



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Bundesbericht Energieforschung 2020

Forschungsförderung für die Energiewende

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit
11019 Berlin
www.bmwi.de

Stand

Juni 2020

Gestaltung

PRpetuum GmbH, 80801 München

Bildnachweis

Andrea Böllmann / Universität Regensburg / S. 48 oben
Architekten Graf + Graf, Montabaur / S. 21
Bergische Universität Wuppertal / S. 22
Bosch Rexroth AG / S. 18/19, S. 24 links
Dietrich Kühne / S. 45
Dirk Mahler / Fraunhofer ISE / S. 4/5, S. 42
DLR / Titel, S. 27 links
Eike Köhnen / S. 56
Eisenhans / Adobe Stock / S. 60
FONA / photothek / S. 47
Framatome GmbH / S. 57
Fraunhofer UMSICHT / S. 35
Friedrich-Schiller-Universität Jena / S. 59
Hans-Joachim Rickel / BMBF / S. 52
Hans Wolfgang Jargst / Adobe Stock / S. 36
H_Ko / Adobe Stock / S. 28
Ilse Trautwein / Projektträger Jülich / S. 39
INVITE GmbH / S. 25
Johannes Adler / Universität Bremen, IALB / S. 33
Meike Bierther / Projektträger Jülich / S. 53
Meyer Burger (Germany) GmbH / S. 30
Muehlhan AG, Hamburg / S. 32
Rolf Otzipka / S. 43
Pavel Losevsky / Adobe Stock / S. 50
Physikalisch-Technische Bundesanstalt / S. 66/67
pogonici / Adobe Stock / S. 15
Schott AG / S. 24 rechts
Siemens AG / S. 41
Siemens Gamesa Renewable Energy GmbH / S. 44
Stadler Pankow GmbH / S. 27 rechts
Technische Universität München / S. 48 unten
Tim Lutz / S. 37
Tobias Machhaus / Adobe Stock / S. 54
TU Chemnitz / S. 62/63
ZSW / S. 31

Diese und weitere Broschüren erhalten Sie bei:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Referat Öffentlichkeitsarbeit
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
www.bmwi.de

Zentraler Bestellservice:

Telefon: 030 182722721
Bestellfax: 030 18102722721

Diese Publikation wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Die Publikation wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

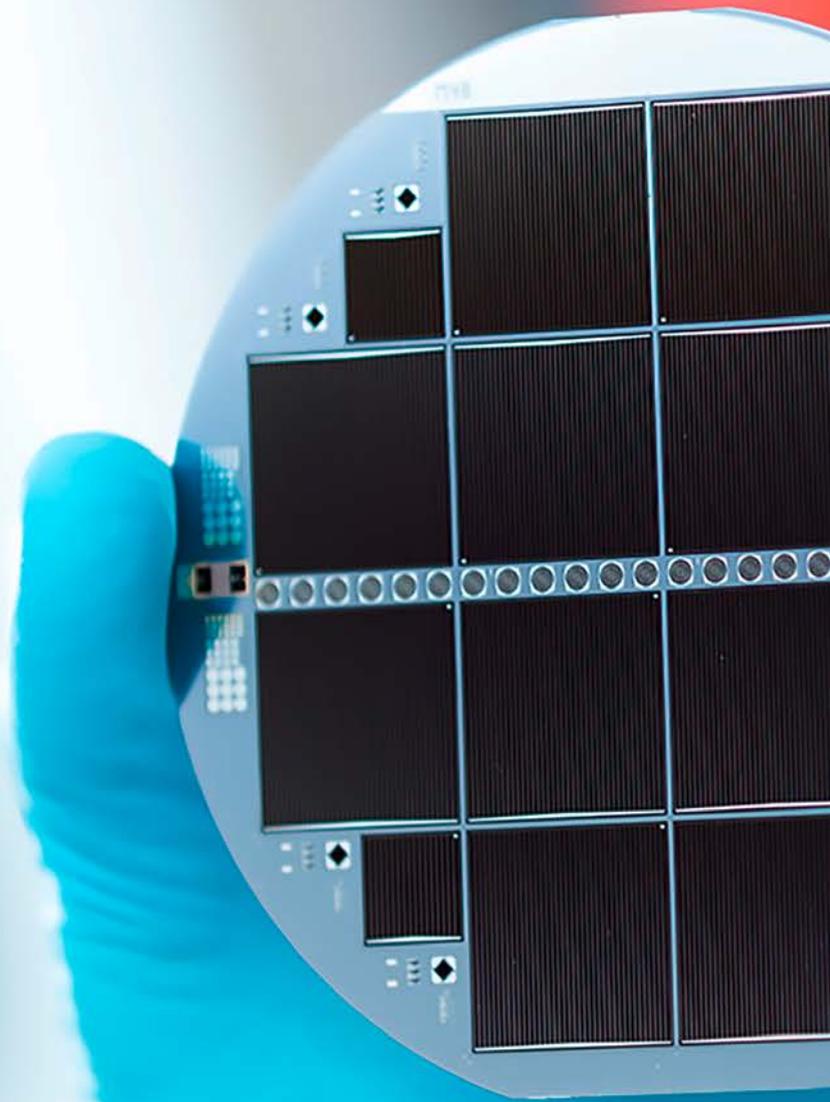
Bundesbericht Energieforschung 2020

Forschungsförderung für die Energiewende

Inhalt

1. Forschungsförderung für die Energiewende	5
1.1 Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung.....	6
1.1.1 Ziele und Maßnahmen.....	6
1.1.2 Mittelentwicklung.....	7
1.1.3 Evaluationen und Erfolgskontrolle.....	7
1.2 Strukturen der Energieforschungspolitik.....	10
1.2.1 Ressortaufgaben.....	10
1.2.2 Koordination der Energieforschungsförderung.....	10
1.2.3 Nationale Vernetzung.....	10
1.2.4 Reallabore der Energiewende	12
1.2.5 Transparenz und Kommunikation.....	13
1.3 Europäische und internationale Vernetzung.....	13
1.3.1 Europäische Kooperation	14
1.3.2 Internationale Kooperation	14
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	23
2.1.3 Schnittstellen der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr.....	25
2.2 Energieerzeugung.....	28
2.2.1 Photovoltaik	28
2.2.2 Windenergie	31
2.2.3 Bioenergie	34
2.2.4 Geothermie	36
2.2.5 Wasserkraft und Meeresenergie	38
2.2.6 Thermische Kraftwerke	38
2.3 Systemintegration	40
2.3.1 Stromnetze	40
2.3.2 Stromspeicher	43
2.3.3 Sektorkopplung und Wasserstoff.....	46
2.4 Systemübergreifende Forschungsthemen.....	49
2.4.1 Energiesystemanalyse.....	49
2.4.2 Digitalisierung der Energiewende.....	50
2.4.3 Ressourceneffizienz für die Energiewende.....	51
2.4.4 CO ₂ -Technologien	51
2.4.5 Energiewende und Gesellschaft	53
2.4.6 Materialforschung für die Energiewende.....	55
2.5 Nukleare Sicherheitsforschung	56
2.5.1 Reaktorsicherheitsforschung	56
2.5.2 Entsorgungs- und Endlagerforschung.....	58
2.5.3 Strahlenforschung	60

3. Institutionelle Energieforschung.....	62
3.1 Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft.....	64
3.2 Fusionsforschung.....	65
4. Weitere energierelevante Förderaktivitäten	67
4.1 Forschungsförderung der Länder	68
4.2 Forschungsrahmenprogramm der EU (<i>Horizon 2020</i>)	69
4.3 Aktivitäten der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms.....	70
5. Tabellen.....	73
5.1 Fördermittel im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung	73
5.2 Fördermittel für die Energieforschung der Länder.....	79



A hand holding a circuit board against a blurred background of red and blue light. The hand is rendered in a semi-transparent blue color, and the circuit board is a detailed, realistic representation of a printed circuit board (PCB) with various components and traces. The background is a soft, out-of-focus bokeh of red and blue light, creating a sense of depth and focus on the hand and board. The overall aesthetic is clean, modern, and technological.

1. Forschungs- förderung für die Energiewende

1.1 Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

1.1.1 Ziele und Maßnahmen

Forschung und Entwicklung sind die Basis für die neuen, kostengünstigen und marktfähigen Energie- und Effizienztechnologien von morgen. Mit der Energiewende hat sich die Bundesregierung zu anspruchsvollen nationalen, europäischen und internationalen Energie- und Klimazielen verpflichtet. Auch vor dem Ziel, im Jahr 2050 Treibhausgasneutralität zu erreichen, muss der Anteil erneuerbarer Energien in allen Verbrauchssektoren weiter steigen. Mit dem Klimaschutzprogramm 2030 wurde beschlossen, den Ausbau der erneuerbaren Energien deutlich zu beschleunigen und bereits im Jahr 2030 einen Anteil von 65 Prozent am Stromverbrauch zu erreichen. Zugleich muss sich der Verbrauch durch Effizienzmaßnahmen reduzieren. Zudem soll die Versorgungsinfrastruktur weiter vernetzt, synchronisiert und ausgebaut werden. Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an technische Weiterentwicklungen und zukunftsweisende Innovationen, die den tiefgreifenden Umbauprozess des Energiesystems zu einer Erfolgsgeschichte machen. Energieforschung ist somit ein strategisches Element der Energiepolitik und trägt zur Stärkung des Wirtschaftsstandorts Deutschland bei.

Mit dem 7. Energieforschungsprogramm hat die Bundesregierung die Energieforschungsförderung umfassend an den Bedürfnissen der Energiewende ausgerichtet und den beschleunigten Innovationstransfer in den Fokus gerückt. Die Förderung der Energieforschung ist damit eine wichtige Maßnahme zur Umsetzung der Energiewende und zum Schutz des Klimas. Im Klimaschutzprogramm 2030 hat die Bundesregierung daher festgehalten, dass die Energieforschung gestärkt werden muss. Die langen Vorlaufzeiten von der Forschung bis in die breite Anwendung machen es mit Blick auf das Zieldatum 2050 notwendig, die anwendungsnahe Energieforschung zu stärken und eng mit weiteren Maßnahmen (insbesondere den Reallaboren der Energiewende) zu verzahnen.

Auch in der Energieeffizienzstrategie 2050 kommt der Energieforschung eine wichtige Rolle zu. Nicht umsonst steht im 7. Energieforschungsprogramm die Energiewende in den Verbrauchssektoren getreu dem Motto „Efficiency First“ an erster Stelle.

Grüner Wasserstoff soll ein wichtiger Bestandteil der deutschen Dekarbonisierungsstrategie werden. In der Dekarbonisierungsstrategie geht es um das Vermeiden fossiler kohlenstoffhaltiger Brennstoffe. Dafür muss die gesamte Wertschöpfungskette (Technologien, Komponenten, Erzeugung, Speicherung, Infrastruktur und Logistik) weiterentwickelt werden, um grünen Wasserstoff kostengünstiger verfügbar und verwertbar zu machen. Die Wasserstoffstrategie der Bundesregierung soll dazu beitragen, die Vorreiterrolle deutscher Unternehmen im Bereich der klimaneutralen Wasserstofftechnologien auszubauen, neue Wertschöpfungsketten für die deutsche Wirtschaft zu schaffen, die Klimaziele zu erreichen und positive Entwicklungen in Entwicklungs- und Schwellenländern anzustoßen. Forschung als strategisches Element der deutschen Energie- und Industriepolitik spielt für diese Ziele eine zentrale Rolle. Durch eine langfristig angelegte Forschungs- und Innovationsförderung entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Wasserstoff – von der Erzeugung über Speicherung, Transport und Verteilung bis hin zur Anwendung – will die Bundesregierung Fortschritte bei diesen Schlüsseltechnologien der Energiewende erzielen.

Als zentrales Instrument zur Förderung der Energieforschung in Deutschland haben sich starke Partnerschaften aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen bewährt. In solchen Verbundprojekten wird von Anfang an berücksichtigt, welche Forschungsfragen für die praktische Umsetzung der Energiewende besonders relevant sind, gleichzeitig ist der Innovationstransfer durch die Beteiligung der Wirtschaft schon während der Projektlaufzeit angelegt. Zur weiteren Beschleunigung des Innovationstransfers hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im vergangenen Jahr die Reallabore der Energiewende auf den Weg gebracht und als neue Säule der Energieforschung etabliert (siehe Kapitel 1.2.4). Auch die Forschungsnetzwerke Energie des BMWi und die Forschungskommunikation dienen dem beschleunigten Innovationstransfer (siehe Kapitel 1.2.3). Im Förderbereich des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) sind die Kopernikus-Projekte ein zentrales Instrument der anwendungsorientierten Grundlagenforschung.

1.1.2 Mittelentwicklung

Mit dem 7. Energieforschungsprogramm hat sich die Bundesregierung ambitionierte Ziele auferlegt, um die Energiewende durch Innovationen voranzubringen. Wenngleich Forschung, Entwicklung und Demonstration von Energie- und Effizienztechnologien vorrangig Aufgabe der Wirtschaft sind, zielt die öffentliche Forschungsförderung darauf ab, neben der Grundlagenforschung die angewandte Forschung, technologische Entwicklungen sowie Innovationsaktivitäten von Unternehmen, von Forschungseinrichtungen und von Hochschulen zu unterstützen. Zudem leistet die Förderung aus öffentlicher Hand einen wichtigen Beitrag zur gesamtgesellschaftlichen Risikoversicherung und ermöglicht so wissenschaftliche Arbeiten, die mutigen Innovationsideen folgen.

Die Bundesregierung beabsichtigt, im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms für den Zeitraum 2018 bis 2022 insgesamt rund 6,4 Milliarden Euro Fördermittel bereitzustellen. Die Energieforschung wird somit im Vergleich zum 6. Energieforschungsprogramm weiter gestärkt. Im Jahr 2019 hat die Bundesregierung 1,15 Milliarden Euro in die Energieforschung investiert. Das ist ein Anstieg um rund neun Prozent im Vergleich zum Vorjahr. Rund 704 Millionen Euro fließen davon in die Projektförderung, rund 410 Millionen Euro in die institutionelle Förderung. Die Bundesregierung betont damit den unverzichtbaren Beitrag von Forschung und Entwicklung für die Energiewende und den Klimaschutz.

1.1.3 Evaluationen und Erfolgskontrolle

Wenn die Bundesregierung eine Maßnahme, wie beispielsweise das Energieforschungsprogramm, umsetzt, kommen Steuergelder zum Einsatz. Nationale Vorschriften sehen dann vor, dass der effiziente Einsatz der öffentlichen Finanzmittel überprüft werden muss. Nach europäischen Regeln müssen die Auswirkungen auf den Wettbewerb und den Handel zwischen den Mitgliedstaaten untersucht werden.

Evaluationen bieten hierfür weitreichende Möglichkeiten und spielen daher für eine effiziente und europarechtskonforme Förderpolitik in der Energieforschung eine wichtige Rolle. Zudem trägt die Veröffentlichung von Evaluationsergebnissen zu mehr Transparenz gegenüber den Bürgerinnen und Bürgern bei. Gleichzeitig liefern Evaluationen wertvolle

Hinweise für die Ausgestaltung künftiger Fördermaßnahmen, sowohl im Hinblick auf die strategische und inhaltliche Ausrichtung als auch auf administrative Vorgänge.

Für das 7. Energieforschungsprogramm befindet sich eine begleitende Evaluation in Bezug auf die angewandte Energieforschung nach den beihilferechtlichen Vorschriften in Vorbereitung. Konkret sollen alle Fördermaßnahmen des BMWi in Bezug auf die angewandte nicht-nukleare Energieforschung innerhalb des 7. Energieforschungsprogramms gemäß der Förderbekanntmachung „Angewandte nicht-nukleare Forschungsförderung im 7. Energieforschungsprogramm „Innovationen für die Energiewende““ evaluiert werden. Diese begleitende Evaluation soll daher neben der Verifizierung der Wirksamkeit der oben genannten Fördermaßnahmen vor dem Hintergrund des 7. Energieforschungsprogramms auch das Erreichen der Ziele unter Einbeziehung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung überprüfen. Dabei sollen auch die Auswirkungen der Förderung auf verschiedene Zielgruppen untersucht werden.

Abbildung 1: Übersicht der Fördermittel 2019 im 7. Energieforschungsprogramm in Prozent (Daten siehe Tabelle 1, Seite 73)

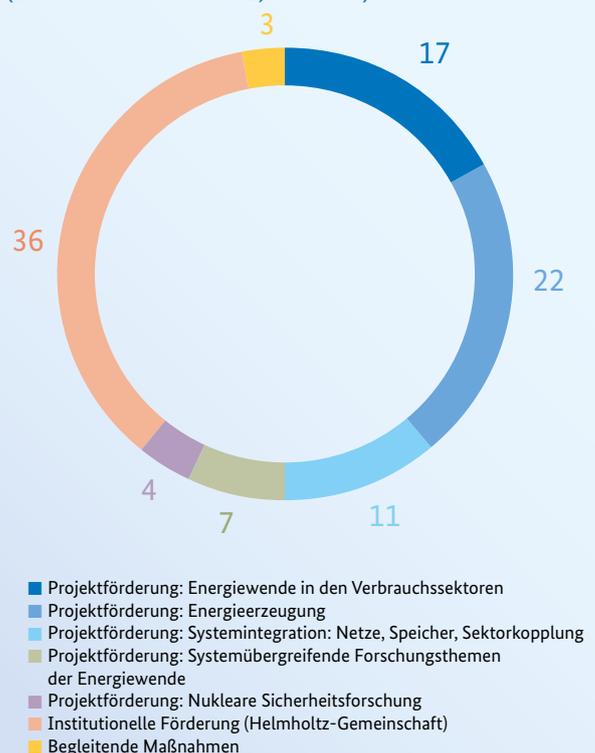
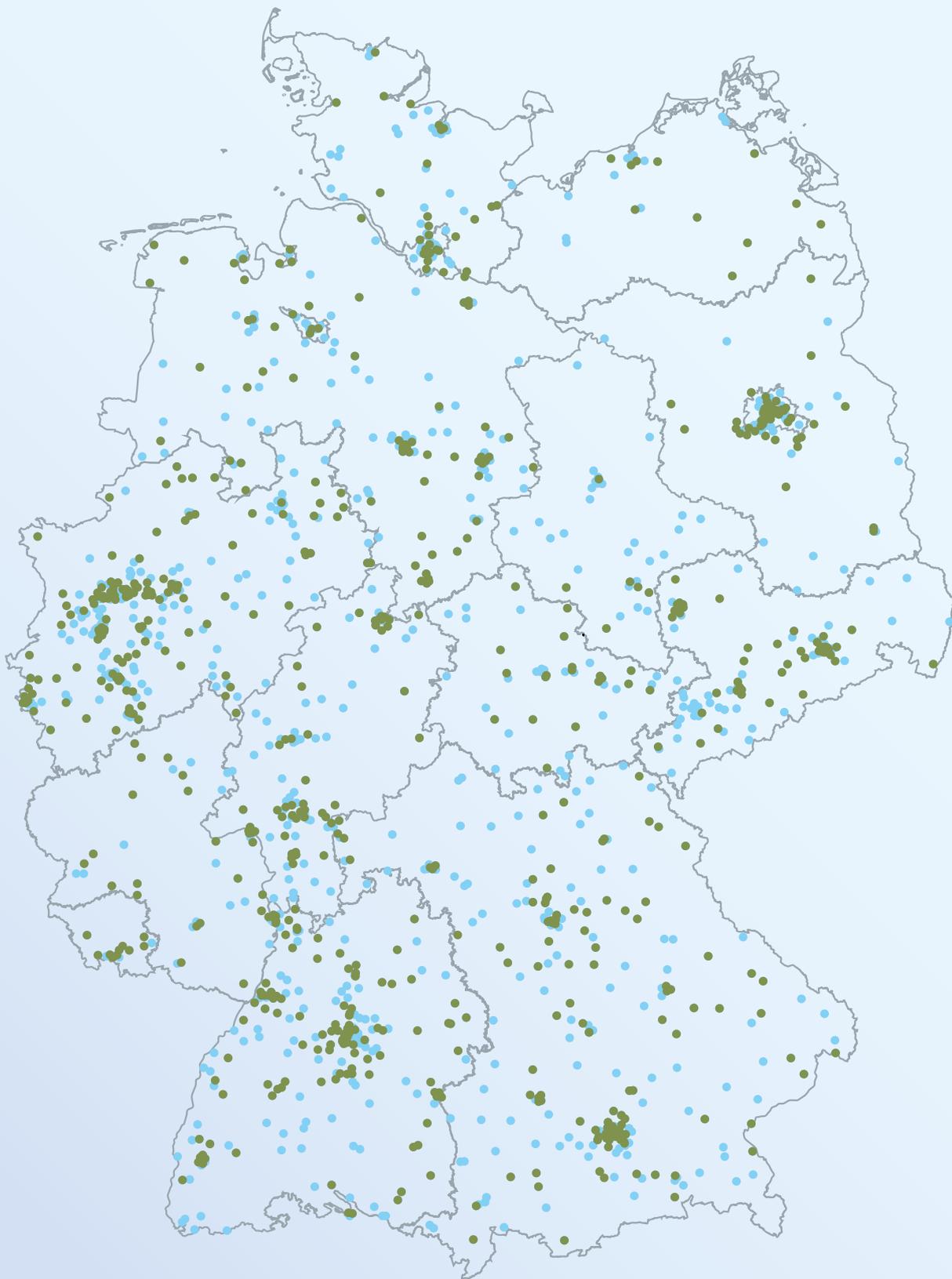


Abbildung 2: Übersicht über die laufenden (blau) und neu bewilligten (grün) Projekte der nicht-nuklearen Energieforschung in Deutschland



Quelle: GeoBasis-DE / BKG 2019 (Daten verändert) / Geodaten des BKG für Adressen der ausführenden Stellen aus der BMBF profi-Datenbank / Projektträger Jülich

Abbildung 3: Die Förderung der Energieforschung auf einen Blick

**1,148
Mrd. Euro**



Gesamtfördermittel 2019
im 7. Energieforschungsprogramm

2019 hat der Bund

1.622 Projekte
neu bewilligt



2019 hat die Bundesregierung
im 7. Energieforschungsprogramm

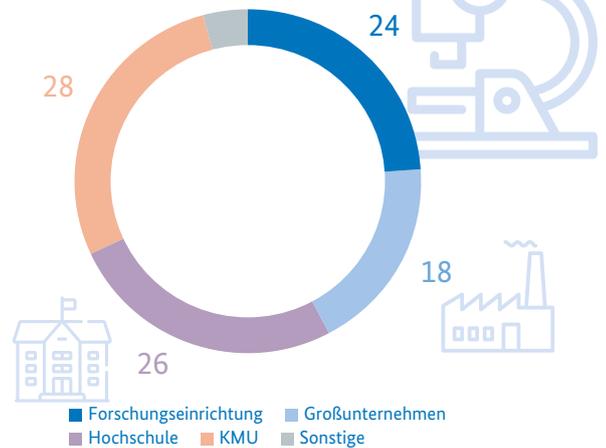
5.903
Projekte gefördert.

279,3 Mio. Euro

Eigenanteil von Unternehmen
an neu bewilligten Forschungs-
und Entwicklungsprojekten
im Jahr 2019 (nicht-nukleare
Energieforschung)



Zuwendungsempfänger
neu bewilligter Vorhaben 2019
in Prozent



Mittelabfluss in Mio. €



25 Prozent

Fördermittelanstieg im
Vergleich zu 2014 und 9 Prozent
Fördermittelanstieg im Vergleich zu 2018

97,3 Mio. Euro

Fördermittel für KMU für 2019
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 drei Bundesministerien für Wirtschaft und Energie (BMWi), Bildung und Forschung (BMBF) sowie Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) getragen. Es basiert auf einer ressortübergreifenden, themenorientierten Struktur. Das BMWi ist für die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik zuständig und verantwortet somit federführend das Energieforschungsprogramm. Darüber hinaus vertritt das BMWi die Bundesrepublik in europäischen und internationalen Gremien der Energieforschungspolitik.

Die Arbeitsteilung der Projektförderung richtet sich am Konzept des technologischen Reifegrads der zu erforschenden Themen und Technologien aus. Das Technology Readiness Level (TRL) gibt auf einer Skala von 1 bis 9 den wissenschaftlich-technischen Status einer Technik an. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützt Projekte der anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Dies entspricht den TRL 1 bis 3. Darüber hinaus fördert das Ministerium den wissenschaftlichen Nachwuchs, akademischen Austausch und Wissenschaftskooperationen auf EU- und internationaler Ebene. Das BMWi ist für die Förderung der anwendungsnahen Forschung und Entwicklung sowie der Reallabore der Energiewende zuständig (TRL 3 bis 9). Zudem übernimmt es die Projektförderung multilateraler Forschungskooperationen. Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft hingegen legt seinen Fokus auf anwendungsnahe Forschungsarbeiten zur energetischen Biomassenutzung.

Hinzu kommt die institutionelle Förderung durch die Bundesregierung. Das BMWi verantwortet zusammen mit dem BMBF die strategische Ausrichtung des Forschungsbereichs Energie der Helmholtz-Gemeinschaft (HGF). Die institutionelle Förderung der Helmholtz-Zentren erfolgt (mit Ausnahme des DLR) durch das BMBF. Das BMWi hat die institutionelle Förderung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) übernommen.

1.2.2 Koordination der Energieforschungsförderung

Die Bundesregierung unterstützt die Energieforschung nicht nur über die institutionelle und Projektförderung des Energieforschungsprogramms, sondern stärkt diesen strategisch wichtigen Bereich auch über verschiedene weitere Programme und Maßnahmen. Um das reibungslose und erfolgsorientierte Zusammenwirken aller Instrumente zu gewährleisten, ist ein intensiver Austausch und die Abstimmung zwischen den Bundesministerien, mit den Ländern, den Kommunen, aber auch der Wirtschaft und weiteren Akteuren erforderlich. Durch themenorientierte Kooperationen und übergreifende Koordination können so wertvolle Synergieeffekte entstehen, welche die Energiewende und den Umbau des Energieversorgungssystems in Deutschland nachhaltig voranbringen. Hierbei ist insbesondere eine enge Abstimmung mit dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) sowie mit dem Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) hervorzuheben, da das BMVI für die energieabhängigen Themen Mobilität und Verkehr und das BMI für den Baubereich zuständig ist. Durch seine Zuständigkeit für den Klimaschutz wird die strategische Ausrichtung der Energieforschung eng mit dem BMU abgestimmt.

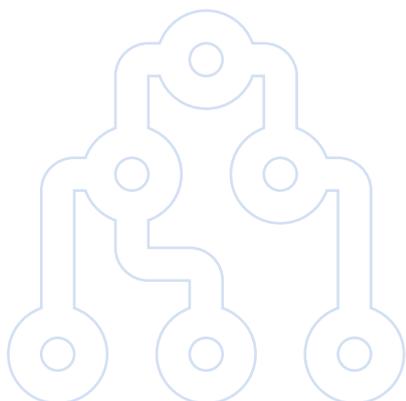
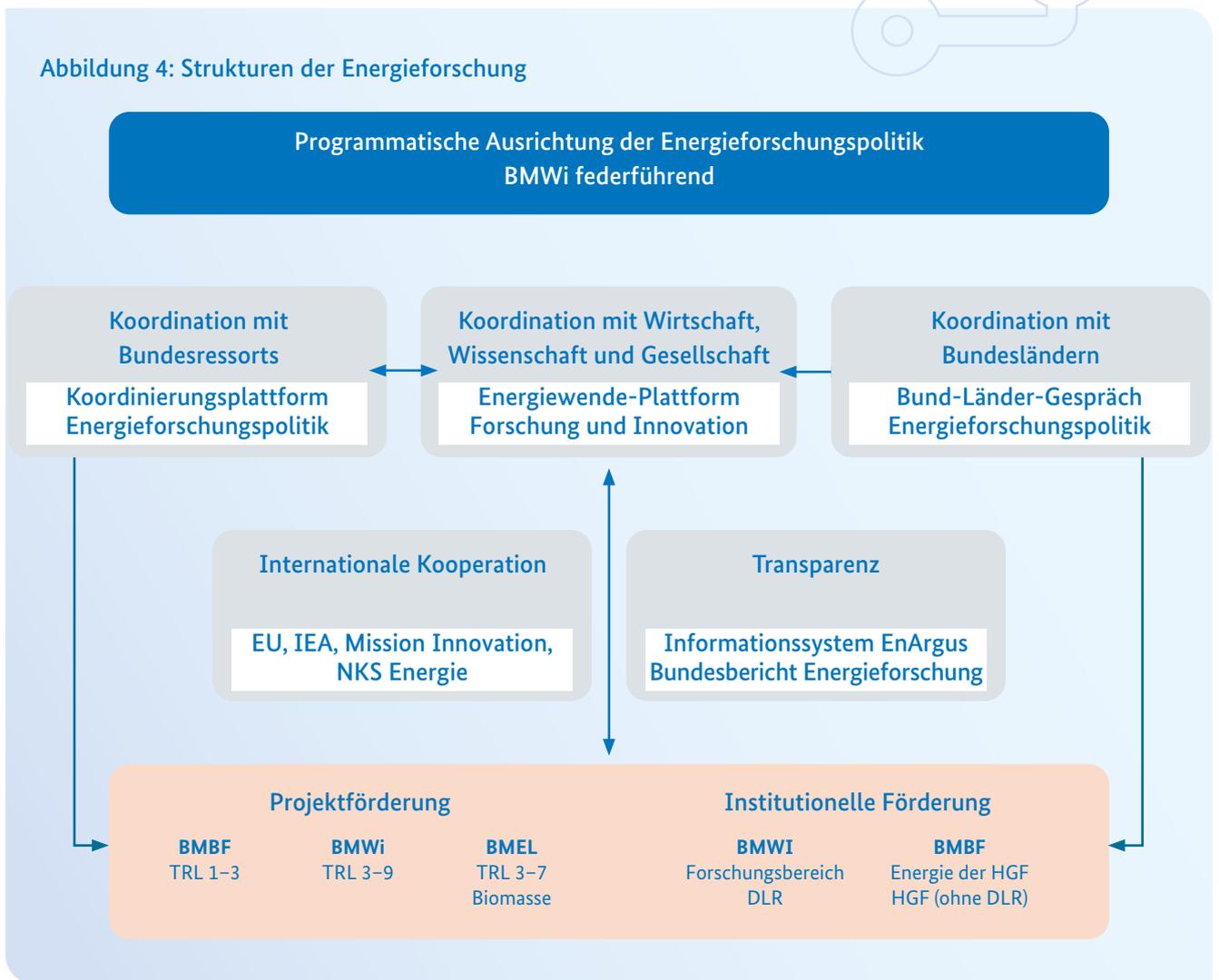
1.2.3 Nationale Vernetzung

Für den Erfolg der Energiewende ist der Dialog zwischen Politik, Forschung, Wirtschaft und Zivilgesellschaft entscheidend. Hierfür hat das BMWi mit der Energiewende-Plattform Forschung und Innovation (FuI-Plattform) ein Austauschforum für diese Anspruchsgruppen geschaffen. Vertreter aus Bundes- und Landespolitik sowie ausgewählte Akteure aus Forschungseinrichtungen, Universitäten, Unternehmen, Kommunen und Verbänden diskutieren dort aktuelle Trends und Entwicklungen und erörtern Strategieansätze für die Energieforschung. Die FuI-Plattform bildet zudem das Dach für die Forschungsnetzwerke Energie des BMWi, bündelt und koordiniert sie.

Die Forschungsnetzwerke Energie sind offene Experten-Netzwerke und haben die Aufgabe, den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis zu beschleunigen und den Austausch zwischen Politik, Forschung und Praxis für die jeweiligen Förderschwerpunkte zu ermöglichen. Zudem stellt der Dialog mit den



Abbildung 4: Strukturen der Energieforschung



Experten die hohe Praxisnähe der Förderstrategien des BMWi sicher und ermöglicht Anregungen für neue Themen und Schwerpunkte. Die Forschungsnetzwerke wurden 2015 ins Leben gerufen und bündeln rund 4.000 Mitglieder. Sie waren unter anderem auch eng in den Konsultationsprozess für das 7. Energieforschungsprogramm eingebunden, um wertvolle Impulse für die inhaltliche Ausgestaltung zu gewinnen. Die nunmehr acht Netzwerke widmen sich den Themen Bioenergie, Energiewende Bauen (Gebäude und Quartiere), Energiesystemanalyse, erneuerbare Energien, flexible Energieumwandlung, Industrie und Gewerbe, Stromnetze und Start-ups.

Das Forschungsnetzwerk Start-ups ist das jüngste Netzwerk und zeigt damit die wichtige Rolle, die Start-ups für die Energiewende als Impulsgeber und Innovationstreiber spielen können. Durch ihre dynamische Struktur können sie den Transfer von Forschung in die Praxis deutlich voranbringen. Junge Unternehmer unterstützen die Neuausrichtung des Energiesystems mit innovativen Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen und erschließen somit neue Potenziale. Sie agieren oftmals in technologieübergreifenden Forschungsfeldern, wie der Sektorkopplung oder Digitalisierung, oder befassen sich mit sozioökonomischen Fragen. Diese Querschnittsthemen sind entscheidend für das Zusammenwirken der verschiedenen Technologien und eines intelligenten, vernetzten Energieversorgungssystems. Die Bundesregierung hebt die Bedeutung von Start-ups daher auch in ihrem 7. Energieforschungsprogramm hervor.

Die Koordination der Forschungspolitik mit den Ländern erfolgt über das jährliche „Bund-Länder-Gespräch Energieforschung“. So wird sichergestellt, dass die erheblichen Mittel, die die Länder für die Förderung der Energieforschung bereitstellen, mit der Bundesförderung harmonieren. Gleichzeitig ist die Rückmeldung aus den Ländern essenziell für die strategische Weiterentwicklung der Forschungsförderung innerhalb des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung.

1.2.4 Reallabore der Energiewende

Mit den „Reallaboren der Energiewende“ hat das BMWi eine neue Säule der Forschungsförderung im 7. Energieforschungsprogramm etabliert. Sie stehen an der Schwelle von anwendungsnaher Energiefor-

schung zur energiewirtschaftlichen Praxis und unterstützen somit das wichtige Ziel des Technologie- und Innovationstransfers aus der Forschung in die Wirtschaft und den Alltag der Bürgerinnen und Bürger. Sie betrachten exemplarisch systemische Herausforderungen in klar umrissenen Großvorhaben und bearbeiten Forschungsfragen mit einer Schlüsselrolle bei der Umsetzung der Energiewende.

Mit den „Reallaboren der Energiewende“ können innovative Technologien in der Anwendung und im Zusammenspiel miteinander erprobt werden – und das im industriellen Maßstab und unter realen Bedingungen, sei es in einem Quartier, in einer Stadt, mehreren Städten oder unter Einbeziehung mehrerer Länder. Sie sind damit größer und thematisch breiter gefasst als Demonstrationsprojekte und können auch Ansätze zum „regulatorischen Lernen“ mitumfassen. Durch die dabei gesammelten Erfahrungswerte kann der tiefgreifende Umbau des Energiesystems in Deutschland insgesamt vorangebracht werden. Dazu zählen unter anderem Technologien für die Sektorkopplung, große thermische Speicher zur CO₂-freien, nachhaltigen Nutzung bestehender Energieinfrastrukturen, Technologien zur CO₂-Nutzung oder die intelligente Vernetzung von Energieinfrastruktur in klimaneutralen Stadtquartieren. Sie sind als großformatige Innovationsprojekte mit einem industriepolitischen Anspruch angelegt. Reallabore bereiten die Marktreife neuer Technologien und Lösungen vor und haben damit Pioniercharakter.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie plant, die Reallabore der Energiewende zwischen 2019 und 2022 mit Fördermitteln in Höhe von bis zu 100 Millionen Euro pro Jahr zu unterstützen. Anders als die klassische Projektförderung des BMWi, deren Forschungsvorhaben in der Regel auf drei Jahre ausgelegt sind, unterstützt das Ministerium die Reallabore über die Dauer von bis zu fünf Jahren. Daran schließt ein- bis dreijähriger Testbetrieb und eine Monitoringphase an. Darüber hinaus ist eine neue Förderrichtlinie, die die beihilferechtliche Grundlage der Energieforschung für die Reallabore der Energiewende erweitert, der Europäischen Kommission im Zuge der Pränotifizierung übermittelt worden. Darin wird die Möglichkeit geschaffen, Betriebsausgaben in größerem Umfang zu fördern und die Projektlaufzeiten auf maximal zehn Jahre (zwei je maximal fünfjährige Phasen) auszuweiten.

Im Februar 2019 hat das BMWi den ersten Ideenwettbewerb „Reallabore der Energiewende“ ausgeschrieben. Der Schwerpunkt dieser Ausschreibungsrunde waren Konzepte zu „Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien“, „Großskalige Energiespeicher im Stromsektor“ und „Energieoptimierte Quartiere“. Im Juli hat Bundeswirtschaftsminister Altmaier die 20 Gewinner des Wettbewerbs verkündet. Im Dezember 2019 hat das BMWi mit „SmartQuart“ das erste Real-labor bewilligt. Das Vorhaben ist im Januar 2020 gestartet und wird in drei Städten den Strukturwandel unterstützen. „SmartQuart“ verbindet zentrale Akteure eines Quartiers vom Bewohner bis hin zum Energieversorger und zum lokalen Technologieanbieter. Ziel ist, in den Modellregionen eine klimaneutrale Energieversorgung zu erreichen und die Energieinfrastruktur intelligent und effizient zu vernetzen.

1.2.5 Transparenz und Kommunikation

Große strukturelle Veränderungsprozesse, wie die Energiewende, benötigen die Unterstützung der Gesellschaft, um erfolgreich zu sein. Für die Akzeptanz und die Einbettung technologischer Fortschritte in den Alltag der Bürgerinnen und Bürger, sei es im privaten Umfeld, in Unternehmen oder in die öffentliche Infrastruktur, ist Transparenz eine wichtige Grundlage. Darüber hinaus ist für den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis das Einbinden der Wirtschaft zu öffentlich geförderten Innovationen notwendig. Daher legt die Bundesregierung ein großes Augenmerk auf die Kommunikation ihrer Förderaktivitäten gegenüber der Öffentlichkeit und der Fachcommunity durch entsprechende Informationsangebote.

Forschungskommunikation stellt Transparenz bei der Verwendung von Fördermitteln her und erläutert die Ziele und Schwerpunkte der Förderpolitik. Sie beleuchtet Zukunftstrends und berichtet über öffentlich geförderte Forschungsinhalte. Sie macht den Weg von Innovationen in den Markt sichtbar, die dank der Projektförderung möglich wurden. Sie baut Wissen über die Zusammenhänge des Energiesystems und den Einfluss von Innovationen auf. Transparente

Informationsvermittlung schafft die Grundlage, die Ergebnisse der durch die Steuergelder der Bürgerinnen und Bürger unterstützte Forschung und Entwicklung für die Modernisierung der Infrastruktur bestmöglich zu nutzen. Somit erfüllt die Forschungskommunikation eine zentrale Aufgabe innerhalb der Energieforschungspolitik der Bundesregierung.

Mit der Webseite www.energieforschung.de bietet das BMWi ein zentrales Portal mit einem breiten Informationsangebot mit fundierten Fakten rund um die Energieforschung für die interessierte Öffentlichkeit, aber auch für ein Fachpublikum. Die Webseite wird durch inhaltlich vertiefte Fachportale zu einzelnen Themenschwerpunkten ergänzt. Diese informieren die Fachcommunity, von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern bis hin zu den Anwendern, über die individuellen Ziele, Herausforderungen und Forschungsergebnisse in den verschiedenen Förderschwerpunkten und ordnen ihre Relevanz für die Energiewende fachlich vertieft ein. Über das zentrale Informationssystem EnArgus (www.enargus.de) bietet das BMWi zudem umfangreichen Einblick in alle durch die Bundesregierung innerhalb der Energieforschungsprogramme geförderten Projekte. Alle Kommunikationsmaßnahmen haben das Ziel, durch ein breites Informationsangebot eine Verbindung zwischen den wissenschaftlichen Forschungsarbeiten und der Anwendung in der Praxis zu schaffen. So sollen wertvolle Impulse entstehen – für den Einsatz neu entwickelter Technologien, Dienstleistungen, Systeme und Ansätze in Unternehmen, Stadtwerken und Kommunen und in der unmittelbaren Lebenswelt der Bürgerinnen und Bürger.

1.3 Europäische und internationale Vernetzung

Die Energieversorgungsinfrastruktur in Deutschland ist kein in sich geschlossenes System, das an den Landesgrenzen endet. Sie steht im Austausch mit unseren Nachbar- und Partnerländern. Aus diesem Austausch entstehen Wechselwirkungen und großes Innovationspotenzial durch Kooperationen und gemeinsame Handlungsstrategien. Auch gerade angesichts der gewaltigen Herausforderungen durch den Klimawandel sind solche gemeinsamen Lösungswege gefragt. Umso wichtiger ist die Zusammenarbeit in Wissenschaft und Forschung in Europa und weltweit. Dabei

ist einerseits die Kooperation zwischen den Staaten gefragt, aber auch auf internationaler Ebene bergen Partnerschaften zwischen Forschungseinrichtungen, Universitäten oder Unternehmen ein großes Potenzial für eine effiziente und umweltschonende Energieversorgung.

1.3.1 Europäische Kooperation

Die Europäische Union ist nicht nur eines der erfolgreichsten Friedensprojekte unserer Zeit, sie ist auch Wachstums- und Fortschrittmotor für alle ihre Mitgliedstaaten und ihre Nachbar- und Partnerländer. Gerade im Energiebereich gilt dies besonders, da die Strom- und Wärmeversorgung die Grundlage für wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Wohlstand und Stabilität schafft.

Für die Förderung von Forschung und Entwicklung in Europa hat die Europäische Union mit dem Rahmenprogramm *Horizon 2020* ein wirkstarkes Maßnahmenpaket für Innovationen geschaffen (siehe Kapitel 4.2). Insgesamt umfasst es ein Budget von rund 80 Milliarden Euro. Davon sind sechs Milliarden Euro für die Projektförderung der nicht-nuklearen Energieforschung veranschlagt. Deutsche Antragsteller haben bislang rund 393,6 Millionen Euro Fördermittel aus *Horizon 2020* für die Energieforschung erhalten. Das entspricht einem Anteil von rund 13,7 Prozent. Mit *Horizon 2020* stärkt die Europäische Union die internationale Wettbewerbsfähigkeit Europas, sei es durch Innovationen für die Modernisierung der lokalen Infrastruktur oder durch die daraus entstehenden Exportpotenziale.

Mit der Unterstützung von *Horizon 2020* trägt die Bundesregierung maßgeblich dazu bei, die europäische Dimension der Energiewende weiter voranzubringen. Hierzu zählt unter anderem die Nationale Kontaktstelle Energie (NKS Energie). Sie informiert Forschungseinrichtungen, Universitäten, Unternehmen und KMU im Auftrag des BMWi über die Inhalte und Schwerpunkte des Programms in Bezug auf die Energieforschung und berät bei der Identifikation geeigneter Fördermöglichkeiten sowie bei der Antragstellung.

Der europäische Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan) begleitet die Fördermaßnahmen der EU. Er setzt die Leitlinien für eine kurzfristige und wettbewerbsfähige Entwicklung von kohlenstoffarmen

Technologien. Der SET-Plan unterstützt die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Mitgliedstaaten, der Industrie und Forschungsinstitutionen. Durch die Koordination von Forschungsaktivitäten sollen Synergieeffekte geschaffen und Kosten reduziert werden. Die im SET-Plan vereinbarten zehn Key Actions greifen die Ziele der Energy Union auf und bilden die Grundlage für den Themenschwerpunkt Energie im EU-Forschungsrahmenprogramm. Die energiepolitischen Ziele aus dem *Green Deal* der EU fließen in die Weiterentwicklung des SET-Plans ein.

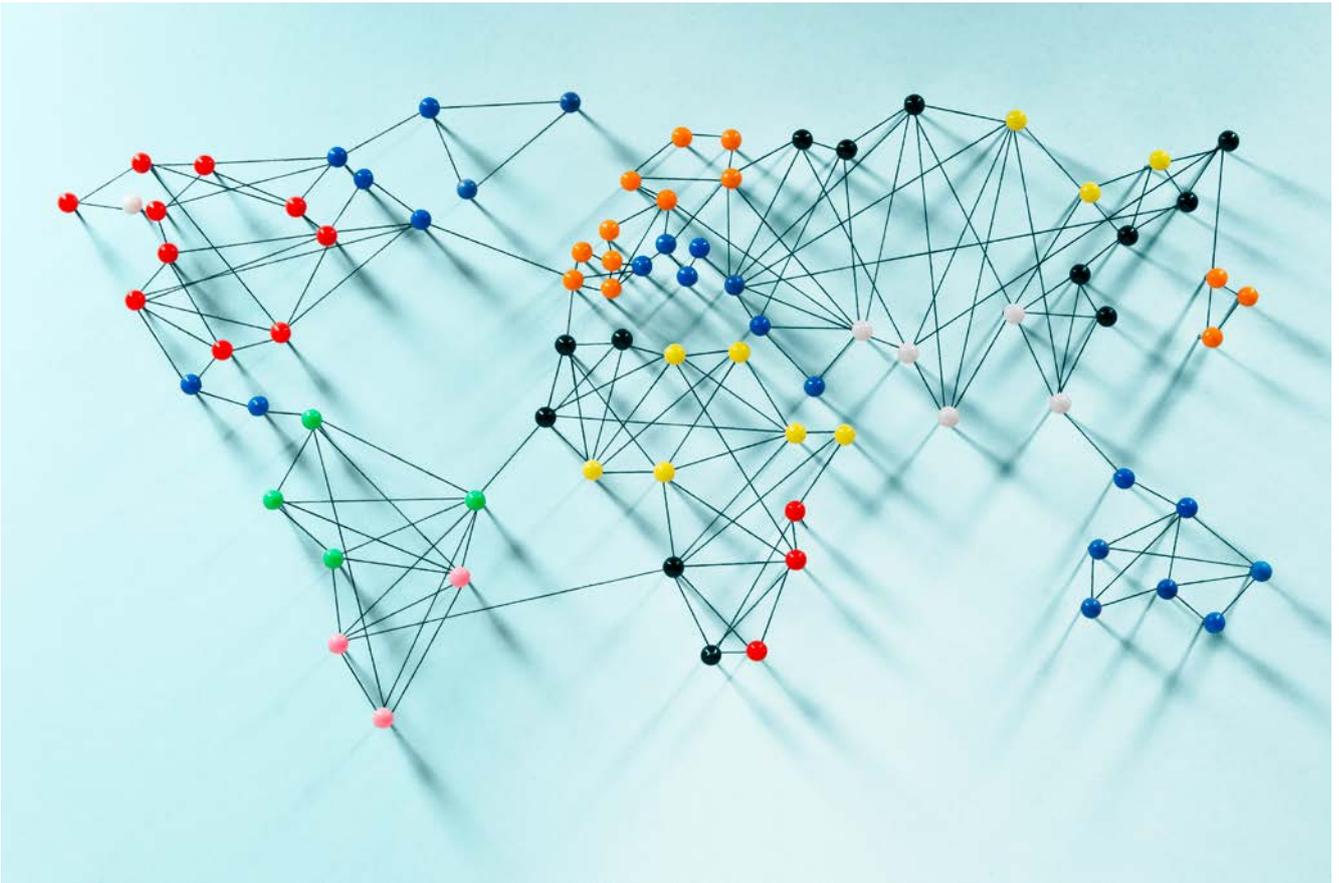
Im Jahr 2019 ist der Dialogprozess für das Nachfolgeprogramm von *Horizon 2020* gestartet. Ab dem 1. Januar 2021 soll *Horizon Europe* die intensive Förderung von Forschung und Entwicklung auf europäischer Ebene fortsetzen. Die Energieforschung wird auch in diesem Programm wieder eine wichtige Säule sein.

1.3.2 Internationale Kooperation

Die Entwicklung von Innovationen ist zunehmend „grenzenlos“ und immer öfter das Ergebnis internationaler Zusammenarbeit und gemeinsamer Anstrengung interdisziplinärer, supra- und internationaler Forschungsteams. Gerade für Deutschland mit seiner vielschichtigen und weitverzweigten wissenschaftlichen Infrastruktur bietet dies große Chancen. Daher hat sich die Bundesregierung im 7. Energieforschungsprogramm ein noch intensiveres Vernetzen von Forschung und Entwicklung auf europäischer und internationaler Ebene auf die Fahne geschrieben. Damit trägt sie der globalen Dimension der Energiewende Rechnung, denn nur mit nationalen Ansätzen allein ist eine klimafreundliche Energieversorgung nicht zu erreichen. Im Fokus steht dabei ein ganzheitliches, anwendungsorientiertes Vorgehen, damit zukunftsfähige Innovationen rasch in die Praxis überführt werden können.

Internationale Energieagentur (IEA)

Die Internationale Energieagentur (IEA) mit ihren 30 Mitgliedstaaten unterstützt weltweit die Forschung, Entwicklung und Anwendung klimafreundlicher Energietechnologien. Die IEA ist eine selbstständige Organisation innerhalb der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) und verfolgt das Ziel, ihre Mitgliedsländer in Fragen der Energieversorgungssicherheit sowie des Aufbaus



nachhaltiger Energiesysteme zu unterstützen. In diesem Kontext fördert die IEA auch die internationale Kooperation zu Forschung, Entwicklung und Markteinführung neuer Energietechnologien. Über den Kreis ihrer Mitglieder hinaus baut die IEA seit einigen Jahren auch die Zusammenarbeit mit OECD-Nichtmitgliedsländern, vor allem großen Schwellenländern, stark aus. So will die IEA weltweit den Einsatz klimafreundlicher Energietechnologien vorantreiben.

Der Verwaltungsrat (Governing Board) ist oberstes Entscheidungsgremium der IEA. Unterstützt durch ein weiteres Programmngremium, den CERT (Committee on Energy Research and Technology), entwickelt es die Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsstrategien und deren Umsetzung und koordiniert die verschiedenen Maßnahmen der beteiligten Länder.

Eine Expertengruppe für F&E-Prioritätensetzung und Evaluation (Expert's Group on Energy Technology R&D Priority Setting and Evaluation, EGRD) berät das CERT. Die verschiedenen Themenfelder behandeln vier Arbeitsgruppen (Working Parties), die Arbeitsgruppe für Rationelle Energieverwendung (End Use Working Party, EUWP), die Arbeitsgruppe für Erneuerbare Energien (Renewable Energy Working Party, REWP), die Arbeitsgruppe für Fossile Brennstoffe (Fossil Fuels Working Party, FFWP) und die Arbeitsgruppe für Fusionsenergie (Fusion Power Coordinating Committee, FPCC). Sie begleiten die Arbeit der Technology Collaboration Programmes.

Die Technology Collaboration Programmes (TCP) sind multilaterale Initiativen und dienen forschungs- und marktrelevanten Aktivitäten für die Umsetzung des Energietechnologieprogramms der IEA. Deutschland ist an 22 von aktuell 38 laufenden TCPs der IEA aktiv beteiligt. Die Federführung für das deutsche Engagement liegt beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

Mission Innovation

Mission Innovation wurde 2015 im Rahmen der 21. Konferenz der Vertragsstaaten des Klimarahmenübereinkommens (COP21) in Paris ins Leben gerufen. Ihr gehören 24 Länder, darunter auch die Bundesrepublik Deutschland, sowie die Europäische Union an. Die an Mission Innovation beteiligten Staaten haben sich verpflichtet, die öffentlichen Investitionen in

Forschung und Entwicklung für saubere Energien bis 2021 zu verdoppeln. Gemeinsam wollen sie Innovationen für eine umweltfreundliche, effiziente und bezahlbare Energieversorgung weltweit fördern. Unter <http://mission-innovation.net> informiert Mission Innovation über Ziele, Fortschritte und Initiativen.

Strukturell ist die Initiative in acht sogenannten „Innovation Challenges“ aufgestellt.

- Innovation Challenge 1 (IC1): Smart Grids
- Innovation Challenge 2 (IC2): Off-Grid Access to Electricity
- Innovation Challenge 3 (IC3): Carbon Capture
- Innovation Challenge 4 (IC4): Sustainable Biofuels
- Innovation Challenge 5 (IC5): Converting Sunlight
- Innovation Challenge 6 (IC6): Clean Energy Materials
- Innovation Challenge 7 (IC7): Affordable Heating and Cooling of Buildings
- Innovation Challenge 8 (IC8): Renewable and Clean Hydrogen

Deutschland legt im Rahmen von Mission Innovation einen Schwerpunkt auf das inhärent globale Thema Wasserstoff. In diesem Sinne beteiligt sich Deutschland auch an Diskussionen, die Mission Innovation in einer möglichen zweiten Phase über die 2015 festgelegte Laufzeit von fünf Jahren hinaus zu verlängern.

Im September 2019 haben die europäische Joint Programming Platform ERA-NET Smart Energy Systems und Mission Innovation einen ersten gemeinsamen Förderaufruf MICall19 zur Entwicklung von integrierten Energiespeichersystemen veröffentlicht. Zudem beteiligt sich Deutschland am sogenannten MI Champions Programme, welches Personen auszeichnet, die mit ihren Ideen einen Beitrag zum Gelingen der globalen Energiewende leisten.

Bilaterale Initiativen/Europäische Kooperationen

Im Förderbereich des BMBF erfolgen bilaterale Kooperationen mit einzelnen europäischen Ländern. So sind 2019 beispielsweise die Vorhaben der deutsch-französischen Förderinitiative zur Nachhaltigen Energieversorgung Europas gestartet. Grenzüberschreitende Verbände aus Wissenschaft und Wirtschaft bearbeiten Projekte zur Umwandlung und Speiche-

rung 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. Die Auftaktkonferenz im Oktober 2019 in Paris fand internationales Echo.

Zusammen mit dem griechischen General Secretariat for Research and Technology (GSRT) des Ministry of Education, Research and Religious Affairs stärkt das BMBF die deutsch-griechische Zusammenarbeit in der Energieforschung. Die Fördermaßnahme schließt an das erfolgreiche erste deutsch-griechische Forschungsprogramm aus dem Jahr 2013 an und belegt die Kontinuität der Zusammenarbeit. Acht bilaterale Projektverbände widmen sich seit 2018 verschiedenen gemeinsamen Herausforderungen im Themenbereich Energie und suchen innovative Lösungen für eine effiziente, bezahlbare und umweltfreundliche Energieversorgung für Griechenland, Deutschland und Europa. Neben technischen Aspekten sollen dabei auch ökonomische und gesellschaftliche Herausforderungen der Energiewende in Europa in einem systemischen Ansatz berücksichtigt werden.

Neben dem Engagement innerhalb der Europäischen Union, der internationalen Energieagentur oder Mission Innovation setzt die Bundesregierung bei der internationalen Zusammenarbeit bei der Förderung von Forschung und Innovation auch auf bi- und multilaterale Kooperationen mit ausgewählten Partnerstaaten.

Innerhalb der Zentren „WASCAL“ (West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use) und „SASSCAL“ (Southern African Science Service Centre for Climate Change and Adaptive Land Management) engagiert sich das BMBF dabei staatenübergreifend in mehr als 15 Ländern Afrikas. Im Zuge des zu entwickelnden Potenzialatlas Grüner Wasserstoff werden darüber hinaus auch die Staaten der wirtschaftlichen Zusammenschlüsse ECOWAS (Economic Community of West African States) und SADC (Southern African Development Community) eingebunden. Dadurch erreicht die Initiative 31 Staaten und somit über die Hälfte der Bevölkerung Afrikas. Der Potenzialatlas Grüner Wasserstoff wird darlegen, wo in Afrika Grüner Wasserstoff eine tragende Rolle für die Energieversorgung vor Ort und den Export nach Deutschland spielen kann. Die Erstel-

lung einer interaktiven regionalen Landkarte bildet die Grundlage für zukunftsweisende Demonstrationsvorhaben mit Industrie und Wissenschaft in Afrika. Das BMZ ergänzt den Potenzialatlas durch Analysen in weiteren Ländern und durch die Vorbereitung entwicklungspolitischer Maßnahmen. Im durch das BMBF geförderten Projekt Waste2Energy entwickeln deutsche Forschungseinrichtungen und Unternehmen zusammen mit ghanaischen Universitäten und Firmen eine neuartige sogenannte „Hybrid-Photovoltaik-Biogas-Pyrolyse-Anlage“. Diese Anlage wandelt Abfall mit Energie aus der Sonne und verschiedenen Zersetzungsverfahren in grüne Energie um.

Im Fokusprojekt „START“ analysieren deutsche Forschungseinrichtungen in enger Kooperation mit australischen Partnern die Transformation hin zu emissionsfreien Energiesystemen in Deutschland und Australien, insbesondere die gemeinsamen Herausforderungen und jeweiligen technologischen und politischen Lösungsoptionen. Szenarien des deutsch-australischen Energy Transition Hubs zeigen jetzt, wie Australien seinen derzeitigen erneuerbaren Stromanteil von 20 Prozent auf 200 Prozent ausbauen könnte. Teile hiervon stünden dann zur Erzeugung beispielsweise von exportierbarem Wasserstoff auf Basis erneuerbarer Energien bereit.



2. Projektförderung



2.1 Energiewende in den Verbrauchssektoren

2.1.1 Energie in Gebäuden und Quartieren

Mit den bisher umgesetzten Maßnahmen konnten im Gebäudebereich bereits deutliche Fortschritte beim Klimaschutz und der Gesamtenergieeffizienz erzielt werden. Die Gesamtenergieeffizienz im Gebäudebereich ist zwischen 2008 und 2018 um über 25 Prozent gestiegen. Die Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich wurden zwischen 1990 und 2018 um rund 44 Prozent gesenkt. Der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte betrug 2018 über 14 Prozent. Damit wurde das Ziel Deutschlands von 14 Prozent für 2020 nach dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, welches der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (2009/28/EG) vorgriff, bereits im Jahr 2018 erfüllt. Mit der Umsetzung der Maßnahmen des Klimaschutzprogramm 2030 sollen auch im Gebäudebereich die Ziele für 2030 erreicht werden. Forschung, Entwicklung und Demonstration von innovativen Technologien und Konzepten helfen, diese Ziele zu erreichen und den Weg zur Klimaneutralität zu ebnen.

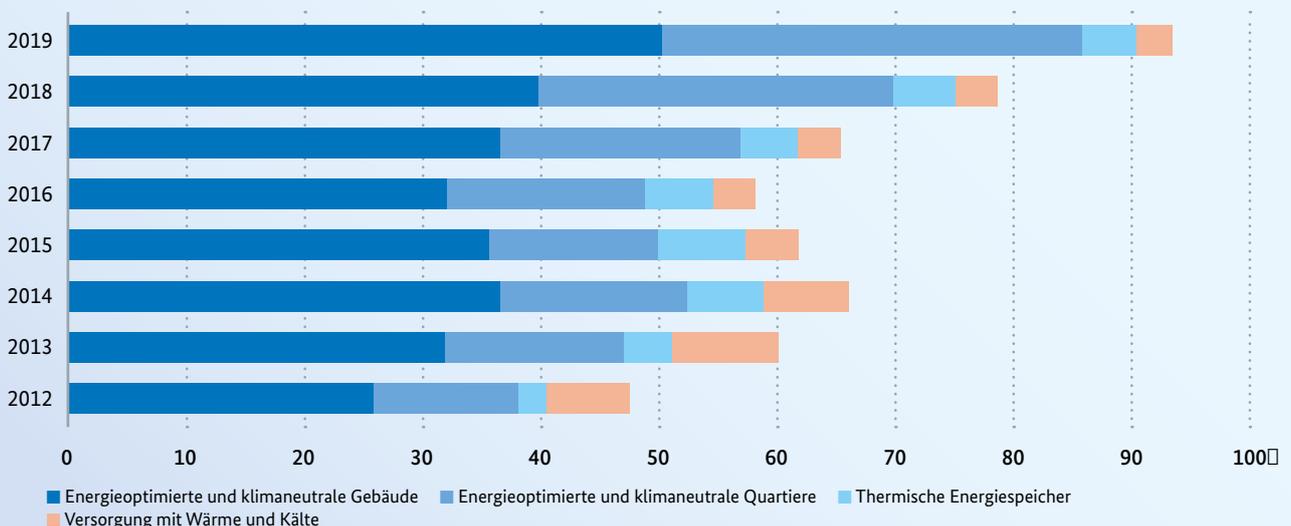
Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Bei der Forschung für energieoptimiertes Bauen werden einzelne Gebäude oder Ensembles sowie Schnittstellen zu benachbarten Gebäuden und zum Quartier

detailliert betrachtet. Innovationen zu Baustoffen und Materialien und die Weiterentwicklung von bautechnischen Komponenten und Gebäudetechnik sind wichtige Schwerpunkte. Im Quartierskontext können Gebäude als Energiesenke, Energiequelle oder Energiespeicher im lokalen Energieversorgungssystem dienen. Systemlösungen für mehr Energieeffizienz und zur besseren Integration erneuerbarer Energien sind wichtige Forschungsthemen, um die Energiewende im Quartier voranzubringen. Um die Innovationen zügig in die Praxis zu transferieren und Hemmnisse zu identifizieren und zu überwinden, werden vorbildhafte Realisierungen ambitionierter Vorhaben ermöglicht. Zukünftig sollen Gebäude und Quartiere vermehrt flexibel und bedarfsgesteuert mit den Netzen interagieren und Erzeugungs-, Energiespeicher- sowie Verteilungsfunktionen im Energiesystem ausüben können. Um Nah- und Fernwärme energieeffizient bereitstellen zu können, sind entsprechende Leitungsnetze und eine Infrastruktur für das Energiemanagement erforderlich. Wärmenetze müssen aus- und umgebaut sowie digital vernetzt werden.

Die Bundesregierung bündelt die Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration im Bereich Gebäude und Quartiere in der Forschungsinitiative Energiewendebauen. Neben Förderbekanntmachungen und Fachportalen umfasst diese auch das Forschungsnetzwerk Energiewendebauen. Dieses bringt Expertinnen und Experten aus Forschung und Wirtschaft zusammen und stärkt ihren Erfahrungsaus-

Abbildung 5: Fördermittel für Energieeffizienz in Gebäuden, Quartieren und Städten in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 2, Seite 74)



tausch. Der intensive Austausch ermöglicht den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis und die Weiterentwicklung der Forschungsförderung.

Eine Stärkung des Technologie- und Innovations-transfers ist auch ein zentrales Anliegen des im Frühjahr 2019 ausgerufenen Ideenwettbewerbs „Reallabore der Energiewende“ (siehe Kapitel 1.2.4). Hier sollen Innovationen im realen Umfeld erprobt und so Blaupausen für den Umbau des Energiesystems entwickelt werden. Mit „SmartQuart“ ging im Dezember 2019 das erste Reallabor an den Start. Mit den Standorten Essen und Bedburg in Nordrhein-Westfalen sowie Kaisersesch in Rheinland-Pfalz repräsentiert das Reallabor „SmartQuart“ typische Stadtquartiere in einem eng verdichteten ländlichen sowie städtischen Raum. An den Standorten soll eine dezentrale, nachhaltige und wirtschaftliche Energieversorgung in und zwischen Quartieren umgesetzt werden. Dazu werden die zentralen lokalen Akteure vom Bewohner bis hin zum Energieversorger und lokalen Technologieanbieter miteinbezogen.

Ein weiteres Beispiel großer Quartiersprojekte stellen die Leuchtturmprojekte in Esslingen, Heide, Kaiserslautern, Oldenburg, Überlingen, Stuttgart und Zwickau dar. Sie werden seit 2017 gemeinsam von BMBF und BMWi in der Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ für jeweils fünf Jahre gefördert. Die systemisch angelegten Projekte zu energieoptimierten Gebäuden und Energieinfrastrukturen beziehen dabei alle wichtigen Akteure aus Forschung und Umsetzung mit ein. In den entsprechend breit aufgestellten Konsortien arbeiten Kommunen, Forschungseinrichtungen, Bürgervertreter sowie Unternehmen, wie etwa Energieversorger oder Wohnungsbaugesellschaften, zusammen. Dabei gilt es, den Energieverbrauch zu senken, die Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität voranzutreiben und das gesamte System durch die Integration erneuerbarer Energien schrittweise zu dekarbonisieren.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energie in Gebäuden und Quartieren haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2019 911 laufende Vorhaben mit rund 93,51 Millionen Euro gefördert. 2019 haben die Ministerien zudem 207 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelan-satz von rund 117,23 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 5).

PROJEKTSTECKBRIEF



Rendering Block B der neuen Weststadt Esslingen

EnStadt: Es_West_P2G2P – Klimaneutrales Stadtquartier Neue Weststadt Esslingen Grüner Wasserstoff für die urbane Energiewende

Auf einem ehemaligen Güterbahnhofsgelände in Esslingen am Neckar entsteht ein urbanes Stadtquartier mit Büro- und Gewerbeflächen, einem Neubau der Hochschule sowie rund 500 Wohnungen. Einzelne Bereiche sind schon fertiggestellt, sodass erste Mieter bereits eingezogen sind. Ziel des Projekts ist es, ein nahezu klimaneutrales Stadtquartier zu realisieren. Das hierfür entwickelte integrale Energieversorgungskonzept basiert auf der Kopplung der Sektoren Gebäude (Strom, Wärme, Kälte), Mobilität und Industrie. Das Herzstück ist ein Elektrolyseur, der Stromüberschüsse aus Wind- und Photovoltaikanlagen in grünen Wasserstoff umwandelt. Dieser wird in das lokale Erdgasnetz eingespeist, von der Industrie genutzt oder an H₂-Tankstellen geliefert. Sollte wieder Strom benötigt werden, lässt sich der Wasserstoff rückverstromen. Die beim Elektrolyseprozess anfallende Abwärme wird über ein Nahwärmenetz zur Deckung des Wärmebedarfs der Gebäude genutzt. Schon heute sind in Esslingen oberleitungsgebundene Elektrobusse in den öffentlichen Nahverkehr eingebunden. Ende des Jahres wurden zusätzlich Elektrobusse mit Hybridantrieb erworben. Die Vernetzung, Regelung und Betriebsoptimierung des Gesamt-Energiesystems erfolgt durch ein intelligentes Energie-Management-System.

Zuwendungsempfänger: Stadt Esslingen a. N. und acht weitere Verbundpartner
Förderkennzeichen: 03SBE115A-I
Fördermittelan-satz: rund 10,6 Millionen Euro (BMWi), rund 2,5 Millionen Euro (BMBF)
Projektlaufzeit: 2017 – 2022

PROJEKTSTECKBRIEF

EG2050: Urban Solar Decathlon – Planung und Ausrichtung des internationalen Gebäude-Energie-wettbewerbs Solar Decathlon Europe im urbanen Kontext verbunden mit einer wissenschaftlichen Begleitung

Erstmals findet der studentische Wettbewerb in Deutschland statt: Herausforderung ist, Energiewende und Klimaschutz in einem bestehenden städtischen Quartier umzusetzen.

Austragungsort des Solar Decathlon Europe 21 ist das Mirker Stadtquartier in Wuppertal. Dieses ist typisch für einen Stadtteil in Deutschland und Europa: Umbauen, Anbauen, Aufstocken und Baulücken schließen sind hier die zentralen architektonischen Herausforderungen. Energiewende und Klimaschutz in einem bestehenden städtischen Quartier stehen das erste Mal im Fokus des Wettbewerbs. Lebensnahe Lösungen auf dem Weg zur ressourceneffizienten, klimaneutralen Stadt sind gefragt und sollen im Wettbewerb von den Studierenden erarbeitet werden. 18 internationale Teams werden sich in zehn Disziplinen messen: Architektur, Gebäudetechnik und Konstruktion, Energieperformance, Kommunikation und Bildung, Innovation, Realisierbarkeit und Angemessenheit, Nachhaltigkeit, Komfort, Funktionalität und Urbane Mobilität. Jedes der 18 Teams erhält ein Startgeld von 100.000 Euro und



Das Solarhaus Rooftop von Studierenden der Technischen Universität Berlin und der Universität der Künste Berlin beim Solar Decathlon Europe 2014 im französischen Versailles

hat dann fast zwei Jahre Zeit, sein Gebäude zu entwerfen, zu planen und umzusetzen. Das ursprünglich für September 2021 geplante Finale des Wettbewerbs findet aufgrund der COVID19-Epidemie voraussichtlich im Juni 2022 statt.

Zuwendungsempfänger: Bergische Universität Wuppertal

Förderkennzeichen: 03EGB0019

Fördermittelansatz: 12,27 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2022



2.1.2 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Energie ist für die Industrie ein Kostenfaktor und beeinflusst damit auch die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens. Nach Mineralöl, Kohle und Gas ist Strom der wichtigste Energieträger der Industrie. Sein Anteil steigt mit der Elektrifizierung industrieller Prozesse, der Integration erneuerbarer Energien sowie neuen Infrastrukturen. Mit digitalisierten und automatisierten Prozessen können Unternehmen ihre Prozesse effizienter, flexibler und transparenter gestalten sowie Ressourcen, Kosten und Energie einsparen.

Zwei Drittel des Endenergieverbrauchs entfallen im industriellen Sektor auf Prozesswärme. Um die Energieeffizienz im Bereich Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen zu steigern, entwickelt die Energieforschung einzelne Technologien in diesem Sektor weiter und optimiert gesamte Wertschöpfungsketten.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

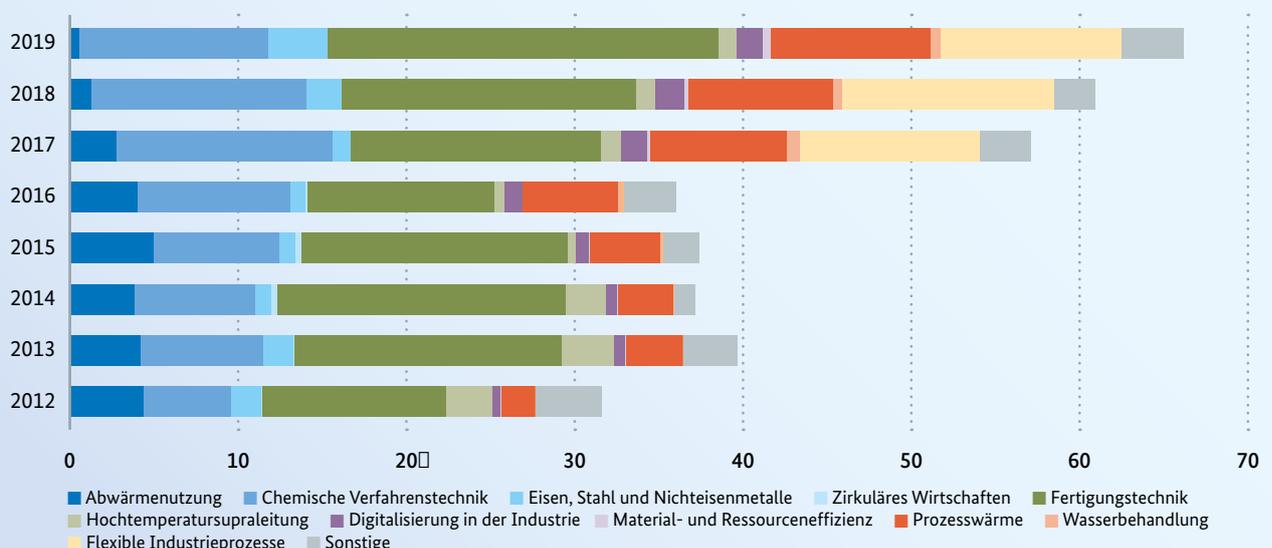
Die Möglichkeiten, die Energieeffizienz in der Industrie zu steigern, sind vielfältig: Sie reichen vom Optimieren eines Motors, Antriebs oder einer Pumpe über veränderte Fertigungsschritte bis zu neuen Produk-

tionsprozessen. Mithilfe von Simulationen entstehen etwa energieoptimierte und kostengünstigere Verfahren und Prozesse, die idealerweise in die Breite des Sektors übertragen werden können. Beispiele energieoptimierter Technologien, Komponenten und Verfahren aus der Forschung mit höheren Wirkungsgraden, weniger Materialeinsatz oder geringeren Kosten finden sich in verschiedenen Forschungsfeldern: Abwärme und industrielle Wärmespeicher, chemische Verfahrenstechnik, CO₂-Kreislaufwirtschaft, Eisen und Stahl, Fertigungstechnik, Hochtemperatursupraleitung, Künstliche Intelligenz und Sensorik, Material- und Ressourceneffizienz, Tribologie (Reibung, Schmierung, Verschleiß), Wärme- und Kältetechnologien sowie Wassertechnologien.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2019 715 laufende Vorhaben mit rund 66,20 Millionen Euro gefördert. 2019 haben die Ministerien zudem 230 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 96,21 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 6).

Abbildung 6: Fördermittel für Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 2, Seite 74)



PROJEKTSTECKBRIEF



Probegeometrien aus Kernsand mit verschiedenen Aerogel-Additiven

Aerogelverbund

Nanostrukturierte, offenporige Festkörper als federleichte Werkstoffe für die energieeffiziente Industrie

Aerogele können aus verschiedenen Materialien wie etwa Silikaten, Metallen und deren Oxiden, Polymeren, Biopolymeren und Carbonaten hergestellt werden. Sie sind so porös, dass sie zu mehr als 90 Prozent aus Luft oder freiem Raum bestehen. Das macht sie extrem leicht. Sie haben eine geringe Dichte, eine hohe innere Oberfläche, eine hohe Schallabsorption sowie eine extrem niedrige Wärmeleitfähigkeit und können zum schonenden Umgang von natürlichen Ressourcen wie Energie aus Erdgas und Erdöl beitragen. Die extremen Eigenschaften der Aerogele erlauben es, sie dort einzusetzen, wo herkömmliche Materialien versagen: zum Beispiel als Superisolationsmaterialien in der Automobilindustrie, Hochtemperaturanwendungen oder Wärmepumpen. Für die Markteinführung dieser Materialien fehlt der Nachweis ihrer Funktionsfähigkeit in der industriellen Praxis sowie die Möglichkeit des Herstellungsprozesses im größeren Maßstab. Für eine langfristige Strategie sind die Projekte mit dem Schwerpunkt Aerogele in einem Verbund miteinander vernetzt.

Verbundkoordinatoren: ZAE Bayern, VDEh Betriebsforschungsinstitut, Technische Universität Dresden, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Technische Universität Hamburg-Harburg

Förderkennzeichen: 03ET1503A-C, 03ET1504A-B, 03ET1515A-D, 03ET1523A-B, 03ET1527A-B, 03EN2017

Fördermittelansatz: 5,09 Millionen Euro

PROJEKTSTECKBRIEF



Blick auf flüssige Glasschmelze im Bereich der Gemengeeinlage einer Glasschmelzwanne

Kopernikus-Projekt SynErgie

Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung

Bis 2050 soll der Strom in der Bundesrepublik Deutschland vollständig aus erneuerbaren Quellen stammen. Das Problem: Wind und Sonne liefern Strom nicht regelmäßig, sondern schwankend. Das Kopernikus-Projekt SynErgie untersucht, wie die Industrie diese Schwankungen durch eine Anpassung des Stromverbrauchs der Produktionsprozesse ausgleichen kann. SynErgie hat ermittelt, dass Deutschlands Industrie ihre Leistung für eine Viertelstunde um bis zu 1,1 Gigawatt erhöhen und bei Stromengpässen sogar um bis zu 2,5 Gigawatt reduzieren könnte. Dies entspricht in etwa der Leistung von einem beziehungsweise zwei Kernkraftwerken. Der größte privatwirtschaftliche Stromverbraucher in Deutschland, TRIMET Aluminium, kann durch SynErgie bereits jetzt seinen Stromverbrauch für bis zu zwei Tage um 22,5 Megawatt erhöhen oder senken. Zum Vergleich: Das entspricht der Leistung von etwa 25.000 Drei-Personen-Haushalten. Die Flexibilisierung der Industrie birgt also gewaltige Potenziale zur Stabilisierung des deutschen Stromnetzes. Durch die aktuelle Gesetzgebung wird jedoch verhindert, dass diese Potenziale auch genutzt werden. Aus diesem Grund hat SynErgie ein Positionspapier erarbeitet, das den Änderungsbedarf benennt und konkrete Lösungsvorschläge unterbreitet.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität Darmstadt und 57 weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SFK3A-03SFK3Z1

Fördermittelansatz: 34,1 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2016 – 2019

PROJEKTSTECKBRIEF

EnPro 2.0*Energieeffizienz und Prozessbeschleunigung für die chemische Industrie*

Nicht nur Autos, Kleidung oder das Frühstücksmüsli sind mittlerweile individualisiert. Auch die Kunden der chemischen Industrie erwarten zunehmend maßgeschneiderte Produkte. Die notwendigen kurzen Entwicklungs- und Produktlebenszyklen sind aber mit konventionellen Anlagen kaum machbar. Deshalb sind für eine flexible, schnelle und effiziente chemische Prozessindustrie modularisierte Anlagen zu einem entscheidenden Erfolgsfaktor im globalen Wettbewerb geworden: Intelligent verschaltete Module können künftig unterschiedliche Prozessschritte umsetzen, wie zum Beispiel Destillieren, Kühlen oder Mischen. Je nach Produkt werden die einzelnen Prozessschritte in der Anlage unterschiedlich zusammengebaut. Die Voraussetzungen für ein solches Baukastensystem mit Modulen inklusive Automatisierungsfunktion, Steuerung, Schnittstellen und Datenintegration haben die Forscherinnen und Forscher in EnPro 1.0 geschaffen. Mit EnPro 2.0 sollen nun die Lücken in der Modularisierung, zum Beispiel bei komplexeren Prozessen wie der Kristallisation oder Polymerisation, geschlossen werden und die Anlagen zu modularen und intelligent vernetzten Gesamtsystemen erweitert werden. EnPro 2.0 setzt sich aus Einzelverbundprojekten und einem



Modulare Anlage für eine flexible, schnelle und effiziente chemische Prozessindustrie

von der DECHEMA durchgeführten Koordinierungsvorhaben zusammen, das die Projekte untereinander vernetzt.

Verbundkoordinatoren: DECHEMA, Technische Universität Dortmund, Technische Universität Dresden, Ruhr-Universität Bochum, KIT – Karlsruher Institut für Technologie, AixCAPE, Technische Universität Darmstadt, BASF

Förderkennzeichen: 03ET1608A, 03ET2004A-N, 03ET2006A-F, 03ET2009A-F, 03ET1528A-F, 03ET1517A-I, 03ET1525A-E, 03ET1652A-F, 03ET1594A

Fördermittelansatz: 17,49 Millionen Euro

2.1.3 Schnittstellen der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr

Knapp 30 Prozent des Endenergieverbrauchs entfallen in Deutschland auf den Verkehr. Das Verkehrsaufkommen nimmt weiter zu, die Treibhausgasemissionen steigen weiter an. Der Verkehrssektor muss daher unbedingt in den Umbau des Energiesystems einbezogen werden. Technologische Entwicklungen konzentrieren sich unter anderem auf batterieelektrischen Antrieb und Brennstoffzellen. Auch der Verbrennungsmotor kann unter Einsatz alternativer Kraftstoffe zur Defossilierung beitragen. Solche Kraftstoffe bieten insbesondere dort eine Perspektive, wo die Elektrifizierung an Grenzen stößt. Das gilt für den Luftverkehr und die Schifffahrt und in Teilen den Schwerlastverkehr. Die neuen technologischen Entwicklungen treiben zudem die Sektorkopplung voran:

Mehr Erneuerbare können ins Netz gebracht und umfassender genutzt werden.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Der aktuelle Förderbedarf konzentriert sich unter anderem auf Herstellung und Nutzung gasförmiger und flüssiger Kraftstoffe auf Basis erneuerbaren Stroms. Gefördert durch das BMWi sind 2017 bis 2019 mit der Initiative Energiewende im Verkehr insgesamt 16 Forschungsverbünde zum Thema „Power-to-Fuel“ und zur Erprobung der alternativen Kraftstoffe in Motoren gestartet. Zu den Kraftstoffkandidaten zählen unter anderem Methanol, Ethanol, OME, Kerosin, synthetisch hergestelltes Erdgas und Biogas mit Wasserstoffanteilen. Manche dieser synthetischen Kraftstoffe können dem Treibstoff in heutigen Autos,

Lkw, Flugzeugen oder Schiffen beigemischt werden, andere erfordern ein Anpassen der Motorentechnologie. Mit dieser Initiative vernetzt ist das BMBF-Großvorhaben „Nachhaltige Mobilität durch synthetische Kraftstoffe“ (NAMOSYN, siehe Projektsteckbrief). Im Bereich der Biokraftstoffe liegt Potenzial für den Verkehrsbereich etwa im Lignozellulose-Kraftstoff aus holzartigen Biomassen.

Die Elektromobilität hat das Potenzial, die Dekarbonisierungserfolge des Stromsektors auf den Verkehr zu übertragen. Während die Wasserstofftechnologie noch in den Anfängen steckt, bieten viele Hersteller bereits batterieelektrische Fahrzeuge an. Die Forschung am Material von Akkus und Brennstoffzellen sorgt künftig für weitere Effizienzgewinne und einen umweltfreundlicheren Rohstoffeinsatz bis hin zum Recycling. An der Schnittstelle von Energie- und Verkehrswende bewegt sich auch der Forschungscampus „Mobility2Grid“ (siehe Kapitel 4.3).

Wichtige Impulse kommen zudem vom Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) (siehe Kapitel 4.3) sowie aus der anwendungsorientierten Grundlagenforschung, beispielsweise zu leistungsfähigen und kostengünstigen Materialien für Brennstoffzellen (siehe Kapitel 2.3.3 und 2.4.6).

Projektförderung

Im Schwerpunkt Schnittstelle der Energieforschung zu Mobilität und Verkehr haben das BMBF und das BMWi im Jahr 2019 273 laufende Vorhaben mit rund 34,21 Millionen Euro gefördert. 2019 haben die Ministerien zudem 72 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 38,51 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 7).

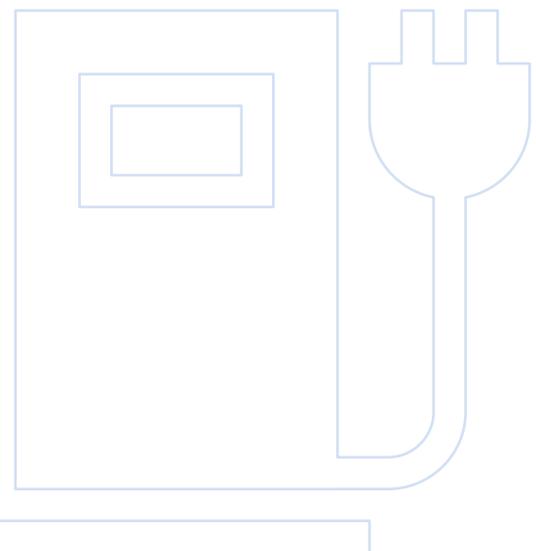
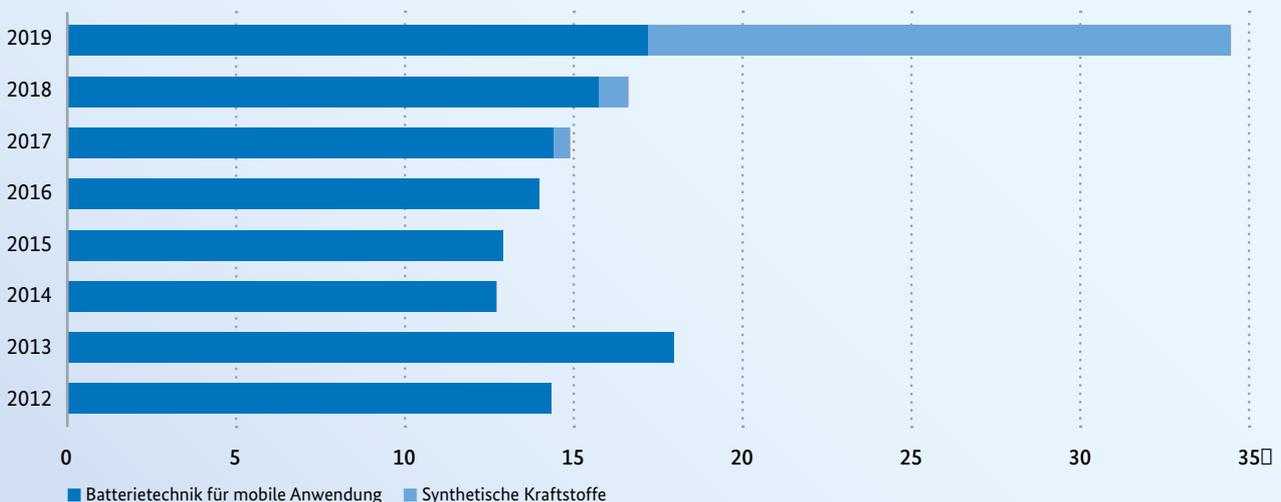
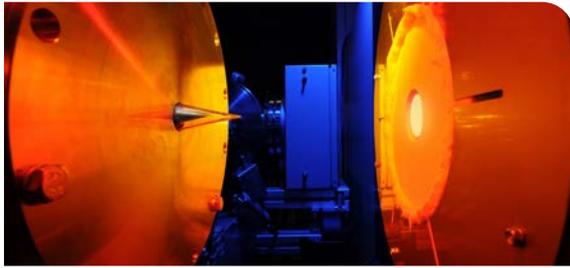


Abbildung 7: Fördermittel für Energieforschung zu Mobilität und Verkehr in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 2, Seite 74)



PROJEKTSTECKBRIEF



Molekularstrahl-Probennahme: Düse-Skimmer-System für Untersuchung der Chemie in reaktiven Strömungen

SolareKraftstoffe – Solare Kraftstoffe für den Energiemix der Zukunft

Mit Solarenergie produzierte synthetische Kraftstoffe können die Defossilierung des Verkehrs beschleunigen – was ist technisch möglich und wettbewerbsfähig?

Fossile Kraftstoffe müssen im Verkehrssektor mehr und mehr ersetzt werden, um hier möglichst zügig CO₂-Emissionen zu reduzieren. Dazu beitragen könnten CO₂-neutral und nachhaltig hergestellte Drop-in-Fuels als Beimischung oder Ersatz von herkömmlichen Treibstoffen. Eine Option dafür bieten mit konzentrierter Solarenergie hergestellte synthetische Flüssigkraftstoffe. Die in einem thermischen Solarkraftwerk konzentrierte Sonnenstrahlung wird dabei genutzt, um diese in thermochemischen Prozessen zu produzieren. Im Vorhaben SolareKraftstoffe identifizieren Forscherinnen und Forscher des DLR mögliche Drop-in-Fuels und untersuchen, welche Wege der solarthermischen Herstellung technisch möglich und ökonomisch konkurrenzfähig wären. Betrachtet wird die gesamte Kette von der solaren Kraftstoff-erzeugung aus Wasser und CO₂ bis hin zur motorischen Verbrennung auf Verbraucherseite. Der Fokus des Projekts liegt auf Drop-in-Kraftstoffen, die mit vorhandener Infrastruktur für das Betanken und Verbrennen genutzt werden könnten. So wäre eine wesentlich schnellere Umsetzung am Markt möglich als bei Konzepten, die etwa den Austausch von Fahrzeugflotten, den Aufbau paralleler oder den Ausbau bestehender Infrastruktur erfordern.

Zuwendungsempfänger: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Solarforschung

Förderkennzeichen: 03EIV221

Fördermittelansatz: rund 1,3 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2021

PROJEKTSTECKBRIEF



Flirt-Akku-Prototyp

FLIRT-AKKU – Netzintegration und netzdienliche Ladung eines batterieelektrisch angetriebenen Schienenfahrzeugs für die Überbrückung ausgedehnter, nicht oder teilweise elektrifizierter Streckenabschnitte im Regionalverkehr

Eine Batterie für Züge soll Dieselantriebe im Schienenverkehr ersetzen. Auch ohne Oberleitung liefert der Flirt-Akku Energie für 150 Kilometer Strecke.

Anwohner von Bahntrassen in Norddeutschland werden sich freuen: Schleswig-Holstein hat 55 Elektro-Züge des Schweizer Bahnherstellers Stadler mit Flirt-Akku bestellt. Seit 2018 forscht dessen deutsche Tochter Stadler Pankow an einem batterieelektrischen Antrieb, gefördert vom BMWi. 2022 sollen die abgasfreien, energiesparenden und leisen Züge ihren Betrieb aufnehmen. Gerade im windstromreichen Norddeutschland sind bislang viele Züge mit Dieselantrieb unterwegs, da wenige Oberleitungen verbaut sind. Der Flirt-Akku ist leistungsfähig genug, um über 100 Tonnen Leergewicht anzutreiben – und das über einen großen Teil der Strecke. 150 Kilometer sollen möglich sein, auf teilelektrifizierten Strecken deutlich mehr, und das auch im jahrelangen Betrieb. Darüber hinaus untersucht Stadler Pankow zusammen mit dem Netzbetreiber EWE Netz und dem Institut für Energie- und Automatisierungstechnik der Technischen Universität Berlin, wie die Be- und Entladung netzdienlich ablaufen kann, die Akkus also bei Bedarf dem Stromnetz Regelenenergie zur Verfügung stellen können.

Zuwendungsempfänger: Stadler Pankow GmbH und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ETE008A-C

Fördermittelansatz: 2,7 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2020

PROJEKTSTECKBRIEF



Durch synthetische Kraftstoffe für Diesel- und Ottomotoren soll Mobilität klimafreundlicher werden.

NAMOSYN – Nachhaltige Mobilität durch synthetische Kraftstoffe

Um Personen und Waren zukünftig klimaneutral zu bewegen, werden vielversprechende synthetische Kraftstoffe für den Einsatz in Benzin- und Dieselmotoren untersucht.

Ziel des BMBF-Vorhabens ist es, die Basis für einen Einstieg in die Produktion von synthetischen Kraftstoffen in Deutschland im Multitonnen-Maßstab zu legen. Dazu werden durch vier spezialisierte Arbeitsgruppen alle Schritte von der Herstellung bis zur Verbrennung vielversprechender synthetischer Kraftstoffe untersucht. Zwei Gruppen widmen sich der Verbrennung synthetischer Kraftstoffe im Diesel- beziehungsweise im Ottomotor. Eine weitere Arbeitsgruppe entwickelt energie- und kosteneffiziente Syntheseverfahren. Die vierte Gruppe bewertet die Kraftstoffe hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit und der Voraussetzungen für die Markteinführung. Bei den untersuchten Kraftstoffen handelt es sich um die aus Wasserstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff bestehenden chemischen Substanzen Oxymethylenether (OME), Dimethylcarbonat (DMC) und Methylformiat (MeFo). Das Vorhaben ist im April 2019 gestartet und hat bisher die vielfältigen Test- und Prüfstände entwickelt, aufgebaut und in Betrieb genommen und den prinzipiellen Nachweis zum Einsatz der Kraftstoffe im Ottomotor erbracht.

Zuwendungsempfänger: DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie und 30 weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SF0566A-U1

Fördermittelsatz: 20,6 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2022

2.2 Energieerzeugung

2.2.1 Photovoltaik

Die Photovoltaik ist mittlerweile eine wichtige Säule der Stromproduktion, sowohl national als auch im internationalen Kontext. 2019 lag der Anteil des aus Photovoltaik produzierten Nettostroms, der also bei den Verbrauchern ankommt, für Deutschland bei neun Prozent. Im November 2019 ist Deutschlands erster förderfreier Solarpark „Barth 5“ in Betrieb gegangen, mit einer Leistung von 8,8 Megawatt. Sogenannte „Power Purchase Agreements“ beziehungsweise Stromkaufvereinbarungen – kurz PPA – sichern den Betrieb solcher Anlagen ab. Dabei handelt es sich um langfristige Verträge zwischen Kraftwerksbetreiber und Stromabnehmer. Dass sich das für große Solarparks nun wirtschaftlich lohnt, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler durch ihre kontinuierliche Entwicklungsarbeit erreicht. Technologisch stehen Solarzellen auf Basis des kristallinen Siliziums weiterhin im Vordergrund.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

In den durch das BMWi geförderten Projekten arbeiten Institute und Unternehmen kontinuierlich gemeinsam daran, die Kosten der Photovoltaik-Produktion weiter zu senken sowie Qualität und Effizienz der Zellen und Module zu erhöhen. Die dadurch ermöglichten niedrigen Stromkosten legen die Basis für den Ausbau dieser klimafreundlichen Technologie. Mit Blick auf die Zukunft sind neben der kristallinen Silizium-Photovoltaik etwa Stapelzellen ein zentrales Thema der BMWi-Forschungsförderung. Dabei werden unterschiedliche Halbleiter kombiniert, um ein größeres Spektrum des Sonnenlichts zu nutzen. 2019 haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE mit einer Dreifachsolazelle einen Wirkungsgrad von 34,1 Prozent erreicht, ein neuer Weltrekord. Daneben stehen Stapelzellen mit Perowskiten kurz vor der Serienreife. Kostengünstige Prozesse für die industrielle Produktion von Perowskit-Solarzellen zu entwickeln, ist unter anderem Ziel der BMBF-Förderung, an der Akteure aus Forschung und Industrie in Deutschland und Griechenland beteiligt sind. Die besten Solarzellen vom KIT erreichten mit 18,5 Prozent den bislang höchsten Wirkungsgrad für Solarzellen mit tintenstrahlgedruckter Perowskitschicht. In

mehreren Forschungsgruppen der Initiative „Make Our Planet Great Again“ (siehe Kapitel 1.3) werden darüber hinaus neuartige Materialien für Solarzellen erforscht. Die Digitalisierung der Fertigung hat das Potenzial, hohe Effizienzen zu geringen Kosten herzustellen – daher bildet sie einen weiteren Schwerpunkt. Ebenfalls relevant sind neue Einsatzgebiete für Photovoltaik, Gebäudefassaden oder die solare Ausrüstung von Elektro-Fahrzeugen. Kosten, Effizienz und Handhabung sind hier die relevanten Forschungsthemen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Photovoltaik haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2019 499 laufende Vorhaben mit rund 98,69 Millionen Euro gefördert. 2019 haben die Ministerien zudem 140 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 106,79 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 8).

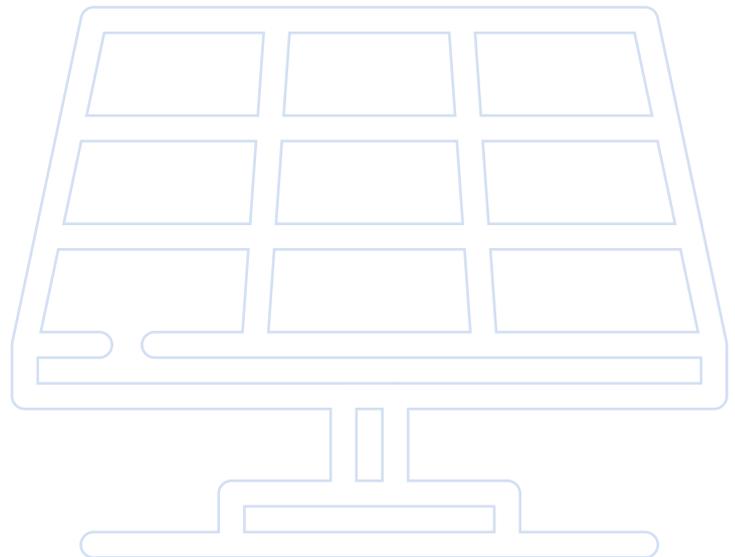
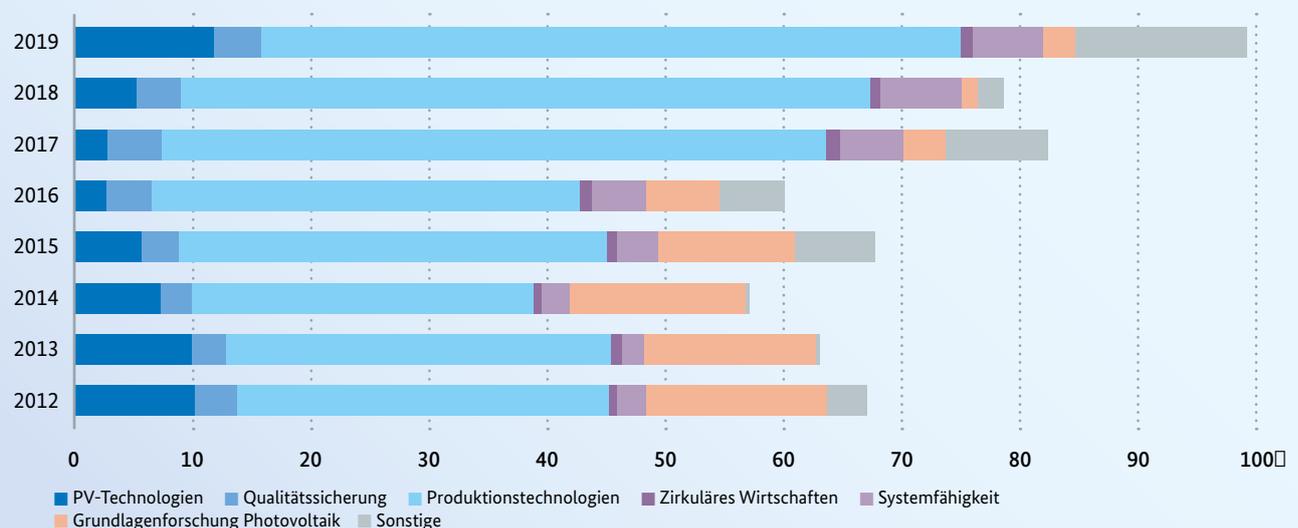


Abbildung 8: Fördermittel für Photovoltaik in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 3, Seite 75)

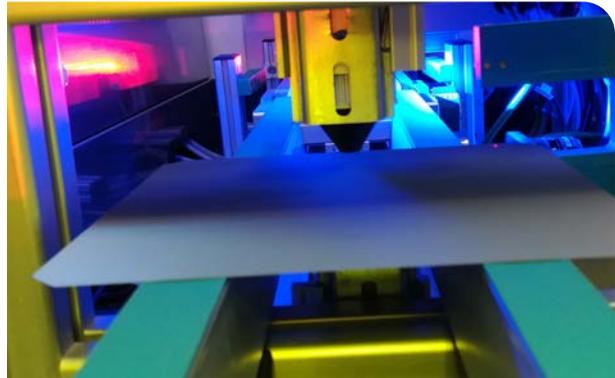


PROJEKTSTECKBRIEF

HJT4.0 – Nächste Generation Fertigungs- und Prozesstechnologien für Heterojunction-Solarzellen und Module für Industrie 4.0

Produktionsanlagen für Photovoltaikmodule sollen Prozesse flexibel anpassen können, um ein Maximum an Qualität zu geringen Kosten zu erreichen.

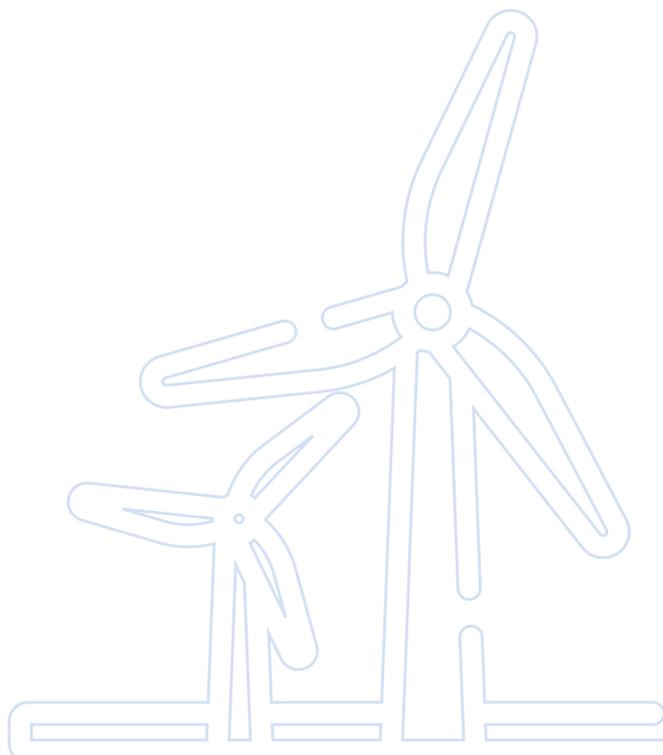
Um die Kosten für die Stromproduktion aus Photovoltaik effektiv zu senken, setzen die Projektpartner auf Industrie 4.0. Das heißt, dass sie Anlagen herstellen möchten, die Produktionsprozesse aufgrund digitaler Messwerte flexibel anpassen können. So könnte eine 4.0-Produktionsanlage etwa die Qualität des Eingangsmaterials erfassen und die weiteren Prozessschritte daraufhin optimieren. Dafür muss sie perspektivisch in die Lage versetzt werden, überhaupt entsprechend flexibel agieren zu können. Der Fokus der Arbeiten liegt derzeit auf einer erweiterten Messtechnik als Basis für die Produktion 4.0. Für jeden Einzelschritt werden detaillierte, verlässliche Daten benötigt. Die Projektpartner möchten die Messdaten zudem dafür nutzbar machen, Wartungseinsätze detailliert planbar zu machen. So weit, dass Hersteller Ersatzteile für ihre Anlage bestellen können, noch bevor ein Teil auszufallen droht. Zieltechnologie der neuen Anlage ist die Heterojunction-Technologie



Mittels Inline-Messsystemen können alle prozessrelevanten Daten der Wafer in Echtzeit an eine zentrale Datenbank übertragen werden.

(HJT). Dabei wird die klassische kristalline Silizium-Solarzelle mit amorphem Silizium kombiniert, das aus der Dünnschichttechnologie stammt. Durch die Kombination erhält man perfekte passivierte Kontakte, es geht also weniger erzeugte Ladung verloren. Daher gilt dieses Zellkonzept als Hochleistungszelle.

Zuwendungsempfänger: Meyer Burger (Germany) GmbH und fünf weitere Verbundpartner
Förderkennzeichen: 0324172A-D, F, G
Fördermittelansatz: 9,2 Millionen Euro
Projektlaufzeit: 2017 – 2020



PROJEKTSTECKBRIEF

CIGS-Fassade – Fassadenintegrierte Photovoltaik-Systeme in CIGS-Technologie

Photovoltaik-Module an Gebäudefassaden liefern auch bei wechselnden Lichtverhältnissen oder bei Schatten zuverlässig Energie.

Solarmodule einfach in die Gebäudehaut zu integrieren ist eine bestechende Idee – aber nicht ganz anspruchlos. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben ein CIGS-Dünnschichtmodul entwickelt, das die speziellen Einstrahlungsbedingungen an Gebäudefassaden besser ausnutzen kann. CIGS steht kurz für die enthaltenen Elemente dieser Technologie: Kupfer, Indium, Gallium und Selen. Mit bis zu 17,5 Prozent Wirkungsgrad liegen die CIGS-Module an der Spitze der kommerziell erhältlichen Dünnschichtphotovoltaik. Wegen ihres homogenen Erscheinungsbilds werden sie von Architekten gern eingesetzt. Das komplette Anlagensystem vom Modul bis hin zum Wechselrichter ist innerhalb von CIGS-Fassade nun weiter für den Einsatz an Fassaden optimiert worden. Neben den Lichtverhältnissen betrifft das auch Themen wie Statik, elektrische Systemtechnik und Betriebssicherheit. Durch das Projekt haben die Ingenieurinnen und Ingenieure den Ertrag der Module erhöht und die Montage vereinfacht. Flexible Modulgrößen tragen



Das ZSW hat eine Testfassade an seinem neuen Stuttgarter Institutsgebäude angebracht, um dort die Betriebsdaten der Module zu erheben.

dazu bei, die gestalterische Freiheit von Architekten zu erhöhen. Darüber hinaus haben die Projektpartner die Abwärme der Fassaden als Quelle für Wärmepumpen untersucht. Der größte Nutzen wird mit einem – allerdings aufwändigen – saisonalen Wärmespeicher erreicht.

Zuwendungsempfänger: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und zwei weitere Verbundpartner
Förderkennzeichen: 0324156A-C
Fördermittelansatz: 1 Million Euro
Projektlaufzeit: 2017 – 2020

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 2019 nochmals über dem Rekordergebnis des Vorjahres. Die Windenergie hat mit einer Leistung von 126 Terrawattstunden (TWh) einen neuen Höchstwert erreicht. Im Jahr 2018 waren es noch 110 TWh. Damit stieg die Windstromerzeugung um fast 15 Prozent gegenüber dem Vorjahr. Besonders bemerkenswert war die Rekordwindstromerzeugung im Monat März. Mit fast 16 TWh wurde der bisherige Höchstwert von Dezember 2017 (15,1 TWh) deutlich übertroffen. Damit könnten circa fünf Millionen Haushalte für ein Jahr mit Strom versorgt werden. Um dem Einbruch beim Zubau der Windenergie an Land seit 2018 zu begegnen, sieht das Klimaschutzprogramm 2030 Maßnahmen zur Förderung der Akzeptanz und eine Beschleunigung des Ausbaus vor.

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 zentral.

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 haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2019 insgesamt 461 laufende Vorhaben mit rund 72,95 Millionen Euro gefördert. 2019 haben die Ministerien zudem 112 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 78,99 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 9).

PROJEKTSTECKBRIEF

ISyMOO – Intelligente integrative Systeme für das Monitoring von Oberflächenschutzsystemen an Offshore-Windenergiekonstruktionen

Windparks auf See sind Meeresluft, Salzwasser, Strömungen und Schwingungen ausgesetzt. Türme und Tragstrukturen der Offshore-Windenergieanlagen sind entsprechend intensiv belastet. So vermindert Rost beispielsweise die Tragfähigkeit der Tragstrukturen. Verschiedene Beschichtungen sind an den Bauteilen im Einsatz, um die vorgesehene Lebensdauer zu gewährleisten. Ganz verhindern können sie das Altern der Anlagen jedoch nicht.

Daher müssen Windpark-Betreiber regelmäßig den Zustand der Windenergieanlagen überprüfen. Bislang machen das Kletterer und Taucher, doch deren Einsätze sind aufwändig, gefährlich und teuer. Expertinnen und Experten aus Unternehmen und Hochschulen forschen nun in ISyMOO daran, wie autonome Inspektionsgeräte, zum Beispiel Drohnen, mit Kameras und anderer innovativer Technik den Zustand der Windenergieanlagen zeit- und kostensparend dokumentieren können. Dazu gehören auch Sensoren, die zusätzliche Daten zum aktuellen Zustand der Beschichtungen und der Strukturen liefern. Um die komplexen Bild-, Video- und Sensor-

Autonome Inspektionsgeräte wie Drohnen sollen künftig die gefährlichen Wartungseinsätze von Kletterern an Offshore-Windenergieanlagen minimieren helfen.



daten zu verarbeiten und zu bewerten, wird in ISyMOO eine Big-Data-Plattform entwickelt. Inspektions- und Reparaturkonzepte lassen sich auf Basis der dort gesammelten Daten ableiten. Die Wartungsfachkräfte auf dem Festland können die Daten in Echtzeit auswerten und die Anlagen rechtzeitig und gezielt warten oder reparieren.

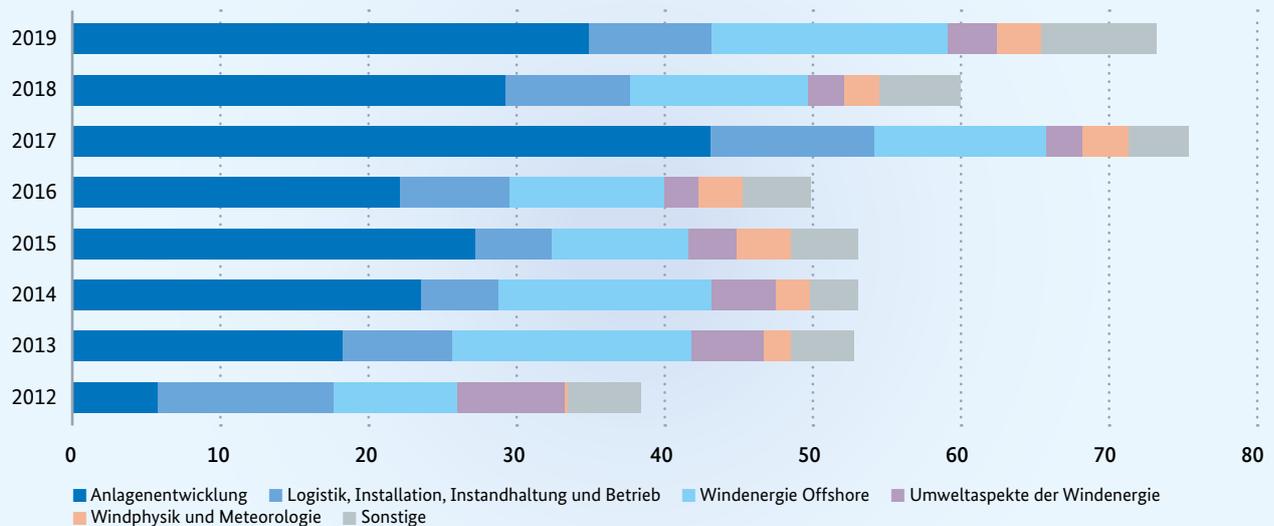
Zuwendungsempfänger: Muehlhan AG und vier weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 0324254A-F

Fördermittelansatz: 1,3 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2021

Abbildung 9: Fördermittel für Windenergie in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 3, Seite 75)



PROJEKTSTECKBRIEF

HiPE-WiND – Multidimensionale Belastungen der Hochleistungselektronik von Windenergieanlagen

Aufbau einer Versuchseinrichtung, in der Leistungselektronik für Windenergieanlagen unter realen Last- und Umweltbedingungen untersucht werden kann

Die Leistungselektronik von Windenergieanlagen (WEA) ist besonders beansprucht. An der Schnittstelle zwischen Generator und Einspeisepunkt ins Netz sind die Komponenten aufgrund von Schwankungen des Windes sowie des Netzes hohen Belastungen ausgesetzt. Hinzu kommen Umwelteinflüsse wie große Temperatursprünge, hohe Luftfeuchtigkeit oder Kondensat. Gerade für Offshore-WEA ist jedoch eine hohe Zuverlässigkeit entscheidend, denn Reparaturen oder Wartungen sind dort nur mit hohem Aufwand und häufig großen Ertragsverlusten möglich.

Im Projekt „HiPE-WiND“ erforschen die Projektpartner, wie sich die Umgebungsbedingungen am Windparkstandort in den Innenraum der einzelnen Windenergieanlage übertragen und die Bauteile und Komponenten der dort befindlichen Stromrichter beeinträchtigen. Hierfür wird zurzeit in Bremen eine Versuchseinrichtung aufgebaut, in der herstellereutrale Tests unter realistischen Bedingungen durchgeführt werden können. In einem Klimaraum können komplette Umrichtersysteme von WEA der 10-MW-Klasse vorher definierten Umweltbelastungen wie



Überprüfung der wassergekühlten Drosseln an einem der vier 3-MVA-Frequenzumrichter des Gesamtprüfstandes

großer Kälte, Hitze oder hoher Luftfeuchtigkeit ausgesetzt werden. Gleichzeitig werden sowohl die elektrischen Belastungen als auch nachgebildete Störungen und Systemwechselwirkungen reproduzierbar. Die zeitlich beschleunigte Alterung der Umrichterkomponenten in der Prüfeinrichtung liefert Hinweise auf Schwachstellen in der System-Hardware. Ziele sind, Alterungsursachen zu verstehen, die Betriebsdauer der Komponenten durch Optimierungen zu verlängern und Ausfällen vorzubeugen.

Zuwendungsempfänger: Universität Bremen und Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES

Förderkennzeichen: 0324219A-B

Fördermittelansatz: 11,57 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2017 – 2020

2.2.3 Bioenergie

Bioenergie spielt im Bereich der erneuerbaren Energien eine besondere Rolle, da sie flexibel einsetzbar ist und insbesondere unabhängig von Witterungsbedingungen sowie Tages- und Jahreszeit zur Verfügung steht. Derzeit stellt sie etwa 54 Prozent 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 im Verkehrssektor und über 80 Prozent im Wärmesektor hat. Gleichwohl ist die Biomasse an der gesamten Primärenergiebereitstellung mit lediglich sieben Prozent beteiligt. Die Forschungsförderung kann einen wichtigen Beitrag zur effizienten und systemgerechten Nutzung der nachhaltig vorhandenen Potenziale leisten.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Zentrale Bedeutung kommt dabei dem Deutschen Biomasseforschungszentrum (DBFZ) zu, das seit 2008 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 betreibt.

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 Bioenergieträgern. Hervorzuheben sind weiterhin Arbeiten auf dem Gebiet der intelligenten Biomasseheiztechnologien (SmartBiomassHeat) sowie zur katalytischen Emissionsminderung an Verbrennungsanlagen für gasförmige, flüssige und feste Bioenergieträger an Festkörperkatalysatoren.

Die energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe ist seit 2018 im Energieforschungsprogramm des Bundes verankert. In diesem Schwerpunkt fördert das BMWi Projekte zur Entwicklung effizienter und kostengünstiger Technologien und Konzepte zur

Erzeugung von Strom, Wärme und Kraftstoffe auf Basis biogener Rest- und Abfallstoffe. Aktueller Förderbedarf besteht insbesondere hinsichtlich der Systemintegration und Sektorkopplung. Seit 2008 hat das BMWi mit dem Programm „Energetische Biomassenutzung“ über 176 Verbundprojekte beziehungsweise über 450 Einzelprojekte gefördert. Unter den 250 beteiligten Institutionen waren 125 KMU – so können vielversprechende Forschungsergebnisse noch schneller in die Praxis gelangen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Bioenergie hat die Bundesregierung im Jahr 2019 insgesamt 597 laufende Vorhaben mit rund 40,52 Millionen Euro gefördert. 2019 haben die Ministerien zudem 241 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 72,78 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 10). Innerhalb der institutionellen Förderung wurden dem Deutschen Biomasseforschungszentrum gGmbH in Leipzig (DBFZ) 2019 Haushaltsmittel in Höhe von rund 9,5 Millionen Euro zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden dort Mittel für Baumaßnahmen und die Erstausrüstung eines Neubaus in Höhe von rund 13,4 Millionen Euro zugewiesen.

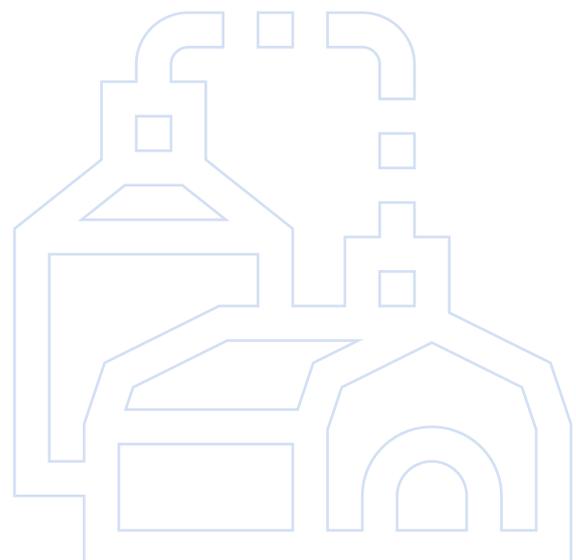
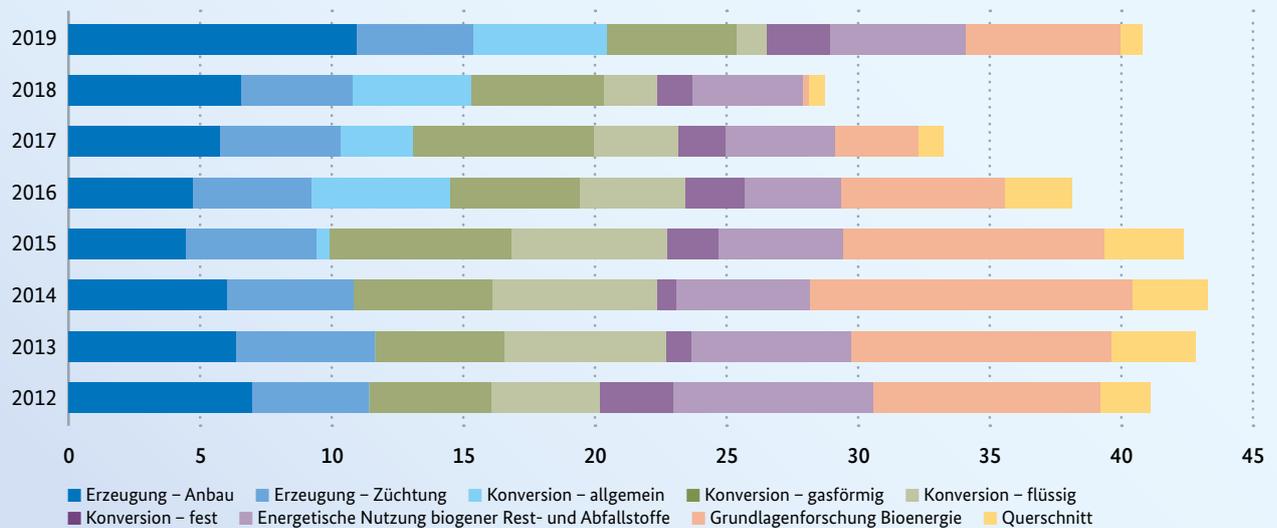


Abbildung 10: Fördermittel für Bioenergie in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 3, Seite 75)



PROJEKTSTECKBRIEF

DAnKEE – Demonstration einer Anlage zur kombinierten Entstaubung und Entstickung – Schlüssel für die umweltfreundliche Nutzung von Biomasse-rest- und Abfallstoffen

Reduzieren von Stickoxiden und Feinstaubemissionen: Ein neuartiges Filtersystem soll das umweltfreundliche Reinigen von Abgasen ermöglichen.

Biomasserest- und Abfallstoffe sind kostengünstige Brennstoffe für die Wärme- und Stromerzeugung. Die im Vorhaben entwickelte Anlagentechnik reduziert die bei der Verbrennung entstehenden Stickoxide und Feinstaubemissionen dank einer neuartigen Rauchgasreinigung. Die energetische Nutzung wird so nicht nur umweltfreundlicher – im Ergebnis kann zugleich die Biomasse noch effizienter verwertet werden. Konkretes Projektziel ist die Demonstration an einer praxisnahen Versuchsanlage. Die Entwicklung ist zukünftig auf Biomassefeuerungen im Leistungsbereich von 0,1 bis 5 Megawatt Feuerungswärmeleistung übertragbar.

Fraunhofer UMSICHT und Herding Filtertechnik entwickeln gemeinsam einen neuartigen kombinierten Filter, der gleichzeitig Stickoxide reduzieren und Feinstaub abscheiden kann. Die beiden Verbundpartner bringen technisch-wissenschaftliche Entwick-



Versuchsaufbau im Technikum von Fraunhofer UMSICHT

lungskompetenz mit fertigungstechnischem Know-how und Branchenkenntnis zusammen. Auf diese Weise sollen die Projektergebnisse dazu führen, ein neuartiges, marktfähiges Produkt zu entwickeln. Das Vorhaben bietet zugleich eine Lösung für die verschärften emissionsrechtlichen Anforderungen.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT und Herding GmbH Filtertechnik

Förderkennzeichen: 03KB143A-B

Fördermittelansatz: rund 375.000 Euro

Projektlaufzeit: 2018 – 2021

PROJEKTSTECKBRIEF

BE20plus | Bioenergie – Potenziale, Langfristperspektiven und Strategien für Anlagen zur Stromerzeugung nach 2020

2015 stammten über 26,8 Prozent des erneuerbaren Stroms und 87,8 Prozent der erneuerbaren Wärme aus Bioenergieanlagen. Der Ausbau und Betrieb von Bioenergieanlagen zur Stromerzeugung wurde in den vergangenen Jahren primär durch das EEG angeleitet und gefördert. Innerhalb des EEG erhielten Anlagen bisher für die Dauer von 20 Jahren, zuzüglich des Inbetriebnahmejahres, festgelegte Vergütungssätze. Da ein Großteil der Bioenergieanlagen zur Stromproduktion in den Jahren zwischen 2004 und 2014 errichtet worden ist, läuft für diesen Teil des Anlagenbestandes in den Jahren 2025 bis 2035 die EEG-Vergütung aus.

Ein Wissenschaftsteam unter Koordination des Deutschen Biomasseforschungszentrums (DBFZ) evaluiert im Auftrag des BMEL, welche Geschäftsmodelle für Bioenergie-Bestandsanlagen über den Zeitraum der EEG-Förderung hinaus infrage kommen, um einen Weiterbetrieb von Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse, eventuell auch mit geänderter betrieblicher Ausrichtung, zu ermöglichen. Die zu untersuchenden Optionen umfassen die Teilnahme an Ausschreibungen nach dem EEG 2017 ebenso wie einen Weiterbetrieb von Anlagen auch ohne eine EEG-Förderung. Die Forscherinnen und Forscher führen energiewirtschaftliche, technische und ökonomische Analysen durch und evaluieren auf dieser Basis verschiedene Geschäftsfelder. Mittels



Modellrechnungen stellen sie die Auswirkungen auf den Anlagenbestand, auf die Strom- und Wärmeversorgung, auf die Land- und Forstwirtschaft sowie die Umweltwirkungen dar. Die Ergebnisse sollen Anlagenbetreibern und verbundenen Industrie- und Dienstleistungspartnern betriebliche Perspektiven aufzeigen. Die Projektergebnisse werden abschließend als interaktiver Endbericht in Form einer Webanwendung öffentlich zugänglich gemacht.

Zuwendungsempfänger: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum und fünf weitere Verbundpartner
Förderkennzeichen: 22404016, 22407817, 22406917, 22407117, 22407517, 22407417
Fördermittelansatz (Gesamtprojekt): rund 1,2 Millionen Euro
Projektlaufzeit: 2017 – 2020

2.2.4 Geothermie

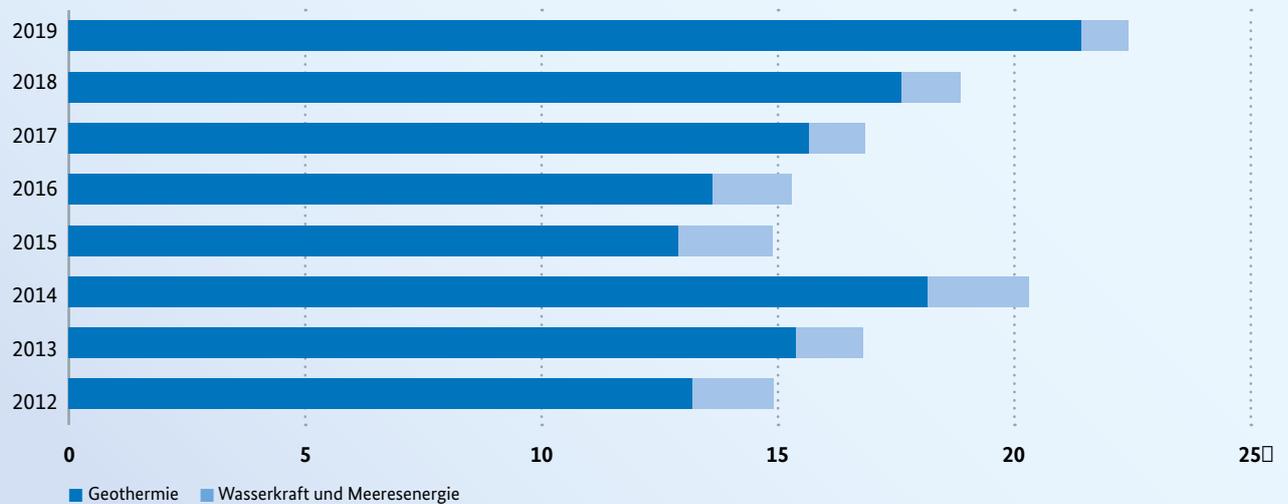
Erdwärme ist eine verlässliche Energiequelle. Mit aktuellen Technologien ist die hydrothermale Geothermie zur Wärmenutzung marktfähig. Aktuell sind in Deutschland laut dem Bundesverband Geothermie knapp 40 Heiz- und Kraftwerke sowie kombinierte Heizkraftwerke in Betrieb. Im Bereich der oberflächennahen Geothermie sind rund 390.000 Anlagen installiert. Zukünftig soll verstärkt die Nutzung zur Wärme- und Kälteversorgung sowie zur saisonalen Wärmespeicherung ausgebaut werden. Forschungs-

projekte sollen in erster Linie dazu beitragen, Risiken und Kosten zu reduzieren, Speichermöglichkeiten zu schaffen sowie Bekanntheit und Akzeptanz dieser Form von erneuerbarer Energie zu steigern.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Geothermie hat das BMWi im Jahr 2019 94 laufende Vorhaben mit rund 13,19 Millionen Euro gefördert. 2019 hat das BMWi zudem 25 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 24,10 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 11).

Abbildung 11: Fördermittel für Geothermie, Wasserkraft und Meeresenergie in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 3, Seite 75)



PROJEKTSTECKBRIEF

QEWS II – Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden II mit Beteiligung am IEA-ECES-Annex 27

Mit neuen Technologien und Methoden zur Qualitätssicherung werden Planung, Bau und Betrieb von Erdwärmesonden zur Nutzung oberflächennaher Geothermie sicherer und effizienter.

Erdwärmesonden sind Rohrsysteme, die in einem vertikal oder schräg verlaufenden Bohrloch verlegt werden, um oberflächennahe Geothermie nutzbar zu machen und dem Erdreich Wärme zu entziehen oder zuzuführen. Sie werden zunehmend als Wärmequelle für Wärmepumpen zum Heizen, als Wärmesenke zur Kühlung von Gebäuden oder als Wärmespeicher genutzt und liefern so einen wichtigen Beitrag zur Energiewende.

Beim Planen, Bauen und Betreiben der Anlagen gibt es jedoch viele Fehlerquellen mit möglichen Folgen für Boden und Grundwasser. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Bayerischen Zentrums für Angewandte Energieforschung haben sich daher zum Ziel gesetzt, die Qualität von Erdwärmesonden in allen Phasen zu verbessern. In sechs Teilprojekten gehen sie gemeinsam mit ihren Verbundpartnern zentrale Aspekte der Qualitätssicherung an. Ein Verfahren zur Überprüfung der Messeinrichtungen zum Erkunden von Standorten und konsistente Auslegungsmodelle für geothermische Anlagen wurden



Dieses Bild zeigt eine Erdwärmesondenbohrung mit integrierter Messtechnik auf dem Firmengelände der Burkhardt GmbH.

entwickelt und die Untersuchung von Materialien und Methoden zum Verfüllen und Abdichten von Bohrungen verbessert. Für den Betrieb der Anlagen wurden Verfahren zur Qualitätsüberwachung und das Monitoring entwickelt und getestet. Die im IEA-ECES-Annex 27 erarbeiteten Ergebnisse und Erkenntnisse fließen direkt in die aktuelle Erarbeitung der europäischen Norm CEN TC 451 ein.

Zuwendungsempfänger: Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern) und sechs weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ET1386A-G

Fördermittelansatz: rund 4 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2016 – 2020



2.2.5 Wasserkraft und Meeresenergie

Wasserkraft als Energiequelle hat einen entscheidenden Vorteil gegenüber anderen Formen erneuerbarer Energien: Sie ist witterungsunabhängig und damit planbar. In Deutschland beträgt der Anteil des aus Wasserkraft erzeugten Stroms rund drei Prozent. Auf Basis heutiger Technologien geeignete Standorte sind nahezu ausgeschöpft. Forschungsprojekte sollen dazu beitragen, neue Technologien, wie innovative Laufwasserräder, die neue Standorte erschließen könnten, zu entwickeln und bestehende Anlagen zu modernisieren. Auch werden Entwicklung und Demonstration von Meeresströmungsturbinen und Wellenenergiekonvertern gefördert.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Wasserkraft und Meeresenergie hat das BMWi im Jahr 2019 16 laufende Vorhaben mit rund 1,71 Millionen Euro gefördert. 2019 hat das BMWi zudem sieben Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 3,54 Millionen Euro neu bewilligt (Vgl. Abb. 11, Seite 37).

2.2.6 Thermische Kraftwerke

Konventionelle Kraftwerke sorgen in Zeiten der Energiewende dafür, dass Industrieunternehmen und Haushalte auch dann zuverlässig mit Strom beliefert werden, wenn Photovoltaik- und Windenergieanlagen witterungsbedingt weniger Strom liefern. Sie gewährleisten, dass das Energiesystem ohne Versorgungsengpässe erfolgreich umgebaut wird.

Auch im grünen Energiesystem der Zukunft sollen die bestehenden Großkraftwerke weiterhin eine wichtige Rolle spielen. Mit dem 7. Energieforschungsprogramm werden vermehrt Forschungsprojekte gefördert, die alternative Brennstoffe und Brennstoffgemische wie Biomasse oder Abfälle statt Kohle im Kraftwerksbetrieb einsetzen. Darauf müssen Bauteile und die Gesamtanlage durch sogenannte Retrofit-Maßnahmen angepasst werden. Neue Werkstoffe für einzelne Bauteile sind ebenso gefragt wie veränderte Betriebsprozesse. Darüber hinaus wird an solarthermischen Kraftwerksprozessen und -komponenten geforscht. Solartechnik „Made in Germany“ ist weltweit begehrt.

Zudem werden die Kraftwerke verstärkt im Gesamtenergiesystem betrachtet. Zentrales Anliegen ist es, die bestehende Infrastruktur auf die veränderte Energielandschaft mit vielen Akteuren anzupassen. Dafür werden beispielsweise Forschungsvorhaben finanziell unterstützt, die große Energiespeicher in den Kraftwerkspark integrieren. 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 (Power-to-X-to-Power). Neben großen thermischen Energiespeichern sind auch Hochtemperatur-Wärmepumpen, hybride Anlagenkonzepte sowie eine innovative Prozesstechnik zentrale Forschungsthemen.

Dank der Digitalisierung lassen sich Innovationen in Bauteilen und Verfahren heutzutage zunächst am Computer simulieren, bevor sie in den realen Kraftwerksbetrieb integriert werden. „Digital Twins“ sparen Zeit und Geld. Informationen über den Kraftwerksbetrieb liefern unter anderem Sensoren. Diese Daten werden kontinuierlich ausgewertet und dienen als Basis für lernende Verfahren, die den Kraftwerksbetrieb permanent optimieren.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Thermische Kraftwerke hat das BMWi im Jahr 2019 359 laufende Vorhaben mit rund 28,30 Millionen Euro gefördert. 2019 hat das BMWi zudem 74 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 31,29 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 12).

PROJEKTSTECKBRIEF

Multifokus-Turm Jülich

Die Solarturmanlage wird zu einem weltweit führenden Zentrum für solare Hochtemperatur-Experimente ausgebaut.

Ein Heliostatenfeld am Stadtrand von Jülich, das Sonnenstrahlen einfängt und diese auf einer kleinen Fläche auf dem Solarturm bündelt: Die Jülicher Solarturmanlage vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt dient rein zu Forschungszwecken. Seit mittlerweile neun Jahren testen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dort Bauteile im freien Feld. Dabei richtet sich der Forschungsfokus vor allem auf den Receiver. Doch der Testbedarf ist groß. Daher wird die Anlage derzeit im Projekt Multifokus-Turm Jülich zu einem der weltweit größten Testzentren für solare Hochtemperatur-Technologie ausgebaut.

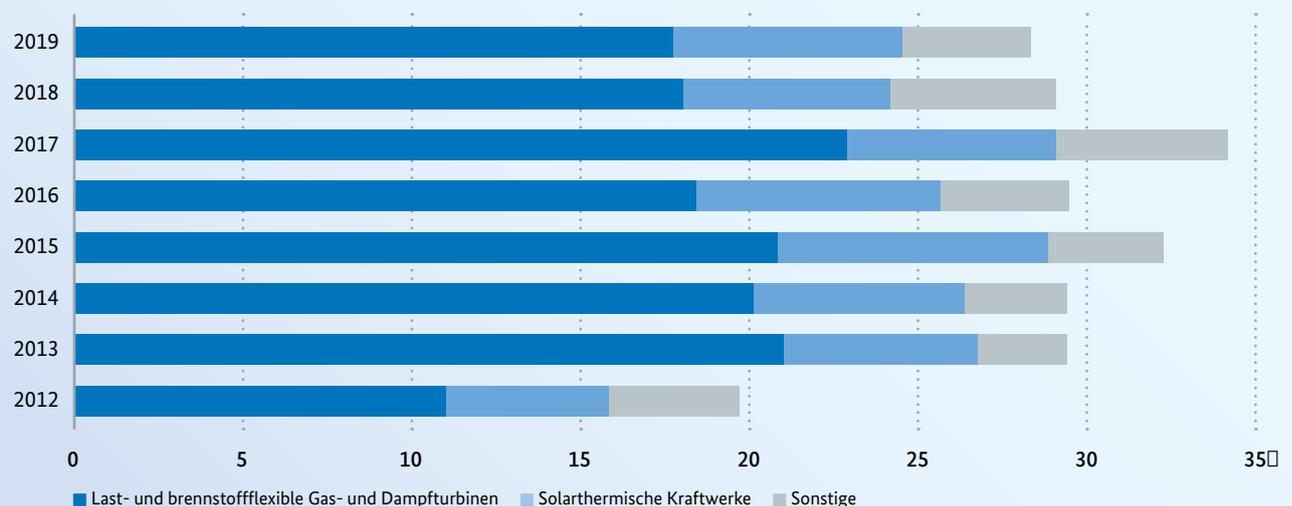
Die Bauarbeiten am zweiten Solarturm schreiten voran. Dort entstehen drei Versuchsebenen. Künftig können also auf der Jülicher Testanlage mit dann erweitertem Heliostatenfeld auch mehrere Experimente parallel stattfinden. Hierzu zählen beispielsweise Salzreceiver-Tests oder solarchemische Experimente zur Wasserstoffproduktion.



Der zweite Solarturm befindet sich derzeit im Bau. Er ermöglicht es Wissenschaftsteams künftig, mehrere Versuche parallel durchzuführen.

Zuwendungsempfänger: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Solarforschung (SF)
Förderkennzeichen: 0325454
Fördermittelansatz: rund 1 Million Euro
Projektlaufzeit: 2012 – 2020

Abbildung 12: Fördermittel für Thermische Kraftwerke in Mio. Euro
 (Daten siehe Tabelle 3, Seite 75)



2.3 Systemintegration

2.3.1 Stromnetze

Die Energiewende verändert die gesamte Stromerzeugungs- und Versorgungsstruktur. Viele dezentrale Energieanlagen mit schwankenden Einspeisemengen ersetzen wenige große zentrale Kraftwerke mit planbaren Stromvolumina. Zugleich ist auch die Zahl der in das Energieversorgungssystem eingebundenen erneuerbaren Anlagen schwankend und auch die Entfernung, die der Strom im Netz zurücklegen muss, steigt weiter an. Hinzu kommt die Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr durch die zunehmende Elektrifizierung von Mobilität und Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien. Dies erfordert einen präzise abgestimmten Betrieb zwischen regionalen und überregionalen Stromnetzbetreibern, Erzeugungsanlagen und Verbrauchern, um die Flexibilisierung des Energiesystems voranzutreiben. Das Ziel sind widerstandsfähige und robuste Stromnetze als zentrale Verteilkomponente eines Energiesystems, das eine hohe Versorgungssicherheit und -qualität gewährleistet. Beides sind die Grundlagen für die internationale Wettbewerbsfähigkeit des Industrie- und Wirtschaftsstandorts Deutschland.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Ein Förderschwerpunkt des BMWi liegt auf Betriebsmitteln und Komponenten. Konkret geht es um Effizienzsteigerung und Kostensenkung, zum Beispiel bei Leistungshalbleitern oder Kondensatoren. Weiter unterstützt das Ministerium Forschungsprojekte, die sich mit der Integration von Flexibilitäten in das Stromnetz auseinandersetzen. Von technischen und regulatorischen Aspekten bis hin zu Fragen des Marketdesigns, wie dem Bereitstellen von Daten oder dem Marktzugang durch Plattformen. Auch in Bezug auf eine automatisierte Netzbetriebsführung gibt es noch Entwicklungsbedarf, wie beispielsweise zu Leistungsflusssteuerung oder Fragen des Energie-Redispatch. Bei einem Stromnetz, in das eine Vielzahl kleiner dezentraler Energieanlagen einspeisen, ist zudem ein effizientes Monitoring entscheidend für die Stabilität und Sicherheit. In diesem Komplex fördert das BMWi unter anderem Vorhaben, die Lösungen für das Aufspüren von Fehlerstellen in annähernd Echtzeit suchen oder Strategien für das Optimieren der übertragenen Strommenge erarbeiten. Durch die Energie-

wende im Verkehr und die Wärmewende stellen sich Forschungsfragen rund um die Sektorkopplung. Das BMWi fördert hierzu Projekte, die sich beispielsweise mit der Netzintegration der Elektromobilität oder der Konvergenz von Strom-, Gas- und Wasserstoffinfrastruktur auseinandersetzen. Auch im Hinblick auf das Bereitstellen von Systemdienstleistungen und Momentanreserve bei einem zunehmenden Anteil erneuerbarer Energien besteht weiterhin Forschungsbedarf. Bei allen Fragen rund um das Stromnetz spielt die Digitalisierung eine immer wichtigere Rolle. Für den Um- und Aufbau zukunftsfähiger Strukturen bietet sie große Chancen, birgt allerdings auch Herausforderungen. Somit liegt auch in der Projektförderung des BMWi ein großer Fokus darauf.

Im Förderbereich des BMBF liegt der Fokus auf dem Thema Neue Netzstrukturen, das im Kopernikus-Projekt ENSURE bearbeitet wird (siehe Steckbrief). Weiterhin wurde 2019 ausgewählten Projekten der ressortübergreifenden Förderinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ eine Anschlussförderung bewilligt, um Themen der Digitalisierung, Sektorkopplung und Gleichstromtechnologie weiter zu bearbeiten. Letztere ist auch Thema des Forschungscampus „Flexible Elektrische Netze“ (siehe Kapitel 4.3).

Im September 2019 haben die europäische Joint Programming Platform ERA-NET Smart Energy Systems und Mission Innovation (siehe Kapitel 1.3.2) ihren ersten gemeinsamen Förderaufruf zu integrierten Energiespeichersystemen (MICall19) eröffnet. Weltweit beteiligen sich 21 Länder und Regionen, darunter auch das BMWi für Deutschland.

Projektförderung

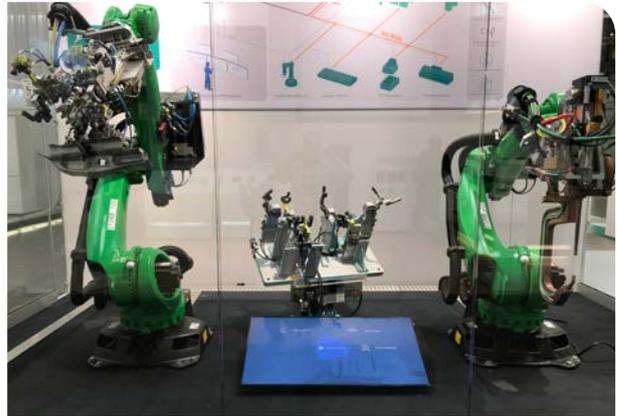
Im Schwerpunkt Stromnetze haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2019 589 laufende Vorhaben mit rund 64,85 Millionen Euro gefördert. 2019 haben die Ministerien zudem 143 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 61,69 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 13).

PROJEKTSTECKBRIEF

DC-Industrie – Intelligentes offenes DC-Netz in der Industrie für hocheffiziente Systemlösungen mit elektrischen Antrieben und DC-Industrie 2 – Gleichstrom für die Fabrik der Zukunft

Intelligentes Gleichstromnetz soll die sichere und robuste Energieversorgung von Produktionsanlagen aus erneuerbaren Energien ermöglichen.

Gleichstromtechnik ermöglicht die intelligente Integration von Strom aus erneuerbaren Energieanlagen in das Netz. Im Forschungsprojekt DC-Industrie haben 27 Partner ein umfangreiches Systemkonzept für ein smartes Gleichstromnetz (iDC-Netz) für die Stromversorgung industrieller Produktionsanlagen entwickelt. Den Fokus der Arbeiten hat das Team auf die Entwicklung, Anpassung und Erprobung von leistungselektronischen Geräten für die Versorgung und das Schützen von DC-Netzen in Produktionszellen sowie Methoden für deren robuste Betriebsführung gelegt. Das Nachfolgeprojekt DC-INDUSTRIE 2 baut auf den Ergebnissen auf und will das iDC-Netz zu einem intelligenten Gleichstromnetz für eine Produktionshalle oder eine prozesstechnische Großanlage ausweiten. Sicher, robust, hochverfügbar und netzdienlich sollen die Kerneigenschaften des Systems sein. Es soll eine netzdienliche Anbindung an das übergeordnete Versorgungsnetz bei fluktuierender Stromerzeugung und

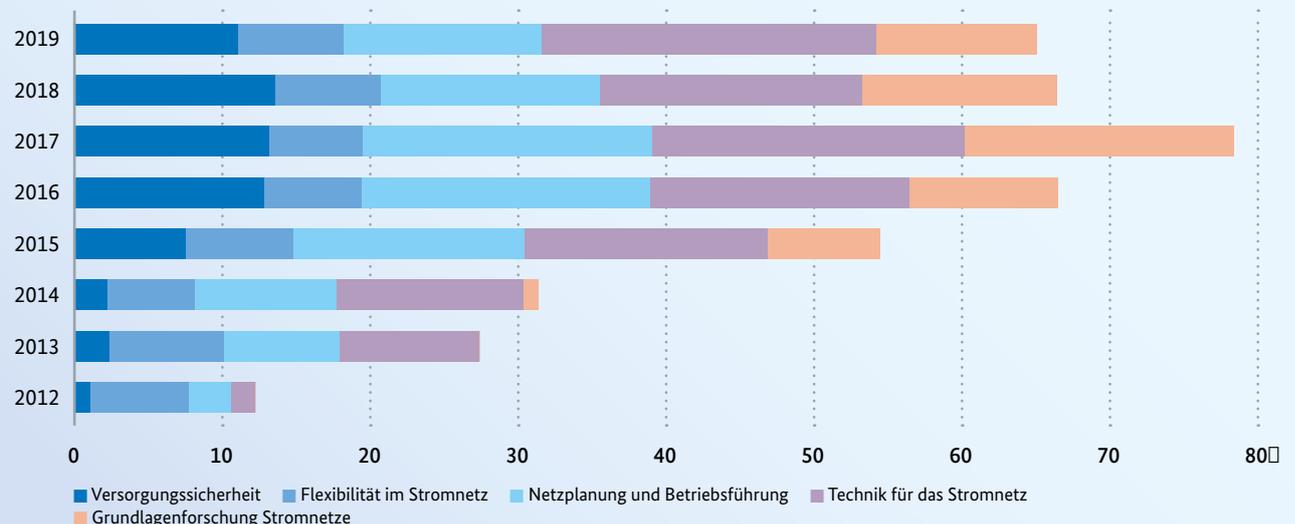


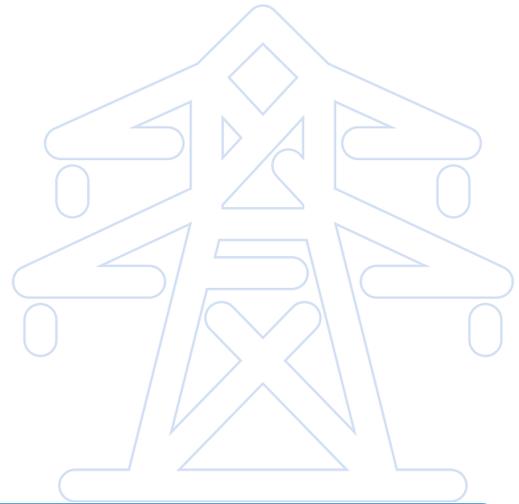
Zwei mit Gleichstrom betriebene Industrieroboter auf dem Stand DC-INDUSTRIE auf der Hannover Messe 2019

gleichzeitig maximaler Nutzung dezentraler erneuerbarer Energieerzeugung ermöglichen. Zudem soll das iDC-Netz durch kognitive Algorithmen die Verfügbarkeit der Komponenten sicherstellen.

Zuwendungsempfänger: DC-Industrie: Siemens und 13 weitere Verbundpartner; DC-Industrie 2: Eaton Industries und 17 weitere Verbundpartner
Förderkennzeichen: 03ET7558A-N und 03EI6002A-Q
Fördermittelansatz: 6,3 Millionen Euro (DC-Industrie) und 7,5 Millionen Euro (DC-Industrie 2)
Projektlaufzeit: 2016 – 2019 (DC-Industrie) und 2019 – 2022 (DC-Industrie 2)

Abbildung 13: Fördermittel für Netze in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 76)





PROJEKTSTECKBRIEF

Multi-Megawatt-Labor – Forschungszentrum für Leistungselektronik

Entwicklung eines Niederspannungslabors für Komponenten zur Netzintegration erneuerbarer Energien und dezentraler Speicher und eines Mittelspannungslabors für Einspeise-Komponenten für AC- und DC-Mittelspannungsnetze

Im künftigen Energiesystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien im Stromnetz ist Leistungselektronik eine Schlüsseltechnologie. Für eine sichere und stabile Netzregelung sind neuartige Komponenten und Funktionen notwendig. Ein Wissenschaftsteam des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE hat daher in Freiburg ein Zentrum für Leistungselektronik und zukunftsfähige Netze mit einer innovativen Forschungsinfrastruktur aufgebaut. Es besteht aus drei Laboren und widmet sich der Entwicklung von Leistungselektronik sowie regelungs- und energietechnischen Fragestellungen. Innerhalb des vom BMWi geförderten Vorhabens »Niederspannungslabor« haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein Leistungselektroniklabor für das Erforschen von Komponenten für die Netzintegration erneuerbarer Energien und dezentraler Speicher entwickelt. In einem weiteren vom BMWi unterstützten Projekt hat das Fraunhofer ISE ein Mittelspannungslabor aufgebaut, in dem künftig Komponenten für das Einspeisen von Strom in AC- und DC-Mittelspannungsnetze entstehen. Das dritte Labor, das mit Förderung des BMBF aufgebaut wurde, ermöglicht die Durchführung von Versuchen zum Verhalten großer dezentraler Anlagen,



Multi-Megawatt-Labor am Zentrum für Leistungselektronik und nachhaltige Netze

wie PV-/Windkraftwerke, sowie großer Batteriespeicher oder Blockheizkraftwerke im Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetz.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Förderkennzeichen: 0325598 (Niederspannungslabor) und 03ET7515 (MS-Labor – Multi-Megawatt-Labor), 03SF0448 (Hochspannungsversorgung)

Fördermittelansatz: 3,4 Millionen Euro (Niederspannungslabor), 3,1 Millionen Euro (MS-Labor – Multi-Megawatt-Labor) und 3,6 Millionen Euro (Hochspannungsversorgung)

Projektlaufzeit: 2013–2019 (Niederspannungslabor) und 2013–2019 (MS-Labor – Multi-Megawatt-Labor) und 2012–2013 (Hochspannungsversorgung)

PROJEKTSTECKBRIEF

Kopernikus-Projekt ENSURE

Ganzheitlicher, systemischer Ansatz zur Ausgestaltung einer zuverlässigen, nachhaltigen und bezahlbaren Energieversorgung unter Berücksichtigung aller relevanten Energieträger

Das vom BMBF geförderte Kopernikus-Projekt ENSURE erforscht eine umfassende Optimierung für ein künftig auf erneuerbaren Energien basierendes Energiesystem unter Berücksichtigung aller relevanten Energieträger. Das Projekt will klären, wie zentrale und dezentrale Energieversorgungselemente im Gesamtsystem ausgestaltet sein müssen, um eine zuverlässige Energieversorgung unter Berücksichtigung technischer, ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Aspekte zu gewährleisten. In der ersten Förderphase hat ENSURE die sozioökonomischen Rahmenbedingungen und gesellschaftlich akzeptablen Transformationspfade für einen solchen Netzbau erforscht. Die Ergebnisse bildeten die Basis für die Ausarbeitung möglicher Systemstrukturen eines zukünftigen Energienetzes. Die diversen Systemszenarien wurden anschließend in einer Systemstudie verglichen. Für die technische Umsetzung erarbeitete das Konsortium ein ganzheitliches Konzept für die Systemführung, das



ENSURE entwickelt zuverlässige Stromnetze für die nachhaltige Energieversorgung von morgen.

auch die Entwicklung von intelligenten Netzbetriebsmitteln einschloss. In den nächsten Phasen soll die Praxistauglichkeit des entwickelten Konzepts einer breiteren Öffentlichkeit vorgestellt werden. ENSURE hat deshalb damit begonnen, den Netzdemonstrator „Energiekosmos ENSURE“ vorzubereiten.

Zuwendungsempfänger: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und 22 weitere Verbundpartner
Förderkennzeichen: 03SFK1A-03SFK1X0
Fördermittelansatz: 29,7 Millionen Euro
Projektlaufzeit: 2016 – 2019

2.3.2 Stromspeicher

Flexibilität ist eine der wichtigsten Eigenschaften eines Energieversorgungssystems mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien. Stromspeicher bilden dabei eine entscheidende Schnittstelle, da sie wetter- und tageszeitbedingte Schwankungen im Einspeiseverhalten von Solar- oder Windkraftanlagen im Netz abfangen können, indem sie Überschüsse zwischenspeichern und zu Zeiten mit niedriger Einspeisung oder erhöhtem Bedarf den Strom wieder abgeben. Außerdem wirken sie stabilisierend auf die Netzfrequenz. Darüber hinaus können sie künftig Systemdienstleistungen erbringen, die in alle Versorgungsbereiche hineinreichen, von der Elektromobilität bis hin zu privaten und gewerblichen Gebäuden, Quartieren oder industriellen Anwendungen. Um Speicher leistungsfähiger und kosteneffizienter zu gestalten, ist weiterhin Forschung und Entwicklung entlang der gesamten Wertschöpfungskette vonnöten.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die technologische Bandbreite der anwendungsnahen Projektförderung des BMWi bei Energiespeichern umfasst elektrochemische Speicher (Batterien, inklusive Redox-Flow-Batterien), SuperCaps (elektrische Speicher), mechanische Speicher (Druckluft und -gas, Pump- sowie Schwunghmassenspeicher) und Hochtemperatur-Wärmespeicher für die Stromspeicherung (Carnot-Batterien). Ein zentraler Aspekt bei der Weiterentwicklung ist die Digitalisierung, insbesondere im Hinblick auf das Vernetzen und Verknüpfen der Speicher mit Infrastrukturen. Trotz großer Fortschritte besteht außerdem weiterhin umfangreicher Forschungsbedarf bei Materialien und Komponenten, Fertigung, Standardisierung, Betrieb sowie Lebenszyklus und zirkulärem Wirtschaften von Stromspeichern. Das BMWi unterstützt mit seiner Förderung nicht nur wissenschaftliche Arbeiten, die

sich mit den verschiedenen Elementen der Speicheranlagen selbst beschäftigen, sondern bezieht auch die Peripherie mit ein. Von Detailfragen zur Zellchemie bis hin zu großen Demonstrationsprojekten, Pilotanlagen, Feldtests und Reallaboren der Energiewende (siehe Kapitel 1.2.4) deckt das Ministerium die gesamte Entwicklungskette ab.

Die Digitalisierung ist auch bei der Forschung zu Speichern ein zentraler Aspekt, indem sie dazu beitragen kann, die Fahr- und Betriebsweise im Stromnetz zu optimieren. Dies hat das BMWi mit einem Förderaufruf im Januar 2019 zu Innovation durch Digitalisierung im Energiesystem speziell in den Fokus gerückt. Das Ministerium adressiert auch die sozio-ökonomische Dimension von Energiespeichern. Im April 2019 hat das BMWi hierzu einen Förderaufruf zum gesellschaftlichen Wandel durch und in der Energiewende veröffentlicht (siehe Kapitel 2.4.5).

Die Projektförderung des BMBF in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung adressiert die Zellchemie und innovative Batteriekonzepte sowie neuartige Flussbatterien. Es geht um Ideen und Konzepte, die

über die aktuell etablierte Lithium-Ionen-Technologie hinausgehen, wie beispielsweise Festkörperbatterien, sowie um andere, potenziell kostengünstigere und gleichzeitig umweltfreundliche Aktivmaterialien. Dabei nutzt das BMBF auch die Synergien bilateraler Zusammenarbeit, wie beispielsweise in der deutsch-französischen Förderinitiative zur Nachhaltigen Energieversorgung Europas (siehe Kapitel 1.3). Im Jahr 2019 wurde darüber hinaus ein Pilotwettbewerb für Sprunginnovationen zum Thema „Weltspeicher“ ausgeschrieben. Ziel ist eine besonders kostengünstige Speichertechnologie, die weltweit an dezentralen Anlagen für erneuerbaren Strom einsetzbar ist („Hausenergiespeicher“).

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiespeicher haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2019 201 laufende Vorhaben mit rund 21,43 Millionen Euro gefördert. 2019 haben die Ministerien zudem 57 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 28,17 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 14).

PROJEKTSTECKBRIEF

Future Energy Solutions (FES) – Entwicklung eines kostengünstigen Massenenergiespeichers für die erneuerbaren Energien

Power-to-Heat-to-Power für das Speichern von Strom aus erneuerbaren Energien mithilfe von Vulkangestein

Das Projektteam von „Future Energy Solutions“ verfolgt das Ziel, den Anteil erneuerbarer Energien durch eine effektive Wärmespeichertechnologie zu optimieren und zu steigern. Die von den Forscherinnen und Forschern entwickelte Versuchsanlage ist 2019 in Hamburg in Betrieb gegangen und kann rund 130 Megawattstunden thermische Energie bis zu einer Woche vorhalten. Im nächsten Schritt geht es nun darum, das Verfahren technisch und wirtschaftlich so zu verbessern, dass schlussendlich Kapazitäten im Gigawattstundenbereich erreicht werden. Der elektrothermische Speicher lagert überschüssige Energie, indem er Strom aus Windkraftanlagen zu Wärme wandelt und bei Bedarf wieder zu Strom transformiert (Power-to-Heat-to-Power). Der Versuchsspeicher in Hamburg fasst rund 1.000 Tonnen Vulkangestein. Eine Widerstandsheizung erhitzt Luft



auf bis zu 750 Grad Celsius. Die heiße Luft überträgt die Wärme auf die Steine des kostengünstigen und umweltfreundlichen Feststoff-Wärmespeichers. Rückverstromt wird über einen dynamischen Wasser-Dampf-Kreislauf. Neben der technologischen Entwicklung untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Konsortiums die Integration des Speichersystems in den Strommarkt sowie verschiedene mögliche Marktdesigns und Vermarktungsszenarien.

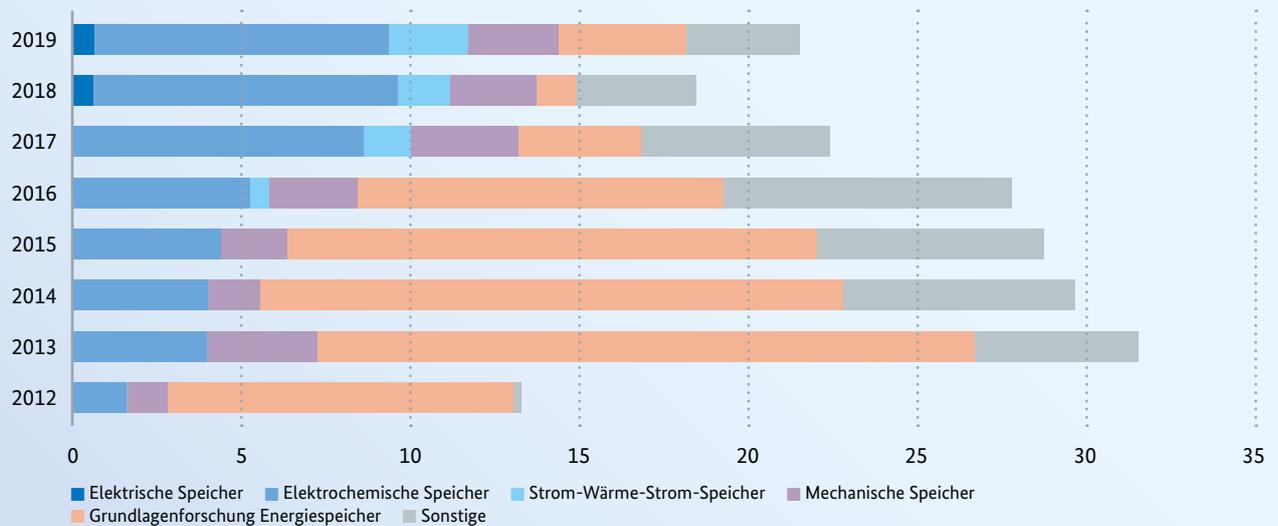
Zuwendungsempfänger: Siemens Gamesa Renewable Energy und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ET6072A-C

Fördermittelansatz: 10,7 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2016 – 2021

Abbildung 14: Fördermittel für Speicher in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 76)



PROJEKTSTECKBRIEF

Extrusionsplatte – Neuartige großflächige Bipolarplatten im Extrusionsverfahren für Redox-Flow-Batterien

Entwicklung eines kostengünstigen Herstellungsverfahrens für Bipolarplatten in m²-Format für Vanadium-Redox-Flow-Batterien (VRFB)

Die Kernkomponente von Redox-Flow-Batterien ist die Bipolarplatte. Mehrere Platten werden zu sogenannten Stacks (Stapeln) verbunden. Bislang waren sie teuer und aufwändig in der Fertigung und verfügten durchschnittlich nur über eine aktive Fläche von der Größe eines DIN-A4-Papiers. Ziel des Projekts war es daher, ein neues, kostengünstiges Herstellungsverfahren zu entwickeln und zudem die industrielle Nutzung und Speicherleistungen im zwei- bis dreistelligen Megawatt-Bereich zu erreichen. Hierbei hat sich das Projektteam der Aufgabe gestellt, die bisherige aktive Fläche der Platten auf über einen Quadratmeter (1,2 Quadratmeter) auszuweiten. Die besondere Herausforderung dabei war, dass die Komponente mechanisch stabil und gasdicht bleibt und so trotz der veränderten Größe weiterhin die Anforderungen an die elektrische Leitfähigkeit erfüllt. Dafür haben die Verbundpartner auf eine substantiell erneuerte Fertigungstechnik über ein Extrusionsverfahren mit einer Plattenbreite von bis zu 1.200 mm



Durch die Fertigung im Extrusionsverfahren sollen Bipolarplatten mit einer Breite von 1.200 Millimetern kostengünstiger werden.

gesetzt: Angefangen bei der Compoundmaterial-Entwicklung und der Charakterisierung über den Prozess für die Plattenextrusion bis hin zum Aufbau und Test der neuen Bipolarplatten in Redox-Flow-Batterien konnten wesentliche Fortschritte für die Industrialisierung dieser Energiespeicher-Technologie erreicht werden.

Zuwendungsempfänger: Eisenhuth GmbH & Co. KG und drei weitere Verbundpartner
Förderkennzeichen: 03ET6050A-E
Fördermittelansatz: 3,6 Millionen Euro
Projektlaufzeit: 2015 – 2019

2.3.3 Sektorkopplung und Wasserstoff

Die Sektorkopplung umfasst Technologien, mit denen Strom aus regenerativen Quellen für den Wärme- oder Verkehrssektor sowie für die Industrie nutzbar gemacht wird. Auf lange Sicht ist dies neben Energieeffizienz eine zentrale Option, um fossile Energieträger in allen Sektoren zu ersetzen und den CO₂-Ausstoß dauerhaft zu reduzieren. Durch effiziente Vernetzung der Energieinfrastrukturen für Strom, Gas, Wärme und Kraftstoffe lässt sich zudem der Energieverbrauch insgesamt reduzieren. Darüber hinaus sollen Sektorkopplungstechnologien den Anteil erneuerbaren Stroms im Energiesystem insgesamt erhöhen und zusätzliche Flexibilitätsoptionen für den Strommarkt bereitstellen.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Am effizientesten ist der direkte Einsatz von erneuerbarem Strom in allen Verwendungssektoren. Daneben haben auch die sogenannten Power-to-X-Technologien, bei denen Strom aus erneuerbaren Energiequellen in Gase, Flüssigkeiten oder Wärme umgewandelt wird, eine wachsende Bedeutung. Besonderer Förderbedarf besteht bei solchen Technologien, die auf Wasserstoff als Energieträger setzen: Im Elektrolyseverfahren lässt sich Wasser mittels elektrischem Strom in Sauerstoff und Wasserstoff aufspalten. Letzterer wird aufgefangen und weiterverarbeitet, zum Beispiel zu strombasierten Kraftstoffen für Flugzeuge, Schiffe und große Transportfahrzeuge. Als hochreaktiver Energieträger findet Wasserstoff in seiner Reinform als wichtiger Rohstoff in der chemischen Industrie Verwendung. Entsprechend wichtig ist daher die Erforschung und Optimierung von Elektrolyseanlagen, aber auch alternativer Ansätze wie biochemischer oder solarer Verfahren. Zudem braucht es innovative und sichere Konzepte für Speicherung, Transport und Anwendung des hochreaktiven Gases und dessen Produkte. Konzepte zur Wiederverstromung oder auch intelligente Fertigungstechnologien von Anlagenkomponenten sind wichtige Themen.

Anwendungsorientierte Grundlagenforschung ist auf allen oben genannten Gebieten notwendig, um kosteneffiziente, flexible und langlebige Anlagen zu ermöglichen. Dies sind beispielsweise besonders effiziente Hochtemperatur-Elektrolyseure mit gleichzeitiger CO₂-Umsetzung, flüssige Wasserstoff-Träger, edelmetallarme Katalysatoren oder die Umsetzung von Gasen aus Industrieprozessen in cross-industriellen Netzwerken. Themen der Sektorkopplung ziehen sich daher durch nahezu alle Initiativen des BMBF. Hervorzuheben sind insbesondere die Kopernikus-Projekte (siehe Kapitel 1.2.4), CO₂-Technologien (siehe Kapitel 2.4.4), Materialforschung für die Energiewende (siehe Kapitel 2.4.6) sowie internationale Kooperationen (siehe Kapitel 1.3).

Projektförderung

Im Schwerpunkt Sektorkopplung haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2019 272 laufende Vorhaben mit rund 40,82 Millionen Euro gefördert. 2019 haben die Ministerien zudem 81 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 96,95 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 15).

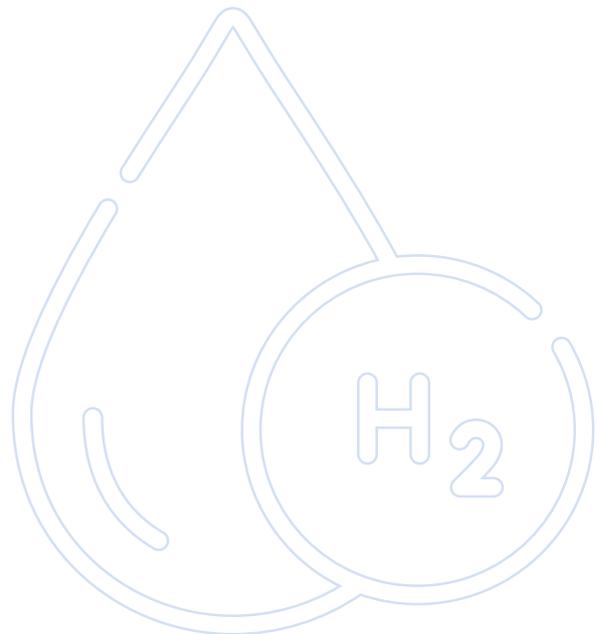
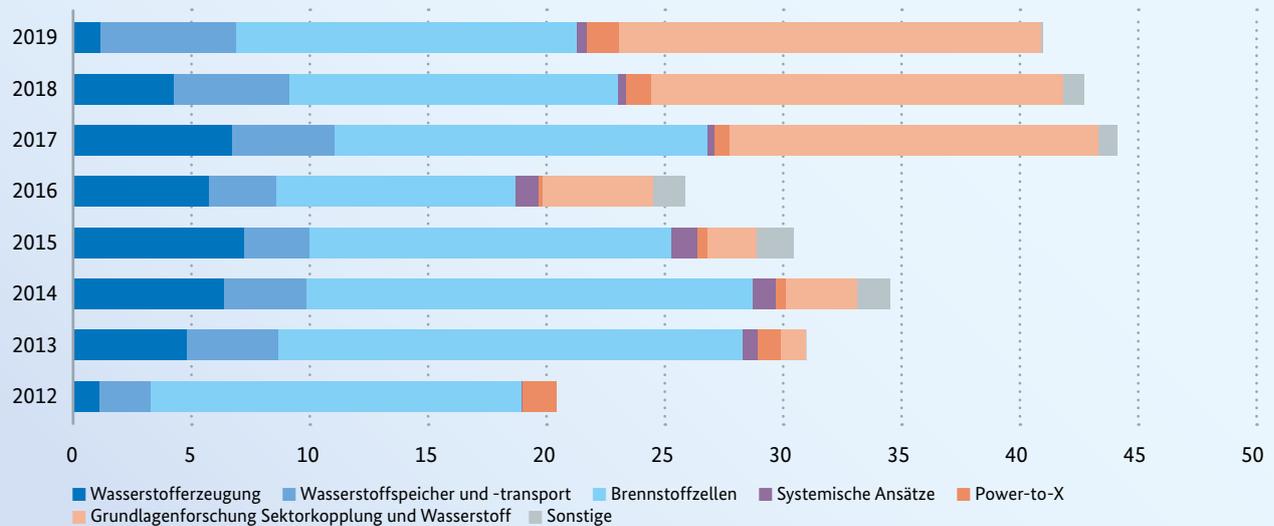


Abbildung 15: Fördermittel für Brennstoffzellen und Wasserstoff in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 4, Seite 76)



PROJEKTSTECKBRIEF

Kopernikus-Projekt P2X

Das Projekt entwickelt Technologien, um aus Strom, Wasser und Kohlenstoffdioxid stoffliche Energieträger und Chemikalien zu erzeugen.

In den drei Jahren der ersten Phase des vom BMBF geförderten Projekts konnten die Forscher signifikante Fortschritte erzielen: So ist es gelungen, die PEM-Elektrolyse zur Wasserstoffherstellung deutlich kosteneffizienter zu machen. Der dafür notwendige Katalysator enthält das seltene und teure Element Iridium, dessen Menge bei gleichbleibender Performance auf ein Zehntel verringert werden konnte.

In einem weiteren Forschungsstrang wurde die gleichzeitige Herstellung von Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid über die Hochtemperatur-Ko-Elektrolyse von Wasser und Kohlenstoffdioxid weiterentwickelt. Die Forscher können nun das Verhältnis der Elektrolyse-Produkte so anpassen, dass nachfolgende Prozesse zur Herstellung von Chemikalien optimal ablaufen. Als Ergebnis konnte im November 2019 eine modulare Power-to-X-Anlage in Betrieb genommen werden. In dieser wird weltweit erstmalig aus Strom, Luft-CO₂ und Wasser grüner Kraftstoff hergestellt.

Zum Transport von Wasserstoff wurden flüssige Trägerstoffe (LOHC) untersucht. LOHC können Wasser-



Das Forscherteam hat die Umwandlung von CO₂, Wasser und erneuerbarem Strom in Gase, Kraftstoffe, Chemikalien und Kunststoffe erforscht.

stoff chemisch binden und wieder abgeben. Ein wichtiges Ergebnis ist die Entwicklung eines neuen, kosteneffizienten Katalysators für die Abspaltung von Wasserstoff. Schließlich konnten neue Herstellungsrouten für den Diesel-Ersatzstoff Oxymethylenether (OME) erarbeitet werden.

Begleitend und übergreifend wurde die P2X-Roadmap 2.0 veröffentlicht. Im September 2019 startete nahtlos die zweite Phase des Vorhabens.

Zuwendungsempfänger: RWTH Aachen und 41 weitere Verbundpartner
Förderkennzeichen: 03SFK2A-X0
Fördermittelansatz: 32,4 Millionen Euro
Projektlaufzeit: 2016–2019

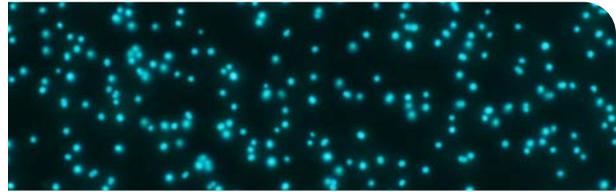
PROJEKTSTECKBRIEF

ORBIT – Optimierung eines Rieselbett-Bioreaktors für die dynamische mikrobielle Biosynthese von Methan mit Archaeen in Power-to-Gas-Anlagen

Mikroorganismen wandeln Kohlenstoffdioxid mit regenerativ erzeugtem H₂ in „grünes“ Methan

Im Projekt ORBIT erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Herstellung von Methan aus „grünem“ Wasserstoff und CO₂. Grundlage ist das Power-to-Gas-Konzept, bei dem zum Beispiel Windstrom für die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff verwendet wird. Mit CO₂ aus der Atmosphäre zu Methan weiterverarbeitet, kann das Gas dann als klimaneutraler Energieträger und Rohstoff genutzt werden.

Fokus des Vorhabens ist die Entwicklung und Erprobung eines Rieselbettreaktors zur biologischen Methanisierung. Katalysator bei dieser Biosynthese sind Archaeen, einzellige Mikroorganismen, die über einen besonderen Stoffwechsel verfügen und unter extremsten Bedingungen gedeihen. Die in ORBIT eingesetzten Archaeen nehmen Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff



Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme von Methanproduzierenden Archaeen

als Nahrung auf und scheiden Methan als „Abfallprodukt“ aus. Nach Aufbau in Nürnberg und zwölfmonatiger Testphase in Regensburg soll die Anlage in Ibbenbüren in Nordrhein-Westfalen grünes Methan in das Erdgasnetz einspeisen. Hervorzuheben ist das Durchlaufen der Technologiereifegrade von der Grundlagenforschung in der Biologie bis hin zur Anwendung im realen Betrieb eines Netzbetreibers. Aus dem Projekt heraus wurde die neue Norm VDI 4635 „Power-to-X“ initiiert.

Zuwendungsempfänger: OTH Regensburg und fünf weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ET6125A-F

Fördermittelansatz: rund 996.000 Euro

Projektlaufzeit: 2017 – 2020

innoKA – Materialinnovationen für die Polymerelektrolytbrennstoffzelle

Im Brennstoffzellen-Forschungsprojekt innoKA wollen Forscher bessere Katalysatoren entwickeln und den Platineinsatz reduzieren.

Platin ist ein geeigneter Katalysator in Brennstoffzellen – aber selten, entsprechend teuer und sein Abbau nur bedingt umweltfreundlich. Deshalb kommt die Kathode der Polymerelektrolytbrennstoffzelle (kurz PEM) des Projekts innoKA mit deutlich weniger Edelmetall aus. Weiter arbeiten die Forscher unter Federführung des Lehrstuhls für Technische Elektrochemie an der Technischen Universität München an einer längeren Lebensdauer und geringeren Materialkosten der Katalysatoren der PEM. Geeignete Materialien erforscht die Zentraleinrichtung Elektronenmikroskopie der Technischen Universität Berlin. Die Mikroskope ermöglichen die Strukturuntersuchungen einzelner Nanopartikel: So lässt sich das Verhalten der Materialien genau überwachen. Der am Projekt beteiligte Membran-Hersteller Greenerity will die geeignetsten Materialien so vorbereiten, dass sie



Das Forscherteam diskutiert eine Messung am Brennstoffzellen-Teststand.

auch bei einer Skalierung des Herstellungsprozesses zum Einsatz kommen können. Dazu wird etwa getestet, wie sie sich für den Einsatz in einem Brennstoffzellenfahrzeug eignen.

Zuwendungsempfänger: Technische Universität München und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03ET6096A-E

Fördermittelansatz: 1,8 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2017 – 2020

2.4 Systemübergreifende Forschungsthemen

2.4.1 Energiesystemanalyse

Energiesystemanalyse liefert Modelle, die Prozesse, Sektoren und das Energiesystem als Ganzes quantitativ abbilden, und zeigt Entwicklungspfade, begünstigende sowie hemmende Faktoren auf. Damit schafft sie wichtiges Orientierungswissen, wissenschaftlich fundierte Entscheidungshilfen und Handlungsoptionen für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Durch sie können Entscheidungsträger die Wirkung von Energie- und Effizienztechnologien und Markteingriffen umfassend beurteilen. Somit ist die stete Neu- und Weiterentwicklung systemanalytischer Werkzeuge, Methoden und Datenbasen ein zentraler Baustein der Energieforschungspolitik.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

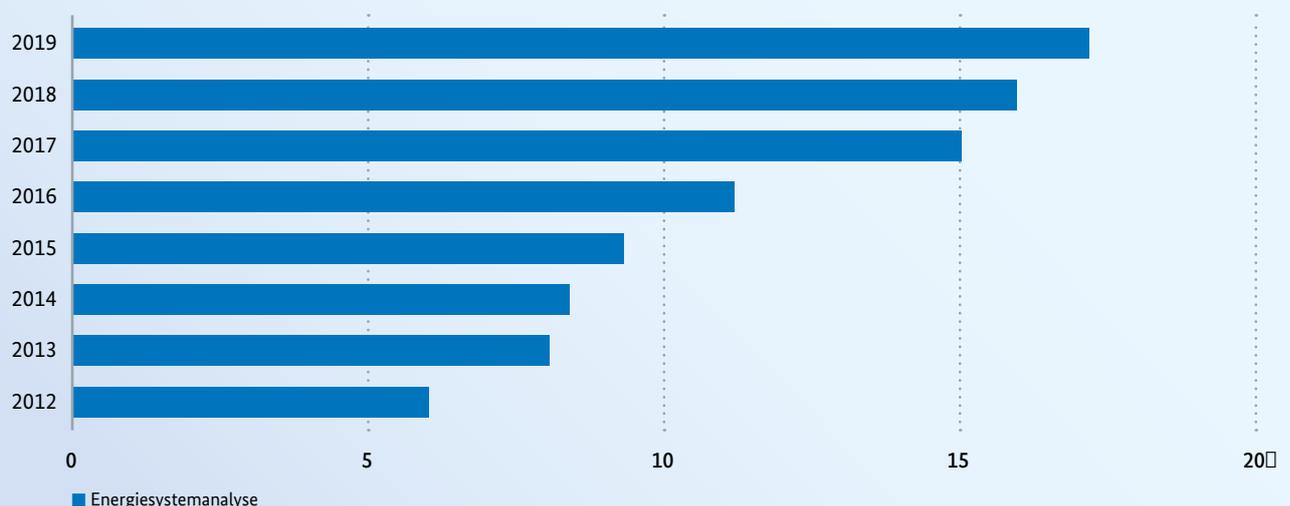
Die Vielzahl möglicher Modelle und Betrachtungsschwerpunkte in einem immer komplexer werdenen Energiesystem erfordert eine kontinuierliche Methodenentwicklung, die insbesondere standardisierte Schnittstellen für das Koppeln und Vergleichen

verschiedener Modelle erlaubt. Aber auch intersektorale Ansätze, die den Wärme- und Verkehrsbereich noch besser in die Systemmodellierung integrieren, sind gefragt. Ein weiterer wichtiger Forschungsschwerpunkt sind Validierungsmethoden für Modelle. Strategien für Open Source, Open Data und Open Access sollen zudem die Transparenz und Vergleichbarkeit steigern. Diese soll den Transfer der wissenschaftlichen Ergebnisse in die energiewirtschaftliche Praxis erleichtern. Darüber hinaus legt das BMWi einen Fokus auf das Einbeziehen europäischer und internationaler Einflussfaktoren in die Modelle.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiesystemanalyse hat das BMWi im Jahr 2019 233 laufende Vorhaben mit rund 17,16 Millionen Euro gefördert. 2019 hat das Ministerium zudem 60 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 24,75 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 16).

Abbildung 16: Fördermittel für Systemanalyse in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 77)



PROJEKTSTECKBRIEF

FlexEuro – Wirtschaftliche Optimierung flexibler stromintensiver Industrieprozesse

Entwicklung von Methoden und Prototypen, die bei der Vermarktung von Flexibilität im Stromverbrauch unterstützen

Flexibilität ist eine zentrale Eigenschaft des Energiesystems der Zukunft, da dieses von schwankenden Einspeisevolumina bestimmt wird. Somit wird gerade die Nachfrageseite zu einem wichtigen Erfolgsfaktor, um die Netzstabilität zu erhalten. Insbesondere stromintensive Industrieprozesse bieten dabei ein hohes Flexibilitätspotenzial. Das Projektteam von FlexEuro entwickelt daher Entscheidungsgrundlagen, um diese Flexibilität beim Stromverbrauch vermarkten zu können. Als Anwendungsfall dient den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ein Aluminiumelektrolyseprozess mit einer flexiblen Leistung von 22 Megawatt (in positiver und negativer Richtung). Diesen wollen sie nutzen, um die Kosten für das Bereitstellen der Energie für den Gesamtprozess zu minimieren. Die Projektpartner erarbeiten quantitative finanzmathematische Modelle und Algorithmen für das wirtschaftliche Optimieren variabler Stromverbraucher. Ihr Schwerpunkt liegt auf kurzfristigen Vermarktungsoptionen für Flexibilität. Am Ende sollen konkrete Ergebnisse für die



Gerade stromintensive Industrieprozesse, wie die Aluminiumherstellung, bieten Chancen für eine Flexibilisierung des Energieverbrauchs.

Praxis stehen, wie Marktmodellierungen für die Angebotsabgabe am Regelenergiemarkt, Preisprognosen für Day-Ahead-Auktionen oder Handlungsempfehlungen für den Intraday-Markt. Die entwickelten Modelle und Methoden durchlaufen anschließend als Software-Prototypen einen Anwendungstest bei dem am Projekt beteiligten Aluminiumhersteller.

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03EI1003A-D

Fördermittelansatz: 1,7 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2019–2022

2.4.2 Digitalisierung der Energiewende

Rasante technische Fortschritte im Bereich digitaler Technologien bewirken Änderungen in fast allen Lebensbereichen. Eine Entwicklung, die zu Recht als digitale Revolution bezeichnet wird. Das wirkt sich auch auf das Energiesystem aus. Smart Grids, smarte Quartiere, smarte Fabriken, intelligente Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sind Schlüsselkomponenten für eine moderne, zukunftsfähige Energieinfrastruktur. Digitalisierung ist daher ein Querschnittsthema, das in allen Bereichen der Energieforschung mitberücksichtigt wird. Darüber hinaus ergeben sich auch systemübergreifende Effekte, die sich nicht auf einzelne Technologiebereiche reduzieren lassen. Digitalisierung kann einen Beitrag zur Steigerung der Effizienz der Energiewende leisten, jedoch müssen die verbundenen Energie- und Ressourcenverbräuche in die Bewertung einbezogen und ständig weiter optimiert werden. Um die sich daraus ergebenden Forschungsfragen zu beantworten, hat

das BMWi im Dezember 2018 einen Förderaufruf „Digitalisierung der Energiewende“ gestartet. Aus den eingereichten Vorschlägen hat das Ministerium acht Verbünde (36 Projekte) für eine Förderung ausgewählt. Fünf Verbünde (22 Projekte) haben noch 2019 die Arbeit aufgenommen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Digitalisierung der Energiewende hat das BMWi im Jahr 2019 13 laufende Vorhaben gefördert. 2019 hat das Ministerium zudem 22 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 9,62 Millionen Euro neu bewilligt.

2.4.3 Ressourceneffizienz für die Energiewende

Das Modell des zirkulären Wirtschaftens sieht vor, den Wert von Produkten, Stoffen und Ressourcen innerhalb der Wirtschaft so lange wie möglich zu erhalten und möglichst wenig Abfall und Emissionen zu erzeugen. Die Energieforschung trägt schon lange zur Verwirklichung dieses Ziels im Energiebereich bei, beispielsweise durch eine verbesserte Recyclingfähigkeit von PV-Modulen oder Batterien. Mit dem 7. Energieforschungsprogramm sind Ressourceneffizienz und zirkuläres Wirtschaften Teil der Förderschwerpunkte der Bundesregierung. Bei der Auswahl von Projekten achten die beteiligten Bundesministerien deshalb verstärkt darauf, dass Antragsteller Aspekte der Ressourceneffizienz sinnvoll berücksichtigen.

2.4.4 CO₂-Technologien

In industriellen Prozessen, in denen Kohlendioxid als Abfallprodukt nur schwer vermeidbar ist, kann es abgetrennt werden. Ein zentraler Ansatz der Forschung zu CO₂-Technologien ist es, CO₂ als neuen Ausgangsstoff zu nutzen, um es wiederum in weiteren Prozessen einzusetzen oder daraus neue, möglichst langlebige Produkte herzustellen. Industrielle Prozesse lassen sich so weitgehend klimaneutral gestalten.

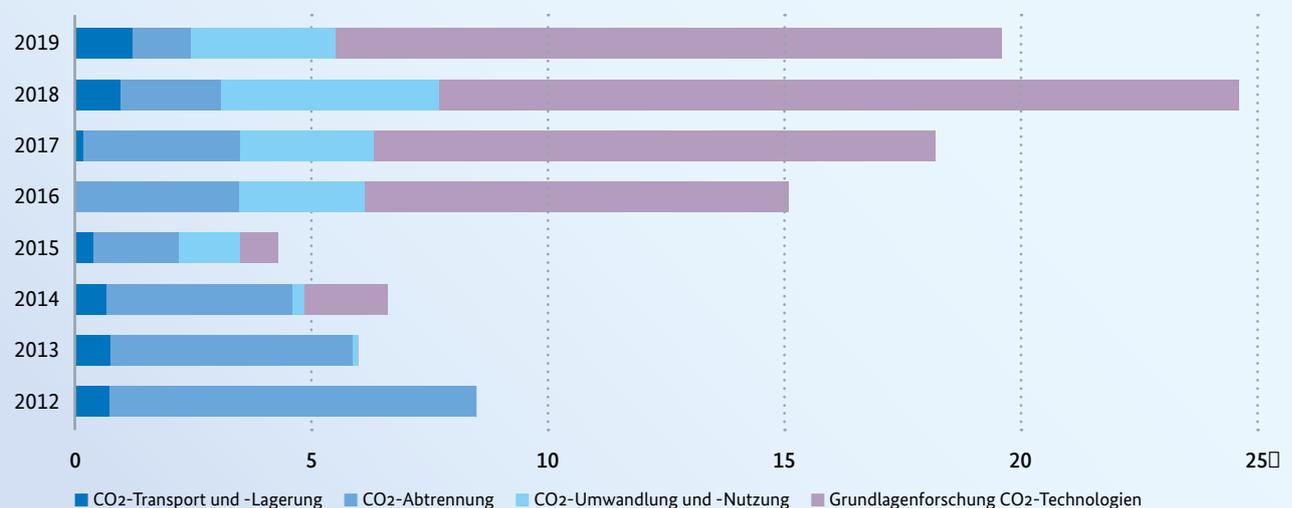
Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Zentral für diesen durch BMWi und BMBF geförderten Forschungsbereich ist CCUS, kurz für „Carbon Capture, Utilization and Storage“. Das beschreibt alle Ansätze, CO₂ abzuscheiden und im Anschluss zu verwenden oder zu speichern. Es existieren schon verschiedene Verfahren zum Abtrennen beziehungsweise Auswaschen von CO₂ aus Abgasen. Das BMWi fördert Projekte, um diese effizienter und wirtschaftlicher zu machen. Ein weiterer möglicher Forschungsansatz ist es, das klimaschädliche Gas dauerhaft aus der Atmosphäre zu holen – durch Technik oder Biomasse. Nicht zuletzt sollen Forschung und Entwicklung dazu beitragen, eine funktionierende Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft zu etablieren. Hier wird CO₂ wiederverwertet und nicht in die Atmosphäre emittiert. Ein Beispiel ist das BMBF-Projekt Carbon2Chem. Hier werden die bei der Stahlherstellung anfallenden Hüttengase als chemische Rohstoffe genutzt.

Projektförderung

Im Schwerpunkt CO₂-Technologien haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2019 73 laufende Vorhaben mit rund 19,57 Millionen Euro gefördert. 2019 haben die Ministerien zudem 22 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 9,83 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 17).

Abbildung 17: Fördermittel für CO₂-Technologien in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 77)



PROJEKTSTECKBRIEF

Carbon2Chem

CO₂-Reduzierung durch cross-industrielle Kooperation der Stahl-, Chemie- und Energiebranche

Das BMBF-Projekt Carbon2Chem erforscht, wie die bei der Stahlproduktion anfallenden Hüttengase für die Herstellung von Grundchemikalien, Kunststoffen oder Düngemitteln genutzt werden können. Auf diese Weise sollen bis zu 20 Millionen Tonnen der von der deutschen Stahlindustrie verursachten CO₂-Emissionen einer stofflichen Nutzung zugeführt werden können. Stahlwerk, Chemieanlagen und die Anlagen zur Bereitstellung von Energie sind dazu zu einem optimierten cross-industriellen Verbund zusammengeschlossen.

Nachdem das Carbon2Chem-Technikum am Standort des Stahlwerks in Duisburg bereits 2018 den Betrieb aufgenommen hat, wurde 2019 auch das Carbon2Chem-Labor in Oberhausen fertiggestellt. Das Technikum wird mit Hüttengasen aus dem Stahlwerk versorgt. So können verschiedene Prozessrouten unter realen Bedingungen untersucht und optimiert werden. Im Carbon2Chem-Labor können dieselben Prozesse unter definierten Laborbedingungen analysiert werden.

In der Mitte 2020 auslaufenden ersten Projektphase wurden entscheidende Ergebnisse erzielt. Es wurde ein flexibel fahrbarer 2-Megawatt-Elektrolyseur etabliert, der den erforderlichen Wasserstoff bereitstellt. Ebenso erfolgreich verläuft die Reinigung der Hüttengase für nachfolgende chemische Prozessschritte. Für die Pro-



Bundesforschungsministerin Karliczek und Vertreter von thyssenkrupp vor der Gasreinigungsanlage im Carbon2Chem-Technikum in Duisburg

dukt routen konnten Katalyse-Verfahren optimiert werden. Es wird eine zweite Förderphase vorbereitet, die die Validierung der Prozesse in Demonstrationsanlagen vorsieht.

Zuwendungsempfänger: thyssenkrupp, Max-Planck-Gesellschaft (MPG), Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung (FhG) und 14 weitere Verbundpartner in sieben Projektverbänden L0-L6
Förderkennzeichen: 03EK3037A-D, 03EK3038A-B, 03EK3039A-F, 03EK3040A-F, 03EK3041A-E, 03EK3042A-C, 03EK3043A-F
Fördermittelansatz: 62,7 Millionen Euro
Projektlaufzeit: 2016 – 2020



PROJEKTSTECKBRIEF

ACT ALIGN-CCUS – Beschleunigung des Wachstums CO₂-armer Technologien durch CCUS

Sechs europäische Industrieregionen wollen ihre CO₂-Produktion senken, indem sie CO₂ abtrennen, speichern oder daraus neue Produkte herstellen.

Die Arbeiten der deutschen Projektpartner konzentrieren sich darauf, wie CO₂ abgetrennt und als Wertstoff wiederverwendet werden kann. In welcher Form Industrieverbände dafür zusammenarbeiten können und wie die Akzeptanz dieser Technologien in der Öffentlichkeit erhöht werden kann, sind weitere zentrale Fragestellungen. Technisch verfügt RWE schon heute über eine der führenden europäischen CO₂-Wäsche-Testanlagen – ermöglicht durch verschiedene Förderprojekte. Sie läuft bereits mehr als 80.000 Betriebsstunden und wäscht erfolgreich Kohlendioxid aus dem Rauchgas des Kohlekraftwerks Niederaußem in Nordrhein-Westfalen aus. Verschiedene dahinterstehende Mechanismen sind jedoch noch nicht ausreichend verstanden. So ist zum Beispiel nicht klar, warum diese Anlage im Vergleich zum Durchschnitt vergleichbarer Anlagen nur rund ein Viertel des üblichen Waschmittels verbraucht. Ein Meilenstein von ALIGN-CCUS ist die Inbetriebnahme einer Demonstrationsanlage, die seit Anfang 2020 das abgetrennte Kohlendioxid für die Produktion synthetischer Treibstoffe nutzt. Erstmals wird hier der gesamte Umwand-



In dieser Anlage wird das als Flüssigkeit gespeicherte Kohlendioxid zu Gas verdampft.

lungsprozess an einem realen Kraftwerk demonstriert. Das Prinzip der Anlage ist auch auf energieintensive Industrieprozesse übertragbar, bei denen viel CO₂ entsteht. Darunter fällt etwa die Produktion von Stahl oder Zement.

Zuwendungsempfänger: RWE Power und fünf weitere Verbundpartner in Deutschland

Förderkennzeichen: 0324186A, B, D-G

Fördermittelansatz: 5,3 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2017 – 2020

2.4.5 Energiewende und Gesellschaft

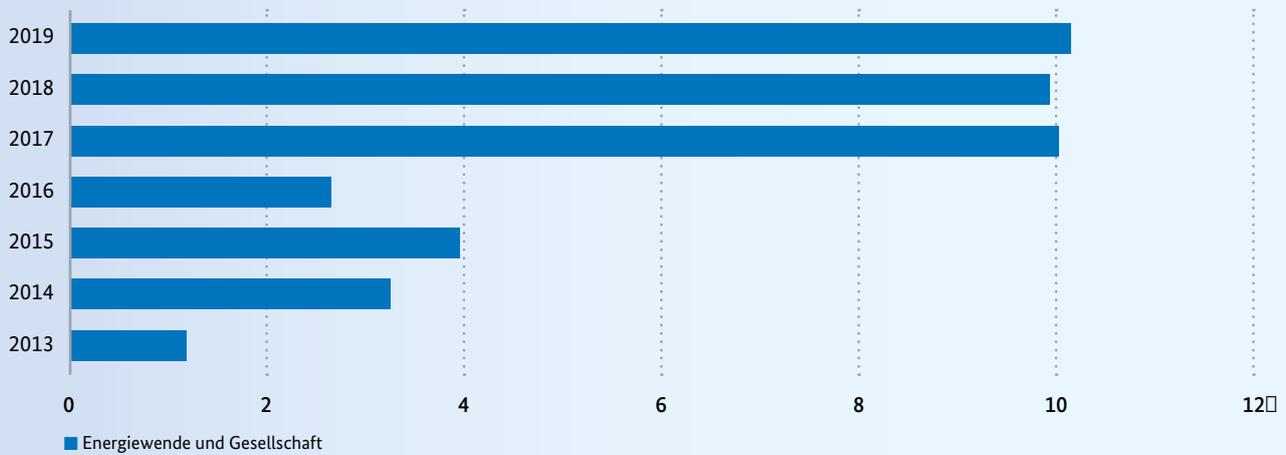
In den kommenden Jahrzehnten muss das Energiesystem tiefgreifend umgebaut werden. Innovative Energietechnologien und neue Prozesse leisten dazu wichtige Beiträge und wirken sich auf die gesamte Gesellschaft und das Lebensumfeld jedes Einzelnen aus. Mehr noch: Die Transformation des Energiesystems und damit die Energiewende kann nur gelingen, wenn der Wandel gemeinsam getragen wird. Durch die Bürgerinnen und Bürger, durch Kommunen und andere öffentliche Einrichtungen, durch zivilgesellschaftliche Akteure und Multiplikatoren, durch Energieversorger, durch Planung und Handwerk, letztendlich also durch die Gesellschaft als Ganzes. Das BMWi hat daher im April 2019 einen Förderaufruf „Energiewende und Gesellschaft“ veröffentlicht. Dieser erste Aufruf, Projektideen einzureichen, hatte mit rund

60 vorgeschlagenen Forschungsvorhaben eine große Resonanz. Die Projektskizzen konzentrierten sich insbesondere auf die Themen „Akzeptanz und Partizipation im Transformationsprozess“ und „Sozioökonomische Effekte von finanziellen Beteiligungsmöglichkeiten“. Systemische Fragestellungen adressiert zudem seit 2016 das durch das BMBF geförderte Kopernikus-Projekt ENavi (siehe Projektsteckbrief).

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiewende und Gesellschaft haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2019 49 laufende Vorhaben mit rund 10,15 Millionen Euro gefördert. 2019 haben die Ministerien zudem acht Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 1,26 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 18, Seite 54).

Abbildung 18: Fördermittel für Energiewende und Gesellschaft in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 77)



PROJEKTSTECKBRIEF

Kopernikus-Projekt ENavi

Energiewende-Navigationssystem zur Erfassung, Analyse und Simulation der systemischen Vernetzungen

Über 60 Partner erforschten in diesem BMBF-Projekt unter Leitung des Potsdamer Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) Möglichkeiten, optimale Pfade für die Umsetzung der Energiewende als gesamtgesellschaftlichen Prozess zu identifizieren. Das Projekt konzentrierte sich im Sinne einer gewünschten Dekarbonisierung der Sektoren bis Ende 2019 auf die drei inhaltlichen Schwerpunkte „Wärme-wende“, „Verkehrswende“ und „Kohleausstieg“. Ziel war die Entwicklung neuer Strategien für Bürgerinnen und Bürger, Unternehmen, Verbände, Kommunen und staatliche Organisationen, um die komplexen systemischen Zusammenhänge besser zu verstehen. ENavi zielte darauf ab, Handlungsspielräume darzustellen und mit einem Navigationstool Chancen und Risiken aufzuzeigen. Das breit angelegte Projekt arbeitete über die Grenzen traditioneller wissenschaftlicher Disziplinen hinweg und im kontinuierlichen organisierten Dialog mit Akteuren aus der Praxis. Weiterführende Hinweise auf die Praxistauglichkeit und die gesellschaftliche Anerkennung der Lösungen wurden zudem in sogenannten Reallaboren und ausgewählten Modellregionen generiert. Dabei wurden unter



ENavi hat ein Navigationsmodell entwickelt, um Auswirkungen von Technikentwicklung, Organisationsformen, Regulierung und Verhalten auf die Energiewende abschätzen zu können.

anderem Wirtschaftsunternehmen, Stadtwerke, Nichtregierungsorganisationen und Gebietskörperschaften in die Projektarbeit einbezogen.

Zuwendungsempfänger: Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) und 46 weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 03SFK4A-Z1

Fördermittellansatz: 30,5 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2016–2019

2.4.6 Materialforschung für die Energiewende

Zur Realisierung einer auf erneuerbaren Energieträgern basierenden Energieversorgung ist die Entwicklung innovativer Materialien in Projekten der Grundlagenforschung von strategischer Bedeutung.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Fördermaßnahme des BMBF ist daher bewusst thematisch offen gefasst und deckt Materialforschung von Energieerzeugung und -speicherung bis zu Effizienzsteigerung ab. Vorhaben zur Photovoltaik erreichten Wirkungsgradrekorde und erschlossen neuartige Materialien. Auch im Bereich der Entwicklung wettbewerbsfähiger Zellen zur direkten solaren Wasserstoffherstellung wurden wichtige Schritte getan. Eine neue Katalysatorklasse eröffnet Möglichkeiten in der Brennstoffzellentechnologie. Darüber hinaus wurde erfolgreich an einem neuen Material für Gasturbinen geforscht. Mehrere Nachwuchsgruppenleiter erhielten Lehrstühle oder Juniorprofessuren.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Materialforschung für die Energiewende hat das BMBF im Jahr 2019 89 laufende Vorhaben mit rund 10,30 Millionen Euro gefördert (vgl. Abb. 19).

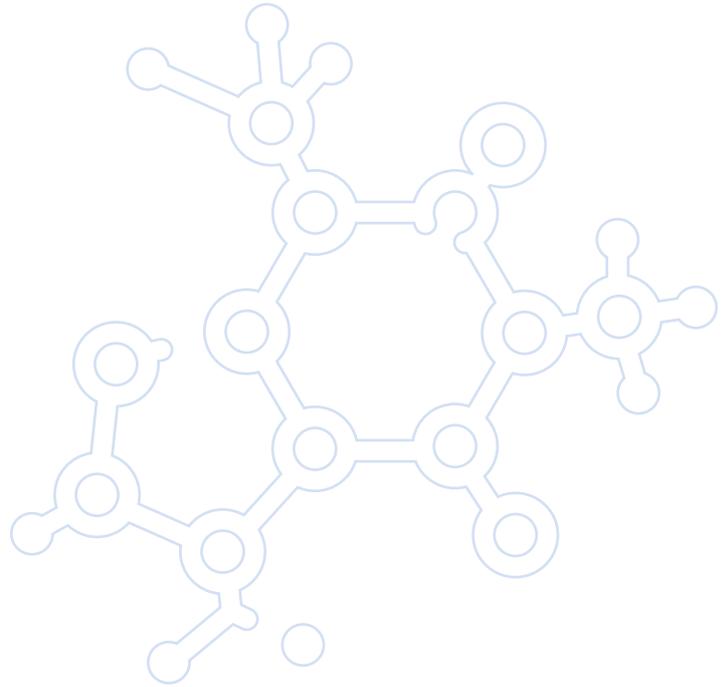
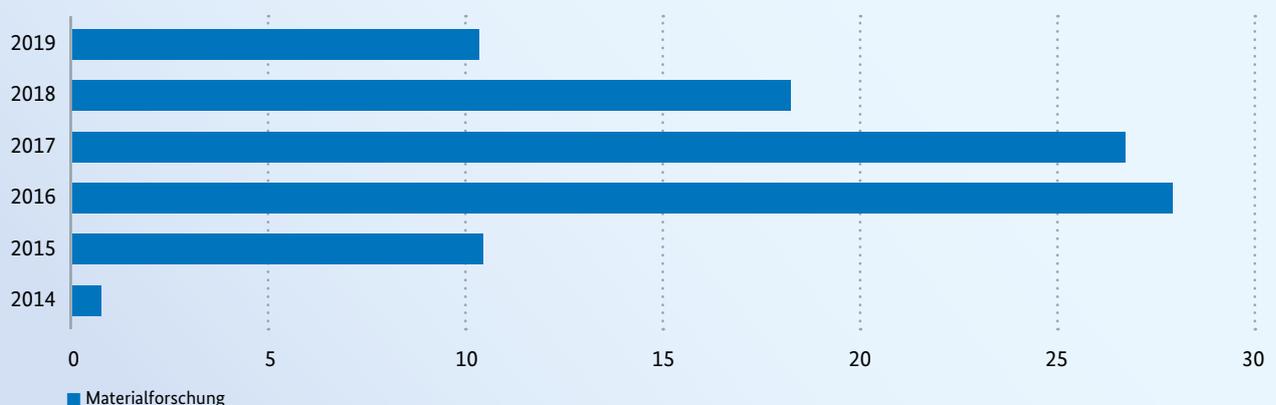


Abbildung 19: Fördermittel für Materialforschung in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 5, Seite 77)



PROJEKTSTECKBRIEF



3D-Animation einer monolithischen Perowskit/Silizium-Tandemsolarzelle

Nachwuchsgruppe MeSa-Zuma – Entwicklung von spektral optimierten, hocheffizienten und langzeitstabilen Perowskit/Silizium-Tandemsolarzellen

Durch Kombination hocheffizienter Solarzellen auf der Basis von Perowskiten und Silizium wird der Wirkungsgrad weit über das Limit bisheriger Silizium-Solarzellen gesteigert.

Die Photovoltaik hat sich in den vergangenen Jahren sehr erfolgreich entwickelt. Um noch mehr Sonnenenergie nutzen zu können, müssen die Stromerzeugungskosten weiter sinken. Dies kann durch Wirkungsgradsteigerung der Solarzellen erreicht werden. Durch die Kombination einer Silizium-Solarzelle mit Metall-Halogenid-Perowskiten in einer Tandemsolarzelle kann der Wirkungsgrad signifikant gesteigert werden. Das vom BMBF geförderte Vorhaben hat hier im Sommer 2019 den höchsten wissenschaftlich publizierten Wirkungsgrad von 26 Prozent und im Januar 2020 den zertifizierten Weltrekord mit 29,15 Prozent für Perowskit/Silizium-Tandemsolarzellen erreicht. Der Nachwuchsgruppenleiter ist im Rahmen dieses Vorhabens vielfach ausgezeichnet worden, zum Beispiel mit dem Karl-Scheel-Preis 2019 und dem Berliner Wissenschaftspreis 2019.

Zuwendungsempfänger: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie
Förderkennzeichen: 03SF0540
Fördermittelsatz: 1,4 Millionen Euro
Projektlaufzeit: 2016 – 2021

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. Erhalt und Weiterentwicklung der dazu benötigten Kompetenz und Infrastruktur sind gerade vor dem Hintergrund der Beendigung der kommerziellen kerntechnischen Stromerzeugung in Deutschland eine zentrale Motivation der Fördermaßnahme.

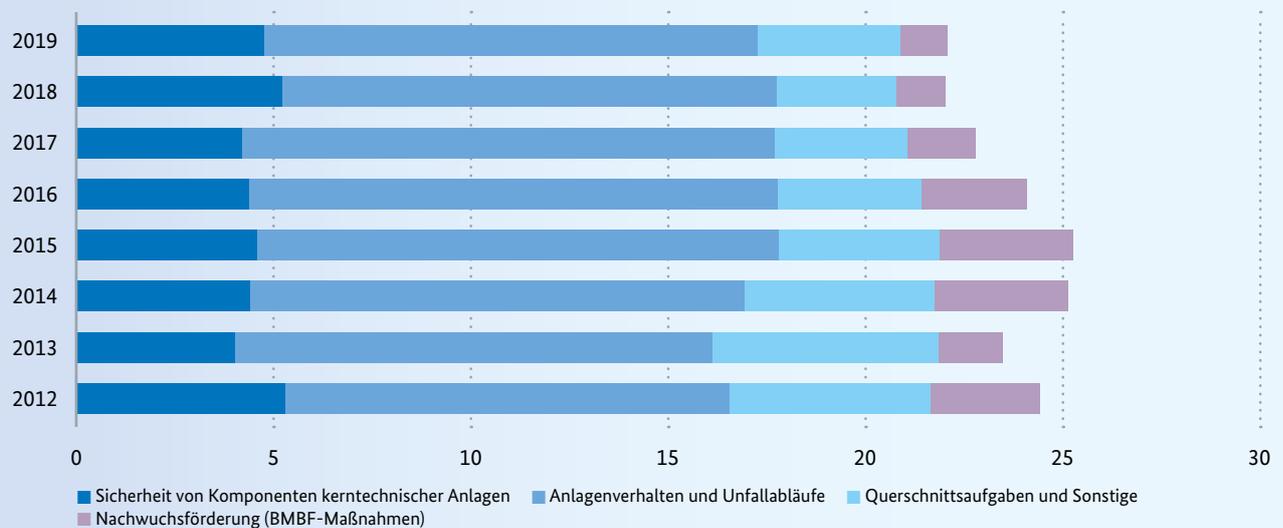
Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Sicherheit von Kernkraftwerken steht im Fokus der öffentlich geförderten Reaktorsicherheitsforschung. International werden derzeit sowohl Laufzeitverlängerungen bestehender KKW diskutiert als auch technologische Weiterentwicklungen vorangetrieben. Auch wenn Deutschland spätestens Ende 2022 aus der kommerziellen Nutzung der Kernkraft ausgestiegen sein wird, ist eigene Forschung zu den resultierenden sicherheitstechnischen Aspekten sowie die Beteiligung an internationalen Sicherheitsforschungsinitiativen für den politisch gewollten Einfluss Deutschlands in Fragen der nuklearen Sicherheit unabdingbar. Förderschwerpunkte liegen auf der Entwicklung und experimentellen Absicherung von Werkzeugen, mit denen das Anlagenverhalten sowohl für bestehende KKW im In- und Ausland als auch für neue Anlagenkonzepte umfassend simuliert und bewertet werden kann. Gleiches gilt, insbesondere mit Blick auf alterungsbedingte Einflüsse, für die Bewertung des Zustandes von KKW-Gebäuden und -Komponenten.

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 2019 131 laufende Vorhaben mit rund 20,86 Millionen Euro gefördert, das BMBF acht Vorhaben mit 1,19 Millionen Euro. 2019 hat das BMWi zudem 33 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelsatz von rund 25,73 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 20).

Abbildung 20: Fördermittel für Reaktorsicherheitsforschung in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 6, Seite 78)



PROJEKTSTECKBRIEF

PKL III i – Transienten-Untersuchungen in der PKL-Versuchsanlage

Thermohydraulische Vorgänge in Druckwasserreaktoren unter Störfallbedingungen werden systematisch untersucht.

Die PKL-Versuchsanlage in Erlangen ist eine der international führenden Anlagen zur experimentellen Untersuchung thermohydraulischer Abläufe in Druckwasserreaktoren (DWR) während angenommener Störfallszenarien. Die Anlage bildet dazu den Primärkreis und wesentliche Teile des Sekundärkreises eines DWR im Maßstab 1:145 nach, unter Verwendung der originalen Höhenskalierung. Im Projekt PKL III i werden unter Beteiligung von Forscherinnen und Forschern aus 14 Ländern Versuche zu international diskutierten Sicherheitsfragen durchgeführt, wie z. B. dem Verhalten eines DWR während eines langanhaltenden Stromausfalls. Die Ergebnisse aus PKL III i werden international dazu genutzt, das phänomenologische Verständnis der komplexen thermohydraulischen Vorgänge in einem DWR weiter zu vertiefen, darauf basierend fortschrittliche Rechenprogramme zur realistischen Simulation von Stör- und Unfällen weiterzuentwickeln sowie die Wirksamkeit von möglichen Gegenmaßnahmen zu untersuchen.



Reaktordruckbehälter der Primärkreislauf-(PKL-)Versuchsanlage mit Hauptkühlmittelleitungen der Framatome GmbH

Zuwendungsempfänger: Framatome GmbH

Förderkennzeichen: 1501527

Fördermittelantrag: 980.000 Euro

(Förderquote: 21,6 Prozent)

Projektdauer: 2016 – 2020

2.5.2 Entsorgungs- und Endlagerforschung

Die Bundesregierung leistet durch die kontinuierliche Förderung der nuklearen Entsorgungs- und Endlagerforschung wesentliche Beiträge zu Aufbau und Weiterentwicklung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen für Endlagerkonzepte in den möglichen Wirtsgesteinen Salz, Ton und Kristallin.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Schwerpunkt geförderter Vorhaben ist die Schaffung der wissenschaftlich-technischen Grundlage für die Realisierung eines Endlagers. Im Rahmen der Vorhaben erfolgen Untersuchungen zur Wirksamkeit des Barriersystems, zum Monitoring sowie zur Entwicklung von Konzepten zu Transport- und Einlagerungstechniken. Ergänzend hierzu befassen sich weitere Vorhaben mit den wissenschaftlichen Grundlagen zur Ausbreitung von Radionukliden in einem Endlager und dem Einfluss unterschiedlicher Faktoren auf

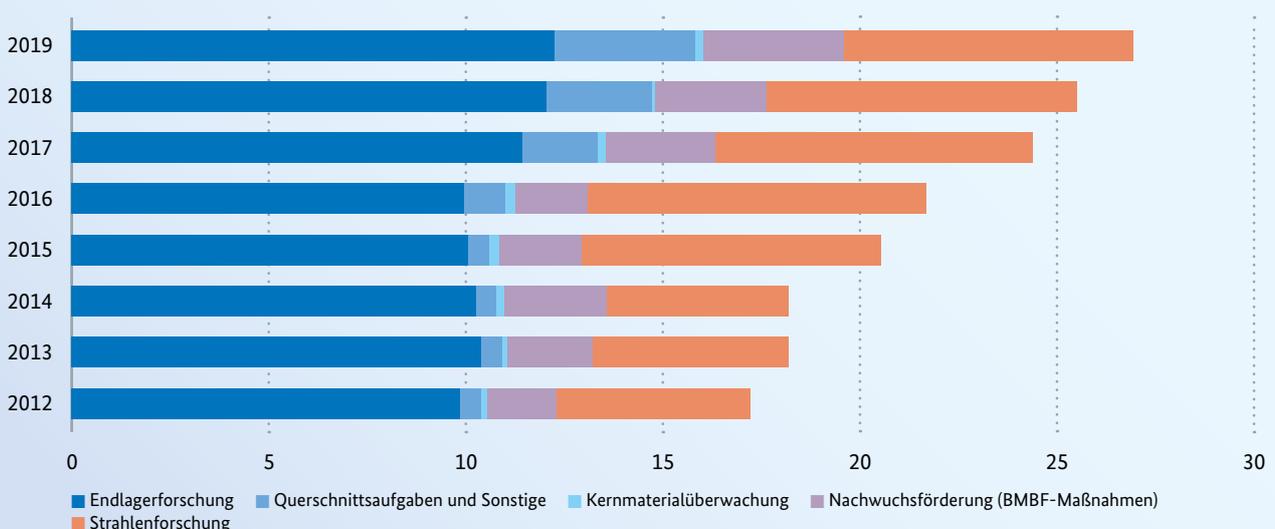
das Ausbreitungsverhalten. Komplettiert werden dargestellte Untersuchungen durch Vorhaben, die sich mit soziotechnischen Fragestellungen befassen und die Grundlage für den Dialog zwischen den unterschiedlichen Akteuren erarbeiten. Schließlich werden auch die Auswirkungen der absehbar verlängerten Zwischenlagerzeiten auf Abfälle und Behälter im Vorfeld der Endlagerung untersucht.

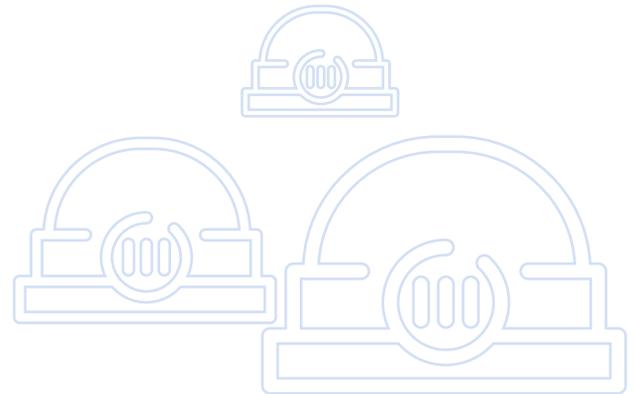
Projektförderung

Die Projektförderung des BMWi wird von der Forschungsförderung des BMBF flankiert.

Im Schwerpunkt Entsorgungs- und Endlagerforschung hat das BMWi im Jahr 2019 91 laufende Vorhaben mit rund 16,0 Millionen Euro gefördert. Die Nachwuchsförderung durch das BMBF erfolgte mit 3,5 Millionen Euro in 20 Vorhaben. 2019 hat das BMWi zudem 26 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 20,92 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 21).

Abbildung 21: Fördermittel für Entsorgungs- und Endlagerforschung sowie Strahlenforschung in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 6, Seite 78)

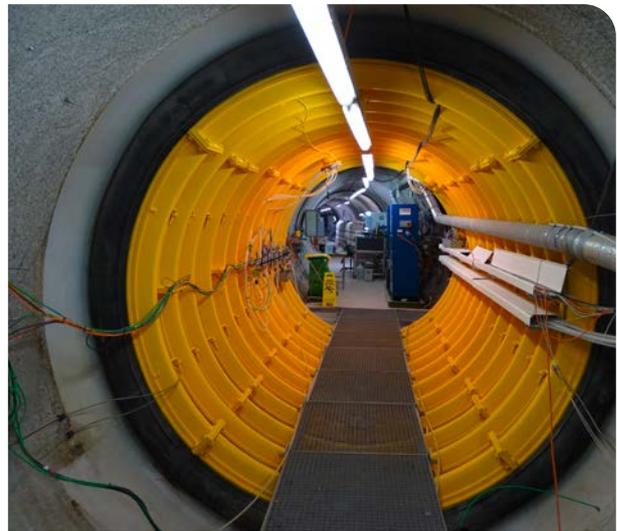




PROJEKTSTECKBRIEF

KOLORADO-e3 – In-situ-Experimente zur Bentonit-Langzeit-Stabilität und zur Radionuklid-mobilität an der Grenzfläche Bentonit – Kristallin
Untersuchung der Prozesse, die unter naturnahen Bedingungen in einem Endlager (Granit) ablaufen und die Stabilität der geotechnischen Barriere beeinträchtigen

Forscherinnen und Forscher der Universität Jena, des Karlsruher Instituts für Technologie sowie der Gesellschaft für Reaktorsicherheit erforschen im Felslabor Grimsel (Schweiz) Materialien und Systeme, die die Funktion einer geotechnischen Barriere in einem möglichen Endlager übernehmen können. Für die Untersuchungen wurde ein kleines (Durchmesser circa 10 cm) umfassendes Barriersystem in eine natürliche Kluft eingebracht. Ziel des Vorhabens ist es, das mechanistische Verständnis der Erosion der geotechnischen Barriere (kompaktierter Bentonit) sowie der Radionuklid-Kolloid- Wechselwirkungen unter naturnahen Bedingungen mittels In-situ-Experimenten und die Relevanz des kolloidgetragenen Radionuklidtransports hinsichtlich der Langzeitsicherheit eines Endlagers in einer Hartgesteinsformation zu bewerten. Darüber hinaus werden generische Aussagen zur Kolloidrelevanz und zur Mobilität von Radionukliden erarbeitet. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass die



Aufbau eines Barriersystems (Megapackersystem) im URL Grimsel

in die Kluft eingebrachten Radionuklide mobil sind, sich aber nicht sehr weit bewegen, das heißt, die Barriere würde grundsätzlich ihre Funktion erfüllen.

Zuwendungsempfänger: Friedrich-Schiller-Universität Jena und zwei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 02E11759

Fördermittelansatz: 1 Million Euro

Projektlaufzeit: 2019 – 2022

2.5.3 Strahlenforschung

Das BMBF förderte im Berichtszeitraum über seine „Förderrichtlinie nukleare Sicherheitsforschung“ und Strahlenforschung im 7. Energieforschungsprogramm weiterhin Verbände und Projekte zur Strahlenforschung.

Im Berichtsjahr 2019 wurden zu strahlenbiologischen, strahlenmedizinischen, epidemiologischen und radioökologischen Fragestellungen zwölf Verbände mit 43 Einzelprojekten gefördert. Insgesamt unterstützte das BMBF 2019 im Rahmen dieser Projekte circa 150 Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler in ihrer Ausbildung – dieser BMBF-Förderschwerpunkt trug somit substantiell zu Kompetenzbildung und Kompetenzerhalt in der Strahlenforschung in Deutschland bei. Aus den projektgeförderten For-

schungsvorhaben wurden zahlreiche Publikationen in wissenschaftlich hochrangigen beziehungsweise anerkannten Journalen veröffentlicht. In den Forschungsverbänden wurden gesellschaftlich sehr relevante sowie wissenschaftlich hochaktuelle Themen bearbeitet. Hierzu zählten auch einige Vorhaben, die mit ihren Forschungsergebnissen zur Nationalen Dekade gegen Krebs beitragen.

Projektförderung

Im Jahr 2019 wurden auf dem Gebiet der Strahlenforschung 43 Forschungsvorhaben mit Fördermitteln des BMBF in Höhe von rund 7,36 Millionen Euro unterstützt. 2019 hat das Ministerium zudem sechs Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 3,52 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 21, Seite 58).

PROJEKTSTECKBRIEF

Verbundprojekt ISIBELA: Intrinsische Strahlenempfindlichkeit: Identifikation biologischer und epidemiologischer Langzeitfolgen

Das übergeordnete Ziel des Forschungsverbundes ist die Erforschung genetischer Prädispositionen, welche in Verbindung mit einer therapeutischen Strahlenexposition im Kindesalter zu einem erhöhten Neoplasie-Folgerisiko führen können. Dies wird mit epidemiologischen Methoden im Rahmen einer Kohortenstudie zur Auswertung der im DKKR erfassten Zweitumorereignisse untersucht. Mit einer molekularepidemiologischen Fall-Kontroll-Studie werden weiterhin Zellproben von Personen ohne Tumoreignis mit denen von Patienten von primären und sekundären Tumoren in Bezug auf das Genom und Genexpression vor und nach Bestrahlung verglichen. Die notwendigen statistischen Mittel werden entwickelt und strahlenbedingte epigenetische Veränderungen in der Genregulation werden untersucht. Außerdem erfolgen Untersuchungen auf genomischer Ebene zur Erforschung spontaner und strahleninduzierter Veränderungen der Telomere und dosimetrische Untersuchungen zur Ganzkörperdosisbelastung durch strahlentherapeutische Behandlungen mittels strahleninduzierter genomischer Läsionen.



ISIBELA untersucht, ob die Therapie gegen eine Krebserkrankung im Kindesalter einen Einfluss darauf hat, ob man an einem Folgetumor erkrankt, und welche Rolle dabei genetische Prädispositionen spielen.

Zuwendungsempfänger: Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und drei weitere Verbundpartner

Förderkennzeichen: 02NUK042A-D

Fördermittelansatz: rund 5,4 Millionen Euro

Projektlaufzeit: 2015 – 2021

3. Institutionelle Energieforschung





3.1 Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft

Der Forschungsbereich Energie der HGF unterstützt die Umsetzung des 7. Energieforschungsprogramms. Aufgrund der sogenannten Programmorientierten Förderung der HGF lässt sich die Förderung der HGF bestimmten Forschungsbereichen wie der Energieforschung zuordnen. Bei anderen institutionellen Zuwendungsempfängern, wie zum Beispiel der Fraunhofer-Gesellschaft, ist dies nicht ohne weiteres möglich. Gleichwohl tragen auch die weiteren institutionellen Zuwendungsempfänger in hohem Maße zur Energieforschung in Deutschland bei.

Im Jahr 2019 standen für den Forschungsbereich Energie der HGF wichtige Weichenstellungen an. Für die vierte Periode der Programmorientierten Förderung (POF IV), die 2021 beginnt, wurden durch die beteiligten Zentren Programmanträge vorbereitet. Beteiligte Zentren sind das Forschungszentrum Jülich (FZJ), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), das Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB), das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) 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.

Die Programmanträge wurden auf Grundlage von zwischen den Zuwendungsgebern und den beteiligten Zentren abgestimmten forschungspolitischen Zielen erstellt. Die Mission des Forschungsbereichs besteht demnach darin, sich den großen Herausforderungen von Klimaschutz und Energiesystemtransformation zu stellen und tragfähige Lösungen für die Energiewende in Deutschland und für den nachhaltigen Umbau der Energieversorgung weltweit zu entwickeln. Der Forschungsbereich Energie betreibt sowohl grundlagenorientierte als auch anwendungsorientierte Forschung, wobei auch die grundlegenden Arbeiten einen deutlichen Bezug zu Energieanwendungen aufweisen. Auch die Ergebnisse der wissenschaftlichen Begutachtung aus dem Jahr 2018 wurden bei der Erstellung der Programmanträge umfassend berücksichtigt.

Im Oktober 2019 wurden die Programmanträge einer strategischen Begutachtung durch ein hochrangiges internationales Gutachtergremium unterzogen. Im Ergebnis dieser Begutachtung wurde die strategische Ausrichtung des Forschungsbereichs Energie bestätigt. Zahlreiche wertvolle Hinweise zu den einzelnen Forschungsthemen werden bei der weiteren Ausarbeitung der Forschungsprogramme für POF IV berücksichtigt. Das Gutachtergremium wird dem Forschungsbereich Energie auch weiterhin als wissenschaftliches Beratungsgremium zur Seite stehen.

Eine wichtige Aufgabe des Forschungsbereichs Energie der HGF besteht darin, leistungsfähige Forschungsinfrastrukturen bereitzustellen, die auch von anderen Akteuren der Energieforschung genutzt werden. Zentrale Forschungsinfrastrukturen, deren Realisierung im Jahr 2019 maßgeblich vorangebracht werden konnte, sollen u. a. sicherstellen, dass Forscherinnen und Forscher in Deutschland auch zukünftig in der Lage sind, nukleare Sicherheitsrisiken unabhängig erforschen zu können. Solche Risikoeinschätzungen sind beispielsweise im Zuge des Ausstiegs aus der Nutzung der Kernenergie in Deutschland oder im Zusammenhang mit dem Betrieb von Kernkraftwerken in Nachbarländern weiterhin erforderlich.

Neben wichtigen strategischen Weichenstellungen brachte das Jahr 2019 auch viele wissenschaftliche Highlights. So gelang beispielsweise Forschern am HZB ein Weltrekord für den Wirkungsgrad einer Tandemsolarzelle aus den Halbleitern Silizium und Perowskit. In Zusammenarbeit mit der Firma Oxford PV werden Forschungsergebnisse des HZB in marktfähige Produkte transferiert (siehe Kapitel 2.4.6 Materialforschung für die Energiewende, Projektsteckbrief Nachwuchsgruppe MeSa-Zuma, Seite 56). Am KIT gelangen unter anderem signifikante Fortschritte bei Produktionsverfahren für supraleitfähige Kabel und Batterieelektroden. Zudem gelang die Realisierung einer modularen Produktionsanlage für synthetische Kraftstoffe aus Ökostrom, Wasser und dem Kohlendi-oxid der Luft unter Beteiligung des KIT Spin-off INERATEC (siehe Kapitel 2.3.3 Sektorkopplung und Wasserstoff, Projektsteckbrief Kopernikus-Projekt P2X, Seite 47). Im Rahmen des Living Lab Energy Campus wird die Energieversorgung des FZJ in die eigenen Forschungstätigkeiten einbezogen. So kann die wissenschaftliche Erforschung hochintegrierter Energieversorgungssysteme in den Bereichen Wärme, Strom, chemische Energiespeicher und Mobilität

besonders praxisnah erfolgen. Ein weiterer Meilenstein war 2019 die Eröffnung des Emulationszentrums für vernetzte Energiesysteme beim DLR. Es erlaubt, reale Hardware-Komponenten wie Ladeinfrastruktur oder Wechselrichter in einem nachgebildeten Netz zu testen und mit simulierten Teilen des Stromsystems, wie Stadtquartieren oder Übertragungsnetzen, interagieren zu lassen.

Der Mitteleinsatz im Forschungsbereich Energie ist in Abbildung 22 dargestellt.

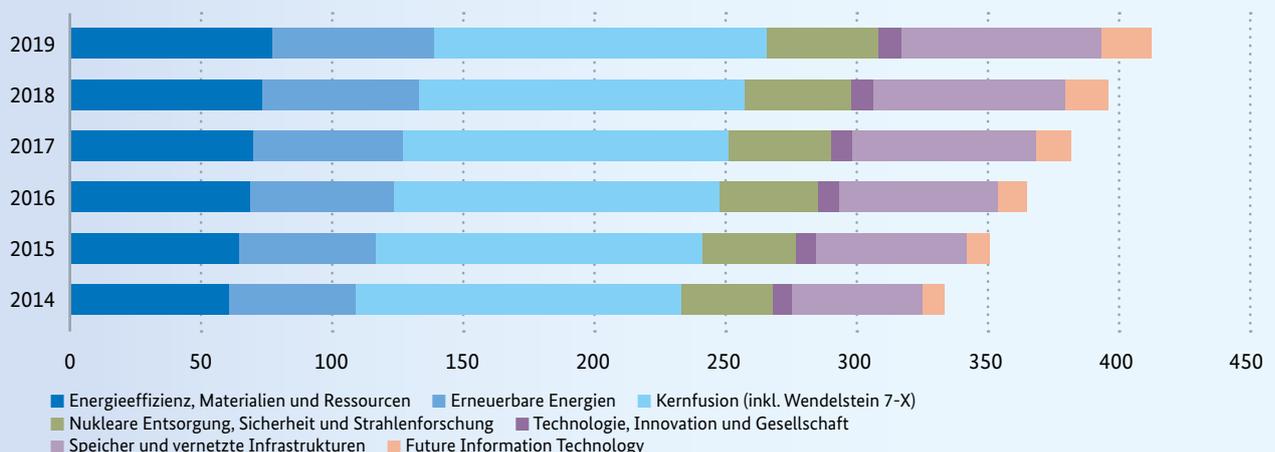
3.2 Fusionsforschung

Im Rahmen der Programmorientierten Förderung der HGF wird im Bereich der anwendungsorientierten Grundlagenforschung auch Fusionsforschung betrieben. 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. 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.

Abbildung 22: Fördermittel für Institutionelle Energieforschung in Mio. Euro
(Daten siehe Tabelle 7, Seite 78)





4. Weitere energierelevante Förderaktivitäten



4.1 Forschungsförderung der Länder

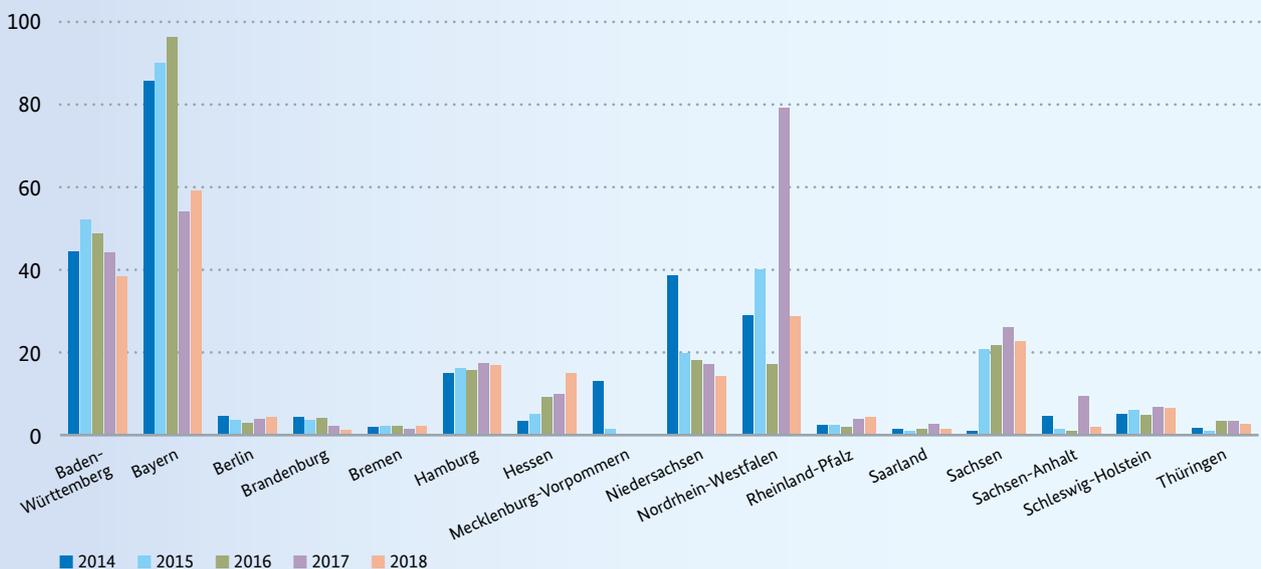
Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) führt der Projektträger Jülich (PtJ) seit 2008 eine jährliche Erhebung zu den finanziellen Aufwendungen der Länder für die nicht-nukleare Energieforschung durch. Der aktuellen Untersuchung für das Jahr 2018 zufolge summieren sich die Aufwendungen der Länder für die Projektförderung sowie die institutionelle Förderung insgesamt auf rund 220 Millionen Euro. Dabei entfallen 129,7 Millionen Euro auf die Projektförderung und 90,3 Millionen Euro auf die institutionelle Förderung.

Wie in den Vorjahren bildet die Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen auch im Jahre 2018 den übergreifenden Schwerpunkt der Förderung. Dabei liegt der technologiespezifische Forschungsschwerpunkt der Länder im Bereich Energieeffizienz im Verkehr (29,4 Millionen Euro) und umfasst allen voran die Förderung der Elektromobilität. Die Energieeffizienz in Industrie, Handel und Gewerbe wird länderspezifisch insgesamt mit 24 Millionen Euro beforscht und bildet in Bayern (10,7 Millionen Euro) den Förderschwerpunkt. Die finanzielle Unterstützung für das Forschungsthema Energieeffizienz in Gebäuden und Quartieren liegt in den Ländern bei knapp 17 Millionen Euro, mit 4,4 Millionen Euro liefert Hessen den größten Beitrag.

Die Betrachtung der Schlüsseltechnologien zur Systemintegration zeigt, dass die Förderung der Bereiche Energiespeichertechnologien (26,4 Millionen Euro) und Stromnetze (6,4 Millionen Euro) im Vergleich zum Vorjahr deutlich ausgebaut werden konnte. Wesentliche Bausteine für eine effiziente Sektorkopplung sind Wasserstofftechnologien (12,9 Millionen Euro) und Brennstoffzellen (6,5 Millionen Euro). Aufgrund ihrer wachsenden energiesystemischen Bedeutung wurden die Technologien im Rahmen der vorliegenden Erhebung zum ersten Mal separat abgefragt.

Die Forschungsförderung im Bereich Regenerative Energien ist im Vergleich zu den Vorjahren auf hohem Niveau rückläufig. Mit 18,4 Millionen Euro nimmt das Themenfeld Solarthermie und PV den höchsten Stellenwert ein und wird allen voran in den Ländern Bayern (3,8 Millionen Euro), Niedersachsen (3,6 Millionen Euro) und Baden-Württemberg (3 Millionen Euro) gefördert. Die Bioenergieforschung (10,9 Millionen Euro) bewegt sich etwa auf dem Vorjahresniveau und erfährt in Bayern (6,6 Millionen Euro) die größte finanzielle Unterstützung. Die Technologieförderung im Bereich Windenergie wurde im Vergleich zu 2017 wieder deutlich ausgebaut (6,8 Millionen Euro) und wird in Hamburg (1,5 Millionen Euro) maßgeblich vorangetrieben.

Abbildung 23: Aufwendungen für die nicht-nukleare Energieforschung nach Ländern 2014–2018 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 9, Seite 79)



Einen Fördermittelaufwuchs erfährt auch die Geothermie (6,6 Millionen Euro). Die technologische Forschung wird im Wesentlichen in Bayern (4,5 Millionen Euro) und Baden-Württemberg (1,3 Millionen Euro) unterstützt.

Forschungsaktivitäten im Bereich der Wasserkraft (1 Million Euro) beschränken sich hauptsächlich auf die Modernisierung bestehender Anlagen. Allen voran Bayern (0,8 Millionen Euro) nimmt sich dieses Themenfeldes an.

Die Meeresenergieforschung bildet einen Nischenbereich und wird ausschließlich in Hamburg gefördert (0,4 Millionen Euro).

Die Forschungsaktivitäten der Länder im Bereich der thermischen Kraftwerke/CO₂-Technologien belaufen sich 2018 auf 4,4 Millionen Euro, die höchsten Förderaufwendungen liefert Nordrhein-Westfalen mit 2,4 Millionen Euro.

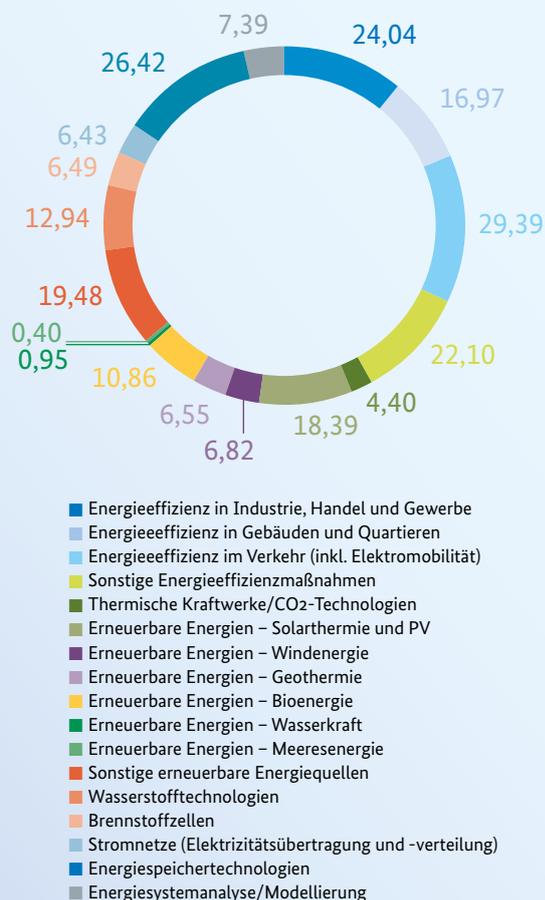
Das systemübergreifende Forschungsthema Energiesystemanalyse und Modellierung widmet sich unter anderen der Simulation von Wechselwirkungen zwischen den Energiesektoren sowie der Entwicklung valider Energieszenarien. Seine stark wachsende Bedeutung spiegelt sich im Umfang der länderseitigen Forschungsförderung (7,4 Millionen Euro) wider.

Die Aufwendungen für Energieforschungsförderung in Bayern heben sich mit insgesamt 59,3 Millionen Euro deutlich von den anderen Ländern ab, gefolgt von Baden-Württemberg (38,3 Millionen Euro), Nordrhein-Westfalen (28,8 Millionen Euro) und Sachsen (22,7 Millionen Euro).

Die Länder liefern mit einem Fördervolumen von über 220 Millionen Euro im Bereich der nicht-nuklearen Energieforschung einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der von der Bundesregierung postulierten Zielvorgaben und bilden eine tragende Säule im nationalen Energiewendeprozess.

Der ausführliche Bericht „Förderung der nicht-nuklearen Energieforschung durch die Bundesländer im Jahre 2018“ kann neben den anderen bislang veröffentlichten Länderberichten über die Website des Projektträgers Jülich abgerufen werden.

Abbildung 24: Aufwendungen der Länder für die nicht-nukleare Energieforschung 2018 in Mio. Euro (Daten siehe Tabelle 11, Seite 81)



4.2 Forschungsrahmenprogramm der EU (Horizon 2020)

Im europäischen Forschungs- und Innovationsprogramm *Horizon 2020* werden transnationale und interdisziplinäre Kooperationsprojekte gefördert, die einen erheblichen Beitrag zur Verwirklichung des europäischen Forschungsraums und zum Ausbau der europäischen Wettbewerbsfähigkeit leisten. Ab dem Jahr 2021 wird durch das neue Forschungsrahmenprogramm *Horizon Europe* die Erfolgsgeschichte von *Horizon 2020* kontinuierlich fortgesetzt und weiterhin der gesamte Forschungs- und Innovationskreislauf unterstützt. Im Mittelpunkt der Fördermaßnahmen werden Entwicklungen und Innovationen stehen, die zum Ziel der Europäischen Kommission, bis 2050 in Europa Klimaneutralität zu erreichen, beitragen sollen. Der sogenannte *European Green Deal* soll dafür sorgen, dass Europa eine Vorreiterrolle bei klimafreundlichen Industrien und sauberen Technologien einnimmt. Dafür werden in *Horizon Europe* mindestens 35 Prozent der Forschungsförderung für

klimafreundliche Technologien bereitgestellt. Um die sektorübergreifende Zusammenarbeit und Innovationspotenziale zu stärken, wird der Energiebereich in *Horizon Europe* mit Klima- und Transportthemen in dem Cluster *Climate, Energy & Mobility* zusammengefasst. Inhaltlich bleiben die Grundelemente der aktuellen Ausschreibungen im Energiebereich bestehen. Hinzu kommen Aspekte zum Klimawandel und Dekarbonisierung von Infrastrukturen sowie Transportthemen, wie die industrielle Wettbewerbsfähigkeit im Transport und sauberer und intelligenter Transport.

Erfolgreiche Beteiligung deutscher Antragsteller im Energiebereich

In den Kernbereichen des Arbeitsprogramms *Sichere, saubere und effiziente Energie* wurden in den ersten fünf Jahren von *Horizon 2020* (Betrachtungszeitraum 2014–2018) rund 2,88 Milliarden Euro Fördermittel für insgesamt 609 Verbundprojekte bewilligt. Deutschland ist dabei in 387 Projekten mit insgesamt 806 Projektteilnehmern vertreten, die zusammen eine Fördersumme von rund 393,6 Millionen Euro eingeworben haben. Dies entspricht etwa 13,7 Prozent der bewilligten Fördermittel (vgl. Abb. 27). Bei 93 der 609 bewilligten Projekte kommt der Projektkoordinator aus Deutschland. Etwa 45 Prozent der deutschen Zuwendungsempfänger stammen aus Forschungsinstituten und Hochschulen. 41 Prozent kommen aus privaten Unternehmen, die übrigen 14 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 (~39 Prozent), gefolgt von Projektbeteiligungen in den Themenbereichen Energiesysteme (~12 Prozent) und Konsumenten und öffentliche Hand (~8 Prozent).

Schwerpunkte der Energieforschung

In Abbildung 28 ist die Verteilung von Fördermitteln an Zuwendungsempfänger aus Deutschland im Betrachtungszeitraum 2014–2018 nach den unterschiedlichen Themenschwerpunkten im Energiebereich dargestellt. Die Zahlen zeigen einen deutlichen Fokus (47 Prozent) auf Forschungs- und Demonstrationsvorhaben im Technologiefeld der erneuerbaren Energien. Folgend sind Themen im Bereich Energiesysteme – Netze und Speicher (18,3 Prozent) und Smart-City-Projekte (8,1 Prozent). Die Themen Wasser-

stoff und Brennstoffzellen 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 von *Horizon 2020* gefördert wurden. Das betrifft beispielsweise die Materialforschung oder Produktionstechnologien.

4.3 Aktivitäten der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms

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. Für die erste Phase des Programms hat das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Zeitraum von 2007 bis 2016 450 Millionen Euro bereitgestellt. In der zweiten Phase des Programms (NIP 2) soll nun die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie bis 2026 wettbewerbsfähig im Verkehrssektor und im Energiemarkt etabliert werden.

SINTEG „Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“

Das Förderprogramm „Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“ – kurz SINTEG, hat zum Ziel, Musterlösungen für die intelligente Energieversorgung der Zukunft zu entwickeln und zu demonstrieren. In fünf Modellregionen arbeiten über 300 Partner aus Energiewirtschaft, Industrie und Forschung sowie Kommunen, Landkreisen und Ländern daran, skalierbare Musterlösungen für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung bei hohen Anteilen fluktuierender Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu entwickeln. Im Zentrum stehen die intelligente Vernetzung von Stromerzeugung und -verbrauch sowie der Einsatz innovativer Netztechnologien und -betriebskonzepte. Zudem sollen Praxiserfahrungen aus den

Abbildung 25: Länderverteilung der Zuwendungsempfänger und Fördermittel im Kernbereich der Energieforschung in Horizon 2020 (2014–2018)

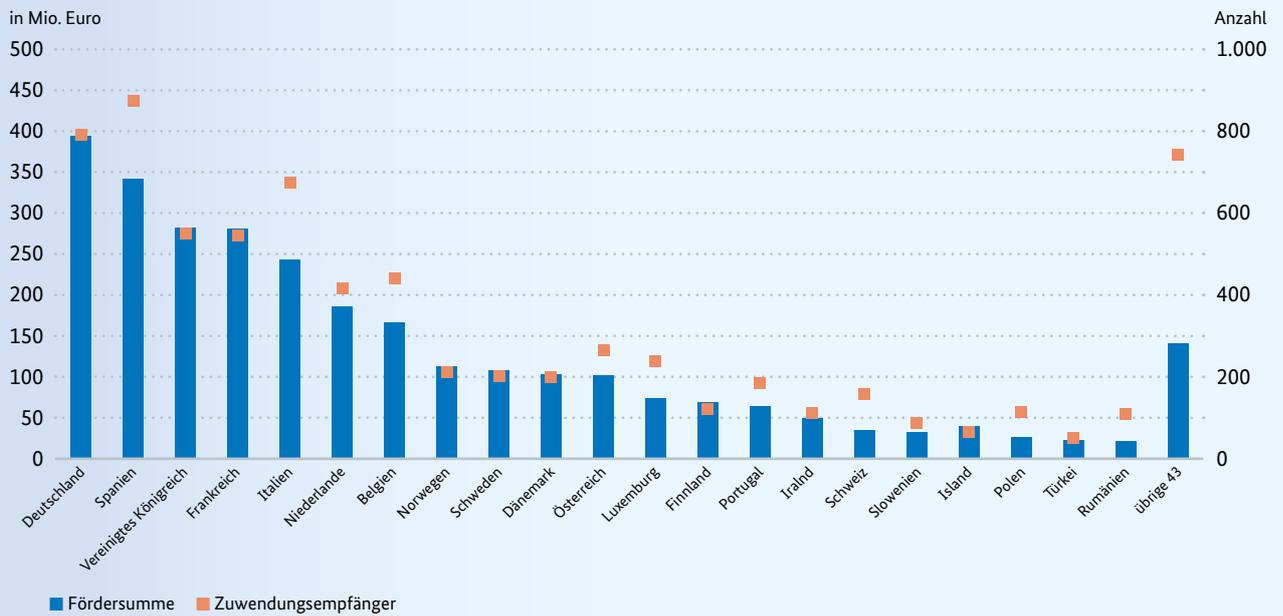
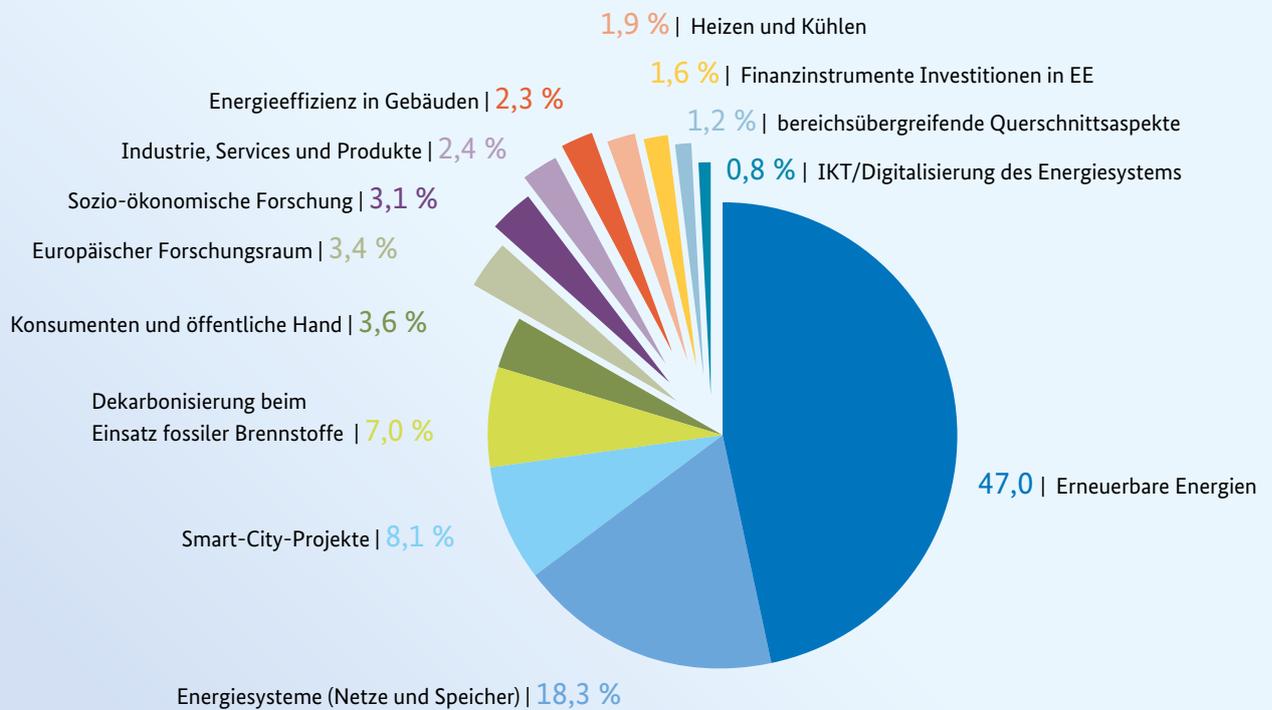


Abbildung 26: Verteilung von Fördermitteln in Horizon 2020 im Kernbereich der Energieforschung an Zuwendungsempfänger aus Deutschland nach Themengebieten (2014–2018)



Schaufensterregionen dazu beitragen, den Rechtsrahmen künftig entsprechend der neuen Ausgangslage weiterzuentwickeln. SINTEG gilt als erstes „Reallabor“ für die intelligente Energieversorgung der Zukunft.

Die Schaufenster wurden innerhalb eines Förderwettbewerbs ausgewählt und sind Ende 2016 beziehungsweise Anfang 2017 gestartet. Das BMWi fördert die Projekte über vier Jahre mit über 200 Millionen Euro. Zusammen mit über 300 Millionen Euro an Eigenmitteln aus Unternehmen wird über eine halbe Milliarde Euro in die Digitalisierung des Energiesektors investiert.

Forschungscampus

Mit der Förderinitiative „Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen“ fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft in einer langfristigen, verbindlichen Partnerschaft auf einem gemeinsamen Campus. Es werden Forschungsfelder von starker Komplexität und mit hohen Potenzialen für Sprunginnovationen adressiert.

Die Förderung erfolgt in mehreren aufeinanderfolgenden Phasen (insgesamt maximal 15 Jahre) mit bis zu zwei Millionen Euro jährlich. Im Energiebereich fördert das BMBF die Forschungscampus-Modelle Mobility2Grid und Flexible Elektrische Netze. Der Forschungscampus Mobility2Grid am Berliner EUREF-Campus erforscht in einem Reallabor-Ansatz das innovative Zusammenspiel von Elektromobilität und intelligenten Energienetzen. Der Forschungscampus Flexible Elektrische Netze (FEN) in Aachen hat ein Mittelspannungs-Gleichstrom-Forschungsnetz aufgebaut sowie Schlüsselkomponenten für zukünftige intelligente Gleichspannungsnetze entwickelt.

Wärmenetze 4.0

Die Bundesregierung fördert seit Juli 2017 mit dem Förderprogramm „Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0“ Wärmenetzbetreiber, die entweder moderne Niedertemperaturwärmenetze mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien und unvermeidbarer Abwärme (mindestens 50 Prozent) neu errichten oder ihre Bestandwärmenetze zu solch modernen, CO₂-armen Netzen transformieren wollen. Damit hat das Bundes-

ministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) erstmals eine systemische Förderung im Bereich der Wärmeinfrastruktur eingeführt, mit der nicht nur Einzeltechnologien und -komponenten, sondern Gesamtsysteme adressiert werden. Gefördert werden die Kosten für Machbarkeitsstudien, die die Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit des geplanten Wärmenetzsystems 4.0 prüfen, sowie die Investitionskosten für die Realisierung der Wärmenetze. Mit der Novelle des Förderprogramms im Dezember 2019 sind technische Voraussetzungen neu gefasst worden und damit der Zugang zur Förderung für alle Wärmenetzbetreiber weiter erleichtert worden.

Initiative Effizienzhaus Plus

Die Bundesregierung fördert im Baubereich Forschung und Entwicklung von innovativen Technologien mit spezifischen Energiebezügen auch außerhalb des Energieforschungsprogramms. Mit der Initiative Effizienzhaus Plus zeigt das BMI beispielsweise seit 2011 anschaulich, wie die Energiewende im Gebäude und Quartier gelingen kann. Der technologieoffene, zukunftsgerechte Gebäudestandard Effizienzhaus Plus mit seinem bundesweiten Netzwerk von Effizienzhaus-Plus-Modellvorhaben fördert neben den Energie- und Klimazielen auch den zeitnahen Wissenstransfer aus der Forschung in die Praxis. Der Effizienzhaus-Plus-Standard fördert den Einsatz erneuerbarer Energien im Gebäudebereich und über ein Jahr gemessen gewinnt ein Effizienzhaus Plus mehr Energie, als für seine Nutzung benötigt wird. Das Plus an Energie kann vernetzt im Quartier verteilt oder z. B. im Verkehrssektor eingesetzt werden. Die Initiative setzt neue Impulse bei der Markteinführung klimagerechter Innovationen beim Bauen und Wohnen, aktiviert die CO₂-Reduktionspotenziale im Gebäudebereich und eröffnet auch neue Geschäftsfelder wie z. B. das Car-Sharing von E-Mobilen in der Wohnungswirtschaft. Erste Modellvorhaben im Wohnungsbau (Neubau, Altbau, Quartier) haben die Praxistauglichkeit innovativer Lösungsansätze für klimagerechtes Bauen bewiesen. Das BMI hat mit der Effizienzhaus-Plus-Initiative seit 2011 rund 25 Millionen Euro für die Förderung des innovativen Gebäudestandards Effizienzhaus Plus bereitgestellt, davon über die Hälfte der Mittel für Modellvorhaben. Im Zeitraum von 2014 – 2019 sind rund 12,5 Millionen Euro abgeflossen.

5. Tabellen

5.1 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
Projektförderung¹						
Energiewende in den Verbrauchssektoren	115,89	112,04	108,08	137,28	156,04	193,92
Energieerzeugung	198,95	209,86	191,67	244,49	212,36	255,36
Systemintegration: Netze, Speicher, Sektorkopplung	95,22	113,30	119,79	144,44	127,15	127,11
Systemübergreifende Forschungsthemen der Energiewende	34,29	44,49	71,01	86,12	92,22	78,31
Nukleare Sicherheitsforschung	43,29	45,74	45,73	47,13	47,48	48,98
Institutionelle Förderung (Helmholtz-Gemeinschaft)²	331,60	348,69	362,81	379,63	393,75	410,29
Begleitende Maßnahmen (u. a. Projektträger, Internationales, Forschungsnetzwerke, Forschungskommunikation)	28,14	34,72	35,03	28,20	25,76	34,47
Summe	847,39	908,85	934,12	1.067,28	1.054,75	1.148,42

- 1 Rückwirkende Erhebung der Zahlen für die Projektförderung im Jahr 2020 nach der neuen Systematik des 7. Energieforschungsprogramms.
- 2 Seit dem Bundesbericht Energieforschung 2019 folgt die Erhebung der institutionellen Förderung der Systematik der Programmorientierten Förderung (POF) der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren im Forschungsbereich Energie (Zuwendungsbasis). Die Gesamtsumme der Forschungsförderung wird dadurch ab 2014 (Beginn der POF III) gegenüber früheren Ausgaben des Bundesberichts Energieforschung angepasst.

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	laufend in 2019	neu bewilligt in 2019	neu bewilligt in 2019
Energiewende in Gebäuden und Quartieren	47,52	60,11	66,11	61,85	58,21	65,38	78,63	93,51	911	207	117,23
Energieoptimierte und klimaneutrale Gebäude	25,83	31,82	36,55	35,64	32,00	36,57	39,78	50,24	507	122	60,58
Energieoptimierte und klimaneutrale Quartiere	12,23	15,16	15,78	14,30	16,82	20,30	30,02	35,57	301	69	49,01
Thermische Energiespeicher	2,38	4,15	6,51	7,33	5,75	4,84	5,33	4,65	54	2	0,43
Versorgung mit Wärme und Kälte	7,08	8,99	7,27	4,59	3,64	3,67	3,51	3,06	49	14	7,21
Sonstige	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Energiewende in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	31,58	39,69	37,17	37,39	36,00	57,12	60,92	66,20	715	230	96,21
Abwärmenutzung	4,37	4,21	3,88	4,98	4,03	2,78	1,26	0,55	15	5	1,70
Chemische Verfahrenstechnik	5,23	7,30	7,13	7,49	9,11	12,83	12,83	11,22	128	34	10,72
Eisen, Stahl und Nichteisenmetalle	1,81	1,77	0,98	0,97	0,86	1,09	2,07	3,56	54	6	1,15
Zirkuläres Wirtschaften	–	0,05	0,34	0,32	0,12	0,03	–	–	–	–	–
Fertigungstechnik	10,93	15,93	17,13	15,82	11,09	14,82	17,49	23,19	228	70	28,35
Hochtemperatursupraleitung	2,81	3,10	2,37	0,53	0,62	1,18	1,15	1,07	4	3	1,98
Industriemotoren	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Digitalisierung in der Industrie	0,44	0,65	0,70	0,74	1,07	1,59	1,69	1,61	11	–	–
Material- und Ressourceneffizienz	0,09	0,06	0,07	0,09	0,01	0,18	0,28	0,49	7	–	–
Prozesswärme	2,02	3,41	3,29	4,14	5,65	8,15	8,58	9,45	96	27	12,73
Wasserbehandlung	–	–	0,04	0,18	0,35	0,72	0,58	0,57	10	–	–
Flexible Industrieprozesse	–	–	–	–	–	10,70	12,54	10,80	106	50	26,08
Sonstige	3,89	3,22	1,24	2,12	3,07	3,03	2,44	3,67	56	35	13,51
Energiewende im Verkehr	14,22	17,83	12,61	12,80	13,87	14,78	16,49	34,21	273	72	38,51
Batterietechnik für mobile Anwendung	14,22	17,83	12,61	12,80	13,87	14,28	15,63	17,06	146	18	12,35
Synthetische Kraftstoffe	–	–	–	–	–	0,50	0,86	17,15	122	49	24,51
Ladeinfrastruktur und Systemintegration	–	–	–	–	–	–	–	–	5	5	1,66
Sonstige	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Gesamt	93,33	117,63	115,89	112,04	108,08	137,28	156,04	193,92	1.899	509	251,94

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	laufend in 2019	neu bewilligt in 2019	neu bewilligt in 2019
Photovoltaik	66,74	62,73	56,83	67,41	59,78	81,90	78,24	98,69	499	140	106,79
PV-Technologien	10,11	9,88	7,22	5,64	2,65	2,75	5,24	11,75	49	18	14,70
Qualitätssicherung	3,49	2,80	2,65	3,07	3,79	4,60	3,65	3,97	33	1	3,54
Produktionstechnologien	31,33	32,49	28,77	36,05	36,10	55,93	58,11	58,86	320	85	54,97
Zirkuläres Wirtschaften	0,75	0,85	0,63	0,91	0,99	1,14	0,82	1,01	11	5	2,50
Systemfähigkeit	2,43	1,87	2,40	3,40	4,57	5,41	6,85	5,99	43	10	4,47
Grundlagenforschung Photovoltaik	15,21	14,49	14,83	11,59	6,17	3,51	1,33	2,69	8	5	6,62
Sonstige	3,41	0,34	0,34	6,75	5,51	8,56	2,24	14,41	35	16	19,99
Windenergie	38,24	52,57	52,88	52,85	49,68	75,11	59,73	72,95	461	112	78,99
Anlagenentwicklung	5,74	18,14	23,40	27,09	21,99	42,92	29,13	34,69	194	41	39,74
Logistik, Installation, Instandhaltung und Betrieb	11,83	7,38	5,25	5,18	7,38	11,00	8,34	8,30	81	24	12,06
Windenergie Offshore	8,30	16,09	14,34	9,19	10,45	11,56	12,03	15,88	86	22	16,97
Umweltaspekte der Windenergie	7,25	4,91	4,31	3,23	2,25	2,48	2,42	3,34	34	9	3,45
Windphysik und Meteorologie	0,21	1,78	2,34	3,63	3,03	3,06	2,33	2,96	41	11	4,89
Sonstige	4,91	4,27	3,24	4,53	4,58	4,08	5,49	7,79	25	5	1,88
Bioenergie	40,83	42,57	43,00	42,10	37,88	33,03	28,54	40,52	597	241	72,78
Erzeugung – Anbau	6,91	6,31	5,98	4,43	4,69	5,70	6,52	10,86	156	58	16,72
Erzeugung – Züchtung	4,43	5,25	4,77	4,92	4,49	4,58	4,20	4,44	61	12	4,38
Konversion – allgemein	–	–	–	0,53	5,22	2,73	4,46	5,03	78	15	1,92
Konversion – gasförmig	4,61	4,87	5,27	6,84	4,92	6,79	5,04	4,88	84	38	8,90
Konversion – flüssig	4,11	6,12	6,19	5,92	3,97	3,21	1,98	1,12	18	1	0,41
Konversion – fest	2,78	0,94	0,73	1,92	2,23	1,77	1,34	2,43	41	30	8,42
Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe	7,52	6,05	5,06	4,69	3,66	4,17	4,20	5,12	137	69	16,96
Grundlagenforschung und Bioenergie	8,61	9,81	12,16	9,89	6,17	3,13	0,22	5,83	11	11	12,24
Querschnitt	1,86	3,22	2,85	2,97	2,53	0,94	0,59	0,80	11	7	2,83
Thermische Kraftwerke	19,68	29,38	29,39	32,22	29,44	34,14	29,05	28,30	359	74	31,29
Last- und brennstoff- flexible Gas- und Dampf- turbinen	11,00	21,01	20,12	20,82	18,42	22,87	18,01	17,74	233	34	17,13
Solarthermische Kraft- werke	4,82	5,72	6,23	8,01	7,21	6,20	6,13	6,75	92	28	11,68
Sonstige	3,87	2,66	3,04	3,39	3,81	5,07	4,90	3,80	34	12	2,49
Geothermie	21,42	17,61	15,64	13,61	12,89	18,15	15,38	13,19	94	25	24,10
Wasserkraft und Meeresenergie	0,98	1,25	1,21	1,68	2,01	2,15	1,40	1,71	16	7	3,54
Gesamt	187,89	206,10	198,95	209,86	191,67	244,49	216,36	255,36	2.026	599	317,50

Tabelle 4 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich „Systemintegration und Sektorkopplung“

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €								Anzahl Projekte		Förder- summe in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	laufend in 2019	neu bewilligt in 2019	neu bewilligt in 2019
Stromnetze	12,20	27,31	31,24	54,32	66,32	78,14	66,24	64,85	589	143	61,69
Versorgungssicherheit	1,04	2,32	2,23	7,50	12,75	13,10	13,51	11,02	102	12	7,02
Flexibilität im Stromnetz	6,67	7,75	5,88	7,21	6,60	6,30	7,13	7,14	101	44	20,16
Netzplanung und Betriebsführung	2,80	7,82	9,53	15,65	19,45	19,56	14,74	13,35	136	23	7,85
Technik für das Stromnetz	1,69	9,42	12,64	16,39	17,52	21,07	17,71	22,50	201	57	24,15
Grundlagenforschung Stromnetze	–	–	0,96	7,57	10,01	18,11	13,15	10,85	49	7	2,51
Sonstiges	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Energiespeicher	13,23	31,43	29,57	28,63	27,69	22,35	18,37	21,43	201	57	28,17
Elektrische Speicher	–	–	–	–	–	0,02	0,61	0,63	9	–	–
Elektrochemische Speicher	1,60	3,96	3,99	4,36	5,22	8,54	8,99	8,68	109	49	23,56
Strom-Wärme-Strom-Speicher	–	–	–	–	0,58	1,39	1,54	2,36	7	–	–
Mechanische Speicher	1,19	3,26	1,53	1,97	2,60	3,19	2,53	2,65	26	4	3,40
Grundlagenforschung Energiespeicher	10,20	19,37	17,21	15,61	10,79	3,60	1,17	3,77	21	–	–
Sonstige	0,25	4,84	6,84	6,70	8,50	5,59	3,54	3,34	29	4	1,21
Sektorkopplung und Wasserstofftechnologien	20,33	30,85	34,41	30,35	25,77	43,95	42,53	40,82	272	81	96,95
Wasserstoffherzeugung	1,08	4,78	6,35	7,17	5,70	6,66	4,21	1,13	11	3	1,42
Wasserstoffspeicher und -transport	2,17	3,84	3,46	2,76	2,85	4,36	4,90	5,73	34	6	2,56
Brennstoffzellen	15,64	19,58	18,82	15,23	10,04	15,67	13,81	14,31	88	17	21,42
Systemische Ansätze	–	0,62	0,96	1,12	0,99	0,32	0,33	0,46	4	–	–
Power-to-X	1,45	0,96	0,40	0,39	0,19	0,62	1,06	1,33	16	–	–
Grundlagenforschung Sektorkopplung und Wasserstoff	–	1,08	3,04	2,10	4,63	15,53	17,36	17,78	114	48	67,96
Sonstige	–	–	1,39	1,58	1,37	0,79	0,85	0,08	5	7	3,60
Gesamt	45,76	89,60	95,22	113,30	119,79	144,44	127,15	127,11	1.062	281	186,82

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	laufend in 2019	neu bewilligt in 2019	neu bewilligt in 2019
Energiesystemanalyse	6,02	8,06	8,39	9,32	11,18	15,01	15,94	17,16	233	60	24,75
Digitalisierung in der Energiewende	-	-	-	-	-	-	-	-	13	22	9,62
Ressourceneffizienz im Kontext der Energie- wende	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO₂-Technologien	8,47	5,97	6,60	4,28	15,06	18,15	24,58	19,57	73	22	9,83
CO ₂ -Transport und -Lagerung	0,72	0,74	0,67	0,38	-	0,18	0,96	1,23	6	3	1,13
CO ₂ -Abtrennung	7,75	5,12	3,90	1,80	3,46	3,30	2,11	1,23	20	12	5,01
CO ₂ -Umwandlung und -Nutzung	-	0,11	0,27	1,30	2,64	2,83	4,61	3,04	18	7	3,69
Grundlagenforschung CO ₂ -Technologien	-	-	1,76	0,79	8,95	11,84	16,90	14,08	29	-	-
Programmkooperation Industrielle Gemein- schaftsforschung	-	-	-	-	0,05	2,52	4,22	5,47	43	10	3,62
Energiewende und Gesellschaft	-	1,18	3,25	3,95	2,64	10,02	9,93	10,15	49	8	1,26
Materialforschung	-	-	0,72	10,41	27,87	26,68	18,21	10,30	89	-	-
Grundlagenforschung Energirelevante Nut- zung des Untergrundes	4,51	4,65	4,22	3,69	3,59	1,81	2,02	1,36	18	1	0,64
Technologieoffene Förderung mit internationalem Fokus	-	0,05	1,03	2,00	0,65	0,28	2,11	3,88	63	41	19,85
Sonstige Grundlagen- forschung	20,95	16,99	10,07	10,84	9,96	11,64	15,22	10,42	42	4	6,39
Gesamt	39,95	36,90	34,29	44,49	71,01	86,12	92,22	78,31	623	168	75,95

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	laufend in 2019	neu bewilligt in 2019	neu bewilligt in 2019
Endlager- und Entsorgungsforschung	12,30	13,23	13,58	12,95	13,09	16,33	17,61	19,57	111	26	20,92
Endlagerforschung	9,84	10,39	10,25	10,06	9,94	11,43	12,02	12,23	64	14	7,14
Querschnittsaufgaben und Sonstige	0,54	0,53	0,53	0,54	1,06	1,90	2,69	3,57	26	11	12,90
Kernmaterialüber- wachung	0,18	0,15	0,19	0,24	0,26	0,21	0,09	0,22	1	1	0,89
Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen)	1,74	2,17	2,61	2,11	1,83	2,78	2,81	3,54	20	–	–
Reaktorsicherheits- forschung	24,38	23,43	25,10	25,22	24,06	22,76	21,98	22,05	139	33	25,74
Sicherheit von Komponenten kern- technischer Anlagen	5,28	4,01	4,38	4,55	4,38	4,20	5,19	4,75	41	6	2,16
Anlagenverhalten und Unfallabläufe	11,25	12,09	12,51	13,22	13,37	13,46	12,52	12,47	68	15	15,18
Querschnittsaufgaben und Sonstige	5,08	5,72	4,81	4,05	3,63	3,37	3,04	3,63	22	12	8,40
Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen)	2,77	1,62	3,39	3,39	2,68	1,73	1,23	1,19	8	–	–
Strahlenforschung (BMBF)	4,91	4,95	4,61	7,58	8,58	8,05	7,89	7,36	43	6	3,52
Gesamt	41,59	41,61	43,29	45,74	45,73	47,13	47,48	48,98	293	65	50,18

Tabelle 7 | Institutionelle Förderung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
POF III						
Energieeffizienz, Materialien und Ressourcen	60,49	64,12	68,43	69,45	73,00	76,67
Erneuerbare Energien	47,84	51,91	54,37	56,73	59,09	61,51
Kernfusion (inkl. Wendelstein 7-X)	123,51	123,51	123,51	123,51	123,51	126,00
Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung	34,62	35,76	37,27	38,84	40,47	42,16
Technologie, Innovation und Gesellschaft	7,11	7,65	7,95	8,25	8,54	8,84
Speicher und vernetzte Infrastrukturen	49,93	57,12	60,47	69,61	72,86	76,21
Future Information Technology	8,11	8,62	10,81	13,24	16,28	18,90
Summe	331,60	348,69	362,81	379,63	393,75	410,29

Tabelle 8 | 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

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

5.2 Fördermittel für die Energieforschung der Länder

Tabelle 9 | Aufwendungen der Länder für nicht-nukleare Energieforschung

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

Tabelle 10 | Aufwendungen der Länder für nicht-nukleare Energieforschung nach Themen (2008 – 2017)

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

Tabelle 11 | Aufwendungen der Länder für nicht-nukleare Energieforschung im Jahr 2018 nach neuer Technologieklassifikation*

Themen	Mittelabfluss in Mio. €
	2018
Energieeffizienz in Industrie, Handel und Gewerbe	24,04
Energieeffizienz in Gebäuden und Quartieren	16,97
Energieeffizienz im Verkehr (inkl. Elektromobilität)	29,39
Sonstige Energieeffizienzmaßnahmen	22,10
Thermische Kraftwerke/CO ₂ -Technologien	4,40
Erneuerbare Energien – Solarthermie und Photovoltaik	18,39
Erneuerbare Energien – Windenergie	6,82
Erneuerbare Energien – Geothermie	6,55
Erneuerbare Energien – Bioenergie	10,86
Erneuerbare Energien – Wasserkraft	0,95
Erneuerbare Energien – Meeresenergie	0,40
Sonstige Erneuerbare Energiequellen	19,48
Wasserstofftechnologien	12,94
Brennstoffzellen	6,49
Stromnetze (Elektrizitätsübertragung und -verteilung)	6,43
Energiespeichertechnologien	26,42
Energiesystemanalyse/Modellierung	7,39
Summe	220,04

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

