter Korrosion an den Bauteilen des Speichers kommen. Ziel des VeNiTe-Wissenschaftsteams ist es daher, die Zusammensetzung der Gase, die mit dem Salz in Berührung kommen, so zu modifizieren, dass übermäßige Korrosion verhindert wird. Mit diesem Ansatz könnte Solarsalz dauerhaft bei Betriebstemperaturen über 600 Grad Celsius eingesetzt werden. Die Technologie soll zunächst mit 100 Kilogramm Salz in der Praxis demonstriert und danach im Kraftwerksmaßstab konzeptionell geplant werden. Auch wenn die Intensität der Sonne in Deutschland



Das VeNiTe-Wissenschaftsteam analysiert im Autoklavensystem chemische Reaktionen – etwa ob Speichermaterialien wie Salz temperaturbeständig sind.

für diese Art der Stromproduktion nicht ausreicht: Die Technologie hat Exportpotenzial und kann auch in den hiesigen Breitengraden zum Beispiel in Wärmespeicherkraftwerken und zum Speichern von Prozesswärme in Industrieunternehmen genutzt werden.

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

Förderkennzeichen: 03EE5043A-C

Fördermittelansatz: 1,2 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2023

2.3 Systemintegration

2.3.1 Stromnetze

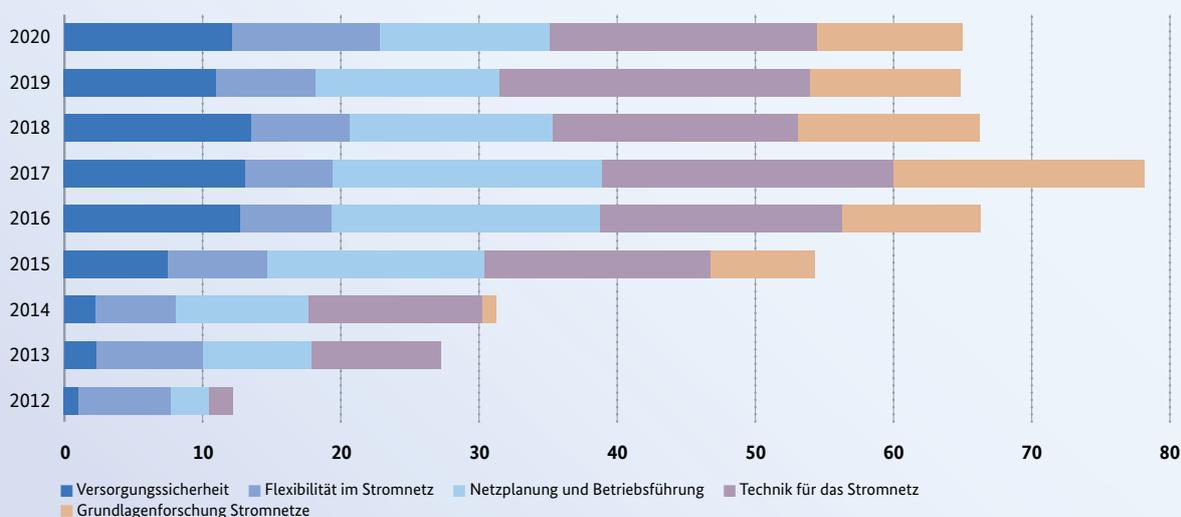
Bislang waren Stromnetze darauf ausgelegt, dass sie Energie von zentralen Großkraftwerken zum Endverbraucher brachten. Inzwischen produzieren und verbrauchen sogenannte Prosumer Strom dezentral an vielen Orten in ganz Deutschland. Auch die Entfernung, über die Strom transportiert wird, hat zugenommen, weil viel Strom an der windreichen Küste erzeugt und in die großen Verbrauchszentren im Westen und Süden geleitet wird. Ebenso müssen Stromnetze flexibel darauf reagieren, dass die Erzeugung von Öko-Strom je nach Wetterlage schwankt. All dies erfordert einen optimierten Betrieb der Stromnetze. Die Versorgungssicherheit und die Bezahlbarkeit der Stromversorgung zu erhalten, trägt zur Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschland bei.



Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das BMWi unterstützt, dass Betriebsmittel und Komponenten effizienter und günstiger werden. Forschungsbedarf besteht auch bei der Automatisierung der Netzbetriebsführung. Ziel ist eine zuverlässige netzebenenübergreifende Steuerung. Der Förderaufruf „Optimierter Netzbetrieb im Übertragungs- und Verteilnetz“ (OptiNet I) richtete sich deshalb an Netzbetreiber, um die Chancen einer verbesserten, auch ebenenübergreifenden Zusammenarbeit zu nutzen. Ein weiteres Forschungsthema ist die Frage, wie die Netze flexibel an die Schwankungen bei Erzeugung und Verbrauch angepasst werden können und gleichzeitig Frequenz und Spannung stabil bleiben. Auch die verbesserte Überwachung von Netzen ist bedeutsam, damit sie als kritische Infrastruktur widerstandsfähig und sicher sind. Im Falle eines Stromausfalls braucht es tragfähige Konzepte für einen schnellen Systemwiederaufbau. Das BMWi legt darüber hinaus mehrere Förderschwerpunkte auf die gezielte Digitalisierung des Energiesystems mithilfe von Informations- und Kommunikations-

Abbildung 13: Fördermittel für Netze in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 89)



technologien, künstlicher Intelligenz und maschinellen Lernverfahren. Das BMWi beteiligte sich auf länderübergreifender Ebene dazu an dem Förderaufruf „Digital Transformation for Green Energy Transition“ (MICall20) der europäischen Joint Programming Platform (ERA-Net) Smart Energy Systems und der globalen Initiative Mission Innovation.

Eine weitere Initiative mit diesen Forschungsschwerpunkten ist das Förderprogramm „Schau-fenster Intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende (SINTEG)“ (siehe Kapitel 5.1 Aktivitäten der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms, Seite 82).

Im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme Kopernikus-Projekte für die Energiewende entwickelt ENSURE Lösungsoptionen für das Stromnetz der Zukunft mit einem ganzheitlichen und vorausschauenden Ansatz. Das Projekt hat 2020 unter anderem eine umfassende und partizipativ mit allen wesentlichen Stakeholdern erarbeitete Studie mit verschiedenen Optionen für das Energiesystem 2030 sowie Schlussfolgerungen für einen entsprechenden Stromnetzausbau vorgelegt. Ergebnis: Es sind verschiedene Entwicklungspfade möglich, die gegenüber dem aktuellen Netzentwicklungsplan zu einem stärkeren und schnelleren Dekarbonisierungsbeitrag des Energiesektors führen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Stromnetze haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2020 517 laufende Vorhaben mit rund 65,05 Millionen Euro gefördert. 2020 haben die Ministerien zudem 145 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 81,85 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 13).

PROJEKTSTECKBRIEF



Ein neuartiger Batterie-Wechselrichter soll künftig ein hochverfügbares und modulares Wechselstrom-Netz und netzbildende und -stützende Funktionen bereitstellen.

LEITNING – *Leistungswandler für die robuste und zuverlässige Energieversorgung durch Integration „grüner“ Generatoren*

Im Verbundprojekt LEITNING soll ein neuartiger Batterie-Wechselrichter erforscht und praktisch getestet werden. Dieser soll ein hochverfügbares und modulares Wechselstrom-Netz sowie netzbildende und -stützende Funktionen bereitstellen. Eine Herausforderung ist dabei, ein reibungsloses Zusammenspiel mit Erneuerbare-Energie-Anlagen zu gewährleisten. Das Vorhaben soll zu einer massiven Material-, Gewichts- und Kostenersparnis im Vergleich zu den heute kommerziell verfügbaren Wechselrichter-Lösungen führen. Dabei wird technologieübergreifende Forschung auf den Gebieten der Wechselrichtersysteme, der Halbleitertechnik, der passiven Bauelemente sowie der Systemintegration betrieben. Als perspektivische Erweiterung ist ein Hybrid-Wechselrichter zum Anschluss von Photovoltaik-Generatoren, Brennstoffzellen und anderen Energiequellen angedacht. Die geplante hohe Massen-Leistungsdichte des Wechselrichters und das damit verbundene geringe Gewicht sind der Schlüssel, um neue Anwendungsfelder für die einfache und flexible Integration erneuerbarer Energien zu erschließen. Ferner trägt das Vorhaben dazu bei, die CO₂-Reduktionsziele zu erreichen.

Zuwendungsempfänger: Infineon Technologies und fünf weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EI6030A-F

Fördermittelansatz: 3,5 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2024

2.3.2 Stromspeicher

Stromspeicher sollen im Energiesystem der Zukunft eine wichtige Funktion erfüllen. Sie sollen insbesondere Energie aus erneuerbaren Quellen speichern und sie zu einem späteren Zeitpunkt wieder verfügbar machen. Das kann zum Beispiel dann notwendig sein, wenn der Wind nicht weht oder die Sonne nicht scheint, also gerade kein Strom erzeugt werden kann, oder dann, wenn gerade ein hoher Strombedarf besteht. Außerdem ermöglichen Speicher in Zeiten, in denen wetterbedingt viel Öko-Strom erzeugt werden kann, dass überschüssige Energie nicht verloren geht. Bislang kommt es vor, dass Windräder gerade in windreichen Wetterlagen abgeschaltet werden müssen, weil die Kapazität des Netzes nicht ausreicht, um den Strom aufzunehmen und zu transportieren. Stromspeicher könnten also ausgleichend wirken und das Netz stabilisieren. Im Zuge der Sektorkopplung, also der Verbindung der Versorgungsgebiete Strom, Wärme und Verkehr, könnten künftig neue Einsatzbereiche für Speicher erschlossen werden. So könnten in Wohngebäuden statt Tanks für Öl oder Gas Stromspeicher eingebaut werden, die dann geladen werden, wenn gerade viel Strom zur Verfügung steht. Um ihre Potenziale noch besser nutzen zu können, arbeiten Fachleute in Forschung und Entwicklung kontinuierlich daran, Speicher leistungsstärker und günstiger zu machen.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das BMWi fördert die Erforschung verschiedener Speichertechnologien: elektrochemische Speicher (Batterien, inklusive Redox-Flow-Batterien), Supercaps (elektrische Speicher), mechanische Speicher (Druckluft und -gas, Pump- sowie Schwungradspeicher) und Hochtemperatur-Wärmespeicher für die Stromspeicherung (sogenannte Carnot-Batterien). Forschende arbeiten stetig daran, Materialien und Komponenten zu verbessern sowie Prozesse der Fertigung, Standardisierung und des Betriebs zu optimieren. Digitale Technologien nutzen die Fachleute um sicherzustellen, dass Spei-

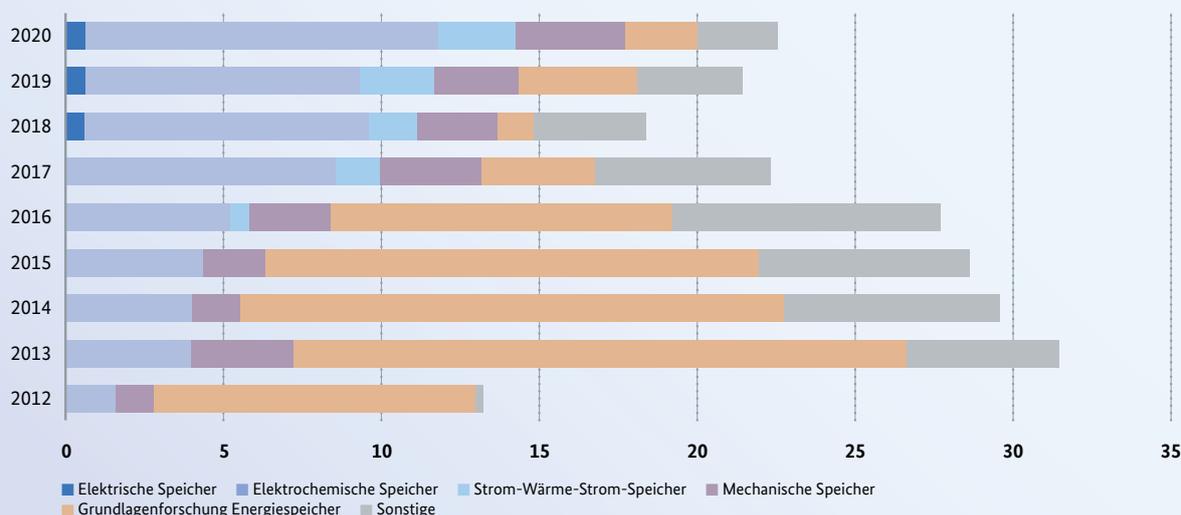
cher bestmöglich ins Energiesystem integriert werden. Daran anknüpfend fördert das Ministerium auch, dass Forscherteams angrenzende Fragestellungen untersuchen, etwa der Zellchemie, und ihre Erkenntnisse in Feldtests praktisch erproben, etwa mithilfe von Demonstrationsanlagen und im Rahmen der Reallabore der Energiewende (siehe Kapitel 1.2.4, Seite 15)

Mit einem Pilotwettbewerb für Sprunginnovationen hat das BMBF die Entwicklung eines „Weltspeichers“ für den Hausgebrauch angestoßen. Dieser soll in seiner Leistungsfähigkeit mit verfügbaren Anlagen mindestens gleichziehen und dabei erheblich kostengünstiger sein. Voraussetzung für die Förderung ist ein zu erwartender großer wissenschaftlich-technischer Fortschritt (Sprunginnovation). Ziel ist es, dezentrale Speicherlösungen gerade für ländliche Regionen zu entwickeln, zum Beispiel in Sub-Sahara-Afrika und auf dem indischen Subkontinent. Seit Juni 2020 konkretisieren die Einreicher von fünf besonders geeigneten Konzepten ein Jahr lang ihre Lösungsideen. Die Ansätze spannen einen Bogen von verschiedenen neuen Batterietechnologien bis hin zum innovativen Systemkonzept.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Stromspeicher haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2020 214 laufende Vorhaben mit rund 22,53 Millionen Euro gefördert. 2020 haben die Ministerien zudem 50 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 25,55 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 14).

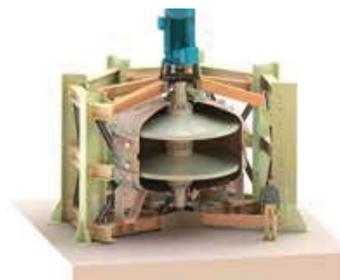
Abbildung 14: Fördermittel für Speicher in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 89)



PROJEKTSTECKBRIEF

DEMIKS – Dezentrale Energiespeicherung mittels integrierter kinetischer Rotationsmassenspeicher

Eine seit Jahrhunderten im Maschinenbau zur Energiespeicherung genutzte Methode ist die kinetische Rotationsmassenspeicherung. Die mechanischen Speicher (auch rotationskinetische Speicher genannt, abgekürzt RKS), bei denen ein Schwungrad beschleunigt und Energie als Rotationsenergie gespeichert wird, besitzen im Vergleich zu anderen Speichern geringe Verluste bei kurzzeitiger Speicherung. Sie erlauben eine vergleichsweise hohe Zahl an Lade-/Entladezyklen, kurze Reaktionszeiten sowie den Vorteil, dass sie nahezu standortunabhängig und umweltverträglich über den kompletten Produktlebenszyklus sind. Ein Ziel des Vorhabens ist es, einen RKS zu entwickeln, der direkt neben einem Windrad errichtet werden kann, also da, wo die Energie erzeugt wird. Das verringert Übertragungsverluste und der Speicher kann an ein bereits bestehendes, dezentrales Übertragungsnetz angeschlossen werden. Mit der angestrebten mechanischen RKS-Speicherkapazität von



Das Foto zeigt die RKS-Demonstratorlösung des Projekts DEMIKS.

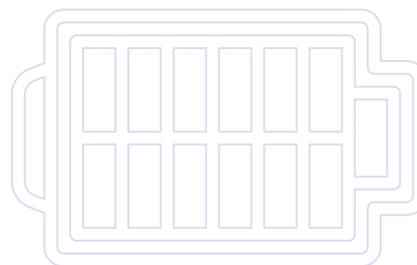
500 Kilowattstunden und bei einer elektrischen Lade- und Entladeleistung von 500 Kilowatt wird Neuland auf dem Gebiet einrotoriger RKS-Systeme betreten. Bislang besaßen RKS ein Speichervermögen von rund 100 Kilowattstunden, also im Vergleich zur Leistung eine deutlich geringere Kapazität. Das Vorhaben stellt demnach völlig neue Anforderungen an das Speichersystem und seine Komponenten.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Dresden und fünf weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ET6102A-F

Fördermittelansatz: 2,8 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2016 – 2021



PROJEKTSTECKBRIEF

ReserveBatt – Systemdienstleistungen für den sicheren Betrieb des Energieversorgungssystems: Momentanreserve mit Hochleistungsbatterien und VISMA-Stack-Wechselrichter

Damit das Energiesystem stets stabil ist und die Frequenz gleichmäßig verläuft, muss genauso viel Strom eingespeist wie verbraucht werden. Übertragungsnetzbetreiber müssen Bilanzungleichgewichte daher sofort ausgleichen. Dafür benötigen sie Momentanreserve als eine Form von Systemdienstleistungen.

Diese stellen bislang vor allem konventionelle Kraftwerke bereit. Da sie im Zuge der Energiewende nach und nach vom Netz gehen, muss auf alternative Erbringer von Systemdienstleistungen umgestellt werden, etwa Stromspeicher. Das Ziel des Projektteams ist es, einen Demonstrator zu entwerfen und aufzubauen, der Momentanreserve erbringt. Er enthält einen sogenannten Stack-Wechselrichter, der eine Lithium-Ionen-Hochleistungsbatterie mit dem Versorgungsnetz koppelt und den Energiefluss zwischen beiden Systemen steuert. Im Rahmen des Feldtestbetriebs erforscht das Team den Demonstrator in Goslar als Teil des öffentlichen Verteilnetzes in der Praxis, um zu ausagekräftigen Ergebnissen zu gelangen und Empfeh-



Das Foto zeigt die drei integrierten Phasenbausteine eines 400-kVA-Demonstrator-Stack-Wechselrichters von Infineon.

lungen für den vorgesehenen späteren Einsatzbereich geben zu können. Das bedeutet, dass die Fachleute Verwertungsmöglichkeiten und mögliche Geschäftsmodelle für die Erbringung von Systemdienstleistungen entwickeln und evaluieren.

Zuwendungsempfänger: Energie-Forschungszentrum der Technischen Universität Clausthal und sechs weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ET6123A-G

Fördermittelansatz: 5,3 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2017 – 2021

2.3.3 Sektorkopplung und Wasserstoff

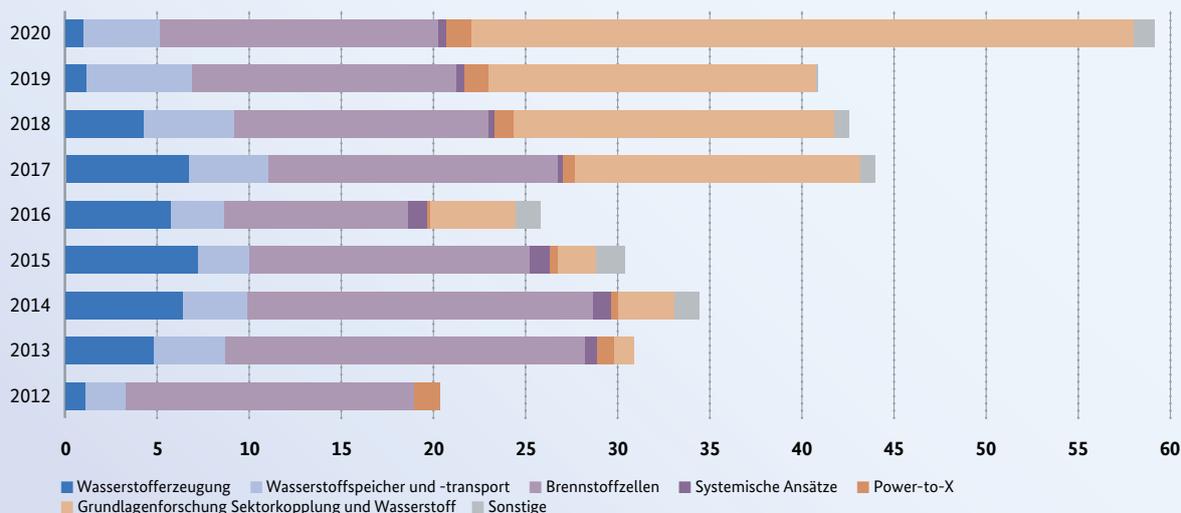
Ziel der Sektorkopplung ist es, erneuerbar erzeugte Elektrizität in Sektoren einzuführen, die noch nicht umfassend elektrifiziert sind. Hierzu zählen grüner Strom für Wärme und Kälte sowie Antriebsenergie für den Verkehr und Prozessenergie für die Industrie. In der industriellen Produktion, im Verkehr und im Wärmemarkt werden bisher hauptsächlich fossile Energiequellen wie Öl, Erdgas und Kohle verwendet. Wasserstoff gilt als Multitalent, um diese Sektoren zu dekarbonisieren und CO₂-neutral zu gestalten. Überschussstrom von Windenergie- und PV-Anlagen kann mit Elektrolyseuren in Wasserstoff umgewandelt werden. Dieser lässt sich zum Beispiel in der Stahlproduktion oder der chemischen Industrie energetisch oder stofflich verwerten. Zudem ist Wasserstoff ein wichtiger Bestandteil alternativer strombasierter Kraftstoffe für den Transport und den Flugverkehr.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die 2020 veröffentlichte Nationale Wasserstoffstrategie hat zum Ziel, den CO₂-Ausstoß in den Sektoren Verkehr, Wärme und Industrie nachhaltig zu reduzieren. Dabei gilt es, Wasserstofftechnologien wirtschaftlich zu machen und die Voraussetzungen für einen breiten Einsatz von Wasserstoff im Energiesystem zu schaffen. Dazu braucht es innovative Technologien für die Erzeugung, den Transport, die Speicherung und die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger. Zudem gilt es, eine stabile und sichere Wasserstoffinfrastruktur zu entwickeln und diese in das bestehende Energiesystem zu integrieren.

Wichtige Forschungsthemen sind die Erzeugung von grünem Wasserstoff mittels Elektrolyse oder biochemischen Verfahren, die Weiterverarbeitung des Rohstoffs zu synthetischen Kraftstoffen oder

Abbildung 15: Fördermittel für Brennstoffzellen und Wasserstoff in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 89)



Folgeprodukten, die die Speicher- und Transportfähigkeit erleichtern. Auch die Umwidmung bestehender Gasnetze, die Beimischung von Wasserstoff ins Erdgasnetz und die Entwicklung von nicht-leitungsgebundenen Transportmethoden sollen erforscht werden. Im Bereich der Nutzung stehen die Weiterentwicklung von Brennstoffzellen und der Einsatz von Wasserstoff in Raffinerien, Grundstoff- und Stahlindustrie im Mittelpunkt. Außerdem gibt es Forschungsbedarf bei der Standardisierung von Anlagen und Komponenten, Transport- und Leitungssystemen, bei Überwachung und Sicherheitstechnik sowie bei der Zertifizierung von Wasserstoffprodukten. Darüber hinaus müssen die Technologien bezüglich möglicher Auswirkungen auf die gesellschaftliche Akzeptanz, die Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt und die nationale Wirtschaft untersucht und bewertet werden. Um diese Herausforderungen zu meistern, haben BMBF und BMWi 2020 großangelegte Forschungsinitiativen gestartet.

Im Rahmen der „Technologieoffensive Wasserstoff“ hat das BMWi Unternehmen aus Industrie und Wirtschaft dazu aufgerufen, den Technologietransfer in die Praxis zu beschleunigen.

Der im Juni 2020 veröffentlichte Förderaufruf „Wasserstoffrepublik Deutschland“ des BMBF zielt zum einen auf industriegeführte Leitprojekte zu den zentralen und drängenden Wasserstoff-Inno-

vationsfeldern. Drei großangelegte Forschungs- und Technologieplattformen zu den Themen Serienfertigung von Elektrolyseuren, Offshore-Wasserstofferzeugung und Wasserstoff-Transportlösungen mit insgesamt rund 350 Partnern wurden 2020 konzipiert und begutachtet. Im Frühjahr 2021 werden die Projekte ihre Arbeit aufnehmen. Zum anderen adressiert der Förderaufruf Grundlagenforschung entlang der gesamten Wasserstoff-Wertschöpfungskette (Erzeugung, Speicherung, Transport sowie Nutzung einschließlich Rückverstromung). Im Fokus stehen die Materialforschung sowie mögliche Schlüsseltechnologien der nächsten und übernächsten Generation.

Zudem hat das BMBF 2020 das Projekt Potenzialatlas Grüner Wasserstoff für Afrika gestartet, mit dem die Möglichkeiten einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft im westlichen und südlichen Afrika untersucht werden (siehe Projektsteckbrief H₂ Atlas Africa, Seite 49).

Projektförderung

Im Schwerpunkt Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2020 269 laufende Vorhaben mit rund 59,13 Millionen Euro gefördert. 2020 haben die Ministerien zudem 95 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 151,16 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 15).



PROJEKTSTECKBRIEF



Der Potenzialatlas dient als Wegweiser bei der Umsetzung einer grünen wasserstoffbasierten Wirtschaft in Afrika.

H₂ Atlas Africa – Potenzialatlas Grüner Wasserstoff für Afrika

Deutschland wird auf den Import von nachhaltig erzeugtem Wasserstoff angewiesen sein, denn allein durch die inländische Erzeugung wird sich der Wasserstoff-Bedarf bei Weitem nicht decken lassen. Das BMBF setzt daher auf strategische Partnerschaften mit Afrika, wo genügend unbebaute Flächen zur Verfügung stehen, um nicht nur den Energiebedarf vor Ort zu decken, sondern Energie in Form von grünem Wasserstoff auch exportieren zu können. Der H₂ Atlas Africa soll das Potenzial der Produktion und des Exports von grünem Wasserstoff bewerten und untersuchen, wie seine Erzeugung die nachhaltige Entwicklung Afrikas unterstützen kann. In über 30 Ländern analysieren Forschende unter anderem verfügbare erneuerbare Energie- und Wasserressourcen, nutzbare Flächen, die Kosten-Effizienz der Wasserstoff-Produktion, Energiebedarf und Energieinfrastruktur vor Ort sowie gesellschaftliche und politische Rahmenbedingungen. Die Ergebnisse werden auf einer interaktiven Karte dargestellt und zeigen Investoren, welche Standorte für den Aufbau einer grünen Wasserstoff-Infrastruktur sinnvoll sind. In Pilotprojekten wird anschließend untersucht, wie die Produktion von grünem Wasserstoff, sein Export und Vertrieb wirtschaftlich effizient realisiert werden kann.

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Jülich und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EW0001

Fördermittelansatz: 5,9 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2022

PROJEKTSTECKBRIEF



Im Bioreaktor setzen Mikroorganismen Kohlendioxid und Wasserstoff zu Spezialchemikalien um (Chemikaliensynthese).

Rheticus – Errichtung und Validierung einer vollkontinuierlichen modularen Basistechnologie-Plattform für die Herstellung von Spezialchemikalien

Eine der zentralen Fragen der Energiewende besteht darin, wie sich volatiler erneuerbarer Strom sinnvoll nutzen und die darin enthaltene Energie intelligent speichern lässt. Die Antwort des Projekts Rheticus ist die Bildung von wertvollen Spezialchemikalien aus Kohlendioxid und Strom aus erneuerbaren Quellen mithilfe von Bakterien. In der am 23. September 2020 am Evonik-Standort in Marl eröffneten Versuchsanlage zeigen die beiden beteiligten Unternehmen, wie Chemie mit Kohlendioxid als Rohstoff im industriellen Maßstab funktionieren kann. Eine Besonderheit der Anlage ist ihr modularer Aufbau. Die beiden Module Elektrolyseur und Fermenter sind als jeweils eigenständige Einheiten konzipiert. Dadurch lässt sich die Größe von Anlagen beliebig skalieren und an lokale Gegebenheiten anpassen. Durch die Entwicklung weiterer Module entsteht außerdem eine bisher ungekannte Flexibilität hinsichtlich der Rohstoffquellen und der hergestellten Produkte. Rheticus zeigt somit das große Potenzial auf, das sich aus der Zusammenführung von Energie- und Chemie-sektor für die Sektorkopplung ergibt.

Zuwendungsempfänger: Evonik und Siemens

Förderkennzeichen: 03SF0548A-B und 03SF0574A-B

Fördermittelansatz: 6,4 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2017 – 2021

PROJEKTSTECKBRIEF

Portal Green – Entwicklung eines Power-to-Gas-Leitfadens für die Integration erneuerbarer Energien

Ein wichtiger Eckpfeiler für die Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem sind Power-to-Gas-Anlagen. Die Genehmigungsverfahren und Betriebsvorgaben solcher Installationen sind komplex und teilweise unübersichtlich. Möglicher Interpretationsspielraum der anzuwendenden Gesetze und Verordnungen wird darüber hinaus durch die zuständigen Behörden auf verschiedene Weise genutzt und kann zu regional unterschiedlichem Vorgehen führen. Dies macht die Prozesse für Anlagenplaner und -betreiber schwer zu kalkulieren und führt zu Aufwand und Verzögerungen. Die Verbundpartner von Portal Green haben daher einen Leitfaden zu technischen und genehmigungsrechtlichen Anforderungen für den Bau und Betrieb von Power-to-Gas-Anlagen entwickelt. Diese sollen Betreiber und Behördenvertreter dabei unterstützen, Power-to-Gas-Anlagen planen, genehmigen und betreiben zu können. Den Ende 2020 fertiggestellten Leitfaden stellt das Forschungskonsortium Interessenten kostenlos zum Download zur Verfügung. Das Dokument stellt den Ablauf, die benötigten Unterlagen und Vorabprüfungen in den



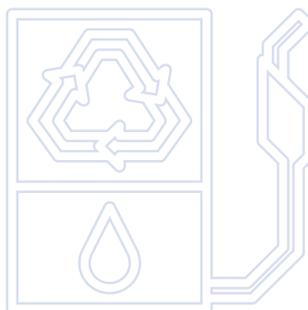
jeweiligen Genehmigungsverfahren vor. Er berücksichtigt überdies Besonderheiten, die sich durch den Anschluss an verschiedene Nutzungszweige ergeben können. Hierzu zählen das Einspeisen von Wasserstoff oder Methan in das bestehende Gasnetz, die Versorgung von Wasserstofftankstellen, die Rückverstromung und der Einsatz in der Industrie.

Zuwendungsempfänger: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ET6135A-D

Fördermittelsatz: 1,3 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2020



2.4 Systemübergreifende Forschungsthemen

2.4.1 Energiesystemanalyse

Energiesystemmodelle geben Einblick in die Beziehungen zwischen Einspeisern und Nutzern, zeigen das Zusammenspiel von Technologien und Sektoren und verdeutlichen potenzielle Entwicklungspfade. Ihr Erfolg basiert auf der Wahl der richtigen Variablen, Datenbasis, Werkzeuge und Methoden, um eine hohe Realitätsnähe zu erreichen.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Systemanalytische Modelle liefern Entscheidern Planungshilfen, um die Energiewelt von morgen zu gestalten. Somit kommt dem Transfer systemanalytischer Forschung in die energiewirtschaftliche Praxis, zum Beispiel durch das Mitdenken von Anwendungsfällen in der Industrie, eine Schlüsselrolle in der Projektförderung zu. Durch Open Science, Open Data, Open Source und Open Access sollen zudem transparente, nachvollziehbare und vergleichbare Ergebnisse erreicht werden. Ein

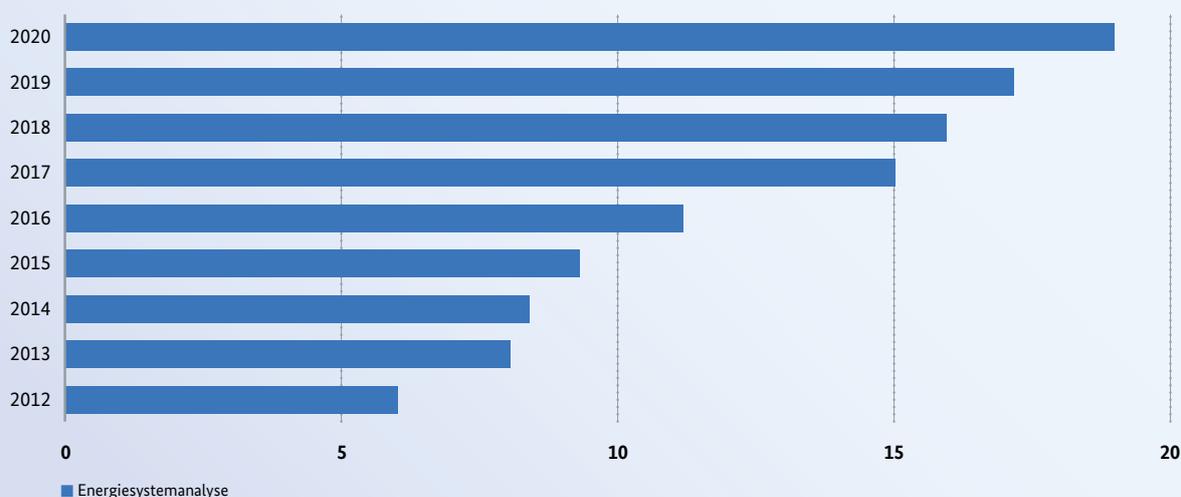
Fokus liegt auch auf interdisziplinären Ansätzen, die alle relevanten technischen, wirtschaftlichen, ökologischen, energiepolitischen und gesellschaftlichen Faktoren einschließen. Darüber hinaus unterstützt das Ministerium Vorhaben, die sich der kontinuierlichen Werkzeug- und Methodenentwicklung widmen, wie beispielsweise standardisierte Schnittstellen, um Modelle (sektorübergreifend) koppeln zu können.

Um die internationale Zusammenarbeit zu stärken, hat das BMWi im April 2020 einen Förderaufruf für die deutsche wissenschaftliche Begleitung des „Energy Technology Systems Analysis Programme“ (ETSAP) ausgeschrieben, dem TCP der Internationalen Energieagentur zur Systemanalyse.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiesystemanalyse hat das BMWi im Jahr 2020 216 laufende Vorhaben mit rund 18,97 Millionen Euro gefördert. 2020 hat das Ministerium zudem 34 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 15,13 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 16).

Abbildung 16: Fördermittel für Energiesystemanalyse in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 90)



PROJEKTSTECKBRIEF

UNSEEN – *Unsicherheiten in linear optimierenden Energiesystemmodellen durch neuronale Netze bewerten*

Versorgungssicherheit setzt stabile Energiesysteme voraus. Das gilt auch und besonders bei Schwankungen durch Netzengpässe oder Kraftwerksausfälle. Um auf solche Abweichungen vorbereitet zu sein, entwickelt das Forschungsteam von UNSEEN ein Verfahren, um zahlreiche modellbasierte Szenarien (inklusive Extremsituationen) zu simulieren und zu bewerten. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verfolgen dabei den zentralen Ansatz, eine Großzahl hoch aufgelöster Instanzen von Energiesystemmodellen durch den Einsatz neuronaler Netze, sprich Methoden des maschinellen Lernens, auf Höchstleistungsrechnern zu lösen. Die Ergebnisse von Systemanalysen lassen sich schlussendlich durch Parametervariationen und durch das Erhöhen des Auflösungsgrads der Modelle besser absichern. Damit all dies gelingt, ist jedoch das Senken der Modellrechenzeiten eine entscheidende Herausforderung. UNSEEN baut hierbei auf den Forschungsarbeiten von BEAM-ME auf. Das



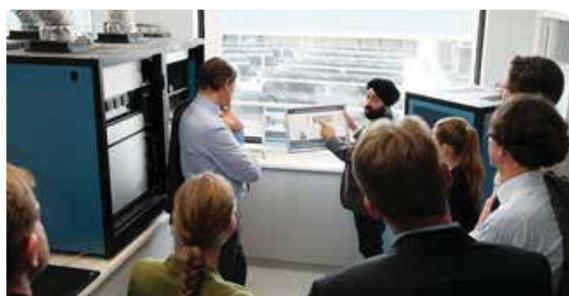
Durch einen sehr großen Parameterraum will das Team eine Vielzahl an modellbasierten Energieszenarien berechnen und auswerten.

Vorgängerprojekt konnte erhebliche Erfolge bei der Beschleunigung der Rechenzeit von komplexen Energiesystem-Optimierungsmodellen erzielen. Die Verbundpartner wollen diese Arbeiten konsequent fortführen, um zum einen Millionen von Szenarien in verhältnismäßig kurzen Zeiträumen zu berechnen und zum anderen die Lösungsalgorithmen zielgerichtet weiterzuentwickeln.

Zuwendungsempfänger: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt und fünf weitere Verbundpartner
Förderkennzeichen: 03EI1004A-F
Fördermittelsatz: 2,9 Millionen Euro
Projektlaufzeit: 2019 – 2022

HySupply – *Deutsch-Australische Machbarkeitsstudie zu Wasserstoff aus erneuerbaren Energien*

Ziel des Vorhabens ist es, erstmalig die Machbarkeit der gesamten Wertschöpfungskette von erneuerbarem Wasserstoff zwischen den zwei Industriestaaten Deutschland und Australien im Rahmen einer umfassenden Studie zu untersuchen. Gemeinsam mit einem Konsortium australischer Partner werden die derzeitigen Barrieren und Hemmnisse für den Aufbau einer globalen Wasserstoff-Wertschöpfungskette identifiziert und konkrete Umsetzungsoptionen für die Lieferbeziehungen zwischen beiden Staaten beschrieben. Hierfür werden volks- und betriebswirtschaftliche sowie naturwissenschaftlich-technische Aspekte ebenso betrachtet wie regulatorische, rechtliche und logistische Rahmenbedingungen. Die Machbarkeitsstudie wird gemeinsam von deutschen und australischen Partnern unter Einbezug von Stakeholder-Projektgruppen durchgeführt, damit die gewonnenen



Deutsche Delegation besichtigt Ammoniak-Cracker des CSIRO in Clayton, Australien.

Erkenntnisse schnell in konkrete Umsetzungsprojekte überführt werden können. Das Vorhaben legt den Grundstein für eine langfristige deutsch-australische Wasserstoffpartnerschaft und adressiert so eine zentrale Zielrichtung der Nationalen Wasserstoffstrategie.

Zuwendungsempfänger: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
Förderkennzeichen: 03EW0027
Fördermittelsatz: 1,7 Millionen Euro
Projektlaufzeit: 2020 – 2022

2.4.2 Digitalisierung der Energiewende

Digitale Anwendungen und Dienstleistungen spielen eine entscheidende Rolle bei der Vernetzung, Dezentralisierung und Flexibilisierung des Energiesystems und für den effizienten Einsatz von Energie und Ressourcen. Intelligente Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sind damit Schlüsselkomponenten für die Energie-Infrastruktur von morgen.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Digitalisierung ist als Querschnittsthema in zahlreichen Förderprojekten der Energieforschung vertreten. Die informationstechnische Vernetzung wirkt zudem oftmals system- und technologieübergreifend, beispielsweise in Bezug auf die Effizienz in der Energieversorgung oder bei der Sektorkopplung. Außerdem entstehen durch die Digitalisierung im Energiebereich neue Märkte, neue Geschäftsmodelle oder innovative smarte Dienstleistungen. Zugleich wird dadurch das Energiesystem aber auch komplexer und abhängiger. Daraus entstehen neue Fragen der Systemsicherheit und -zuverlässigkeit. Um die Potenziale der Digitalisierung für das Energiesystem effizient zu nutzen, fördert das BMWi diesen Themenkomplex als einen eigenen Forschungsschwerpunkt für die Energiewende. Auch im Rahmen der durch das

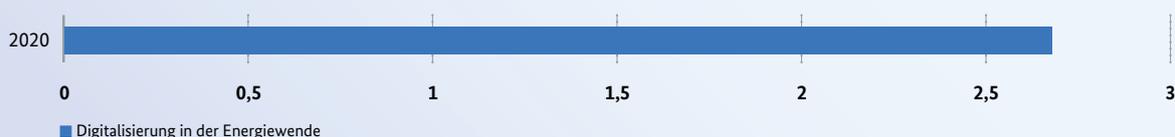
BMBF geförderten anwendungsorientierten Grundlagenforschung ist die Digitalisierung ein wichtiges Querschnittsthema. 2020 wurden in verschiedenen Vorhaben neben der Modellierung komplexer Energiesysteme unter anderem auch digitale Marktplätze entwickelt, zum Beispiel für den lokalen Energiehandel oder Dienstleistungen rund um energetisch-bauliche Maßnahmen. Die verbesserte Darstellung energierelevanter Daten für Planer und Bürger mittels Augmented Reality ist ebenfalls Forschungsgegenstand.

Im Dezember 2020 haben das ERA-Net EnerDigit der EU-Joint Programming Platform Smart Energy Systems und die globale Initiative Mission Innovation den Förderaufruf „Digital Transformation for Green Energy Transition“ (MICall20) veröffentlicht. Diese Maßnahme soll die Weiterentwicklung neuer Konzepte und Lösungen von Informations- und Kommunikationstechnologien fördern.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Digitalisierung der Energiewende haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2020 34 laufende Vorhaben mit rund 2,68 Millionen Euro gefördert. 2020 haben die Ministerien zudem 22 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 8,22 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 17).

Abbildung 17: Fördermittel für die Digitalisierung in der Energiewende in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 90)



PROJEKTSTECKBRIEF

5Gain – 5G-Infrastrukturen für zellulare Energiesysteme mithilfe Künstlicher Intelligenz

Für den Erfolg der Energiewende müssen viele dezentrale erneuerbare Energieanlagen, steuerbare Lasten und Speicher in lokalen Netzen intelligent verknüpft und in ein optimales Gleichgewicht gebracht werden. Das Projekt 5GAIN erforscht daher 5G-Konzepte für Energieverteilnetze.

Die acht Projekt- und sieben assoziierte Partner verfolgen den Ansatz, das Energienetz in Zellen mit einem weitgehend autonomen, dezentralen Last- und Einspeisemanagement einzuteilen. Das Verknüpfen aller Einheiten solcher zellulärer Energiesysteme soll durch schnelle 5G-Mobilfunkstandards erfolgen. Das regionale Entnahme- und Erzeugungsverhalten will das Verbundteam durch Machine-Learning-Algorithmen und innovative IT-Konzepte optimieren. Für das Abrechnen der Energieleistungen von Einspeisern und Nutzern entwickeln die Forschenden eine „Smart Contracts“-Lösung, basierend auf moderner Blockchain-Technologie. Das Team will zudem neue Geschäftsmodelle und inno-



Das Forschungsteam von 5GAIN erarbeitet 5G-Konzepte für Energieverteilnetze.

native, smarte Dienstleistungen erarbeiten, die erst durch 5G möglich sind. Hierzu zählt zum Beispiel, verteilte Infrastrukturen durch Drohnen automatisiert fernzuwarten, ein datenratenintensiver Prozess. Anschließend wollen die Partner die Funktionsfähigkeit unter betriebsnahen Bedingungen im Labor und im regionalen Maßstab nachweisen.

Zuwendungsempfänger: adesso SE und sieben weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EI6018A-H

Fördermittelansatz: 5,4 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2022

2.4.3 Ressourceneffizienz für die Energiewende

Der verantwortungsvolle Umgang mit Ressourcen ist ein wichtiges Querschnittsthema des 7. Energieforschungsprogramms. Ressourcen bezeichnen die Gesamtheit aller natürlichen Ressourcen und künstlich geschaffenen Güter im Wirtschaftskreislauf, um Produkte und Dienstleistungen herzustellen. Dazu zählen Rohstoffe, Zwischenprodukte und Produkte am Ende einer wirtschaftlichen Nutzungsphase, aber auch Energieträger. Kreislaufwirtschaft als ergänzendes Konzept verstärkt die Ressourceneffizienz, indem Produkte nach ihrer Nutzung wieder zu Ressourcen werden. Ressourceneffizienz in Kombination mit Kreislaufwirtschaft betrachtet hier vorwiegend Güterströme, die

nicht nur einen stofflichen, sondern auch einen energetischen Charakter haben.

Zur Vorbereitung eines Förderaufrufs des BMWi für 2021 zu Ressourceneffizienz und zirkulärem Wirtschaften hat der Projektträger Jülich im Auftrag des Ministeriums im Herbst eine Umfrage unter Vertreterinnen und Vertretern von Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Energiewirtschaft und energieintensiven Branchen zum Forschungs- und Entwicklungsbedarf in diesem Bereich durchgeführt. Darüber hinaus achtet die Bundesregierung auf das angemessene Berücksichtigen von Aspekten der Ressourceneffizienz bei der Förderung der Energieforschung.

2.4.4 CO₂-Technologien (inkl. Carbon2Chem)

In industriellen Prozessen, in denen die Entstehung von Kohlendioxid (CO₂) nicht verhindert werden kann, kann dieses abgetrennt werden, um die Freisetzung in die Atmosphäre zu verhindern. Ein Ansatz der Forschung zu CO₂-Technologien ist es, CO₂ als Ausgangsstoff zu nutzen. CO₂ dient dabei als Kohlenstoffquelle, aus der neue Produkte hergestellt werden können. Wenn diese Produkte langlebig sind und so das CO₂ langfristig binden, lassen sich emissionsintensive industrielle Prozesse auf diese Weise nachhaltig gestalten.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

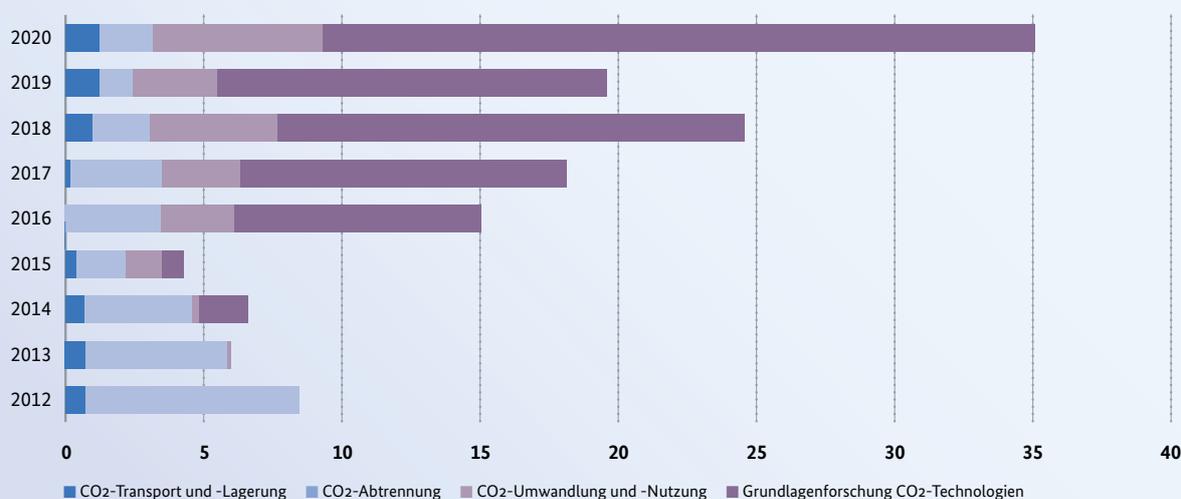
Zentral für diesen durch BMWi und BMBF geförderten Forschungsbereich sind Ansätze, CO₂ abzuscheiden und im Anschluss zu verwenden oder zu speichern (engl. Carbon Capture and Utilization, CCU; Carbon Capture and Storage, CCS). Es existieren verschiedene Verfahren zum Abtrennen beziehungsweise Auswaschen von CO₂ aus industriellen Abgasen. Das BMWi fördert Projekte, um diese effizienter und wirtschaftlicher zu machen. Das klima-

schädliche Gas kann zudem auch direkt aus der Atmosphäre gewonnen werden, beispielsweise technisch mittels eigens dafür entwickelter Anlagen (direct air capture) wie zum Beispiel im Vorhaben NECOC (siehe Steckbrief auf Seite 57) oder im Vorhaben Kopernikus-P2X. Auch durch das Wachstum von Biomasse kann CO₂ dauerhaft aus der Atmosphäre entfernt werden (negative Emissionen).

Nicht zuletzt sollen Forschung und Entwicklung dazu beitragen, eine funktionierende Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft zu etablieren, bei der CO₂ wiederverwertet und damit in der Bilanz kein CO₂ in die Atmosphäre emittiert wird. Ein erster Schritt in diese Richtung ist das BMBF-Projekt Carbon-2Chem. Hier werden die bei der Stahlherstellung anfallenden Hüttengase als chemische Rohstoffe genutzt und damit die CO₂-Emissionen der Stahlherstellung reduziert.

Das BMWi fördert anwendungsorientierte Forschungsprojekte, mit denen die verschiedenen Technologien zum Abscheiden, Transport, Speichern und Verwenden von CO₂ weiterentwickelt werden. Im Dezember 2020 wurde der Förderaufruf „CO₂-Abscheidung und -Nutzung in der

Abbildung 18: Fördermittel für CO₂-Technologien in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 90)



Grundstoffindustrie“ gestartet. Mit diesem sollen die technischen, ökonomischen und rechtlichen Voraussetzungen für den großtechnischen beziehungsweise kommerziellen Einsatz der CCU/CCS-Technologie fortentwickelt und Synergien zwischen den bestehenden und in Planung befindlichen Förderprogrammen im Themenfeld CCU/CCS geschaffen werden.

Projektförderung

Im Schwerpunkt CO₂-Technologien haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2020 105 laufende Vorhaben mit rund 35,05 Millionen Euro gefördert. 2020 haben die Ministerien zudem 42 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 88,82 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 18).



PROJEKTSTECKBRIEF

Carbon2Chem – Verwertung von Industrieemissionen als Ausgangsstoffe für Basischemikalien

Das Projekt Carbon2Chem erforscht, wie aus Hüttengasen der Stahlproduktion wertvolle Vorprodukte für Kraftstoffe, Kunststoffe oder Düngemittel werden. Die Mitte 2020 gestartete zweite Phase von Carbon2Chem wird die entwickelten Verfahren für die großtechnische Umsetzung validieren und die Übertragung der Technologie auf die emissionsintensiven Prozesse Kalkherstellung und Müllverbrennung prüfen. Das Vorhaben schließt sich nahtlos an die erste, seit 2016 geförderte Phase an, in der die wissenschaftlichen Grundlagen gelegt wurden. In Carbon2Chem forschen führende Industrieunternehmen gemeinsam mit Max-Planck- und Fraunhofer-Gesellschaft sowie Universitäten an weltweit einsetzbaren Lösungen für die Umwandlung von Emissionen in Basischemikalien. Im eigens dafür errichteten Technikum am Stahlstandort Duisburg können die Entwicklungsarbeiten unter Realbedingungen durchgeführt werden. Zusätzlich werden durch aufwändige Modellierungen und Analysen die



Abgas-Recycling im Industriemaßstab: Eröffnung des Carbon2Chem-Technikums

Anlagenverbünde ökologisch und ökonomisch optimiert und die Optionen zur Versorgung mit den notwendigen Mengen an grünem Wasserstoff betrachtet.
Zuwendungsempfänger: thyssenkrupp, Max-Planck-Gesellschaft, Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung und zehn weitere Verbundpartner
Förderkennzeichen: 03EW0003A-03EW0009C
Fördermittelansatz: 78,5 Millionen Euro
Projektlaufzeit: 2020 – 2024

PROJEKTSTECKBRIEF

NECOC – Schaffung negativer Emissionen durch Auftrennung von atmosphärischem CO₂ in wirtschaftlich verwertbares Carbon Black und O₂

Im Projekt wird ein völlig neuartiger Prozess zur Reduktion der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre entwickelt. Dazu wird am Karlsruher Institut für Technologie eine innovative, dezentral einsetzbare Anlage als Containersystem aufgebaut. Aus der Umgebungsluft gefiltertes CO₂ wird durch mehrere Verfahrensschritte zu einem hochwertigen Rohstoff für Hightech-Anwendungen umgewandelt. Das sogenannte Carbon Black kann industriell, etwa in der Elektronik-, Druck- oder Bauindustrie, genutzt werden. Carbon Black wird bisher hauptsächlich aus fossilem Erdöl hergestellt. Konkret haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Folgendes vor: In einem ersten Schritt wird das Kohlendioxid mit dem Direct-Air-Capture-Verfahren aus der Luft gefiltert. Anschließend wird das CO₂ zusammen mit Wasserstoff in einem mikrostrukturierten Reaktor zu Methan und Wasser umgewandelt. Das erzeugte Methan wiederum dient als Kohlenstoffträger für den weiteren Prozess und wird in einen mit flüssigem Zinn befüllten Blasensäulen-



Im Forschungsprojekt NECOC entsteht eine integrierte Versuchsanlage, mit der ein neuer Prozess zur Reduktion des Treibhausgases CO₂ in der Atmosphäre erprobt werden soll. Dabei wird Carbon Black hergestellt, ein hochwertiger, fester Kohlenstoff.

reaktor geleitet. In den aufsteigenden Methanblasen kommt es zur Pyrolysereaktion. Hierbei zerfällt das Methan in seine Bestandteile. Dies sind zum einen Wasserstoff, der direkt in die Methanisierung zurückgeführt wird, sowie das Carbon Black.

Zuwendungsempfänger: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EE5009A-C

Fördermittelansatz: 1,5 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2022

2.4.5 Energiewende und Gesellschaft

Die Energiewende beeinflusst das Lebensumfeld aller Bürgerinnen und Bürger auf den verschiedensten Ebenen. Daher hat die Bundesregierung die Forschung zu gesellschaftlichen Aspekten als technologieübergreifenden Förderschwerpunkt im 7. Energieforschungsprogramm verankert.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

2020 sind die 15 Forschungsvorhaben aus dem ersten Förderaufruf des BMWi zu Energiewende und Gesellschaft gestartet. Sie widmen sich soziotechnologischer Energiewendeforschung. Stark adressiert wurden unter anderem die Themen „Akzeptanz

und Partizipation im Transformationsprozess“, „Technikgestaltung und Technikfolgenabschätzung“, aber auch „sozioökonomische Effekte von finanziellen Beteiligungsmöglichkeiten“. Im September 2020 hat das BMWi einen zweiten Förderaufruf zu diesem Forschungsschwerpunkt veröffentlicht. Der Fokus der system- und technologieübergreifenden Projekte soll beispielsweise auf Energiewende-bedingten Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt oder sozioökonomischen Aspekten des Strukturwandels liegen. Außerdem konnten Forschungsteams Skizzen einreichen zu Akzeptanzforschung rund um die Digitalisierung oder Projektideen für Kommunikations- und Visualisierungsstrategien mit Blick auf eine intensive Partizipation gesellschaftlicher Akteure.

Das 2020 vom BMBF gestartete Kopernikus-Projekt Ariadne nimmt Politikinstrumente, gesellschaftliche Akzeptanz und das Erreichen der Klimaneutralität in einer systemischen Perspektive in den Blick (siehe Projektvorstellung unten). Gesellschaftliche Aspekte werden darüber hinaus auch im Rahmen von zahlreichen Vorhaben zu Mobilität, urbaner Energiewende und Strukturwandel im Zuge des Kohleausstiegs zusammen mit weiteren Faktoren untersucht.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiewende und Gesellschaft haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2020 76 laufende Vorhaben mit rund 6,37 Millionen Euro gefördert. 2020 haben die Ministerien zudem 69 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 39,06 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 19).

PROJEKTSTECKBRIEF

Kopernikus-Projekt Ariadne – Evidenzbasiertes Assessment für die Gestaltung der deutschen Energiewende

Das 2020 gestartete Kopernikus-Projekt Ariadne erarbeitet Optionen dafür, die Energiewende-Politik so zu gestalten, dass die Klimaschutzziele erreicht und die Instrumente gesellschaftlich akzeptiert werden. In systemischen Analysen werden langfristige Strategien für den Übergang zu einem treibhausgasneutralen Energiesystem unter Berücksichtigung der spezifischen Herausforderungen etwa bei Verkehr, Wärme, Industrie und dem Ausbau und der Integration erneuerbarer Energien untersucht. Darüber hinaus analysiert Ariadne Politikinstrumente und Governance-Ansätze für die Energiewende. Ein strukturierter Dialogprozess mit Entscheidern, Stakeholdern und Bevölkerung erarbeitet Optionen, die es ermöglichen, Politik so zu gestalten, dass die Einhaltung der Klimaschutzziele möglich wird. So werden unter anderem von zufällig ausgewählten Bürgerinnen und Bürgern Werte und Normen in Bezug auf Stromversorgung und Mobilität erfasst. Die Ergebnisse werden in einem multimedialen Grünbuch- und Weißbuchprozess zusammengetragen. Dabei stellt das Grünbuch die Beschreibung von Optionen



Ariadne will der Politik Wege aus dem Labyrinth der Energiewendeooptionen aufzeigen.

dar. Das Weißbuch enthält Bewertungen, die in einem gemeinsamen Lernprozess mit Entscheidungstragenden, der Wissenschaft sowie Stakeholdern erarbeitet wurden.

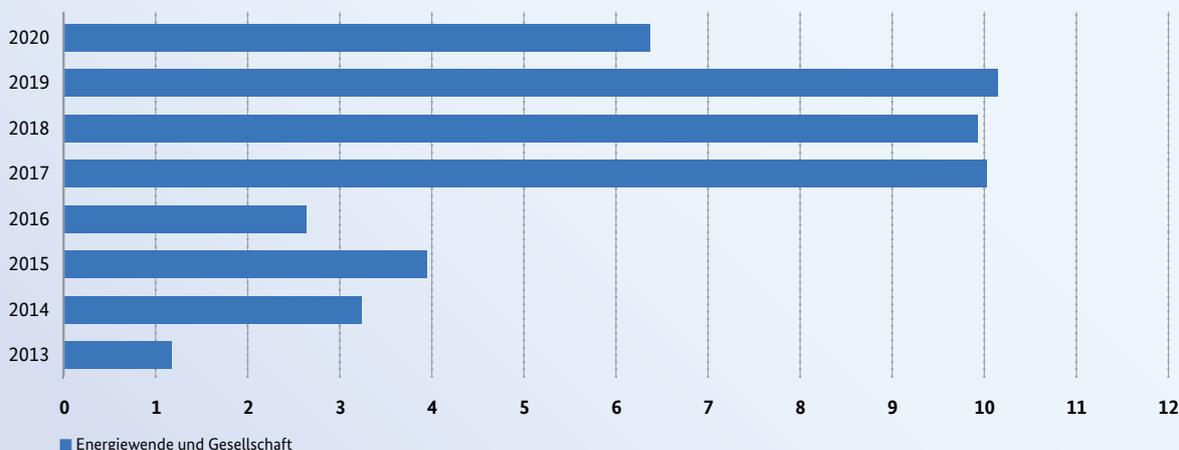
Zuwendungsempfänger: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und 23 Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SFK5A-Y0

Fördermittelansatz: 29,5 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2023

Abbildung 19: Fördermittel für Energiewende und Gesellschaft in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 90)



PROJEKTSTECKBRIEF

Benefits – *Die Energiewende durch die finanzielle Teilhabe kommunaler und privater Stakeholder beschleunigen*

Der Erfolg der Energiewende hängt nicht zuletzt davon ab, wie stark der Umbau der Energieversorgung durch die Gesellschaft mitgetragen und gestaltet wird. Das schließt das finanzielle Engagement, etwa durch nachhaltige Geldanlagen, mit ein.

Das Forschungsprojekt Benefits untersucht daher, wie Bürgerinnen und Bürger sowie Kommunen bislang schon in Energiewendeprojekte investieren können und wo hierbei die Chancen und Hemmnisse liegen. Das Team analysiert zunächst den Status quo der finanziellen Beteiligungsmöglichkeiten und betrachtet hierfür auch die geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen. Im Fokus steht zudem die Frage, wie wirksam solche Bürger- oder Kommunalinvestments sind und ob und wie sie den Fortschritt der Energiewende beschleunigen. Darauf aufbauend will das Team gemeinsam mit wirtschaftlichen und zivilgesellschaftlichen Akteuren wissenschaftlich fundierte Strategien erarbeiten, um mehr Menschen



Das Team von Benefits untersucht, ob die Energiewende durch Kommunal- und Bürgerbeteiligung schneller gelingt.

und Gemeinden für finanzielle Beteiligungen zu gewinnen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Benefits betrachten im Zuge des Projekts ganz konkret die Regionen Baden-Württemberg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und das Saarland. In das Vorhaben fließen zudem auch Impulse aus dem Clean Energy Package der Europäischen Union ein.

Zuwendungsempfänger: ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EI5203 A-C, E

Fördermittelansatz: 830.000 Euro

Projektlaufzeit: 2020 – 2022

2.4.6 Materialforschung für die Energiewende

Grundlagenforschung zur Entwicklung innovativer Materialien für die Erfordernisse einer nachhaltigen Energieversorgung ist von großer strategischer Bedeutung für die Energiewende.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das BMBF verfolgt einen thematisch offenen Ansatz der Materialforschung – von der Energieerzeugung und -speicherung bis hin zur Effizienzsteigerung. Die große Themenbreite der 2020 bearbeiteten Projekte umfasste die Entwicklung neuer Werkstoffe für die Optimierung von PEM-Brennstoffzellen und elektrochemischen Energiespeichern, neuartiger Dämmstoffe für Gebäude, viel-

versprechender Hochleistungsmaterialien für die Photovoltaik und die solare Wasserstoffherzeugung sowie neuartiger Materialien für Gasturbinen. Gleich zwei der Vorhaben im Bereich der Photovoltaik erreichten durch Entwicklung neuartiger Materialien erneut Wirkungsgradrekorde und beteiligte Forschende wurden mit Preisen ausgezeichnet. Eine Nachwuchsgruppe entwickelte erfolgreich neue hochaktive Katalysatoren für PEM-Brennstoffzellen, welche teures Platin einsparen und die Technologie kostengünstiger machen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Materialforschung für die Energiewende hat das BMBF im Jahr 2020 21 laufende Vorhaben mit rund 2,90 Millionen Euro gefördert (vgl. Abb. 20).

PROJEKTSTECKBRIEF

Nachwuchsgruppe ECat-PEMFC – Aktive und stabile platinarme Elektrodenkatalysatoren für die Niedertemperatur-Polymerelektrolyt-Membran-Brennstoffzelle

Die Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle ist eine vielversprechende Technologie für eine umweltschonende und saubere Energieumwandlung. Dabei wird unter Verwendung von Wasserstoff und Sauerstoff chemische in elektrische Energie umgewandelt. Die Brennstoffzellen gelten als effizient und vielseitig nutzbar, beispielsweise als Fahrzeugantrieb oder in der Hausenergie. Für die Herstellung werden aber seltene und teure Materialien benötigt, wie zum Beispiel Platin als Katalysator, die eine breite Markteinführung hemmen. Die Nachwuchsgruppe ECat-PEMFC entwickelt platinarme und daher kostengünstige, aber dennoch effiziente und robuste Katalysatoren für die Brennstoffzelle. In Versuchen mit Testzellen konnte die Nachwuchsgruppe eine Reduktion um mindestens 20 Prozent Platin nachweisen. Das bedeutet, dass beispielsweise ein Stapel von 80 Zellen die gleiche Leistung erbringt wie vormals ein Stapel von 100 Zellen. Damit wird nicht nur etwa 1 bis 2 Gramm weniger



Testzelle für Versuche mit den neuen Katalysatoren

Platin benötigt, es können auch weitere teure Materialien für die Elektroden und die Zwischenschichten (Bipolarplatten) eingespart werden.

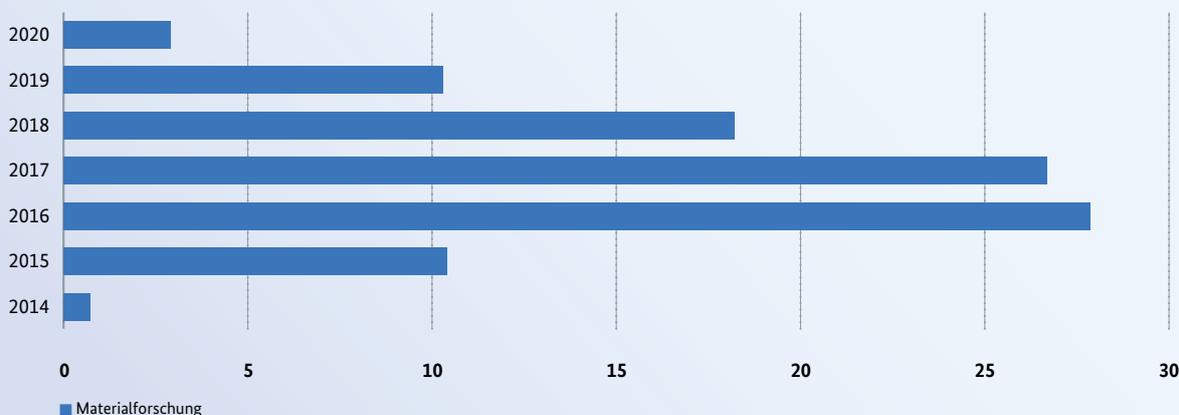
Zuwendungsempfänger: Technische Universität Braunschweig

Förderkennzeichen: 03SF0539

Fördermittelansatz: 2,2 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2016 – 2021

Abbildung 20: Fördermittel für Materialforschung in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 90)



2.5 Nukleare Sicherheitsforschung

2.5.1 Reaktorsicherheitsforschung

Kernaufgabe der Reaktorsicherheitsforschung ist es, durch Forschung und Entwicklung zu einem möglichst hohen Sicherheitsniveau von Kernkraftwerken (KKW) im In- und Ausland beizutragen und die Kompetenz- und Nachwuchsentwicklung für die nukleare Sicherheit in Deutschland zu befördern.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Themenschwerpunkte der sicherheitsgerichteten Forschung umfassen neben der Betrachtung bestehender Anlagen im In- und Ausland auch Sicherheitsforschung zu neuen Reaktoren und Anlagenkonzepten, die sich international in der Entwicklung befinden und deren sicherheitstechnische Konzeption sich von den in Deutschland betriebenen Anlagen unterscheidet. Förderschwerpunkte liegen auf der Prüfung und Bewertung der Sicherheit von Komponenten und Strukturen sowie auf Nachweisverfahren zur Beherrschung von Transienten, Stör- und Unfällen. Auch Untersuchungen zu möglichen sicherheitstechnischen

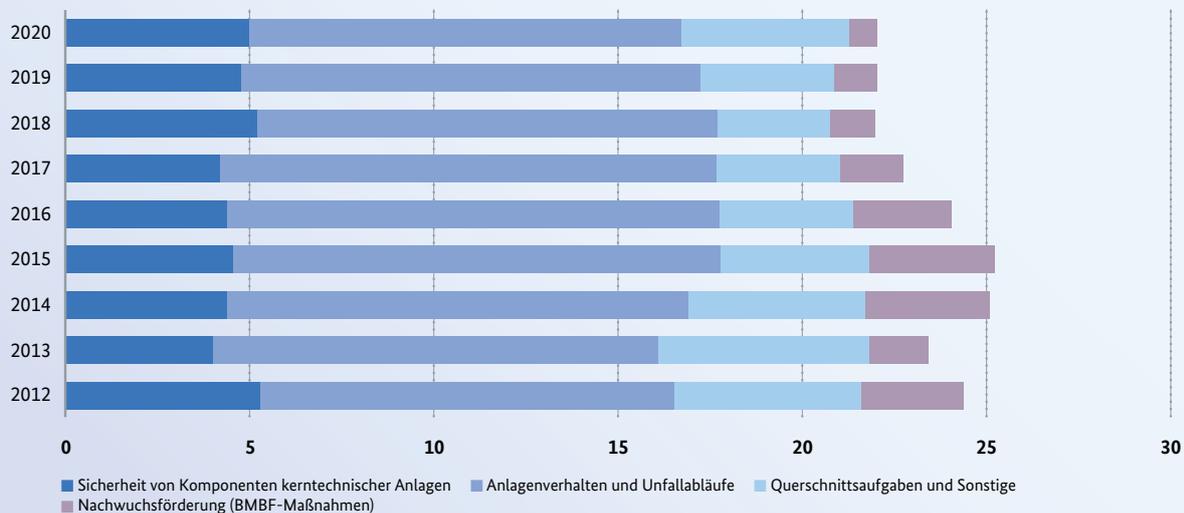
Konsequenzen aus verlängerten Betriebsdauern von Kernkraftwerken, wie sie derzeit international diskutiert und umgesetzt werden, werden gefördert. Im Berichtszeitraum ist hierzu unter anderem das Verbundvorhaben PolySafe abgeschlossen worden (siehe Projektsteckbrief, Seite 62).

Die Einbindung deutscher Forschungsarbeiten in internationale Aktivitäten ist insbesondere durch das Engagement in den multilateralen Forschungsprojekten der OECD/NEA weiter gestärkt worden. Im Jahr 2020 hat sich Deutschland an fünf neuen Projekten beteiligt und richtet eines davon (THEMIS) selbst aus.

Projektförderung

Die Projektförderung in der Reaktorsicherheitsforschung erfolgt federführend durch das BMWi und wird durch ein Programm zur Nachwuchsförderung des BMBF ergänzt. Das BMWi hat im Jahr 2020 137 laufende Vorhaben mit rund 21,27 Millionen Euro gefördert, das BMBF fünf Vorhaben mit 0,79 Millionen Euro. 2020 hat das BMWi zudem 46 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 24,37 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 21).

Abbildung 21: Fördermittel für Reaktorsicherheitsforschung in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 91)



PROJEKTSTECKBRIEF

PolySafe – Zerstörungsfreie Charakterisierung und Überwachung von Alterungsphänomenen in Kabelisolationen im Kontext der Reaktorsicherheit

Laufzeitverlängerungen für Kernkraftwerke sind weltweit ein aktuelles Thema und betreffen auch Anlagen im benachbarten Ausland. Angestrebt werden Betriebszeiten der Anlagen von bis zu 80 Jahren (insgesamt ab Inbetriebnahme). Für die sicherheitstechnische Bewertung gealterter Kernkraftwerke sind Zustand und Restlebensdauer von sicherheitsrelevanten Komponenten entscheidende Kriterien. Zur sicherheitskritischen Infrastruktur gehören auch Kabel, die abhängig vom Einsatzort Lasten wie erhöhter Temperatur, Strahlung, Druck oder Vibrationen ausgesetzt sind.

Im Rahmen des Verbundvorhabens PolySafe wurde ein zerstörungsfreies Verfahren zur Charakterisierung und Überwachung des Alterungszustands von Kabeln entwickelt und an künstlich gealterten Kabeln validiert. Die dabei eingesetzten Ultraschall- und Terahertz-Techniken können Alterungsphänomene praxistauglich detektieren. Das internationale



Aufbau eines Stromkabels. In Kernkraftwerken muss Kabelalterung systematisch überwacht werden.

Interesse an den Arbeiten ist hoch. Aktuell kann das Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren seine Kompetenz im Bereich der Terahertz-Spektroskopie auf europäischer Ebene in das Horizon 2020-Projekt TeaM Cables einbringen, das sich im Rahmen des Alterungsmanagements von kerntechnischen Anlagen mit der Alterung von Kabeln befasst.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP und Materialprüfungsanstalt der Universität Stuttgart

Förderkennzeichen: 1501567A und B

Fördermittellansatz: 920.000 Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2020

2.5.2 Entsorgungs- und Endlagerforschung

Wesentliche Aufgabe ist die Schaffung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen für Endlagerkonzepte in den möglichen Wirtsgesteinen Kristallgestein, Steinsalz und Tongestein.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

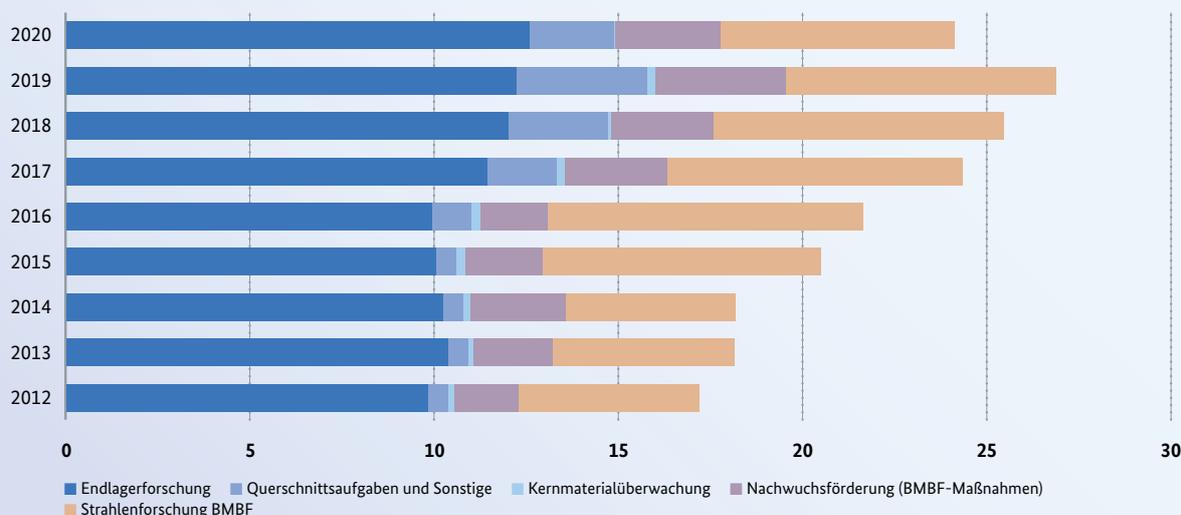
Im Rahmen anwendungsorientierter Grundlagenforschung liegt der Fokus auf Untersuchungen zum Verhalten des Endlagersystems in den möglichen Wirtsgesteinen. Das umfasst Forschungsarbeiten zur Radionuklidfreisetzung, zur Wirksamkeit des Barrierensystems, zum Monitoring bis hin zur Entwicklung von Konzepten zu Transport- und Einlagerungstechniken. Schließlich werden die Auswirkungen der absehbar verlängerten Zwischenlagerzeiten auf Abfälle und Behälter im Vorfeld der Endlagerung untersucht. Die Forschungsarbeiten erfolgen auch im Rahmen internationaler Kooperationen, die unter anderem Untersuchungen in Untertagelaboren und damit die Erprobung von Techniken und Methoden und die Aneignung

systemspezifischer Kenntnisse erlauben. Dadurch wird außerdem das für Sicherheitsbewertungen nötige Prozessverständnis erhöht. Komplettiert wird die Forschung durch Vorhaben, die sich mit soziotechnischen Fragestellungen der nuklearen Entsorgung befassen. Durch die kontinuierliche Forschungsförderung werden substantielle Beiträge zur Kompetenz- und Nachwuchsentwicklung im Bereich der nuklearen Entsorgung in Deutschland geleistet.

Projektförderung

Die Projektförderung des BMWi wird von der Forschungsförderung des BMBF flankiert, welche gezielt auch den Kompetenzerhalt durch Nachwuchsförderung unterstützt. Im Schwerpunkt Entsorgungs- und Endlagerforschung hat das BMWi im Jahr 2020 126 laufende Vorhaben mit rund 14,9 Millionen Euro gefördert. Die Nachwuchsförderung durch das BMBF erfolgte mit 2,85 Millionen Euro in 35 Vorhaben. 2020 hat das BMWi zudem 29 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelantrag von rund 10,1 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 22).

Abbildung 22: Fördermittel für Entsorgungs- und Endlagerforschung und Strahlenforschung in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 6, Seite 91)





PROJEKTSTECKBRIEF

Sandwich-HP – Vertikales hydraulisches Dichtsystem nach dem Sandwich-Prinzip

Im Felslabor Mont Terri (Saint-Ursanne, Schweiz) untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Projekt Sandwich-HP das Verhalten von Schachtverschlüssen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle. Dabei wird ein großmaßstäbliches In-situ-Experiment zu einem vertikalen hydraulischen Verschlussystem durchgeführt. Das In-situ-Experiment wird durch Laboruntersuchungen und Modellsimulationen ergänzt. Sandwich-HP ist ein Verbundprojekt mit Beteiligung assoziierter internationaler Partner.

Das am Karlsruher Institut für Technologie entwickelte Sandwich-System besteht aus Wechsellagen von Bentonit-Dichtsegmenten und hydraulisch leitenden Potenzialausgleichsschichten. Im Sandwich-HP werden solche Dichtsysteme in zwei vertikalen Experimentalschächten von 1,18 Meter Durchmesser und 12 beziehungsweise 10 Meter Tiefe eingebaut. Die Dichtsysteme werden über Druckkammern im Schachttiefsten mit synthetischem Opalinuston-Porenwasser aufgesättigt, das über Zuleitungsbohrlöcher zugeführt wird. Die Schächte und das umgebende Gebirge werden zur Überwachung intensiv



Installation der Instrumentierung in Sandwich-HP-Experimentalschacht

instrumentiert. Die Versuchsziele umfassen die Demonstration der Einbautechnik, die Untersuchung des Aufsättigungsprozesses, die Qualifizierung der Mess- und Überwachungstechnik sowie die Bewertung der Wirksamkeit des Sandwich-Verschlussystems.

Zuwendungsempfänger: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 02E11799A-C

Fördermittelansatz: 4,4 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2023

2.5.3 Strahlenforschung

Das BMBF hat im Berichtsjahr 2020 über seine Förderrichtlinie zur nuklearen Sicherheitsforschung und Strahlenforschung im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms weiterhin Verbünde und Projekte zur Strahlenforschung gefördert.

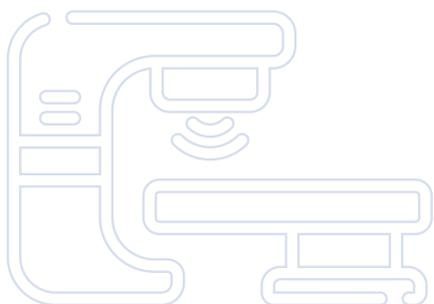
Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Das BMBF fördert Vorhaben zu strahlenbiologischen, strahlenmedizinischen, epidemiologischen und radioökologischen Fragestellungen im Bereich der 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 2020 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. Einige Vorhaben trugen mit ihren Forschungsergebnissen zum Erfolg der Nationalen Dekade gegen den Krebs bei.

Projektförderung

Im Jahr 2020 wurden 46 Einzelprojekte gefördert. Organisiert waren diese in 13 Verbund- und zwei Einzelvorhaben. Im Berichtszeitraum wurden somit auf dem Gebiet der Strahlenforschung Forschungsvorhaben mit Fördermitteln des BMBF in Höhe von rund 6,4 Millionen Euro unterstützt (vgl. Abb. 22, Seite 63).







3. Institutionelle Energieforschung

3.1 Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft

Institutionell geförderte Forschungseinrichtungen tragen in hohem Maße zur Energieforschung in Deutschland bei. Eine eindeutige Zuordnung von institutionell geförderten Forschungsarbeiten zur Energieforschung ist gleichwohl herausfordernd. Denn auch grundlagenorientierte Forschungsarbeiten aus anderen Forschungsbereichen, wie zum Beispiel der Materialforschung, tragen zum Fortschritt der Energieforschung bei, so wie sie auch viele andere Wissenschaftsthemen voranbringen. In der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) können, aufgrund der programmorientierten Förderung, die Arbeiten im Forschungsbereich Energie klar der Energieforschung zugeordnet werden. Daher ist der Forschungsbereich Energie der HGF Teil des 7. Energieforschungsprogramms, im Gegensatz zu thematisch verwandten und für die Energieforschung in Deutschland ebenso bedeutsamen Forschungsarbeiten anderer Forschungsorganisationen wie der Fraunhofer-Gesellschaft, der Leibniz-Gemeinschaft oder der Max-Planck-Gesellschaft.

Mit dem Jahr 2020 wurde im HGF Forschungsbereich Energie die dritte Periode der programmorientierten Förderung (POF III) abgeschlossen. Ab 2021 wird die HGF ihre Forschung für die Energiewende im Rahmen der vierten Periode der programmorientierten Förderung (POF IV) in neuen programmatischen Strukturen fortsetzen. Die Forschung wird zukünftig in vier Programmen organisiert sein. Zentral ist das Programm „Energiesystemdesign“, das systemanalytische, sozialwissenschaftliche und ökonomische Kompetenzen bündelt und so mit einem ganzheitlichen Ansatz das Energiesystem der Zukunft mitgestalten wird. Neben der Energiesystemanalyse steht die Digitalisierung im Kontext von Energiesystemen im Fokus. Das Programm wurde durch die Arbeit von Energie System 2050 (ES2050), der gemeinsamen Initiative des Forschungsbereichs Energie in POF III, vorbereitet, die ihre Ergebnisse auf einer Konferenz im September 2020 präsentiert hat.

Die strategische Weiterentwicklung der HGF Energieforschung soll zudem mit einer Helmholtz Energy Transition Roadmap unterstützt werden. Das Programm „Materialien und Technologien für die Energiewende“ ist das größte Programm und adressiert ein breites Spektrum von Materialien und Technologien zur Energieerzeugung, -wandlung und -speicherung sowie zur Energie- und Ressourceneffizienz. Die Programme „Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung“ (NUSAFE) sowie Fusion setzen ihre Arbeit fort. Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) hat Ende 2020 seinen Assoziierungsstatus mit der HGF beendet, da die bisherige Assoziierung zu Doppelstrukturen und erheblichem Mehraufwand in der Berichterstattung sowie im Begutachtungsverfahren führte. An der weiterhin engen wissenschaftlichen Zusammenarbeit des IPP mit der HGF auf dem Gebiet der Fusionsforschung wird sich jedoch nichts ändern. Die institutionelle Förderung des IPP wird zukünftig nicht mehr statistisch dem Energieforschungsprogramm zugerechnet werden (siehe Kapitel 3.2 Fusionsforschung, Seite 71).

Auch das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig sowie das Deutsche Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ) sind in POF IV nicht mehr am Forschungsbereich Energie beteiligt. Kooperationen zu relevanten Themen wie Bioökonomie, Geothermie oder nukleare Endlagerforschung werden aber forschungsbereichsübergreifend fortgesetzt. Die in POF IV am Forschungsbereich Energie beteiligten Zentren sind das Forschungszentrum Jülich (FZJ), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), das Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB), das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Mit Ausnahme des DLR, das vom BMWi institutionell gefördert wird, erfolgt die institutionelle Förderung der Helmholtz-Zentren durch das BMBF.

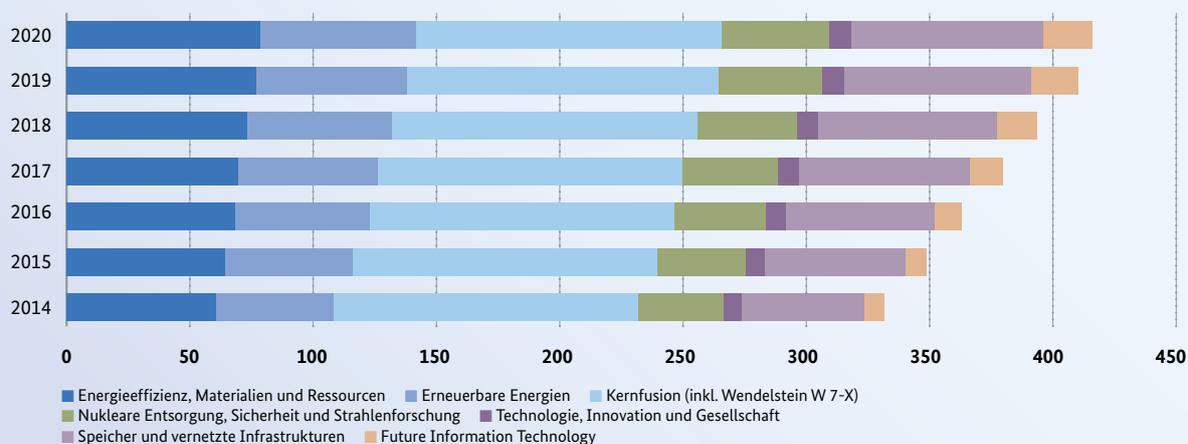
Beispiele für Aktivitäten im HGF Forschungsbereich Energie

Das Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) und die beiden Max-Planck-Institute, Fritz-Haber-Institut (FHI) und Institut für Chemische Energiekonversion (CEC), bauen mit dem Catalysis Labor (CatLab) eine Forschungsplattform für die Katalyse auf, um Innovations sprünge in der Wasserstoff-Forschung zu erreichen. Mit der europäischen Initiative BIG MAP, an der das KIT und das FZJ mit ihren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern maßgeblich beteiligt sind, ist es durch die Bündelung der Expertisen von 34 Institutionen aus 15 Ländern gelungen, die Suche nach vielversprechenden Ansätzen für neue, hochleistungsfähige Batterien entscheidend zu beschleunigen. Für die Forscher am GFZ bietet ein stillgelegter Erdgasspeicher unter dem Berliner Grunewald eine einmalige Gelegenheit: Anhand von alten Bohrlöchern wird hier untersucht, ob sich die 500 Meter über der Anlage liegende Gesteinsschicht aus Muschelkalk als Wärme- und Kältespeicher eignet – und damit zu einer nachhaltigen Energieversorgung für den wachsenden Metropolraum beitragen kann. Im UFZ konnten neben den Arbeiten an Solar Fuels (siehe Steckbrief) die Forschungen zu Drop-in-

Kraftstoffen aus Molkereiabwässern mittels elektro-biotechnologischer Verfahren in den Technikumsmaßstab überführt werden. Am HZDR wurden einzigartige Forschungsinfrastrukturen zur Entwicklung von Flüssigmetallbatterien aufgebaut. Solche Batterien haben das Potenzial, große Mengen erneuerbaren Stroms kostengünstig zu speichern. Im Verbund mit europäischen Partnern soll dieses Konzept nun in einem von der EU geförderten Vorhaben zur Anwendungsreife gebracht werden. Am zum FZJ gehörenden Helmholtz-Institut Erlangen Nürnberg konnten im Projekt COSIMA Fortschritte bei der automatischen, drohnenbasierten Inspektion von PV-Anlagen aus der Luft erzielt werden. Im Projekt HiFlex zeigt das DLR, wie Sonnenenergie für industrielle Prozesse eingesetzt werden kann, konkret in einer Pilotanlage in der Nähe einer Nudelfabrik in Italien. Die forschungsbereichsübergreifende Zusammenarbeit ist auch beim DLR von hoher Bedeutung, zum Beispiel bei der Entwicklung von Brennstoffzellenflugzeugen für das emissionsfreie Fliegen mit Wasserstoff.

Der Mitteleinsatz im Forschungsbereich Energie ist in Abbildung 23 dargestellt.

Abbildung 23: Fördermittel für Institutionelle Energieforschung in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 7, Seite 91)





PROJEKTSTECKBRIEF

Bio-H₂ – Biotechnische Produktion von Wasserstoff für dezentrale Anwendungen

Schwerpunkt der Arbeiten ist die Suche nach robusten und alltagstauglichen Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser und CO₂ mittels natürlicher Photosynthese durch Cyanobakterien.

Ein Highlight der bisherigen Forschungen ist die kontinuierliche und mit Sonnenenergie getriebene Herstellung von Wasserstoff durch Bakterienmatten. Diese Gemeinschaften eines Bodenbakteriums und eines Cyanobakteriums wachsen in sehr dünnen Schläuchen als katalytische Biofilme. Mit diesem neuen technischen Ökosystem wurden zwei große Hürden gemeistert, denn in den bisherigen Photobioreaktoren sind die Wachstumsdichten der Bakterien und die Lichtmengen, die diese Bakterien erreichen, für die Wasserstoffherstellung zu gering.

Ebenfalls zum ersten Mal wurden Elektronen aus der Photosynthese von Cyanobakterien elektrochemisch direkt für die Wasserstoffproduktion genutzt. Dieses als Biophotovoltaik bezeichnete Verfahren erzeugt Strom aus Lichtenergie. Das könnte künftig von steigendem Interesse sein, denn es liefert wegen der geringen Überspannung an der Elektrode rech-



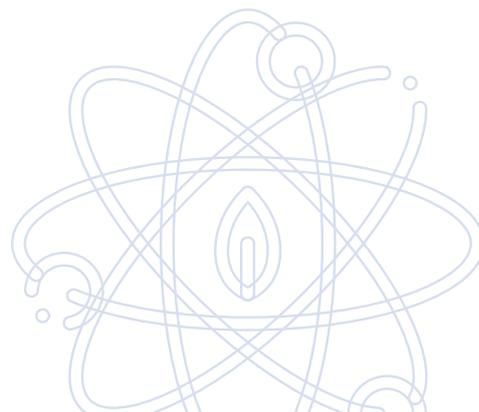
Grüne Cyanobakterienstreifen aus dem Forschungsprojekt Bio-H₂ des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung

nerisch mehr Energie als die klassische Wasserelektrolyse. Außerdem entstehen keine explosiven Gasgemische und es werden keine kritischen Rohstoffe benötigt. Diese beiden neuen Verfahren der Biotechnologie haben dasselbe Ziel: die Konstruktion von Systemen zur dezentralen Wasserstoffherstellung, zum Beispiel auf Hausdächern.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Department Solar Materialien (SOM)

Fördermittelansatz: 1,7 Millionen Euro pro Jahr (2020)

Projektlaufzeit: fortlaufend seit 2014



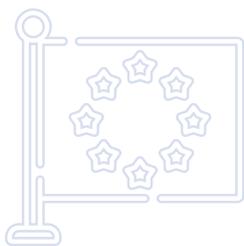
3.2 Fusionsforschung

Die Erforschung der Fusionsenergiegewinnung hat das Ziel, langfristig eine nicht auf fossile Brennstoffe angewiesene, verlässliche und wirtschaftliche Energiequelle zu erschließen. Aufgrund der weltweit steigenden Energienachfrage ist es aus Sicht der Bundesregierung erforderlich, eine breite Palette von Optionen für die künftige Energieversorgung zu erforschen. Die Fusionsforschung ist ein Beitrag zur langfristig ausgerichteten, anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Sie begründet sich, wie auch andere Aktivitäten der Grundlagenforschung, nicht zuletzt aus dem Streben nach Erkenntnisgewinn. Die Bundesregierung unterstützt daher die deutsche Fusionsforschung im Wege der institutionellen Förderung. Die drei Fusionsforschungszentren Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP), Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Forschungszentrum Jülich (FZJ) stehen in engem Austausch und leisten wichtige Beiträge für die nationale sowie internationale Fusionsforschung. Mit seinem herausragenden wissenschaftlichen Know-how in der Fusionsforschung hat Deutschland auch eine globale Verantwortung dafür, das Verständnis von Hochtemperatur-Plasmen und Fusionsprozessen voranzutreiben und dieses Know-how der Welt zur Verfügung zu stellen. Gelingt der Schritt in die Anwendung, wird Fusionsenergie voraussichtlich erst nach 2050 verfügbar sein.

Die Spitzenstellung der deutschen Fusionsforschung belegen unter anderem die Weltrekorde, die 2018 im bisherigen Experimentierbetrieb der weltweit einmaligen Fusionsanlage Wendelstein 7-X in Greifswald erzielt wurden, etwa mit bis zu 100 Sekunden lang aufrechterhaltenen Plasmen.



4. Europäische und internationale Zusammenarbeit



4.1 Europäische Vernetzung in der Energieforschung

Auch auf europäischer Ebene engagiert sich die Bundesregierung in der Energieforschungsförderung. Den übergeordneten politischen Kontext unter Kommissionspräsidentin Ursula von der Leyen bildet der European Green Deal, unter anderem mit dem Ziel, Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu machen.

Die energiepolitischen Ziele des European Green Deal fließen unter anderem in den europäischen Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan) ein. Der SET-Plan der EU-Kommission definiert innerhalb der europäischen Energieunion ein strategisches Konzept mit einer langfristigen Agenda zur Bewältigung von Innovationsengpässen, von der Forschung bis zur Markteinführung innovativer Energietechnologien. Er setzt seit 2008 die strategischen Leitplanken für die europäische Energieforschungsförderung in nicht-nuklearen Energiethemen und wird regelmäßig angepasst an die Energie- und Klimaziele der Europäischen Union (EU). Im Rahmen der deutschen EU-Ratspräsidentschaft hat das BMWi 2020 die international hochkarätig besetzte 14. SET-Plan-Konferenz „Making the SET Plan fit for the EU Green Recovery“ als virtuelle Veranstaltung ausgerichtet.

Zur Umsetzung der SET-Plan-Strategie gehört unter anderem die Förderung von ERA-NET-Cofunds. Im Rahmen des Förderprogramms Horizon 2020 bilden Mitgliedstaaten und assoziierte Staaten mit der EU Konsortien zur strategischen Koordinierung von EU- und nationalen Programmen, je zu einem bestimmten Thema. 2020 gab es dazu mehrere Ausschreibungen, zum Beispiel in den Bereichen CO₂-Abscheidung und -Speicherung sowie Erdwärme. Auch Projekte mit deut-

scher Beteiligung wurden zur Förderung ausgewählt. So auch in zwei European Research Area Networks (ERA-NETs) zur Solarenergie: Acht Vorhaben mit deutscher Beteiligung sollen hier gefördert werden. Zudem nahmen im ersten gemeinsamen Förderaufruf des ERA-NETs Smart Energy Systems und der globalen Initiative Mission Innovation die ersten Projekte ihre Arbeit auf. Und: Mit EnerDigit ist ein neues ERA-Net gestartet. Der erste Call dazu wurde im Dezember veröffentlicht.

Im Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), einer institutionalisierten öffentlich-privaten Partnerschaft zu Brennstoffzellen und Wasserstoff, umfasste der jüngste Call 2020 ein Volumen von 93 Millionen Euro für 24 Forschungsthemen in den Bereichen Transport, Energie und Querschnittsthemen. Die Fortführung der Partnerschaft für Wasserstoff innerhalb des Rahmenprogramms Horizon Europe ab 2021 wird derzeit vorbereitet. Hier soll der Fokus auf der Produktion von grünem Wasserstoff und der dazugehörigen Infrastruktur liegen.

Beitrag EURAD

Deutschland beteiligt sich durch die Teilnahme von Vertreterinnen und Vertretern wissenschaftlicher Institutionen, des Betreibers Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) sowie der Sachverständigenorganisation Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) am European Joint Programme on Radioactive Waste Management (EURAD). EURAD dient der Umsetzung eines gemeinsamen Programms für Forschung und Wissensmanagement, das die Programme der EU-Mitgliedstaaten zur nuklearen Entsorgung zusammenführt und ergänzt. Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten befassen sich damit, die Robustheit der Entsorgungskonzepte nachzuweisen, das Verständnis grundlegender Prozesse zu verbessern und wissenschaftliche Exzellenz aufrechtzuerhalten. Ergänzt werden diese Aktivitäten durch Studien zu den methodologischen und strategischen Herausforderungen sowie zu Wissensmanagement.

4.2 Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union (Horizon 2020)

Mit Ablauf des Jahres 2020 endete das bis dahin größte Forschungs- und Innovationsprogramm der Europäischen Union Horizon 2020. In den vergangenen sieben Jahren wurden mit einem Gesamtbudget von knapp 80 Milliarden Euro Projekte von der Grundlagen- über angewandte Forschung bis zu Demonstrationsvorhaben gefördert – mit dem Ziel, EU-weit eine wissens- und innovationsgestützte Gesellschaft und eine wettbewerbsfähige Wirtschaft zu fördern sowie gleichzeitig zu einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen.

Im Bereich der Energieforschung standen Förderaufrufe zur Entwicklung von Technologien und Systemen zur kohlenstoffarmen, ressourceneffizienten und klimaneutralen Energieversorgung im Mittelpunkt.

Mit Horizon Europe steht das Nachfolgeprogramm für Horizon 2020 bereits in den Startlöchern. Die Europäische Kommission möchte mit dem neuen Forschungs- und Innovationsprogramm die Erfolgsgeschichte von Horizon 2020 fortschreiben und den wissenschaftlichen, technologischen, wirtschaftlichen sowie gesellschaftlichen Fortschritt in Europa durch Forschung und Innovation weiter fördern und stärken. Das neue Programm läuft von 2021 bis 2027.

Die Energiethemen werden im Rahmen von Horizon Europe in dem Cluster 5 – Klima, Energie und Mobilität gebündelt mit dem Ziel, Treibhausgasemissionen und Umweltverschmutzung im Energie- und Verkehrssektor zu senken sowie die Wettbewerbsfähigkeit, Widerstandsfähigkeit und den Nutzen für die Gesellschaft zu steigern. Die sektorübergreifenden Aktivitäten innerhalb des Clusters sollen die Umsetzung des Pariser Klimaabkommens, des Europäischen Green Deal, des Europäischen Konjunkturprogramms und andere EU-Prioritäten in den Bereichen Klima, Energie und Mobilität unterstützen. Zudem sollen sie zur Erholung der Wirtschaft nach der COVID-19-Pandemie durch den europäischen Recovery Plan beitragen.

Erfolgreiche Beteiligung deutscher Antragsteller im Energiebereich in Horizon 2020

Im Betrachtungszeitraum von 2014 bis 2019 waren deutsche Akteure an Verbundvorhaben im Energiebereich überdurchschnittlich stark beteiligt. In den Kernbereichen des Arbeitsprogramms sichere, saubere und effiziente Energie wurden in den ersten sechs Jahren von Horizon 2020 rund 3,53 Milliarden Euro Fördermittel für insgesamt 751 Verbundprojekte bewilligt. 1069 Projektteilnehmer aus Deutschland sind dabei an 470 Projekten beteiligt und haben damit insgesamt eine Fördersumme von rund 459 Millionen Euro eingeworben. Dies entspricht etwa 13 Prozent der bewilligten Fördermittel (vgl. Abb. 24, Seite 76). Bei 103 der 751 bewilligten Projekte kommt der Projektkoordinator aus Deutschland. Etwa 40 Prozent der deutschen Zuwendungsempfänger stammen aus Forschungsinstituten und Hochschulen. 47 Prozent kommen aus privaten Unternehmen, die übrigen 13 Prozent verteilen sich auf öffentliche und sonstige Einrichtungen. Besonders hoch ist der Anteil von Antragstellern aus Deutschland bei geförderten Projekten im Technologiefeld der erneuerbaren Energien (rund 37 Prozent), gefolgt von Projektbeteiligungen in den Themenbereichen Energiesysteme (rund 15 Prozent) und Konsumenten sowie der öffentlichen Hand (rund acht Prozent).

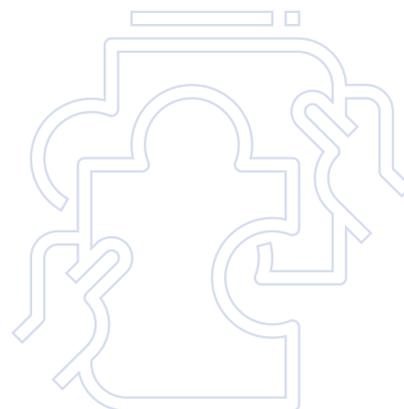


Abbildung 24: Länderverteilung der Zuwendungsempfänger und Fördermittel im Kernbereich der Energieforschung in Horizon 2020 (2014 – 2019)

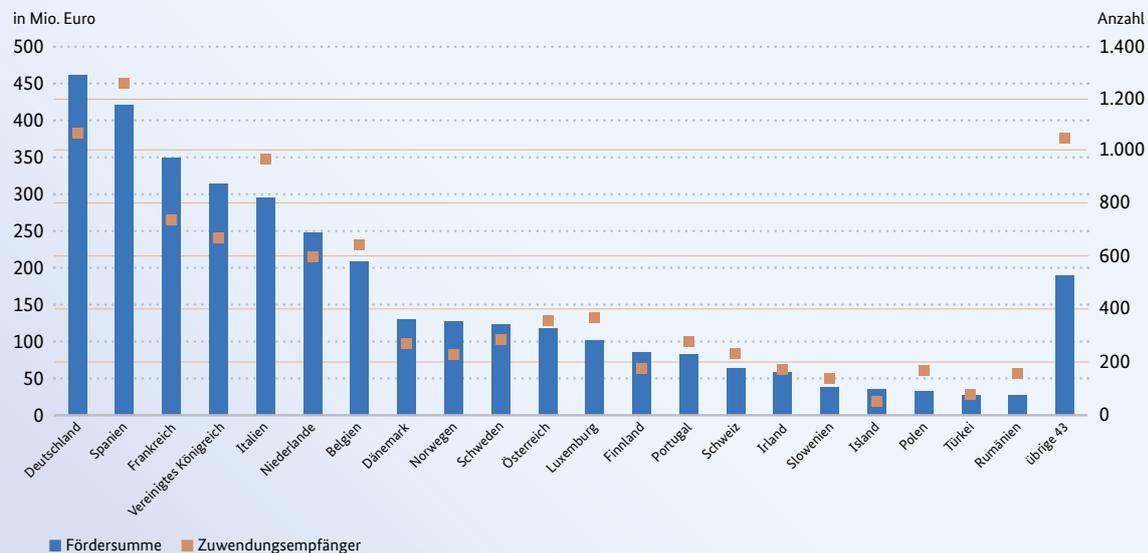
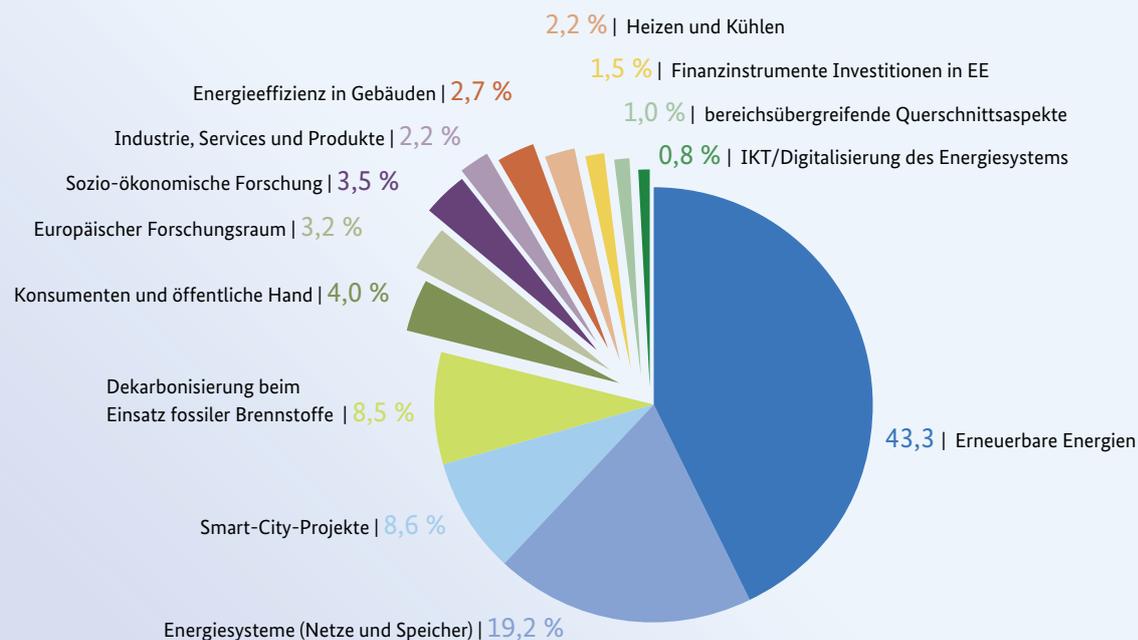


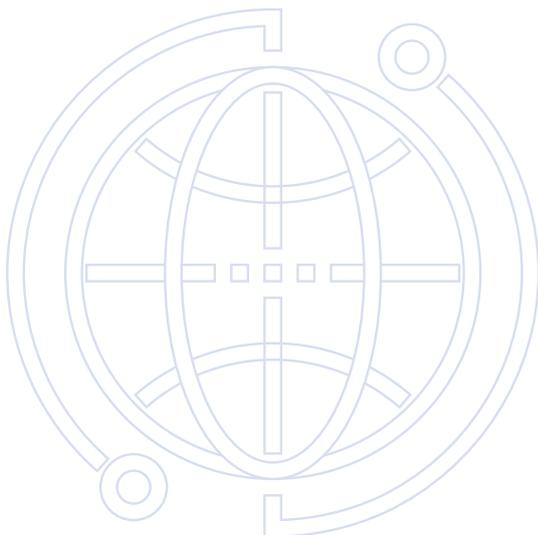
Abbildung 25: Verteilung von Fördermitteln in Horizon 2020 im Kernbereich der Energieforschung an Zuwendungsempfänger aus Deutschland nach Themengebieten (2014 – 2019)



Schwerpunkte der Energieforschung in Horizon 2020

In Abbildung 25 ist die Verteilung von Fördermitteln an Zuwendungsempfänger aus Deutschland im Betrachtungszeitraum von 2014 bis 2019 nach den unterschiedlichen Energiethemen geordnet dargestellt.

Die Zahlen zeigen einen deutlichen Schwerpunkt (43,3 Prozent) auf Forschungs- und Demonstrationsvorhaben im Technologiefeld der erneuerbaren Energien. Es folgen Themen im Bereich Energiesysteme – Netze und Speicher (19,2 Prozent) und Smart-City-Projekte (8,6 Prozent). Die Themen Brennstoffzellen und Wasserstoff sind in der Abbildung nicht aufgeführt, da sie innerhalb der gemeinsamen Technologieinitiative für Brennstoffzellen und Wasserstoff – einer öffentlich-privaten Partnerschaft (ÖPP) – gefördert werden. Darüber hinaus gibt es weitere energierelevante Themen, die in anderen Bereichen innerhalb von Horizon 2020 gefördert wurden. Das betrifft beispielsweise die Materialforschung oder Produktionstechnologien.



4.3 Internationale Zusammenarbeit

Neben der europäischen Ebene vernetzt und engagiert sich die Bundesregierung auch weltweit.

Internationale Energieagentur (IEA)

Die Internationale Energieagentur (IEA) ist eine zentrale Organisation der internationalen Kooperation im Energiesektor. Ihr Fokus im Bereich Technologie und Innovationen liegt auf Forschung und Entwicklung, Demonstration und Verbreitung innovativer Technologien. Die IEA vereint 30 Mitgliedstaaten, darunter die Bundesrepublik Deutschland unter der Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, und acht assoziierte Partnerstaaten.

Das Forschungsgremium Committee on Energy Research and Technology (CERT) koordiniert die Aktivitäten der weltweiten Energieforschung innerhalb der IEA. CERT begleitet auch die Beteiligung deutscher Forschungspartner an den internationalen Forschungsprogrammen.

Die konkrete Zusammenarbeit zur Energieforschung erfolgt innerhalb von multilateralen Technologieinitiativen, den Technology Collaboration Programmes, kurz TCP. Die TCP sind das Hauptinstrument der IEA für die Umsetzung ihres Technologieprogramms mit dem Ziel, zum Aufbau eines nachhaltigen, sicheren und bezahlbaren weltweiten Energieversorgungssystems beizutragen. Die Mitarbeit in den TCP steht allen Mitgliedstaaten der IEA wie auch interessierten Partnern aus weiteren Ländern offen. Deutschland engagiert sich in 21 der insgesamt 38 laufenden TCP. Innerhalb der Initiativen haben Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus der Privatwirtschaft die Möglichkeit, in allen technologischen Bereichen der nicht-nuklearen Energieforschung sowie der Kernfusion länderübergreifend zusammenzuarbeiten.



Mission Innovation

Mission Innovation ist eine weltweite, zwischenstaatliche Initiative mit dem Ziel, saubere Energietechnologien und -lösungen auszubauen und diese kostengünstig und leicht verfügbar zu machen. Dies wollen die 25 Mitglieder (24 Staaten sowie die Europäische Union) durch einen substanziellen Anstieg öffentlicher Investitionen und ein erhöhtes Engagement der Privatwirtschaft in diesem Bereich erwirken. Zudem wollen sie die internationale Zusammenarbeit stärken und die Aufmerksamkeit für das Potenzial von Energieinnovationen, den Wandel der Versorgungssysteme voranzutreiben, erhöhen.

Mission Innovation wurde 2015 im Kontext der 21. Konferenz der Vertragsstaaten des Klimarahmenübereinkommens (COP21) zunächst für fünf Jahre aus der Taufe gehoben. Auf dem virtuellen Ministertreffen (MI-5) im September 2020 haben die Mitgliedstaaten die Vorbereitung einer zweiten Phase der Initiative beschlossen. Diese soll beim nächsten Ministertreffen (MI-6) Anfang Juni 2021 starten. Zentraler Inhalt der zweiten Phase sollen Missionen zu besonders relevanten Themen sein, bei denen internationale Kooperation einen besonderen Mehrwert verspricht. Zudem soll eine Innovation Platform aufgebaut werden, um die internationale Zusammenarbeit und den Wissensaustausch weiter zu fördern.

Deutschland legt im Rahmen der Mission Innovation einen Fokus auf das inhärent globale Thema Wasserstoff und hat sich daher bislang insbesondere in zwei Innovation Challenges zu den Themen Wasserstoff und Umwandlung von Sonnenlicht engagiert. Im Rahmen der „Converting Sunlight Innovation Challenge“ wurde als Ergebnis der ers-

ten Phase eine internationale Forschungsroadmap veröffentlicht. Die „Hydrogen Innovation Challenge“ hat eine Plattform zu sogenannten Hydrogen Valleys veröffentlicht (www.h2v.eu). Daneben hat sich Deutschland an weiteren Aktivitäten im Rahmen der Mission Innovation beteiligt, zum Beispiel im Bereich der Stromnetze (siehe Kapitel 2.3.1, Seite 42).

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

Die IPHE ist ein Zusammenschluss von 22 Partnern, bestehend aus 21 Staaten und der Europäischen Kommission, mit dem Ziel, die Kommerzialisierung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien zu begleiten und voranzutreiben. Dabei werden die Aktivitäten verschiedener Sektoren und Ressorts international gebündelt und abgestimmt. Die Bundesregierung engagiert sich seit der Gründung von IPHE in diesem globalen Forum.

4.4 Bilaterale Forschungskooperationen

Neben der Vernetzung im Kontext europäischer und internationaler Institutionen und Organisationen arbeitet die Bundesregierung auch auf bilateraler Ebene mit anderen Ländern im Bereich der Energieforschung zusammen.

Bilaterale Kooperationen im Bereich der anwendungsorientierten Grundlagenforschung

Das BMBF fördert bilaterale Forschungskooperationen mit ausgewählten Partnerländern, um die Transformation zu einer nachhaltigen Energiewirtschaft zu unterstützen und durch den Wissensaustausch auf beiden Seiten Expertise aufzubauen.

Beispielsweise unterstützt das BMBF mit der Fördermaßnahme Client II nachfrageorientierte Forschungskooperationen mit ausgewählten Schwellen- und Entwicklungsländern. Gefördert werden innovative und nachhaltige Lösungsansätze für den Energiebereich, die zur Bewältigung

konkreter Herausforderungen in afrikanischen Partnerländern beitragen. Ein weiteres Beispiel ist das Projekt „H₂-Atlas – Potenzialatlas Grüner Wasserstoff“, in dem das Potenzial zur nachhaltigen Herstellung von Wasserstoff im westlichen und südlichen Afrika umfassend untersucht wird (siehe Projektsteckbrief auf Seite 49).

Aber auch innerhalb Europas spielen Forschungsk Kooperationen zum Beispiel mit Frankreich zur nachhaltigen Energieversorgung Europas eine große Rolle. Grenzüberschreitende Verbände aus Wissenschaft und Wirtschaft bearbeiten Projekte zur Umwandlung und Speicherung von Energie aus erneuerbaren Quellen sowie Smart Grids. Daneben fördert das BMBF im deutsch-französischen Programm „Make Our Planet Great Again“ Projektgruppen international herausragender Wissenschaftler der Energie- und Klimaforschung an deutschen Einrichtungen.

Beitrag zu bilateralen Kooperationen im Bereich nukleare Entsorgung

Weltweite Kooperationen im Bereich der nuklearen Entsorgung erfolgen auf Basis bilateraler Abkommen zwischen dem BMWi und ausländischen Endlager-Organisationen, durch internationale Abkom-

men und auf Basis von Forschungsk Kooperationen zwischen ausländischen Forschungsstellen und deutschen Institutionen. Aktuell bestehen Verträge zwischen dem BMWi und ROSATOM/RUS, Nagra/CH, SKB/S, Andra/F, Surao/CZ, DOE/USA, CNNC/CHN.

Deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nehmen hierüber an internationalen Forschungsprogrammen teil und arbeiten an Projekten mit, die unter anderem in ausländischen Untertagelabors durchgeführt werden.

Die Erfahrungen und Ergebnisse sollen damit für deutsche Belange verfügbar gemacht werden mit den Zielen:

- die Kenntnisse über die Eigenheiten/Materialeigenschaften der jeweiligen Wirtsgesteine zu erweitern,
- das Verständnis über das Verhalten des Gesamtsystems sowie der darin ablaufenden Prozesse zu erweitern und vertiefen,
- Techniken und Methoden für unterschiedliche Anwendungen zu erproben und zu entwickeln.

5. Weitere energierrelevante Förderaktivitäten



5.1 Aktivitäten der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms

Auch außerhalb des 7. Energieforschungsprogramms, fördert und unterstützt die Bundesregierung die Forschung und Entwicklung von Energietechnologien durch ausgewählte Spezialprogramme.

Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende (SINTEG)

Im Rahmen des Förderprogramms „Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“ (SINTEG) haben Expertinnen und Experten zwischen 2016 und Anfang 2021 in ausgewählten Modellregionen Musterlösungen für die intelligente Energieversorgung der Zukunft entwickelt und demonstriert. In den fünf sogenannten Schaufenstern haben mehr als 300 Partner aus Energiewirtschaft, Industrie und Forschung sowie Kommunen, Landkreise und Länder daran geforscht, skalierbare Lösungen für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung bei hohen Anteilen von Strom aus erneuerbaren Energien zu entwickeln. Im Zentrum stand die intelligente Vernetzung von Stromerzeugung und -verbrauch sowie der Einsatz innovativer Netztechnologien und -betriebskonzepte. Von den Praxiserfahrungen in den Modellregionen wurden zudem Empfehlungen abgeleitet, wie der Rechtsrahmen künftig weiterentwickelt werden kann. SINTEG gilt als Vorreiter für die Reallabore der Energiewende. Nach vier Jahren erfolgreicher Arbeit haben die beteiligten Forscherteams ihre Ergebnisse Ende Oktober 2020 bei einer Abschlusskonferenz vorgestellt. Im Anschluss folgt nun die Auswertung der Musterlösungen und Handlungsempfehlungen aus den fünf Schaufenstern in einer schaufensterübergreifenden Ergebnissynthese, die 2022 abgeschlossen werden soll.

Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)

Das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) hat zum Ziel, Technologien im Rahmen geltender Richtlinien für Forschung, Entwicklung und Innovation für den Markt vorzubereiten und eine international wettbewerbsfähige Industriebranche in Deutschland zu schaffen. Nach der ersten erfolgreichen Phase, von 2007 bis 2016, soll in der zweiten Phase des Programms (NIP 2) die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie bis 2026 wettbewerbsfähig im Verkehrssektor und im Energiemarkt etabliert werden. Dazu stellt das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) jährlich ein Fördervolumen von etwa 80 Millionen Euro bereit. Das BMVI fördert bereits heute auf Grundlage von Förderrichtlinien zu Forschung und Entwicklung sowie zur Marktaktivierung im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie die Beschaffung von Fahrzeugen (u. a. PKW, Busse, Kleinflugzeuge, Müllfahrzeuge und Nahverkehrszüge) sowie Tankinfrastruktur. In Arbeit sind derzeit jeweils technologieoffene Förderrichtlinien speziell für Züge, Busse sowie Nutzfahrzeuge mit Batterie und Brennstoffzelle. Ebenfalls gefördert werden bereits Wasserstoff-Erzeugungsanlagen für Verkehrsanwendungen. Eine neue, eigenständige Förderrichtlinie für die Förderung von Erzeugungsanlagen wird derzeit erarbeitet. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie fördert NIP-Technologien im Rahmen des Energieforschungsprogramms.

Forschung zu alternativen Antriebstechnologien und Kraftstoffen

Zur Erreichung der Klimaschutzziele muss sich die Energiebasis des Verkehrs bis 2050 schrittweise hin zu klimafreundlichen alternativen Kraftstoffen und vor allem hin zu mehr erneuerbaren Energien entwickeln. Beispielsweise forscht das BMVI sowohl zu strombasierten Kraftstoffen als auch zu fortschrittlichen Biokraftstoffen. Im Rahmen des Energie- und Klimafonds (EKF) steht dem BMVI

ein Fördervolumen von 450 Millionen Euro für anwendungsorientierte Pilot- und Demonstrationsprojekte sowie Innovationscluster im Zeitraum 2020–2023 zur Verfügung. Der Strategische Ressortforschungsrahmen des BMVI umfasst vielfältige Forschungsaktivitäten, die den nahtlosen Übergang zwischen Energieforschung und Mobilitätsforschung aufzeigen. So definiert der Strategische Ressortforschungsrahmen „Alternative Antriebstechnologien und Kraftstoffe“ als einen wichtigen Forschungsschwerpunkt, der sich im Wesentlichen der Fragestellung widmet, wie alternative Antriebssysteme und Kraftstoffe unter Berücksichtigung der zugehörigen Versorgungsinfrastruktur im Verkehr schrittweise implementiert werden können, um die Klimaschutzziele im Verkehrssektor zu erreichen.

Forschung im Rahmen der Förderrichtlinie Elektromobilität

Schwerpunkte der Förderrichtlinie Elektromobilität vom 14. Dezember 2020 sind die Erarbeitung kommunaler und gewerblicher Elektromobilitätskonzepte, Investitionszuschüsse zur Umstellung auf batterie-elektrische Fahrzeugflotten und insbesondere Forschungs- und Entwicklungsvorhaben als Beitrag für eine klimafreundliche Mobilität und für eine leistungsfähige Verkehrsinfrastruktur. Zielsetzung der Förderung ist es, alternative Technologien im Verkehrssektor zu etablieren und diesen energieeffizienter, klima- und umweltverträglicher zu gestalten, um die Energiewende im Verkehr voranzutreiben. Offene Forschungsfragen können technologieübergreifend und verkehrsträgerneutral in Verbundvorhaben untersucht werden. Beispielsweise geht es um die Entwicklung eines umweltfreundlichen, kundenfreundlichen und flächendeckenden High Power Charging (HPC)-Systems, welches in städtischen Gebieten an die verfügbaren Niederspannungsnetze mit netzdienlicher Funktion angeschlossen werden kann. Ziel ist es, die Lücke zwischen den beiden definierten Standorten, den Hot-Spots (Autobahnraststätten) und dem Zielort, zu schließen. Ebenso geht es um die Entwicklung eines normkompatiblen, schnell-

ladefähigen, induktiven Ladesystems zum Beispiel für die City-Logistik. Durch solche nutzerfreundlichen Lademöglichkeiten kann die Attraktivität und Akzeptanz der Elektromobilität und somit auch die Anzahl der Elektrofahrzeuge mittelfristig gesteigert werden. Auch bidirektional ladefähige, rückspeisefähige Elektrofahrzeuge werden in Feldtests erforscht, um das Wiedereinspeisen von Energie in Stromnetze (Vehicle-to-Grid, V2G) und in Gebäude (Vehicle-to-Home, V2H, und Vehicle-to-Building, V2B) zu erproben. Ziel ist es, innovative, wirtschaftliche und nachhaltige Lösungen für die Nutzung der elektrischen Fahrzeugbatterie zu entwickeln und zu realisieren.

Förderprogramm Modellvorhaben Wärmenetze 4.0

Mit dem Förderprogramm Modellvorhaben Wärmenetze 4.0 unterstützt das BMWi Modellvorhaben für innovative klimafreundliche Quartiers- und Stadtteilversorgung mit Wärmenetzsystemen der 4. Generation. Diese zeichnen sich durch niedrige Temperaturniveaus, Anteile von erneuerbaren Energien zwischen 50 und 100 Prozent sowie in der Regel saisonale Großwärmespeicher aus.

Das Programm besteht seit 1. Juli 2017 und ist Ende 2019 novelliert worden.

Konkret sieht die Maßnahme eine Grundförderung in Höhe von 30 Prozent zuzüglich leistungsabhängiger gleitender Boni (jeweils zehn Prozent) vor, für die klimafreundliche und besonders kostengünstige netzgebundene Wärmeversorgung durch Wärmenetze mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien und Abwärme (mindestens 50 Prozent). Außerdem fördert das Ministerium in diesem Zuge Wärmespeicher sowie Maßnahmen am Leitungssystem des Wärmenetzes. Daneben umfasst die Förderung die Erstellung von Machbarkeitsstudien, den Bau des Netzes sowie Akquise- und Informationsmaßnahmen.

Ab 2021 wird das Programm durch ein sogenanntes Basisprogramm ergänzt, welches auf die besonderen Gegebenheiten in älteren Bestandnetzen angepasst sein wird. Ziel ist es, hochtemperaturige, fossil befeuerte Bestandsnetze schrittweise über längere Zeiträume hinweg zu dekarbonisieren. Dieser Prozess wird durch den schrittweisen Ersatz fossiler Wärmeerzeuger im Rahmen eines langfristigen Transformationsplans des Wärmenetzbetreibers umgesetzt.

5.2 Forschungsförderung der Länder

Seit 2008 führt der Projektträger Jülich (PtJ) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) eine jährliche Erhebung zu den finanziellen Aufwendungen der Länder für die nicht-nukleare Energieforschung durch.

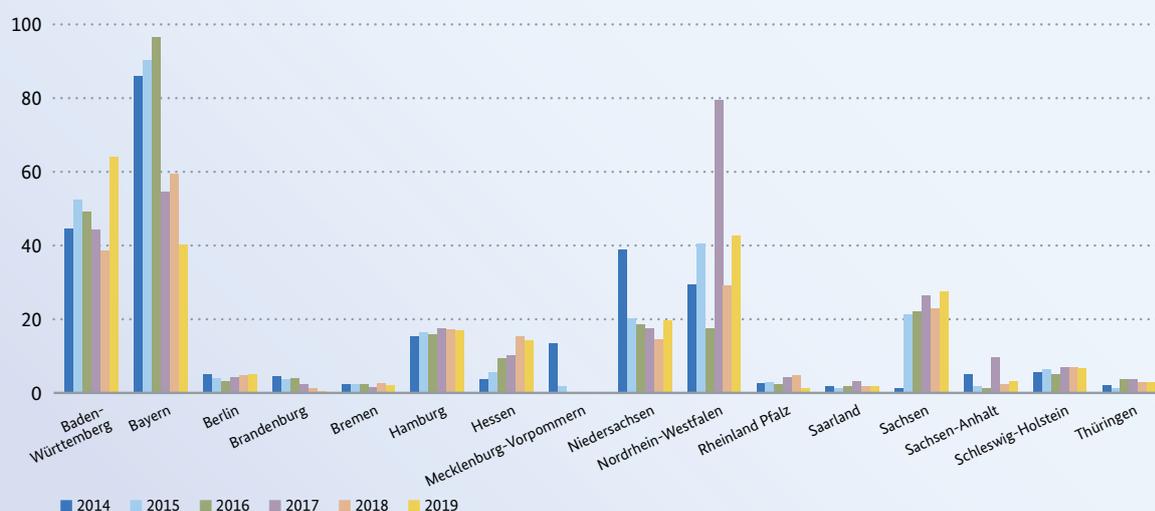
Die Aufwendungen der Länder für die Projektförderung sowie die institutionelle Förderung summieren sich der aktuellen Untersuchung für das Jahr 2019 zufolge insgesamt auf über 244,1 Millionen Euro. Dabei entfallen 135,1 Millionen Euro auf die Projektförderung und 109 Millionen Euro auf die institutionelle Förderung.

Die Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen bildet wie in den Vorjahren auch 2019 den übergreifenden Förderschwerpunkt und die tragende Säule der nationalen Energieforschungspolitik. Der technologiespezifische Forschungsschwerpunkt der Länder liegt im Bereich Energieeffizienz im Verkehr (43,7 Millionen Euro). Er umfasst die Förderung der Elektromobilität und bildet in Baden-Württemberg (21,7 Millionen Euro) durch die ansässige Fahrzeugindustrie den Förderschwerpunkt. Forschungsaktivitäten zur Energieeffizienz in Industrie, Handel und Gewerbe werden länderseitig insgesamt mit 17 Millionen Euro unterstützt, allen voran in Sachsen (8,2 Millionen Euro).

Das Forschungsthema Energieeffizienz in Gebäuden und Quartieren wird in den Ländern mit 13,6 Millionen Euro beforscht, mit 3,4 Millionen Euro liefert Baden-Württemberg den größten Beitrag.

Die technologische Forschungsförderung der Systemintegration und Sektorenkopplung beläuft sich 2019 auf 88,5 Millionen Euro und konnte im Vergleich zum Vorjahr deutlich ausgeweitet werden. In diesem Zusammenhang ist besonders die Fördermittelzunahme in den Bereichen Energiespeicher (38,9 Millionen Euro) und Stromnetze (11,1

Abbildung 26: Aufwendungen für die nicht-nukleare Energieforschung nach Ländern 2014–2019 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 9, Seite 92)

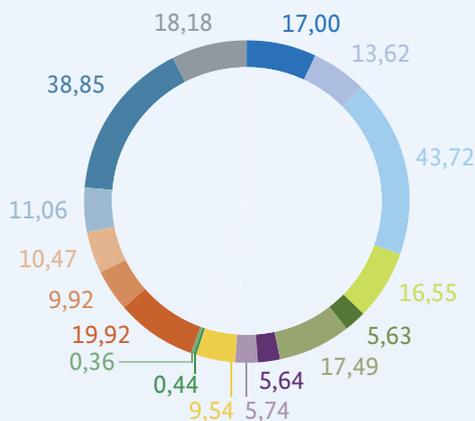


Millionen Euro) zu erwähnen. Während Baden-Württemberg mit 14,3 Millionen Euro eine Vorreiterrolle in der Energiespeicherforschung zukommt, widmet sich besonders Nordrhein-Westfalen (4,1 Millionen Euro) der Entwicklung zuverlässiger Smart Grids.

Auch die Förderung von Brennstoffzellentechnologien (10,5 Millionen Euro) wurde von Seiten der Länder ausgebaut, wie bereits seit vielen Jahren erhält dieser Forschungsbereich auch 2019 in Nordrhein-Westfalen (4,4 Millionen Euro) die größte finanzielle Unterstützung. Gleichzeitig beläuft sich die separat erhobene Forschungsförderung der Wasserstofftechnologien auf insgesamt 9,9 Millionen Euro, Bayern ist hier mit 4,1 Millionen Euro führend.

Die Forschungsförderung im Bereich Regenerative Energien summiert sich auf 64,8 Millionen Euro und ist damit im Vergleich zu den Vorjahren leicht rückläufig. Wie in den Vorjahren nimmt das Themenfeld Solarthermie und PV mit 17,5 Millionen Euro dabei den höchsten Stellenwert ein und wird in Bayern und Nordrhein-Westfalen mit jeweils 4,3 Millionen Euro am stärksten gefördert. Die Technologieförderung im Bereich Bioenergie bewegt sich mit 9,5 Millionen Euro leicht unter dem Vorjahresniveau und wird in Bayern (5,4 Millionen Euro) maßgeblich vorangetrieben. Auch die Windenergieforschung ist mit 5,6 Millionen Euro im Vergleich zu 2018 leicht rückläufig und erfährt mit einer Fördersumme von jeweils 1,6 Millionen Euro standortbedingt in Hamburg und Bremen die größte finanzielle Unterstützung.

Abbildung 27: Aufwendungen der Länder für die nicht-nukleare Energieforschung 2019 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 10, Seite 93)



- Energieeffizienz in Industrie, Handel und Gewerbe
- Energieeffizienz in Gebäuden und Quartieren
- Energieeffizienz im Verkehr (inkl. Elektromobilität)
- Sonstige Energieeffizienzmaßnahmen
- Thermische Kraftwerke/CO2-Technologien
- Erneuerbare Energien – Solarthermie und PV
- Erneuerbare Energien – Windenergie
- Erneuerbare Energien – Geothermie
- Erneuerbare Energien – Bioenergie
- Erneuerbare Energien – Wasserkraft
- Erneuerbare Energien – Meeresenergie
- Sonstige erneuerbare Energiequellen
- Wasserstofftechnologien
- Brennstoffzellen
- Stromnetze (Elektrizitätsübertragung und -verteilung)
- Energiespeichertechnologien
- Energiesystemanalyse/Modellierung

Die zunehmenden Forschungsaktivitäten der Länder im Bereich der thermischen Kraftwerke/CO2-Technologien belaufen sich 2019 auf 5,6 Millionen Euro, besonders Nordrhein-Westfalen nimmt sich mit 3,8 Millionen Euro dieser Thematik an.

Die immer komplexer werdenden Energieversorgungsstrukturen erfordern eine ganzheitliche systemische Betrachtung sowie die Modellierung valider Zukunftsszenarien. Um diesen Anforderungen gerecht werden zu können, erfährt der Umfang des übergreifenden Forschungsthemas Energiesystemanalyse und Modellierung 2019 einen enormen Anstieg und wird insgesamt mit 18,2 Millionen Euro gefördert. Den bedeutendsten diesbezüglichen Forschungsbeitrag liefert Nordrhein-Westfalen mit 6,5 Millionen Euro.

Der ausführliche Bericht „Förderung der nicht-nuklearen Energieforschung durch die Länder im Jahre 2019“ kann neben den anderen bislang veröffentlichten Länderberichten über die oben genannte Website des Projektträgers Jülich (www.ptj.de) abgerufen werden.

6. Tabellen

6.1 Fördermittel im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Tabelle 1 | Übersicht der Themen im Energieforschungsprogramm des Bundes

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Projektförderung							
Energiewende in den Verbrauchssektoren	115,89	112,04	108,08	137,28	156,04	193,92	209,92
Energieerzeugung	198,95	209,86	191,67	244,49	212,36	255,36	256,14
Systemintegration: Netze, Speicher, Sektorkopplung	95,22	113,30	119,79	144,44	127,15	127,11	146,72
Systemübergreifende Forschungsthemen der Energiewende	34,29	44,49	71,01	86,12	92,22	78,31	91,61
Nukleare Sicherheitsforschung	43,29	45,74	45,73	47,13	47,48	48,98	46,21
Institutionelle Förderung (Helmholtz-Gemeinschaft)	331,60	348,69	362,81	379,63	393,75	410,29	415,78
Begleitende Maßnahmen	28,14	34,72	35,03	28,20	25,76	34,47	49,63
Summe	847,39	908,85	934,12	1.067,28	1.054,75	1.148,42	1.216,00

Tabelle 2 | 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	laufend in 2020	neu bewilligt in 2020	neu bewilligt in 2020
Energiewende in Gebäuden und Quartieren	47,52	60,11	66,11	61,85	58,21	65,38	78,63	93,51	103,16	948	220	127,16
Energieoptimierte und klimaneutrale Gebäude	25,83	31,82	36,55	35,64	32,00	36,57	39,78	50,24	48,00	511	110	48,05
Energieoptimierte und klimaneutrale Quartiere	12,23	15,16	15,78	14,30	16,82	20,30	30,02	35,57	46,84	341	76	59,61
Thermische Energiespeicher	2,38	4,15	6,51	7,33	5,75	4,84	5,33	4,65	4,52	40	7	4,11
Versorgung mit Wärme und Kälte	7,08	8,99	7,27	4,59	3,64	3,67	3,51	3,06	3,80	56	27	15,38
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	706	134	67,77
Abwärmenutzung	4,37	4,21	3,88	4,98	4,03	2,78	1,26	0,55	0,56	17	6	1,50
Chemische Verfahrenstechnik	5,23	7,30	7,13	7,49	9,11	12,83	12,83	11,22	9,21	129	27	14,63
Eisen, Stahl und Nichteisenmetalle	1,81	1,77	0,98	0,97	0,86	1,09	2,07	3,56	3,15	47	5	1,57
Zirkuläres Wirtschaften	–	0,05	0,34	0,32	0,12	0,03	–	–	0,16	6	6	1,12
Fertigungstechnik	10,93	15,93	17,13	15,82	11,09	14,82	17,49	23,19	24,80	264	48	20,42
Hochtemperatur-supraleitung	2,81	3,10	2,37	0,53	0,62	1,18	1,15	1,07	0,70	10	6	5,21
Digitalisierung in der Industrie	0,44	0,65	0,70	0,74	1,07	1,59	1,69	1,61	0,66	16	5	6,53
Material- und Ressourceneffizienz	0,09	0,06	0,07	0,09	0,01	0,18	0,28	0,49	0,43	4	–	–
Prozesswärme	2,02	3,41	3,29	4,14	5,65	8,15	8,58	9,45	9,36	92	13	9,08
Wasserbehandlung	–	–	0,04	0,18	0,35	0,72	0,58	0,57	0,51	9	3	0,40
Flexible Industrieprozesse	–	–	–	–	–	10,70	12,54	10,80	10,43	58	9	3,61
Sonstige	3,89	3,22	1,24	2,12	3,07	3,03	2,44	3,67	4,93	54	6	3,71
Energiewende im Verkehr	14,22	17,83	12,61	12,80	13,87	14,78	16,49	34,21	41,87	303	60	24,57
Batterietechnik für mobile Anwendung	14,22	17,83	12,61	12,80	13,87	14,28	15,63	17,06	17,80	147	38	14,06
Synthetische Kraftstoffe	–	–	–	–	–	0,50	0,86	17,15	23,64	144	15	5,33
Ladeinfrastruktur und Systemintegration	–	–	–	–	–	–	–	–	0,44	12	7	5,18
Gesamt	93,33	117,63	115,89	112,04	108,08	137,28	156,04	193,92	209,92	1.957	414	219,50

Tabelle 3 | 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	laufend in 2020	neu bewilligt in 2020	neu bewilligt in 2020	
Photovoltaik	66,74	62,73	56,83	67,41	59,78	81,90	78,24	98,69	86,19	485	116	65,70	
PV-Technologien	10,11	9,88	7,22	5,64	2,65	2,75	5,24	11,75	12,40	60	20	11,98	
Qualitätssicherung	3,49	2,80	2,65	3,07	3,79	4,60	3,65	3,97	3,83	34	15	5,99	
Produktions- technologien	31,33	32,49	28,77	36,05	36,10	55,93	58,11	58,86	56,81	297	50	35,44	
Zirkuläres Wirtschaften	0,75	0,85	0,63	0,91	0,99	1,14	0,82	1,01	1,16	8	4	1,47	
Systemfähigkeit	2,43	1,87	2,40	3,40	4,57	5,41	6,85	5,99	5,50	35	17	7,43	
Grundlagenforschung Photovoltaik	15,21	14,49	14,83	11,59	6,17	3,51	1,33	2,69	2,27	7	–	–	
Sonstige	3,41	0,34	0,34	6,75	5,51	8,56	2,24	14,41	4,23	44	10	3,38	
Windenergie	38,24	52,57	52,88	52,85	49,68	75,11	59,73	72,95	76,06	488	99	65,32	
Anlagenentwicklung	5,74	18,14	23,40	27,09	21,99	42,92	29,13	34,69	41,82	199	25	23,95	
Logistik, Installation, Instandhaltung und Betrieb	11,83	7,38	5,25	5,18	7,38	11,00	8,34	8,30	7,83	99	33	12,61	
Windenergie Offshore	8,30	16,09	14,34	9,19	10,45	11,56	12,03	15,88	17,61	96	23	11,06	
Umweltaspekte der Windenergie	7,25	4,91	4,31	3,23	2,25	2,48	2,42	3,34	2,83	31	4	1,37	
Windphysik und Meteorologie	0,21	1,78	2,34	3,63	3,03	3,06	2,33	2,96	3,70	39	12	16,28	
Sonstige	4,91	4,27	3,24	4,53	4,58	4,08	5,49	7,79	2,26	24	2	0,06	
Bioenergie	40,83	42,57	43,00	42,10	37,88	33,03	28,54	40,52	49,38	707	179	45,47	
Erzeugung – Anbau	6,91	6,31	5,98	4,43	4,69	5,70	6,52	10,86	14,39	195	61	18,46	
Erzeugung – Züchtung	4,43	5,25	4,77	4,92	4,49	4,58	4,20	4,44	4,78	70	17	5,01	
Konversion – allgemein	–	–	–	0,53	5,22	2,73	4,46	5,03	4,64	65	9	1,68	
Konversion – gasförmig	4,61	4,87	5,27	6,84	4,92	6,79	5,04	4,88	6,05	106	32	7,56	
Konversion – flüssig	4,11	6,12	6,19	5,92	3,97	3,21	1,98	1,12	0,68	10	3	0,73	
Konversion – fest	2,78	0,94	0,73	1,92	2,23	1,77	1,34	2,43	3,85	44	5	1,00	
Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe	7,52	6,05	5,06	4,69	3,66	4,17	4,20	5,12	8,72	181	38	7,73	
Grundlagenforschung und Bioenergie	8,61	9,81	12,16	9,89	6,17	3,13	0,22	5,83	4,63	11	–	–	
Querschnitt	1,86	3,22	2,85	2,97	2,53	0,94	0,59	0,80	1,65	25	14	3,30	
Thermische Kraftwerke	19,68	29,38	29,39	32,22	29,44	34,14	29,05	28,30	27,90	375	83	38,30	
Last- und brennstoff- flexible Gas- und Dampfturbinen	11,00	21,01	20,12	20,82	18,42	22,87	18,01	17,74	18,39	231	44	19,27	
Solarthermische Kraftwerke	4,82	5,72	6,23	8,01	7,21	6,20	6,13	6,75	8,19	102	25	9,30	
Sonstige	3,87	2,66	3,04	3,39	3,81	5,07	4,90	3,80	1,31	42	14	9,73	
Geothermie	21,42	17,61	15,64	13,61	12,89	18,15	15,38	13,19	14,36	106	41	40,95	
Wasserkraft und Meeresenergie	0,98	1,25	1,21	1,68	2,01	2,15	1,40	1,71	2,26	10	–	–	
Gesamt	187,89	206,10	198,95	209,86	191,67	244,49	212,36	255,36	256,14	2.171			

Tabelle 4 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Systemintegration: Netze, Speicher, Sektorkopplung“

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €										Anzahl Projekte		Förder- summe in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	laufend in 2020	neu bewilligt in 2020	neu bewilligt in 2020	
Stromnetze	12,20	27,31	31,24	54,32	66,32	78,14	66,24	64,85	65,05	517	145	81,85	
Versorgungssicherheit	1,04	2,32	2,23	7,50	12,75	13,10	13,51	11,02	12,11	76	18	7,41	
Flexibilität im Stromnetz	6,67	7,75	5,88	7,21	6,60	6,30	7,13	7,14	10,71	115	51	16,91	
Netzplanung und Betriebsführung	2,80	7,82	9,53	15,65	19,45	19,56	14,74	13,35	12,29	115	30	14,31	
Technik für das Stromnetz	1,69	9,42	12,64	16,39	17,52	21,07	17,71	22,50	19,36	170	24	13,05	
Grundlagenforschung Stromnetze	–	–	0,96	7,57	10,01	18,11	13,15	10,85	10,58	41	22	30,17	
Energiespeicher	13,23	31,43	29,57	28,63	27,69	22,35	18,37	21,43	22,53	214	50	25,55	
Elektrische Speicher	–	–	–	–	–	0,02	0,61	0,63	0,63	9	3	1,43	
Elektrochemische Speicher	1,60	3,96	3,99	4,36	5,22	8,54	8,99	8,68	11,19	117	30	16,23	
Strom-Wärme-Strom-Speicher	–	–	–	–	0,58	1,39	1,54	2,36	2,42	6	3	1,83	
Mechanische Speicher	1,19	3,26	1,53	1,97	2,60	3,19	2,53	2,65	3,48	22	–	–	
Grundlagenforschung Energiespeicher	10,20	19,37	17,21	15,61	10,79	3,60	1,17	3,77	2,30	21	–	–	
Sonstige	0,25	4,84	6,84	6,70	8,50	5,59	3,54	3,34	2,52	39	14	6,06	
Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien	20,33	30,85	34,41	30,35	25,77	43,95	42,53	40,82	59,13	269	95	151,16	
Wasserstoffherzeugung	1,08	4,78	6,35	7,17	5,70	6,66	4,21	1,13	0,97	22	26	50,31	
Wasserstoffspeicher und -transport	2,17	3,84	3,46	2,76	2,85	4,36	4,90	5,73	4,10	39	13	5,80	
Brennstoffzellen	15,64	19,58	18,82	15,23	10,04	15,67	13,81	14,31	15,17	99	18	7,43	
Systemische Ansätze	–	0,62	0,96	1,12	0,99	0,32	0,33	0,46	0,43	11	7	7,25	
Power-to-X	1,45	0,96	0,40	0,39	0,19	0,62	1,06	1,33	1,35	19	6	1,69	
Grundlagenforschung Sektorkopplung und Wasserstoff	–	1,08	3,04	2,10	4,63	15,53	17,36	17,78	35,99	59	14	74,16	
Sonstige	–	–	1,39	1,58	1,37	0,79	0,85	0,08	1,13	20	11	4,52	
Gesamt	45,76	89,60	95,22	113,30	119,79	144,44	127,15	127,11	146,72	1.000	290	258,55	

Tabelle 5 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Systemübergreifende Forschungsthemen der Energiewende“

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €									Anzahl Projekte		Förder- summe in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	laufend in 2020	neu bewilligt in 2020	neu bewilligt in 2020
Energiesystemanalyse	6,02	8,06	8,39	9,32	11,18	15,01	15,94	17,16	18,97	216	34	15,13
Digitalisierung in der Energiewende	–	–	–	–	–	–	–	–	2,68	34	22	8,22
Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
CO₂-Technologien	8,47	5,97	6,60	4,28	15,06	18,15	24,58	19,57	35,05	105	42	88,82
CO ₂ -Transport und -Lagerung	0,72	0,74	0,67	0,38	–	0,18	0,96	1,23	1,22	6	–	–
CO ₂ -Abtrennung	7,75	5,12	3,90	1,80	3,46	3,30	2,11	1,23	1,95	17	–	–
CO ₂ -Umwandlung und -Nutzung	–	0,11	0,27	1,30	2,64	2,83	4,61	3,04	6,15	19	8	3,05
Grundlagenforschung CO ₂ -Technologien	–	–	1,76	0,79	8,95	11,84	16,90	14,08	25,74	63	34	85,77
Programmkooperation Industrielle Gemein- schaftsforschung	–	–	–	–	0,05	2,52	4,22	5,47	4,90	45	22	9,75
Energiewende und Gesellschaft	–	1,18	3,25	3,95	2,64	10,02	9,93	10,15	6,37	76	69	39,06
Materialforschung	–	–	0,72	10,41	27,87	26,68	18,21	10,30	2,90	21	–	–
Grundlagenforschung Energierelevante Nut- zung des Untergrundes	4,51	4,65	4,22	3,69	3,59	1,81	2,02	1,36	2,35	43	27	7,99
Technologieoffene Förderung mit internationalem Fokus	–	0,05	1,03	2,00	0,65	0,28	2,11	3,88	11,73	93	26	22,45
Sonstige Grundlagen- forschung	20,95	16,99	10,07	10,84	9,96	11,64	15,22	10,42	6,64	53	20	11,16
Gesamt	39,95	36,90	34,29	44,49	71,01	86,12	92,22	78,31	91,61	686		

Tabelle 6 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Nukleare Sicherheitsforschung“

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €									Anzahl Projekte		Förder- summe in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	laufend in 2020	neu bewilligt in 2020	neu bewilligt in 2020
Endlager- und Entsorgungsforschung	12,30	13,23	13,58	12,95	13,09	16,33	17,61	19,57	17,79	161	46	17,36
Endlagerforschung	9,84	10,39	10,25	10,06	9,94	11,43	12,02	12,23	12,58	98	23	6,90
Querschnittsaufgaben und Sonstige	0,54	0,53	0,53	0,54	1,06	1,90	2,69	3,57	2,31	27	6	3,22
Kernmaterial-überwachung	0,18	0,15	0,19	0,24	0,26	0,21	0,09	0,22	0,05	1	–	–
Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen)	1,74	2,17	2,61	2,11	1,83	2,78	2,81	3,54	2,85	35	17	7,25
Reaktorsicherheitsforschung	24,38	23,43	25,10	25,22	24,06	22,76	21,98	22,05	22,06	142	46	24,37
Sicherheit von Komponenten kern-technischer Anlagen	5,28	4,01	4,38	4,55	4,38	4,20	5,19	4,75	4,98	46	20	7,33
Anlagenverhalten und Unfallabläufe	11,25	12,09	12,51	13,22	13,37	13,46	12,52	12,47	11,72	61	14	11,33
Querschnittsaufgaben und Sonstige	5,08	5,72	4,81	4,05	3,63	3,37	3,04	3,63	4,56	30	12	5,71
Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen)	2,77	1,62	3,39	3,39	2,68	1,73	1,23	1,19	0,79	5	–	–
Strahlenforschung (BMBF)	4,91	4,95	4,61	7,58	8,58	8,05	7,89	7,36	6,36	59	14	8,11
Gesamt	41,59	41,61	43,29	45,74	45,73	47,13	47,48	48,98	46,21	362	106	49,84

Tabelle 7 | Institutionelle Förderung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
POF III							
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	124,07
Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung	34,62	35,76	37,27	38,84	40,47	42,16	43,32
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	78,32
Future Information Technology	8,11	8,62	10,81	13,24	16,28	18,90	19,63
Summe	331,60	348,69	362,81	379,63	393,75	410,29	415,78

Tabelle 8 | 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Aufteilung nach Ressorts	Mittelabfluss in Mio. €						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
BMWi	400,53	426,59	426,07	529,15	510,62	576,81	593,78
Projektförderung	376,82	401,74	399,83	501,37	481,26	545,81	562,79
Institutionelle Förderung (DLR)	23,72	24,85	26,25	27,78	29,36	31,00	30,99
BMBF	392,93	420,03	444,96	484,19	494,24	507,57	536,56
Projektförderung	85,05	96,19	108,40	132,35	129,86	128,28	151,76
Institutionelle Förderung (HGF, ohne DLR)	307,89	323,85	336,56	351,85	364,38	379,29	384,79
BMEL	25,78	27,51	28,05	25,73	24,13	29,57	36,03
Projektförderung	25,78	27,51	28,05	25,73	24,13	29,57	36,03
Summe	819,25	874,14	899,09	1.039,07	1.029,00	1.113,95	1.166,37

6.2 Fördermittel für Energieforschung der Länder

Tabelle 9 | Aufwendungen der Länder für nicht-nukleare Energieforschung

Länder	Mittelabfluss in Mio. €						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Baden-Württemberg	44,37	52,22	48,77	44,10	38,30	63,62	
Bayern	85,61	89,98	96,34	54,15	59,26	40,05	
Berlin	4,70	3,63	2,94	3,89	4,36	4,62	
Brandenburg	4,40	3,54	4,05	2,20	1,22	0,19	
Bremen	1,99	2,08	2,10	1,35	2,22	1,75	
Hamburg	14,91	16,12	15,64	17,29	16,81	16,63	
Hessen	3,48	5,17	9,11	9,95	14,93	13,96	
Mecklenburg-Vorpommern	13,02	1,50	–	–	–	0,00	
Niedersachsen	38,57	19,78	18,21	17,15	14,22	19,40	
Nordrhein-Westfalen	28,99	40,14	17,24	79,08	28,84	42,34	
Rheinland-Pfalz	2,37	2,51	1,95	4,00	4,39	0,90	
Saarland	1,56	0,98	1,42	2,77	1,53	1,52	
Sachsen	1,01	20,89	21,78	26,04	22,66	27,29	
Sachsen-Anhalt	4,62	1,53	0,89	9,45	1,94	2,71	
Schleswig-Holstein	5,15	5,97	4,76	6,76	6,65	6,44	
Thüringen	1,81	0,95	3,42	3,50	2,70	2,68	
Summe	256,56	266,99	248,63	281,68	220,04	244,12	

Tabelle 10 | Aufwendungen der Länder für nicht-nukleare Energieforschung in den Jahren 2018 und 2019 nach neuer Technologieklassifikation*

Themen	Mittelabfluss in Mio. €	
	2018	2019
Erneuerbare Energien – Bioenergie	10,86	9,54
Brennstoffzellen	6,49	10,47
Wasserstofftechnologien	12,94	9,92
Sonstige Energieeffizienzmaßnahmen	22,10	16,55
Energiesystemanalyse/Modellierung	7,39	18,18
Erneuerbare Energien – Geothermie	6,55	5,74
Thermische Kraftwerke/CO ₂ -Technologien	4,40	5,63
Erneuerbare Energien – Solarthermie und PV	18,39	17,49
Erneuerbare Energien – Windenergie	6,82	5,64
Energieeffizienz im Verkehr (inkl. Elektromobilität)	29,39	43,72
Energiespeichertechnologien	26,42	38,85
Stromnetze (Elektrizitätsübertragung und -verteilung)	6,43	11,06
Energieeffizienz in Gebäuden und Quartieren	16,97	13,62
Energieeffizienz in Industrie, Handel und Gewerbe	24,04	17,00
Erneuerbare Energien – Wasserkraft	0,95	0,44
Erneuerbare Energien – Meeresenergie	0,40	0,36
Sonstige erneuerbare Energiequellen	19,48	19,92
Summe	220,04	244,12

* Die Technologieklassifikation entspricht der Einteilung der Förderthemen der Internationalen Energieagentur (IEA)

