



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

---

# Bundesbericht Energieforschung 2018

---

*Forschungsförderung für die Energiewende*



## **Impressum**

### **Herausgeber**

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

### **Stand**

Juni 2018

### **Druck**

Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG, 60386 Frankfurt

### **Gestaltung**

PRPetuum GmbH, 80801 München

### **Bildnachweis**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
Maria Parussel / S. 4–5  
Holger Vonderlind / S. 12–13, 36–37, 39

Ed. Züblin AG: Verbundvorhaben SolConPro –  
Ganzheitliche Integration energetisch aktiver  
Fassadenkomponenten in Bauprozesse.  
Gefördert durch das BMWi, Förderkennzeichen 03ET1290 / Titel

### **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 2018

---

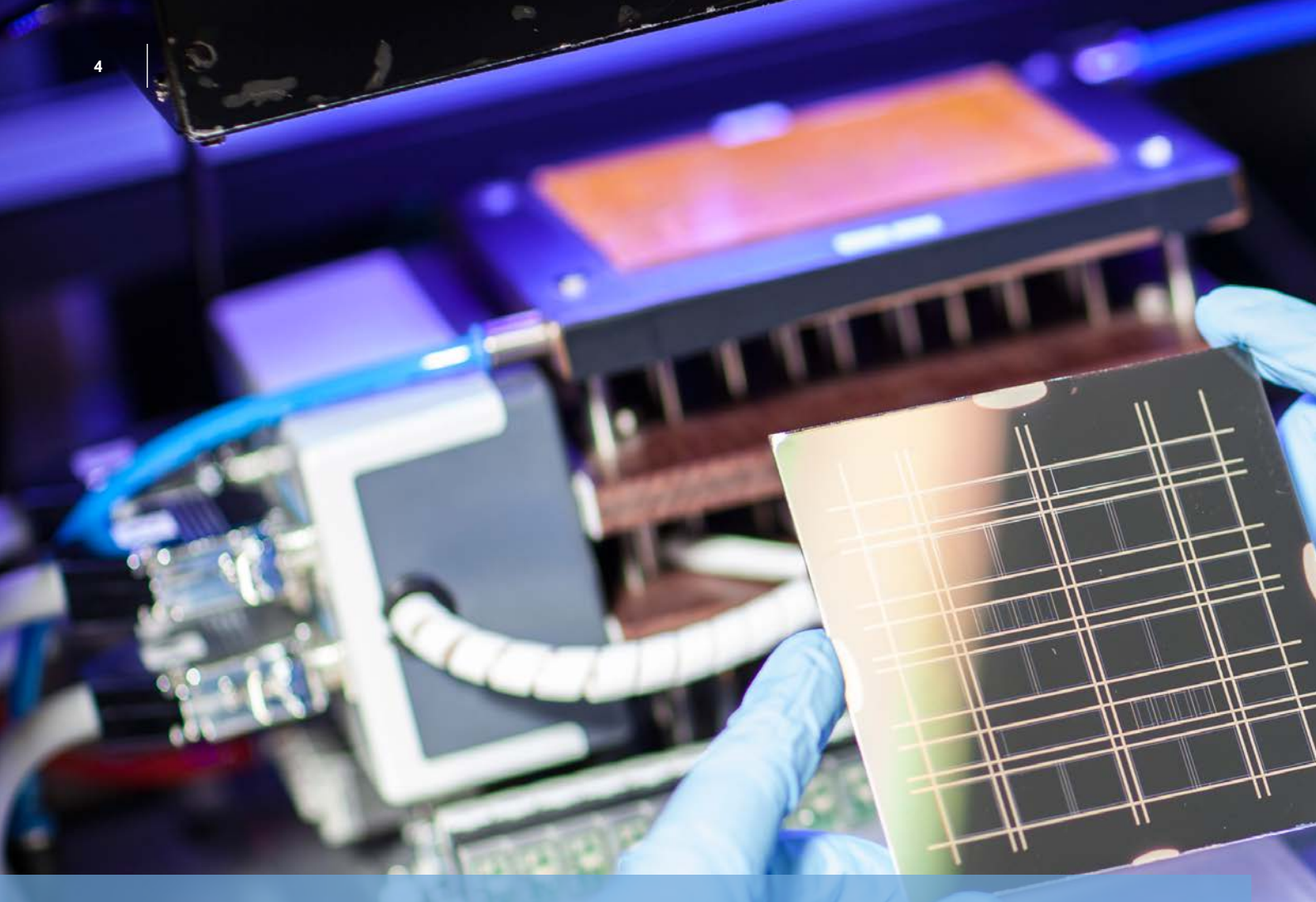
*Forschungsförderung für die Energiewende*



# Inhalt

<b>1. Forschungsförderung für die Energiewende</b>	<b>4</b>
1.1 Das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung	4
1.1.1 Ziele und Erfolge des 6. Energieforschungsprogramms	5
1.1.2 Entwicklung des 7. Energieforschungsprogramms	5
1.1.3 Ressortaufgaben	6
1.1.4 Mittelentwicklung	6
1.1.5 Evaluationen und Erfolgskontrollen	7
1.2 Strukturen der Energieforschungspolitik	7
1.2.1 Energiewende-Plattform Forschung und Innovation und Forschungsnetzwerke Energie	7
1.2.2 Forschungsforum Energiewende	8
1.2.3 Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“	8
1.2.4 Zentrales Informationssystem Energieforschung	8
1.3 Europäische und internationale Vernetzung	9
1.3.1 Europäische Kooperationen	9
1.3.2 Internationale Kooperationen (IEA, Mission Innovation, bilaterale Initiativen)	9
1.4 Nationale Vernetzung	11
<b>2. Projektförderung im 6. Energieforschungsprogramm</b>	<b>12</b>
2.1 Energieumwandlung	12
2.1.1 Photovoltaik	12
2.1.2 Windenergie	14
2.1.3 Bioenergie	16
2.1.4 Tiefe Geothermie	17
2.1.5 Kraftwerks- und CO <sub>2</sub> -Technologien	18
2.1.6 Brennstoffzellen und Wasserstoff	20
2.1.7 Solarthermische Kraftwerke	21
2.1.8 Wasserkraft und Meeresenergie	22
2.2 Effiziente Energienutzung	23
2.2.1 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	23
2.2.2 Energie in Gebäuden und Quartieren	24
2.3 Systemorientierte Energieforschung	26
2.3.1 Energiesystemanalyse	26
2.3.2 Energiespeicher	27
2.3.3 Stromnetze	28
2.4 Querschnittsthemen	30
2.4.1 Forschungsallianz Energiewende der IGF	30
2.4.2 Kopernikus-Projekte	30
2.4.3 Carbon2Chem	31
2.4.4 Gesellschaftsverträgliche Transformation des Energiesystems	31
2.4.5 Materialforschung für die Energiewende	32
2.4.6 Informationsverbreitung (BINE Informationsdienst, FONa)	32
2.5 Nukleare Sicherheitsforschung	33
2.5.1 Reaktorsicherheitsforschung	33
2.5.2 Endlager- und Entsorgungsforschung	34
2.5.3 Strahlenforschung	35

<b>3. Institutionelle Energieforschung</b>	<b>36</b>
3.1 Forschungsbereich Energie der HGF	36
3.2 Fusionsforschung	38
<b>4. Weitere energierelevante Förderaktivitäten</b>	<b>39</b>
4.1 Forschungsförderung der Länder	39
4.2 Forschungsrahmenprogramm der EU (Horizon 2020)	41
4.3 Aktivitäten der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms	42
4.3.1 EnEff.Gebäude.2050 – Innovative Vorhaben für den nahezu klimaneutralen Gebäudebestand 2050	42
4.3.2 Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)	42
4.3.3 SINTEG „Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“	42
4.3.4 Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen	44
4.3.5 Vom Material zur Innovation	44
<b>5. Tabellen</b>	<b>45</b>
5.1 Fördermittel im 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung	45
5.2 Fördermittel für Energieforschung der Länder	51



# 1. Forschungsförderung für die Energiewende

## 1.1 Das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Die Förderung von Energieforschung ist ein strategisches Element einer zukunftssichernden Energiepolitik. Sie trägt dazu bei, die energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung im Zuge der Energiewende umzusetzen. Die Basis bildet das Energieforschungsprogramm. Dabei werden einerseits konkrete, zeitlich begrenzte Projekte und andererseits große Forschungsgemeinschaften über längere Zeiträume gefördert. Neben der Entwicklung wettbewerbsfähiger, innovativer und nachhaltiger Energie- und Effizienztechnologien für die Energiewende entstehen durch Forschungsförderung nachhaltiges Wachstum und qualifizierte Arbeitsplätze in Deutschland sowie ein großes Exportpotenzial. Zugleich leistet Deutschland einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung des internationalen Klimaschutzes.

2017 war ein besonderes Jahr für die öffentliche Förderung von Forschung und Entwicklung. 1977, vor nunmehr 40 Jahren, trat das erste Energieforschungsprogramm der

Bundesregierung in Kraft. Eine Trendwende, denn damit wurde die Erforschung nichtnuklearer Energietechnologien erstmals auf eine programmatische Basis gestellt. Neben der bis dato rein auf die Sicherung der Energieversorgung ausgerichteten Förderpolitik gewannen Umweltaspekte zunehmend an Bedeutung. Seit 1977 haben die beteiligten Bundesministerien die Erforschung und Entwicklung innovativer Energietechnologien kontinuierlich unterstützt, verstetigt und erweitert. Das Energieforschungsprogramm hat sich durch seine verschiedenen Neuauflagen stets an veränderte Rahmenbedingungen und aktuelle Entwicklungen angepasst und blieb so unvermindert relevant. Ein besonders eindrucksvoller Erfolg des Programms zeigt sich in seinem wichtigen Beitrag zur Entkoppelung des Bruttoinlandsprodukts vom Energieverbrauch. Üblicherweise steigt mit dem wirtschaftlichen Wachstum der Energieeinsatz in gleichem Maße. In Deutschland ist zwischen 1990 und 2010 hingegen das Bruttoinlandsprodukt pro Kopf um fast 30 Prozent gestiegen, dank vielfältiger Effizienzmaßnahmen jedoch ohne einen höheren Energieeinsatz.



### 1.1.1 Ziele und Erfolge des 6. Energieforschungsprogramms

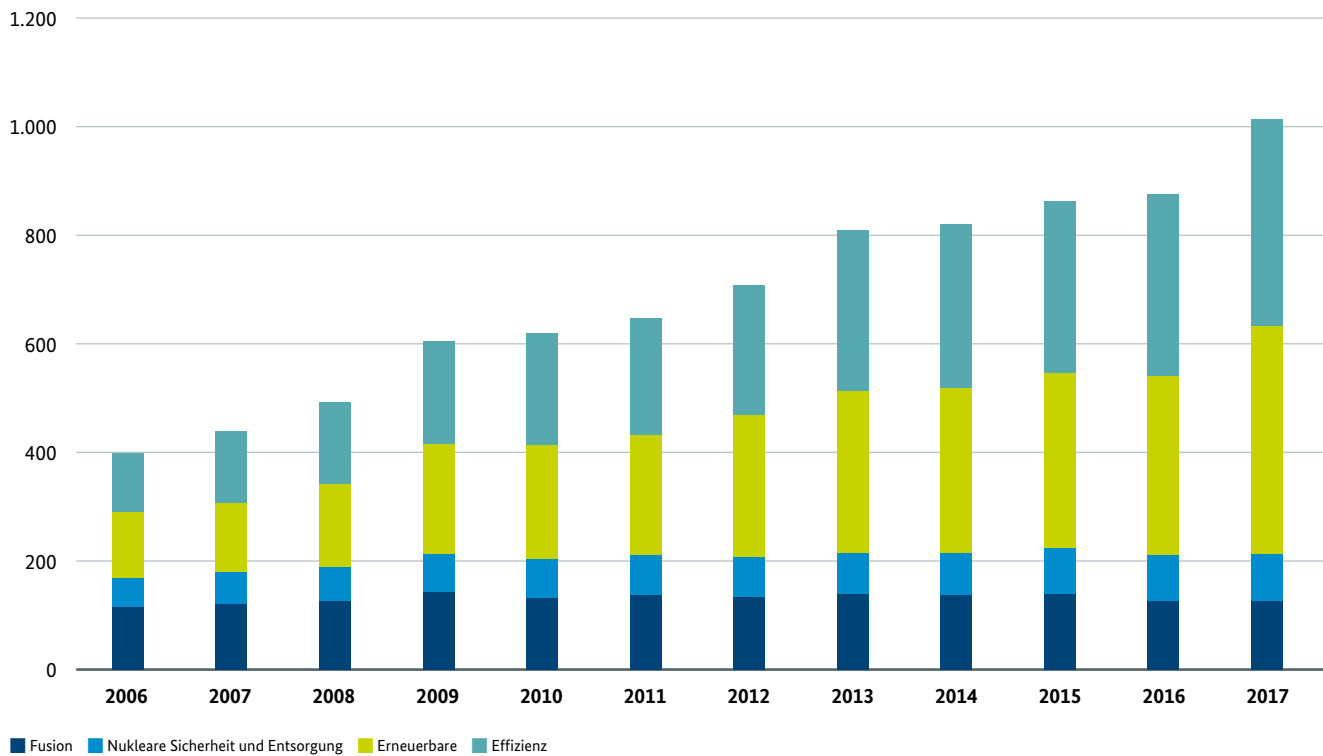
Das 6. Energieforschungsprogramm ist 2011 in Kraft getreten. Damit hat die Bundesregierung ihre Förderpolitik konsequent auf die Ziele der Energiewende ausgerichtet. Im Fokus stehen das Erforschen und Entwickeln innovativer Technologien und Lösungen für den Umbau des Energiesystems im Zeichen einer umweltschonenden, zuverlässigen und bezahlbaren Versorgung in der Zukunft. Ein wichtiger Eckpfeiler ist dabei der Erhalt der Stärke Deutschlands als wettbewerbsfähiger Industriestandort. Neben einer verbesserten Energieeffizienz will die Bundesregierung durch Forschung den Ausbau des Anteils erneuerbarer Energien an der Strom-, Wärme- und Kälteversorgung sowie im Verkehr vorantreiben. Dabei setzt das 6. Energieforschungsprogramm nicht nur auf thematisch abgegrenzte Maßnahmen, wie beispielsweise höhere Wirkungsgrade von Photovoltaikmodulen, sondern auch ganz gezielt auf thematisch übergreifende und systemorientierte Forschungsansätze in Bereichen mit besonderer Relevanz für die Energiewende. Nennenswert ist in diesem Zusammenhang das Modul II der ressortübergreifenden Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“. Innerhalb des 6. Energieforschungsprogramms haben die beteiligten Bundesministerien von 2012 bis einschließlich 2017 circa 5 Milliarden Euro an

Fördermitteln für die institutionelle Förderung und die Projektförderung aufgewendet (vgl. Abb. 1, S. 6).

### 1.1.2 Entwicklung des 7. Energieforschungsprogramms

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) hat im Dezember 2016 den Konsultationsprozess für die Entwicklung des 7. Energieforschungsprogramms gestartet. Das offene und transparente Beteiligungsverfahren ermöglichte allen interessierten Akteuren, ihre Empfehlungen für das Fortschreiben des Programms in Positionspapieren einzureichen. Hinzu kamen Expertenempfehlungen aus den Forschungsnetzwerken Energie des BMWi sowie eine Online-Befragung unter allen Mitgliedern der Forschungsnetzwerke. Zudem hat am 2. Mai 2017 anlässlich der Jubiläumsveranstaltung zu 40 Jahren Energieforschungsprogramm der Bundesregierung eine Fachkonferenz im Konferenzzentrum des BMWi stattgefunden. Hier haben die Teilnehmer die Weiterentwicklung des Programms in Expertenworkshops diskutiert. Darüber hinaus haben zwei durch das BMWi geförderte Forschungskonsortien innerhalb des strategischen Leitprojekts „Trends und Perspektiven der Energieforschung“ den Status, die Perspektiven sowie das Innovations- und Marktpotenzial von verschiedenen Energietechnologien beleuchtet und in Form von

**Abbildung 1: Übersicht der Themen im Energieforschungsprogramm des Bundes**  
in Mio. € (Daten siehe Tabelle 1)



Technologieberichten veröffentlicht. Der Konsultationsprozess wurde Ende 2017 abgeschlossen. Alle Ergebnisse veröffentlicht der Projektträger Jülich im Auftrag des BMWi auf [www.energieforschung.de](http://www.energieforschung.de). Die Webseite informiert über die Entwicklungen und Fortschritte auf dem Weg zu einem neuen Programm. Das 7. Energieforschungsprogramm soll 2018 vom Bundeskabinett verabschiedet werden.

### 1.1.3 Ressortaufgaben

Innerhalb der Bundesregierung liegt die Federführung für die Koordination, die programmatische Ausrichtung und die Weiterentwicklung des Energieforschungsprogramms beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). An der Umsetzung des Programms sind außerdem das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) beteiligt. Gemeinsam decken die drei Ministerien die gesamte Innovationskette ab – von der energie-technologischen Grundlagenforschung bis hin zur anwendungsorientierten Forschung, Entwicklung und Demonstration. Damit unterstützt die Bundesregierung vielversprechende Ansätze für die Entwicklung wettbewerbsfähiger, bezahlbarer, umweltschonender und zuverlässiger Lösungen für die Energiewende.

Während das BMBF für die projektorientierte Grundlagenforschung in den Bereichen Energieeffizienz, erneuerbare

Energien, Energieinfrastrukturen wie Stromnetze und Energiespeicher, sozial-ökologische Forschung im Bereich Energie sowie nukleare Sicherheit, Entsorgung, Strahlungsforschung und Fusion zuständig ist, fördert das BMWi die anwendungsorientierte Forschung, Entwicklung und Demonstration. Dazu gehören das gesamte Spektrum der Energieeffizienz und erneuerbaren Energien, die Stromnetze, Energiespeicher und Integration erneuerbarer Energien in das System sowie die nukleare Sicherheitsforschung. Zudem liegt die institutionelle Förderung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in der Zuständigkeit des BMWi. Die institutionelle Förderung der übrigen Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren (HGF) fällt in die Zuständigkeit des BMBF. Die Projektförderung zur Bioenergie verantwortet das BMEL.

### 1.1.4 Mittelentwicklung

2017 hat die Bundesregierung rund 1,01 Milliarden Euro für die Forschung, Entwicklung und Demonstration moderner Energie- und Effizienztechnologien und -anwendungen für die Energiewende aufgewendet (vgl. Abb. 1). Damit ist das Fördervolumen im Vergleich zum Vorjahr erneut gestiegen (2016: 876 Millionen Euro). Der größte Anteil der Mittel, rund 80 Prozent, wurde in Forschung zu erneuerbaren Energien und zur Energieeffizienz investiert. Das verdeutlicht den hohen Stellenwert von Innovationen für den erfolgreichen Umbau der Energieversorgung. Die Zahlen



zur Projektförderung in diesem Bericht stellt zudem die Website [www.enargus.de](http://www.enargus.de) transparent und nachvollziehbar dar. EnArgus ist das zentrale Informationssystem Energieforschung des BMWi.

### 1.1.5 Evaluationen und Erfolgskontrollen

Um eine bedarfsgerechte und zukunftsorientierte Förderpolitik für die Energieforschung zu gewährleisten, überprüft die Bundesregierung regelmäßig mit Hilfe von wissenschaftlich-technischen Evaluationen und begleitenden Erfolgskontrollen die Effizienz und Wirksamkeit der umgesetzten öffentlichen Fördermaßnahmen. Auf diese Weise unterstützen die am Energieforschungsprogramm beteiligten Bundesministerien die Transparenz in der Energieforschung. Zudem ermöglichen Kontrollen wie diese, dass künftige Förderaktivitäten am weiteren Forschungsbedarf ausgerichtet werden und den späteren Transfer von Innovationen in den Markt begünstigen.

Im Jahr 2017 hat der Projektträger Jülich im Auftrag des BMWi und BMBF den Abschlussbericht zur begleitenden Erfolgskontrolle der gemeinsamen Förderinitiative Energiespeicher vorgelegt. Die Maßnahme hatte ein Fördervolumen von 186 Millionen Euro. Die Kontrolle zeigt, dass von der grundlagennahen Materialforschung bis hin zur anwendungsnahen Demonstration alle relevanten Forschungsfelder durch die geförderten Projekte abgedeckt wurden und die gesteckten Ziele im Wesentlichen erreicht wurden. Hierzu zählte beispielsweise der Abbau von Hemmnissen für eine Markteinführung, der Ausbau des Verständnisses der künftigen Rolle von Speichern im Energiesystem oder die Beschleunigung der Entwicklungsfortschritte von Speichertechnologien. Gleichwohl gibt es weiterhin Entwicklungs- und Optimierungsbedarf, unter anderem bei der Erhöhung internationaler Forschungs Kooperationen, um Energiespeicher erfolgreich in der Praxis zu etablieren. Die Schlussfolgerungen und Empfehlungen des Berichts fließen unter anderem auch in den Konsultationsprozess für das 7. Energieforschungsprogramm mit ein.

Ebenfalls im Jahre 2017 konnte die gemeinsam zwischen BMWi und BMVI durchgeführte Evaluation des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) abgeschlossen werden.

## 1.2 Strukturen der Energieforschungspolitik

Die Bundesregierung setzt bei ihrer Förderung der Energieforschung auf einen transparenten Dialog mit allen Akteuren in diesem Bereich. Dies stellt einen hohen Praxisbezug von Forschung und Entwicklung sicher und unterstützt den Transfer von Innovationen in die Energiewirtschaft. Die Bundesministerien haben Strukturen eingerichtet, die diesen Austausch zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik fördern.

### 1.2.1 Energiewende-Plattform Forschung und Innovation und Forschungsnetzwerke Energie

Das BMWi hat 2015 die Energiewende-Plattform Forschung und Innovation (FuI-Plattform) als eine von insgesamt fünf Energiewende-Plattformen eingerichtet. Sie dient als strategisches Beratungsgremium zu übergreifenden Fragen der Förderpolitik zur Energieforschung und tagt zweimal pro Jahr. Zum Plenum zählen Institutionen aus Politik, Energiewirtschaft, Forschung und Gesellschaft. Gemeinsam diskutieren die Mitglieder aktuelle Entwicklungen in der Energieforschung und begleiten die Arbeit der Forschungsnetzwerke Energie des BMWi. Im Zusammenhang mit dem Konsultationsprozess für das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung hat die Plattform im Rahmen der Jubiläumsfeierlichkeiten zu 40 Jahren Energieforschungsprogramm sowie der angeschlossenen Fachkonferenz im Mai 2017 wesentliche Impulse für die Vorbereitung des 7. Energieforschungsprogramms geliefert. Bei der zweiten Sitzung im Dezember 2017 haben die Forschungsnetzwerke Energie ihre Expertenempfehlungen für die verschiedenen Themenschwerpunkte an das BMWi übergeben.

Die Forschungsnetzwerke Energie sind die tragende Struktur unterhalb der FuI-Plattform. Sie stehen allen interessierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern offen und werden durch die Akteure selbst organisiert und gestaltet. Derzeit engagieren sich in den acht Netzwerken annähernd 3.500 Mitglieder zu folgenden Themenschwerpunkten:

- Bioenergie
- Energie in Industrie und Gewerbe
- ENERGIEWENDEBAUEN (bis Oktober 2017: Energie in Gebäuden und Quartieren)
- Erneuerbare Energien
- Flexible Energieumwandlung (im Januar 2017 aus der COORETEC-Initiative hervorgegangen)
- Stromnetze
- Systemanalyse
- Start-ups (gestartet 2018)

Die Zusammenarbeit innerhalb der Netzwerke erfolgt in Arbeitsgruppen. Regelmäßige Konferenzen stellen einen persönlichen Austausch aller Mitglieder zu Trends und Entwicklungen in ihrem Forschungsfeld sicher. Zusätzlich haben sich die Mitglieder auf individueller Basis an der Online-Umfrage zum Konsultationsprozess des strategischen Leitprojekts „Trends und Perspektiven der Energieforschung“ (siehe Kapitel 1.1.2) beteiligt.

### 1.2.2 Forschungsforum Energiewende

Für die Umsetzung der Energiewende sind anzugehende Schlüsselfragen und Forschungsbedarfe zu sammeln, zu bewerten und aufzubereiten. Dies ist Aufgabe des Forschungsforums Energiewende. Das BMBF führt unter Beteiligung aller betroffenen Ressorts im Forschungsforum Energiewende hochrangige Akteure aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft zusammen. Gemeinsam diskutieren und bewerten sie wissenschaftsbasierte Handlungsoptionen, die das Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ (siehe Kapitel 1.2.3) erarbeitet hat.

Zentrale Ergebnisse der Arbeit des Forschungsforums Energiewende sind die vier Kopernikus-Projekte, in denen aktuelle Schlüsselthemen der Energiewende adressiert werden (siehe Kapitel 2.4.2).

### 1.2.3 Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“

Das Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) wird gemeinsam getragen durch die deutschen Wissenschaftsakademien. Die in Deutschland vorhandene wissenschaftliche Expertise zu Energiefragen wird darin interdisziplinär gebündelt. In Disziplinen-übergreifenden Arbeitsgruppen erarbeiten mehr als 100 Expertinnen und Experten Gestaltungsoptionen für eine nachhaltige, sichere und bezahlbare Energieversorgung in Deutschland.

Neben Fragen der prinzipiellen Machbarkeit von Technologien für Bereitstellung, Transport und Speicherung von Energie werden auch ökonomische, ökologische, rechtliche sowie soziale Aspekte betrachtet. Charakteristisch ist eine systemische Herangehensweise, bei der immer auch der Blick über die Grenzen Deutschlands hinweg gerichtet ist.

Die bisherige Bilanz umfasst 18 Stellungnahmen, Analysen und Materialien, die Handlungsoptionen für den Umbau des Energiesystems enthalten. Ergänzende Analysen und Materialien liefern Hintergrundinformationen und vertiefen Einzelaspekte. Zu den neuesten Publikationen zählt das Positionspapier „Impulse für das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung“, das im Rahmen des Beteiligungsprozesses erarbeitet wurde. Darin wird betont, dass

Energieforschung Freiräume für Kreativität und Innovationen, flexible und praxisnahe Förderprojekte sowie mehr Partizipation und internationale Kooperationen braucht. Damit leistet das Akademienprojekt einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der Energieforschung in Deutschland und treibt die Energiewende weiter voran. In weiteren aktuellen Publikationen werden Themen wie Verbraucherpolitik, Energiesparen, Rohstoffe für die Energiewende sowie die Sektorkopplung als Option für die nächste Phase der Energiewende behandelt.

In den Trialogen zur Energiewende tauschen sich ESYS-Fachleute mit Vertreterinnen und Vertretern der Politik, Wirtschaft und organisierten Zivilgesellschaft aus. Die Veranstaltungen werden dazu genutzt, neue Themen aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten und Fragestellungen im Hinblick auf ihre gesellschaftliche Anschlussfähigkeit zu schärfen. In 2017 haben die Akademien im Rahmen des Projektes zwölf Veranstaltungen durchgeführt und damit die Debatte über Herausforderungen und Chancen der Energiewende in Deutschland geführt. Beispielsweise wurden in der ESYS-Konferenz Strategien zur Erreichung der Klimaschutzziele erarbeitet.

### 1.2.4 Zentrales Informationssystem Energieforschung

EnArgus ([www.enargus.de](http://www.enargus.de)) ist das zentrale Informationssystem des BMWi zur Energieforschung. Es bietet ein umfangreiches Rechercheangebot zu laufenden und abgeschlossenen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben aus der öffentlichen Projektförderung sowie zu den thematischen Förderschwerpunkten und Energietechnologien. Die Plattform integriert alle Vorhaben seit Beginn der elektronischen Aktenführung im Jahr 1976, sodass auch ein umfassender Einblick in die Vergangenheit und die in über 40 Jahren erreichten Erfolge gegeben wird. Insgesamt sind mehr als 25.000 Projekte auf EnArgus dargestellt. Das System aktualisiert sich tagesaktuell. Damit bietet das BMWi über EnArgus einen zentralen und transparenten Einblick in die laufenden Förderaktivitäten. Mit dem Management der Plattform hat das BMWi den Projektträger Jülich beauftragt.

Das Portal unterscheidet zwischen zwei Nutzerebenen: Interessierte Bürgerinnen und Bürger können sich über die öffentlich zugängliche Webseite informieren. Personen aus zuständigen Bundesministerien und Projektträgern kann zudem, über einen einheitlichen und zentralen Zugang, die Möglichkeit eröffnet werden, weiterführende Informationen zu erhalten und vertieft zu den Förderprojekten zu recherchieren.

### 1.3 Europäische und internationale Vernetzung

Die Energiewende ist eine internationale Herausforderung. Bi- und multinationale Initiativen ermöglichen neue Synergien und Impulse für die Umgestaltung der europäischen und globalen Energielandschaft. Daher setzt sich die Bundesregierung für einen länderübergreifenden Austausch ein: Die Zusammenarbeit in der EU nimmt einen besonderen Stellenwert ein. Deshalb spielen im Rahmen der EU-Förderung abgestimmte, gemeinsame Strategien der Mitgliedstaaten eine zentrale Rolle. Deutschland ist zudem im sogenannten Energietechnologienetzwerk der global agierenden Internationalen Energieagentur (IEA) engagiert.

#### 1.3.1 Europäische Kooperationen

Mit dem Europäischen Rahmenprogramm für Forschung und Entwicklung „Horizont 2020“ werden die wissenschaftliche Exzellenz und die führende Rolle der europäischen Industrie im globalen Wettbewerb ausgebaut, so auch zum Thema „Sichere, saubere und effiziente Energie“. Die konkreten Förderbereiche sind abgestimmt auf den „Strategischen Energie-Technologie-Plan“ der EU (SET-Plan) und korrelieren mit der globalen Energie-Initiative „Mission Innovation“. Seit 2014 sind für 828 Projekte von Akteuren aus Wissenschaft, Forschung und Industrie rund 2,25 Milliarden Euro bereitgestellt worden. Bis 2020 stehen für Projekte und Unterstützungsmaßnahmen insgesamt knapp 6 Milliarden Euro bereit. Mit den Projektergebnissen werden die energie- und klimapolitischen Ziele der EU (Europa 2020) unterstützt.

Der aktuelle politisch-strategische Rahmen für Energiethemata konzentriert sich auf die Bereiche Energieeffizienz, Verminderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und Steigerung des Anteils Erneuerbarer an der Energieversorgung. Zur Festlegung der Förderprioritäten stimmen sich die Generaldirektionen Forschung (RTD) und Energie (ENER) der Europäischen Kommission mit den Mitgliedstaaten der EU ab. Aktuelle Optionen für Fördermittel werden in den periodisch veröffentlichten Arbeitsprogrammen beschrieben. Für eine Antragstellung steht deutschen Antragstellern die Nationale Kontaktstelle (NKS) Energie für kostenfreie und interessenneutrale Informationen und Beratungsleistungen zur Verfügung. Die NKS Energie gehört zum Zuständigkeitsbereich des BMWi.

In der Durchführung kooperieren die europäischen Partner aus Wissenschaft, Industrie und Anwendung in gemeinsamen Verbundprojekten zur anwendungsbezogenen Grundlagenforschung über die Demonstrationsphase bis hin zur Unterstützung der Markteinführung bei innovativen Ansätzen. Eine thematische Ergänzung wird durch das Gemeinschaftsunternehmen „Fuel Cells and Hydrogen 2

Joint Undertaking – FCH 2 JU“ im Bereich Wasserstoff und Brennstoffzellen gesichert. Besondere Bedeutung gewinnen Synergieeffekte von gemeinsamen Fördermaßnahmen auf europäischer und nationaler Ebene in Form der ERANetze oder nach dem Berliner Modell. Ein Beispiel für gelungene Förderung ist hier das Projekt CPVMatch, das unter deutscher Koordination die Nutzung von Solarenergie weiter vorantreiben soll.

Zu den auf den SET-Plan abgestimmten und durch das BMWi geförderten Projekten gehört beispielsweise auch die 2017 initiierte zweite Deutsch-Finnische Förderinitiative. Insgesamt wurden 32 Skizzen zu den Forschungsbereichen Energieeinsparung und Energieeffizienz sowie Erneuerbare Energien eingereicht. Die ausgewählten Projekte starten im Sommer 2018.

Das Deutsch-Griechische Forschungs- und Innovationsprogramm, das 2013 erstmalig aufgelegt wurde, ist ein thematisch umfassendes bilaterales Programm, das unter anderem die Energieforschung adressiert. Die im Dezember 2016 veröffentlichte Fortsetzung führt die erfolgreiche Zusammenarbeit weiter. So wird die Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft gestärkt, Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler in beiden Ländern werden gefördert und es wird ein Beitrag zur Anschlussfähigkeit der gemeinsamen Forschungsvorhaben in europäischen Programmen geleistet. Das BMBF und das griechische Ministerium für Bildung, Forschung und religiöse Angelegenheiten stellen hierfür insgesamt 18 Millionen Euro bereit.

Es wurden über 200 Skizzen zu den Themenfeldern Gesundheitsforschung, Bioökonomie, Energieforschung, Geistes- und Sozialwissenschaften, Kultur und Tourismus, Materialforschung sowie Schlüsseltechnologien eingereicht. Die ausgewählten Projekte starten im März 2018.

#### 1.3.2 Internationale Kooperationen (IEA, Mission Innovation, bilaterale Initiativen)

Auch auf internationaler Ebene arbeiten Regierungen, Forschungsinstitute, Universitäten und Unternehmen in der Energieforschung intensiv zusammen. Eine wichtige Plattform dafür bietet die IEA mit ihren Technologiekollaborationsprogrammen (Technology Collaboration Programmes, TCP). Daneben existieren auch eine Reihe bi- und multilateraler Kooperationen.

##### Internationale Energieagentur (IEA)

Als selbstständige Einrichtung innerhalb der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) berät die IEA die Regierungen ihrer 30 Mitgliedsländer in Energiefragen. Aktivitäten zu Energieforschung

und -entwicklung begleitet und koordiniert das „Committee on Energy Research and Technology“ (CERT). In diesem IEA-Gremium vertritt das BMWi die Bundesregierung. Die dem CERT unterstellten Arbeitsgruppen (Working Parties) und Technologiekoooperationsprogramme (TCP) bilden das gesamte energietechnologische Spektrum ab. Deutschland ist an allen vier Working Parties und an 22 der insgesamt 38 aktuell laufenden TCPs beteiligt. Im TCP Wind, Task 28 geht es beispielsweise darum, mit welchen kommunikativen und partizipativen Instrumenten sich die Akzeptanz von Windenergieparks erhöhen lässt. In das Konsortium bringen auch das Institut für Zukunftsenergie- und Stromsysteme und die Medical School Hamburg als deutsche Partner ihre Expertise ein.

### Mission Innovation

„Mission Innovation“ ist eine internationale Initiative von 23 Staaten sowie der Europäischen Union zur Förderung von Forschung und Innovation zu sauberen Energietechnologien. Ziel ist eine verstärkte Zusammenarbeit im Bereich von Forschung und Entwicklung für saubere Energietechnologien. Mit den sogenannten „Innovation Challenges“ wurden acht Herausforderungen von besonderer Bedeutung für die Mitgliedstaaten identifiziert. Neben gewissermaßen klassischen Feldern der Energieforschung, wie Bioenergie, Intelligenten Stromnetzen oder Heizen und Kühlen werden auch Forschungsfelder wie automatisierte Materialforschung oder die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in chemische Energieträger in den Blick genommen.

Neben der interstaatlichen Kooperation soll Mission Innovation auch private Investitionen in Energieinnovationen stimulieren. So soll zum Beispiel die Zusammenarbeit mit der parallel zu Mission Innovation von privaten Investoren ins Leben gerufenen „Breakthrough Energy Coalition“ weiter ausgebaut werden. Auch mit dem Weltwirtschaftsforum entwickelt sich eine Kooperation.

Die Bundesregierung bestätigt mit ihrer Beteiligung an Mission Innovation die hohe Bedeutung von Forschung und Entwicklung für die Energiewende in Deutschland und weltweit. Internationale Zusammenarbeit in der Energieforschung sichert die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands auf wichtigen Zukunftsmärkten und stärkt den Export von innovativen Energietechnologien.

### Bilaterale Initiativen

Deutschland nimmt durch die Zusammenarbeit mit Schwellen- und Entwicklungsländern bei Forschung und Entwicklung seine internationale Verantwortung bei der Bewältigung globaler Herausforderungen wahr. Im Fokus der BMBF-Fördermaßnahme „CLIENT II – Internationale

Partnerschaften für nachhaltige Innovationen“ steht daher die Förderung nachfrageorientierter FuE-Kooperationen. Inhaltliche Schwerpunkte der anwendungsorientierten Verbundforschungsvorhaben mit Partnern in ausgewählten Schwellen- und Entwicklungsländern sind dabei die Entwicklung und Umsetzung von Technologien, Produkten, Dienstleistungen und Systemlösungen, unter anderem in den Themenbereichen Klimaschutz, Energieeffizienz und Nachhaltige Energiesysteme.

Das 2016 abgeschlossene deutsch-kanadische Verbundvorhaben „German-Canadian Co-operation on Kinetics and mass transport Optimization in PEM fuel cells“ (GECKO) wird seit Anfang 2017 als „Deutsch-Kanadische Brennstoffzellenkooperation: Diagnose und Entwicklung von Komponenten für automobiler Brennstoffzellen“ (DEKADE) fortgesetzt. Dabei wird die bisherige enge wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen den Forschungseinrichtungen beider Länder fortgeführt und durch die Mitarbeit von Unternehmen entscheidend ergänzt. Die Partner verfolgen das Ziel, neuartige Katalysatorsysteme und Membranelektrodenheiten zu entwickeln, in denen möglichst wenig Platin verbaut wird und die daher kostengünstiger sind. Der Verbund wird mit etwa 3,8 Millionen Euro durch das BMBF gefördert.

Australiens Wirtschaft ist, wie die deutsche, von energieintensiven Industrien geprägt und hat ein hohes Potenzial für die Nutzung erneuerbarer Energien. Zugleich unterliegt Australien bereits heute extremen klimatischen Herausforderungen, die durch die Folgen eines Klimawandels weiter verstärkt würden. Dennoch beruht die Stromerzeugung zu 86 Prozent auf fossilen Quellen. Australien ist mit Blick auf die Umsetzung der Pariser Klimaziele ein wichtiger strategischer Partner in der Energieforschung. Im Rahmen eines gemeinsamen deutsch-australischen Fokusprojektes werden Lösungen für beide Länder hin zu einem emissionsarmen Energiesystem erarbeitet und die dafür notwendigen Wissensgrundlagen geschaffen. Hierfür stellt das BMBF seit dem 01.10.2017 rund 2 Millionen Euro bereit.

Daneben gibt es weitere Initiativen der Bundesregierung, die zum Ziel haben, Innovationen aus Deutschland international bekannt zu machen und die internationale Zusammenarbeit von Wissenschaft und forschender Wirtschaft zu stärken. Die Deutschen Wissenschafts- und Innovationshäuser (DWIH), vom Auswärtigen Amt und der Allianz der Wissenschaftsorganisationen initiiert, sind dafür ein gutes Beispiel.

## 1.4 Nationale Vernetzung

Für das breite Feld der Energieforschung ist eine enge Vernetzung der Akteure auf politischer, wissenschaftlicher, unternehmerischer und gesellschaftlicher Ebene notwendig. Die Abstimmung innerhalb der Bundesregierung erfolgt über die Koordinierungsplattform Energieforschungspolitik unter Leitung des BMWi. Die Plattform dient sowohl dem ressortübergreifenden Informationsaustausch als auch der Abstimmung und Koordinierung mit anderen Förderprogrammen, die enge Bezüge zur Energieforschung aufweisen.

Die Länder leisten einen wichtigen Beitrag zur Förderung von Forschung und Entwicklung für die Energiewende. Im Jahr 2016 betrug der Gesamtmittelansatz der 16 Länder über 248 Millionen Euro (siehe Kapitel 4.1). Um eine enge Abstimmung zu Schwerpunkten, Themen und Trends zu gewährleisten, erfolgt unter der Leitung des BMWi das jährliche Bund-Länder-Gespräch Energieforschungspolitik. 2017 lag der Fokus auf der Beteiligung der Länder bei den Vorbereitungen zum neuen Energieforschungsprogramm.



## 2. Projektförderung im 6. Energieforschungsprogramm

### 2.1 Energieumwandlung

#### 2.1.1 Photovoltaik

Technologisch stehen bei der Photovoltaik weiterhin Zellen auf Basis kristallinen Siliziums als Halbleiter im Vordergrund. Der aktuelle Standard hierbei heißt PERC, kurz für „Passivated Emitter and Rear Contact“. Dabei werden Vorder- und Rückseite der Zellen besser vergütet als bei dem vorher üblichen Standardzellkonzept, die Lichtausbeute im langwelligen Bereich ist erhöht. Weiterentwicklungen dieser Technologie sind bereits in Sicht, in Form passivierter selektiver Kontakte. Diese lassen nur eine Art Ladungsträger passieren und verhindern dadurch, dass freie positive und negative Ladungsträger miteinander rekombinieren und damit nicht mehr als Strom entnommen werden können. Die industrielle Ertüchtigung neuartiger Zellkonzepte ist ein zentraler Bestandteil von Forschung und Entwicklung. Die Anlagenbauer setzen zudem verstärkt auf innovative Fertigungsverfahren im Sinne von Industrie 4.0, um die Investitionskosten für mögliche Kunden herabzusetzen. Im Bereich der Dünnschichttechnologien werden ebenfalls

Erfolge gemeldet: Auf der Konferenz PVSEC 2017 präsentierten verschiedene Hersteller Verbesserungen der Wirkungsgrade ihrer CIGS-Module. Bei CIGS-Zellen besteht der Halbleiter statt aus Silizium aus den Elementen Kupfer, Indium, Gallium und Selen. Neben einer kostengünstigen Herstellung ist der Vorteil von allen Dünnschichttechnologien insbesondere die gute Integrierbarkeit in Gebäudefassaden.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Um die Vorteile zu sichern, die Deutschland vorweisen kann – eine hohe Qualität der Produkte sowie technisch fortschrittliche und innovative Produktionsverfahren – fördert das BMWi Forschungsprojekte im Bereich Photovoltaik. Ein Hauptziel besteht nach wie vor darin, bei steigender Qualität Kosten zu senken. Forschungsprojekte sollen dazu beitragen, den Material- und Energieverbrauch zu senken, effektivere Herstellungsprozesse zu etablieren und den Wirkungsgrad der Zellen zu erhöhen, um Hochleistungsmodule und eine effiziente Systemtechnik bereitzustellen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) haben zum Beispiel im Frühjahr 2017 mit einem Wirkungsgrad von 21,9 Prozent einen neuen Weltrekord für Solarzellen aus multikristallinem Silizium erreicht, dem meistverwendeten Silizium für Photovoltaik. Das Projekt multiTOP, innerhalb dessen der Rekord erreicht wurde, wird vom BMWi gefördert. Solche Erfolge aus der Forschung werden durch Fortschritte aus der Praxis flankiert. So konnte etwa das Unternehmen Heckert Solar GmbH, führender PV-Hersteller aus Sachsen, die Leistung seiner Module steigern, indem es deren Größe um wenige Millimeter in Länge und Breite angepasst hat. Diese optimalen Maße waren das Ergebnis von Simulationsrechnungen, die ein Forscherteam innerhalb des BMWi-Förderprojekts CTM100 weiterentwickelt hat. In diesem Projekt von Fraunhofer ISE, Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP und zwölf deutschen Industriepartnern wird nicht die Zelle, sondern das Modul als solches optimiert.

Eine hohe Qualität der Module ist darüber hinaus von besonderem Interesse mit Blick auf den steigenden Anteil der Solarenergie in den Stromnetzen. Eine zuverlässige Einschätzung der Modul- und Systemleistung ist hierbei unerlässlich. Auf das System Photovoltaik-Anlage bezogen spielt zudem der Wechselrichter als Komponente eine wichtige

Rolle. Innerhalb des Projekts ModulWR\_4 arbeiten die Projektpartner an einer neuen Generation von Wechselrichtern für Solarmodule. Diese sollen zukünftig direkt in das Modul integriert werden, wodurch der Wirkungsgrad gesteigert und die Systemkosten reduziert werden sollen. Der neue Wechselrichter soll so flach sein, dass er auf der Rückseite des Moduls mit einlaminiert werden kann. Hierzu wird der ganze Aufbau neu überdacht.

Um Stromnetze zu entlasten, liegt zudem der lokale Verbrauch des ebenfalls lokal erzeugten Stroms im Blick von Forschung und Entwicklung. Wird dieser optimiert, können Netzausbau oder Speicher eingespart werden, was wiederum die Gesamtkosten senkt.

Im Rahmen der BMBF-Förderbekanntmachung „Materialforschung für die Energiewende“ wurde für den Bereich der Perowskit-Solarzellen eine auch international konkurrenzfähige Expertise aufgebaut. Über diese BMBF-Förderung gelang es, Anschluss an die Weltspitze der Perowskit-Forschung herzustellen. Im Projekt CISOVSKIT liegt der Fokus auf der Entwicklung von Perowskit-Materialien für dünnschichtbasierte Solarzell-Typen. Zwei Solarzellen auf CIGS- und Perowskit-Basis werden in einer Tandemkonfiguration miteinander verknüpft. Der Wirkungsgrad der so entwickelten Hybrid-Solarzelle soll den summierten Wir-

kungsgrad der Einfachzellen deutlich übertreffen und könnte so die Photovoltaik in Zukunft revolutionieren. Drei weitere Projekte im Bereich Photovoltaik ergänzen die Förderung. Sie verfolgen die Entwicklung neuartiger Elektrodenmaterialien für Siliziumsolarzellen, entwickeln effiziente Mehrfachsolarzellen auf Basis von III/V-Halbleitern und untersuchen Absorberschichten für den Einsatz in umweltverträglichen Dünnschichtsolarzellen.

Die organische Elektronik ist eine Zukunftstechnologie, die den effizienten Umgang mit Ressourcen und Energie verspricht. Das BMBF hatte hierzu 2011 die Fördermaßnahme „Organische Elektronik, insbesondere organische Leuchtdioden und organische Photovoltaik“ gestartet. Es geht beispielsweise darum, den Wirkungsgrad von organischen Solarzellen und -modulen zu erhöhen, um sie auf diese Weise für den Photovoltaikmarkt attraktiv zu machen. Organische Solarzellen lassen sich in Form, Farbe und Transparenz anpassen. Sie sind somit für vielfältige Anwendungen einsetzbar, beispielsweise in Glasfassaden, im Fahrzeugbau und in Textilien. Im Rahmen des bereits abgeschlossenen Projektes POPUP wurde auf der Hannover Messe 2017 der Prototyp einer Solarbrille mit Gläsern aus semi-transparenten, organischen Solarzellen präsentiert.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Photovoltaik haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2017 449 laufende Vorhaben mit rund 84,46 Millionen Euro gefördert. 2017 haben die Ministerien zudem 104 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelan-satz von rund 90,71 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 2).

2.1.2 Windenergie

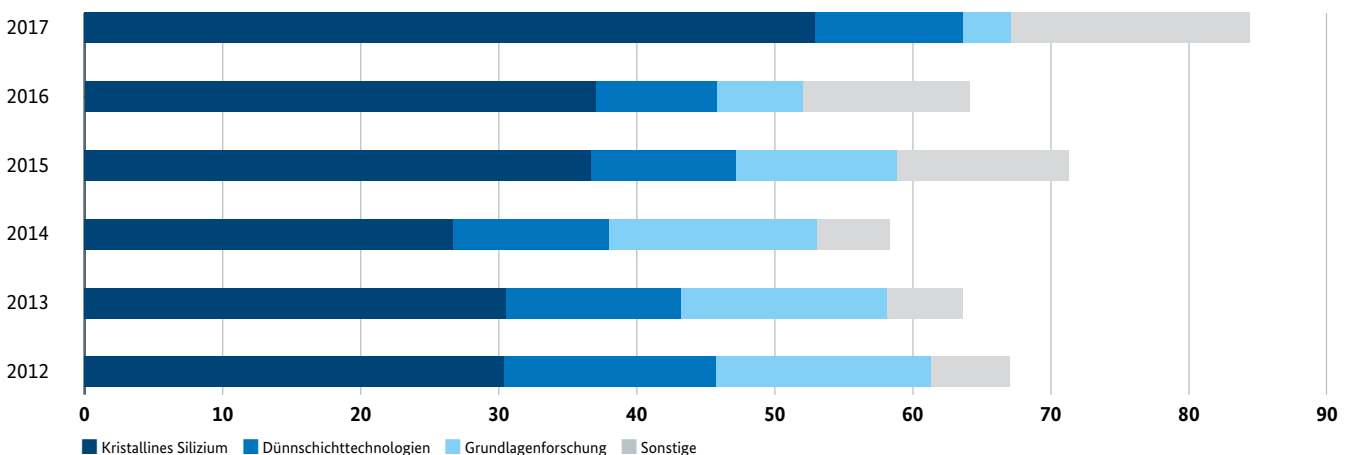
Moderne Windenergieanlagen liefern derzeit den größten Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energien. Sowohl an Land als auch auf See sind in den vergangenen Monaten eine Reihe weiterer Windparks ans Netz gegangen. Neben dem Zubau werden beim sogenannten Repowering alte Anlagen durch neue, leistungsstärkere Anlagen ersetzt, um den Ertrag an dem jeweiligen Standort zu erhöhen. Off-shore-Windenergie ist besonders attraktiv, weil mit einer Anlage gleicher Leistung – aufgrund der starken und stetigen Winde auf See – oft mehr als doppelt so hohe Erträge wie im Binnenland erzielt werden können. Dennoch war die Stromproduktion auf See bisher deutlich teurer, da die technischen und logistischen Anforderungen, etwa beim Bau oder der Wartung, sehr anspruchsvoll sind.

Derzeit sind dreiflügelige Windräder mit horizontaler Achse die gängigste Bauart. Im Trend liegen immer größere Windenergieanlagen mit immer höheren Leistungen. Rotorblattlängen von 80 Metern und mehr stellen allerdings auch logistisch eine große Herausforderung dar.

Forschungsschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

In den vergangenen Jahren haben intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten dazu beigetragen, dass die Stromproduktion aus Windenergie immer günstiger geworden ist. Auch weiterhin liegt der Fokus der Forschungsförderung der Bundesregierung darauf, durch innovative Technologien und Verfahren die Winderträge zu steigern und gleichzeitig die Kosten zu senken. Dies fängt bereits bei der Planung und der Produktion der Windenergieanlagen an. Forscherinnen und Forscher arbeiten unter anderem daran, mit Hilfe von computerbasierten Designprozessen die Rotorblattfertigung sukzessive zu automatisieren.

Abbildung 2: Fördermittel für Photovoltaik in Mio. €  
(Daten siehe Tabelle 2)





Um eine optimale Windernte einzufahren, werden die Anlagentürme immer höher und die Rotorblätter immer länger ausgelegt. Dies führt zu einer deutlich höheren Beanspruchung der einzelnen Komponenten. Daher entwickeln Wissenschaftsteams neue Materialien und Verbundwerkstoffe, die dazu beitragen, das Gewicht der Rotorblätter zu reduzieren und sehr lange Blätter zu ermöglichen. Innovative Regelungsverfahren und eine robuste Leistungselektronik sollen des Weiteren dazu beitragen, dass auch der Betrieb der Windenergieanlagen möglichst reibungslos und wartungsarm abläuft.

Bevor Windenergieanlagen in den Markt gelangen, müssen diese umfassend getestet werden. Das Testfeld Bremerhaven ist 2017 als drittes Testfeld in Deutschland in Betrieb gegangen. Es wird vom Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES auf einem ehemaligen Flughafengelände betrieben. Sowohl hier als auch im nahe gelegenen DyNaLab können wissenschaftliche Forschungseinrichtungen oder Hersteller von Windenergieanlagen-Komponenten umfangreiche Tests im realen Feldebetrieb und auf Prüfständen in der Halle durchführen.

Für Windenergieanlagen, die auf See errichtet werden, kommen weitere Herausforderungen bei den Gründungsstrukturen dazu. Starke Strömungen können beispielsweise den Boden trichterförmig rund um das Fundament einer Anlage auswaschen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersuchen im Großen Wellenkanal des Forschungszentrums Küste (FZK) im Forschungsprojekt marTech unter anderem, wie sich solche Auskolkungen verhindern beziehungsweise zumindest reduzieren lassen. Der Wellenkanal zählt zu den größten maritimen Testanlagen weltweit.

Nicht nur bei den klassischen Anlagenbauteilen, sondern auch im Betriebsablauf als solchem lassen sich die Kosten

weiter senken. Hierbei bietet die Digitalisierung ein großes Potenzial. Verschleißprozesse von Bauteilen an Windenergieanlagen lassen sich beispielsweise mittels Sensoren dokumentieren und in Leitstellen am Computer verfolgen. Infolgedessen können Servicekräfte rechtzeitig die notwendigen Wartungsarbeiten erledigen, noch bevor die Anlage ausfällt und teure Stillstandzeiten in Kauf genommen werden müssen.

Das BMBF fördert die Grundlagenforschung im Bereich Windenergie. Besonders die Förderinitiative „Materialforschung für die Energiewende“ unterstützt das Ziel, die Lebensdauer von Windenergieanlagen zu erhöhen sowie die Kosten zu senken.

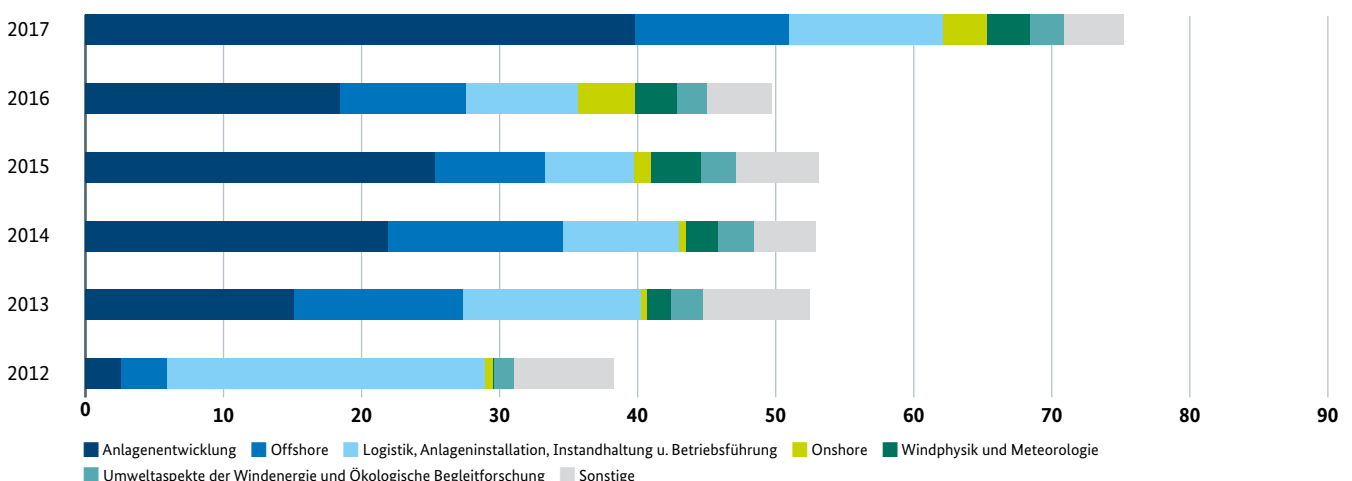
Ein Beispiel ist das Verbundvorhaben „WEA-GLiTS“. Um Ausfall- und Stillstandszeiten aufgrund von Wälzlagerschäden zu senken, werden zuverlässigere Windenergieanlagen entwickelt. Wissenschaftler erproben neuartige Werkstoffkonzepte für Gleitlagerbeschichtungen. Sie entwickeln ein teilbares Lager mit austauschbaren Gleitsegmenten. Bei einem Projekterfolg erschließt sich ein großes industrielles Potenzial. Dieses könnte durch ein neues Werkstoffkonzept mit höherer Ermüdungsfestigkeit und Lebensdauer sowie eine einfachere Austauschbarkeit von Gleitsegmenten erreicht werden.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Windenergie haben das BMBF und das BMWi im Jahr 2017 354 laufende Vorhaben mit rund 75,11 Millionen Euro gefördert. 2017 haben die Ministerien zudem 86 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelantrag von rund 95,97 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 3).

Abbildung 3: Fördermittel für Windenergie in Mio. €

(Daten siehe Tabelle 2)



### 2.1.3 Bioenergie

Die energetische Nutzung von Biomasse leistet weiterhin auch unter sich wandelnden Rahmen- und Randbedingungen einen erheblichen Beitrag zur Energieversorgung in Deutschland. So wurden im Jahre 2016 über verschiedene biogene Energiequellen 1.128 Petajoule Primärenergie bereitgestellt<sup>1</sup>. Aus biogenen Energieträgern wurden damit circa 66 Prozent des Primärenergieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen abgedeckt.

Die realisierten und denkbaren Nutzungsrouten sind dabei vielfältig, gegenwärtig dominiert bei der Energiebereitstellung die Wärmeproduktion aus fester Biomasse. Weitere großmaßstäbliche Nutzungen sind zum Beispiel Ethanol für Kraftstoffe oder die Stromerzeugung aus Biogas, Klärgas oder Deponiegas.

Die vielfältige und umfassende Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration aus Mitteln der drei beteiligten Bundesministerien spiegelt die Mannigfaltigkeit der aktuellen Fragestellungen im Bereich Bioenergie wider. Die relevanten Fördermaßnahmen werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Ein Beitrag des BMEL zur Energieforschung bei erneuerbaren Energien besteht in Fördermaßnahmen auf Basis des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“. Die FuE-Förderung des Förderprogramms umfasst nicht nur Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, sondern auch Maßnahmen zu Anbau und Züchtung, zur stofflichen Nutzung, zur internationalen Zusammenarbeit und zum gesellschaftlichen Dialog.

Der Teil der Projektförderung, der der Energieforschung zuzurechnen ist, variiert von Jahr zu Jahr und ist daher nur ein Element der Fördermaßnahmen aus dem genannten Programm. Seit dem Jahr 2000 berücksichtigt das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ die energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und von Rest- und Koppelprodukten der land- und forstwirtschaftlichen Erzeugung. Die heute gültige Fassung des Förderprogramms wurde am 7. Mai 2015 durch das BMEL veröffentlicht. Im aktuellen Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ (FPNR) des BMEL werden die verschiedenen Nutzungsrichtungen in derzeit zehn Förderschwerpunkten berücksichtigt.

Ergänzend zum FPNR werden FuE-Maßnahmen aus Mitteln des Sondervermögens „Energie- und Klimafonds (EKF)“ finanziert. Die geförderten Vorhaben sind größtenteils der Energieforschung zuzuordnen. Die Maßnahmen beinhalten

ausschließlich Aspekte der energetischen Nutzung von Biomassen und orientieren sich an zwei Förderschwerpunkten:

- Bestimmung und Entwicklung von Technologien und Systemen zur Bioenergiegewinnung und -nutzung mit dem Ziel der weiteren Verbesserung von Treibhausgasbilanzen in den Haupteinsatzgebieten Strom, Wärme und Kraftstoffe
- Optimierung der Integration der Bioenergie in regionale und überregionale Energie-(infrastruktur-)systeme (Wärme, Strom, Mobilität) mit dem Ziel der Verbesserung der Systemstabilität und der Energieeffizienz

Im Jahre 2017 lag im Bereich des BMEL der Fördermittelansatz der Neubewilligungen bei 32,58 Millionen Euro.

Das BMWi unterstützt mit dem Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“ Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte für eine technisch, ökologisch und ökonomisch optimierte Nutzung von Bioenergie. Zu den Zielen gehört es, biogene Reststoffe aus der Abfall- sowie der Land- und Forstwirtschaft sinnvoll einzusetzen, Wirkungsgrade zu steigern und neue Koppel- beziehungsweise Kaskadennutzungspfade zu erschließen. Im Mittelpunkt stehen Wärme- und Stromerzeugung, Kraft-Wärme-Kopplung, Flexibilisierung und die Integration bioenergetischer Anwendungen in das Gesamtsystem, insbesondere auch in Energiesysteme mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien.

Das Verbundvorhaben „ManBio“ wurde in 2017 mit dem Biogas-Innovationspreis der Deutschen Landwirtschaft ausgezeichnet. Projektpartner waren hier das DBFZ Deutsche Biomasseforschungszentrum gGmbH und die Awite Bioenergie. Zunächst ging es in dem Vorhaben um eine technische Analyse der gebräuchlichen Systeme und der wesentlichen Einflussfaktoren im Betrieb von Gasspeichersystemen in Biogasanlagen. Darauf aufbauend hat das Team verschiedene Gasspeicherfüllstandmesssysteme untersucht, modifiziert und in die Anlagenautomatisierung integriert. Um den Gasspeicherfüllstand vorausschauend regeln zu können, wurden die Einflussgrößen auf die verfügbare Gasspeicherkapazität in einem Modell abgebildet. Einflussgrößen sind dabei unter anderem Temperatur, Windstärke und Solarstrahlung. Auf Basis von Wetterprognosen sind damit Empfehlungen zur vorausschauenden Anpassung des Fütterungs- oder Verstromungsregimes zur Vermeidung von Unter- und Überproduktionen möglich. Die technische Umsetzung und Erprobung im Dauerbetrieb wurde an der Forschungsbiogasanlage des DBFZ und an einer weiteren Biogasanlage des Projektpartners realisiert.

1 [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Zahlen/erneuerbare\\_energien\\_in\\_zahlen.html](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/erneuerbare_energien_in_zahlen.html).

Das Programm wird vom DBFZ Deutschen Biomasseforschungszentrum gGmbH mit dem Ziel der Vernetzung und des Wissenstransfers wissenschaftlich begleitet.

Einen Schwerpunkt in der Forschungsförderung des BMBF stellt die Bereitstellung von Netzdienstleistungen dar. In diesem Zusammenhang kann unter anderem die hohe Flexibilität der bioenergetischen Stromerzeugung für das Gesamtsystem erschlossen werden. Im Rahmen der BMBF-Förderinitiative „BioProFi – Bioenergie – Prozessorientierte Forschung und Innovation“ wurde im Vorhaben ABioLa im Rahmen aktueller Forschungen ein innovatives Biogasaufbereitungsverfahren optimiert und effizienter gestaltet. Dadurch wird es auch kleineren Biogasanlagen ermöglicht, Biomethan ins Erdgasnetz einzuspeisen. Im Vorhaben „MOST“ wurden eine einfach zu handhabende Regelungstechnik entwickelt und neue Sensortechniken zur Echtzeitüberwachung von Biogasanlagen untersucht. Diese unterstützen den flexiblen Betrieb und verbessern somit entscheidend die Bereitstellung von Ausgleichsenergie in einem zunehmend auf fluktuierenden Erzeugern basierenden Energiesystem.

Ein weiterer Schwerpunkt in der Forschungsförderung des BMBF ist die Erzeugung chemischer Energieträger und Basischemikalien. Hierdurch werden die dort eingesetzten fossilen Ausgangsstoffe durch nachhaltige Alternativen ersetzt. Als erfolgreiches Projektergebnis konnte das Vorhaben „AG-HiPreFer“ eine kontinuierliche Hochdrucklaboranlage entwickeln. Diese ermöglicht die Einspeisung von Biomethan in bestehende Ferngasleitungen ohne zusätzliche energieaufwändige Verdichtung. So können bis zu 30 Prozent des Energieaufwandes für die Gasaufbereitung eingespart werden. Das Projekt untersucht zudem die Eignung des Biogases aus der Hochdrucklaboranlage zur Produktion flüssiger Kraftstoffe über die Fischer-Tropsch-Synthese. Ein ähnliches Ziel verfolgt das Vorhaben „Mekomat“. Die verschiedenen Elemente eines Elektrosynthesereaktors wer-

den optimiert, um die effiziente Produktion von Basischemikalien und Kraftstoffen unter anaeroben Bedingungen zu ermöglichen. Hierdurch wird neben einer verbesserten Produktion bio-basierter Flüssigkraftstoffe auch ein einflussreiches neues Werkzeug für die Bioökonomie bereitgestellt.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Bioenergie haben das BMEL, das BMWi und das BMBF im Jahr 2017 562 laufende Vorhaben mit rund 33,04 Millionen Euro gefördert. 2017 haben die Ministerien zudem 177 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 38,61 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 4).

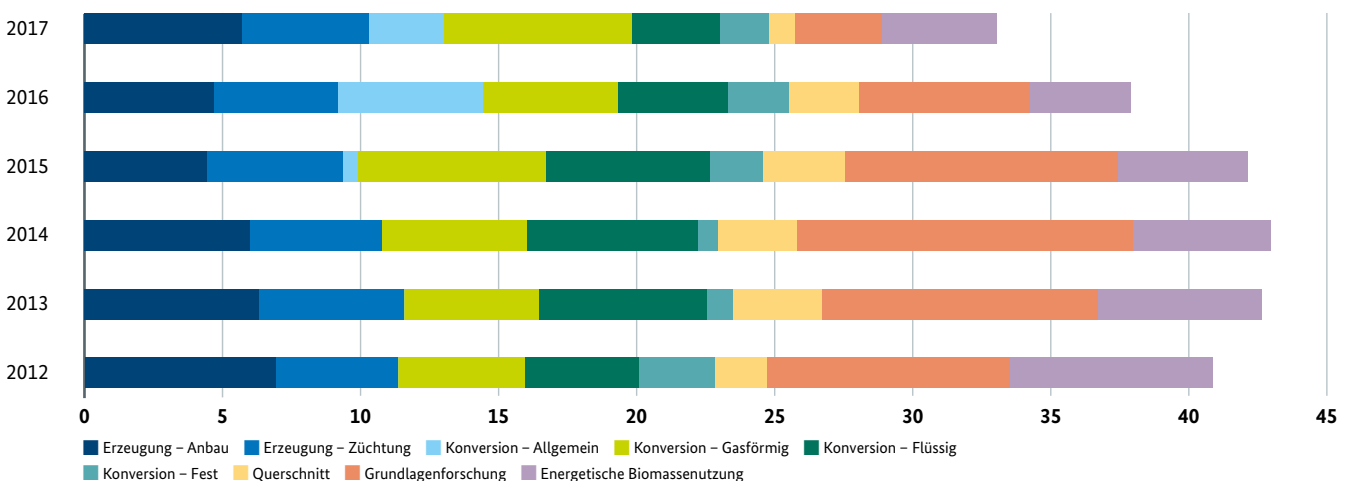
#### 2.1.4 Tiefe Geothermie

Die Forschung im Bereich der tiefen Geothermie beschäftigt sich hauptsächlich mit offenen Systemen – im Gegensatz zur sogenannten oberflächennahen Geothermie, die Wärmesonden mit geschlossenem Kreislauf und geringer Bohrtiefe umfasst. Bei offenen Systemen wird heißes Wasser direkt aus dem tiefen Untergrund gefördert und für die Wärmegewinnung oder Stromerzeugung genutzt. Im Februar 2017 waren nach Statistiken des Bundesverbands Geothermie (BVG) in Deutschland 33 regionale geothermische Heizwerke in Betrieb, Anzahl steigend. Zudem waren demnach acht Geothermie-Kraftwerke in Deutschland am Netz, die Strom produzieren.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die benötigte Technik sowie Verfahren für den Betrieb einer Geothermie-Anlage mit offenem Wasserkreislauf wurden zunächst aus der Ölindustrie adaptiert und eingesetzt. Wissenschaftler- und Ingenieurteams an deutschen

**Abbildung 4: Fördermittel für Bioenergie in Mio. €**  
(Daten siehe Tabelle 2)



Hochschulen, Forschungsinstitutionen und in der Industrie haben diese innerhalb der vergangenen Jahre kontinuierlich an die Erfordernisse der Geothermie angepasst. Insbesondere im Bereich Anlagentechnik konnten sie bereits entscheidende technologische Fortschritte erzielen. Hervorheben lassen sich unter anderem Tiefenpumpen mit hoher Förderleistung. Auch konnten die Forschenden das Reservoir-, Prozess- und Risikomanagement deutlich verbessern. Die letzten 20 Jahre Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet haben dazu beigetragen, dass der deutsche Maschinen- und Anlagenbau im Bereich Geothermie technologisch weltweit führend ist. Daraus ergibt sich ein hohes Exportpotenzial, sowohl im Bereich der Wärmege- winnung als auch im Bereich der Stromproduktion.

Aktuelle Projekte beziehen sich auf alle Stufen des Baus einer Geothermie-Anlage: von der Exploration der Lager- stätte über die Bohrung bis zum Bau beziehungsweise dem anschließenden Betrieb der eigentlichen Anlagen. Gemein- sames Ziel aller geförderten Forschungsprojekte ist es, die Kosten der Geothermie mit Hilfe innovativer Ansätze in allen Teilen der Wertschöpfungskette weiter zu senken und damit die Geothermie als eine nachhaltige und wirtschaft- lich attraktive Alternative zur Wärmege- winnung in Deutsch- land zu nutzen. Innerhalb des Forschungsprojekts Horst- berg untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler etwa, inwiefern ein künstlich geschaffener Riss im Unter- grund als Wärmetauscher genutzt werden kann. Kaltes Was- ser soll hier in den Untergrund geleitet, dort aufgewärmt und im Anschluss zum Heizen entnommen werden. Eine wichtige Fragestellung hierbei ist, ob das System thermisch nachhaltig ist bzw. mit welcher Förderrate und mit welchem Druck es nachhaltig gestaltet werden kann. Es soll eine mög- lichst langfristige Wärmege- winnung gewährleistet werden.

Ein relativ neuer Forschungsansatz besteht darin, geother- mische Lagerstätten vermehrt als Wärmespeicher einzuset- zen, um Schwankungen in Wärmenetzen auszugleichen

und somit den Wandel des Energiesystems zu unterstützen. Speicher im Erdboden – sowohl geschlossene als auch offene Systeme – könnten sowohl langfristig saisonal als auch situativ, also bei kurzzeitigen Energieüberschüssen, im Energiesystem eingesetzt werden.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Geothermie hat das BMWi im Jahr 2017 80 laufende Vorhaben mit rund 16,49 Millionen Euro geför- dert. 2017 hat das Ministerium zudem 17 Forschungspro- jekte mit einem Fördermittelansatz von rund 8 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 5).

2.1.5 Kraftwerks- und CO<sub>2</sub>-Technologien

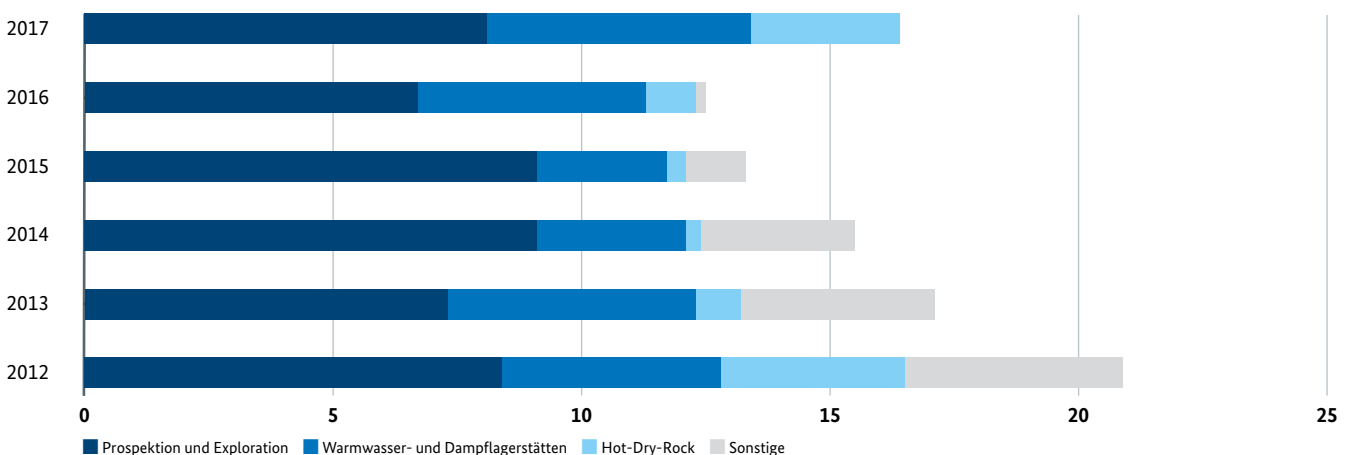
Konventionelle Kraftwerke sind in Zeiten der Energie- wende als flexible Dienstleister gefragt. Sie müssen Versor- gungslücken schließen, wenn witterungsbedingt weniger Strom aus Sonne oder Wind produziert werden kann. Das erfordert neue Anlagenkonzepte und Betriebsprozesse, denn die Kraftwerke müssen häufig an- und abgefahren werden oder in sogenannter Teillast fahren.

Die meisten deutschen Kraftwerke werden zurzeit mit Kohle oder Erdgas betrieben. Perspektivisch sollen jedoch auch Brennstoffe wie Wasserstoff und regenerativ erzeug- tes Methan zum Einsatz kommen. Bei Kraft-Wärme-Kopp- lung (KWK)-Kraftwerken wird neben Strom auch Wärme zum Heizen öffentlicher und privater Gebäude oder Pro- zesswärme für Industriebetriebe bereitgestellt.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Forschungsförderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie zielt darauf ab, die Kraftwerkstech- nologie effizienter, sauberer und kostengünstiger zu

Abbildung 5: Fördermittel für Tiefe Geothermie in Mio. € (Daten siehe Tabelle 2)



machen. Vor dem Hintergrund der deutschen Energiewende werden bei den noch betriebenen Kraftwerken in erster Linie sogenannte Retrofit-Maßnahmen durchgeführt. Diese bereiten die bestehenden Anlagen auf ihre neue Aufgabe als flexible Stromlieferanten vor. Viele Umrüstungen tragen zudem dazu bei, die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kraftwerke zu reduzieren. Darüber hinaus fördert das BMWi innovative Forschungsvorhaben, die sich mit dem Abtrennen, Speichern und Nutzen von CO<sub>2</sub> beschäftigen. CO<sub>2</sub> kann zum Beispiel in Kühlaggregaten und Klimaanlage eingesetzt oder durch Umwandlungsprozesse zu Treibstoffen oder Chemikalien weiterverarbeitet werden. So haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler innerhalb des Vorhabens CODY ein Verfahren für eine dynamische Methanol-Synthese entwickelt. Hierfür nutzen sie sowohl CO<sub>2</sub>, das aus Kraftwerksprozessen stammt, als auch Wasserstoff, der aus erneuerbaren Energien erzeugt wurde.

Um Betriebsprozesse und Bauteile auf den flexiblen Kraftwerksbetrieb anzupassen, sind weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, etwa bei den verwendeten Materialien, notwendig. Innerhalb des Forschungsvorhabens THERRI haben die Projektpartner etwa untersucht, wie sich das häufige und schnelle Hoch- und Herunterfahren der Kraftwerke auf die Materialbelastung auswirkt und wie sich deren Restlebensdauer berechnen lässt. Als Ergebnis steht nun ein innovatives bruchmechanisches Bewertungskonzept für lastfluktuierend betriebene Dampfkraftwerke zur Verfügung. Unter anderem werden darin Inspektionsintervalle empfohlen, mit denen diese Kraftwerke verlässlich, ökonomisch und sicher betrieben werden können.

Darüber hinaus müssen Gas- und Dampfturbinen optimiert und für Anwendungsfelder wie den Kombibetrieb in Gas- und Dampfkraftwerken oder in Kraft-Wärme-Kopplungs-Kraftwerken weiterentwickelt werden.

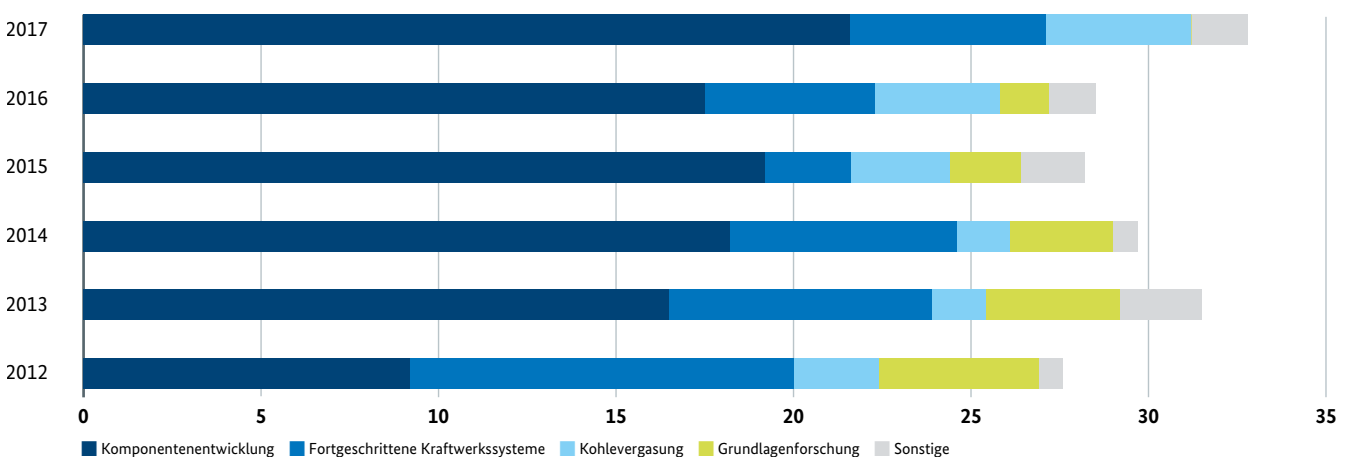
Das BMBF unterstützt bei der Grundlagenforschung zu Kraftwerkstechnologien ebenfalls Lösungen zur Flexibilisierung, die Kraftwerke im Sinne einer Brückentechnologie auf die Erfordernisse der Energiewende ausrichten. Die im Rahmen der Initiative „Materialforschung für die Energiewende“ geförderten Vorhaben untersuchen daher Eigenschaften und Verhalten innovativer Materialien unter extremen Bedingungen. Neben hochwarmfesten Dampferzeugerwerkstoffen werden neuartige keramische Materialien für den Einsatz in Gasturbinen erforscht. Dabei stehen die Steigerung des Wirkungsgrads, ein lastflexibler Betrieb und die Nutzung regenerativer Brennstoffe in Gas- und Dampfturbinenkraftwerken sowie in dezentral nutzbaren Mikrogasturbinen im Fokus. Dazu werden insbesondere die Herstellung entsprechender Gasturbinenkomponenten sowie die Eignung verschiedener Keramiken und Faserverbundwerkstoffe untersucht.

Das Vorhaben CeramTurbo entwickelt innovative Keramikkomponenten für den Einsatz in Mikrogasturbinen mit dem Ziel, die Turbineneintrittstemperatur zu erhöhen. Dadurch könnte die Energieeffizienz deutlich gesteigert werden und die Nutzung von regenerativen Rohstoffen ermöglicht werden. Die Mikrogasturbinen können in Blockheizkraftwerken oder Biogasanlagen eingesetzt werden.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Kraftwerkstechnologien haben das BMBF und das BMWi im Jahr 2017 326 laufende Vorhaben mit rund 32,82 Millionen Euro gefördert. 2017 haben die Ministerien zudem 51 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 25,34 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 6).

**Abbildung 6: Fördermittel für Kraftwerkstechnologien in Mio. €**  
(Daten siehe Tabelle 2)



2.1.6 Brennstoffzellen und Wasserstoff

Automobile Brennstoffzellensysteme stellen eine vielversprechende Option für den Mobilitätssektor dar: hohe Reichweite bei gleichzeitig kurzen Betankungszeiten und breiten Einsatzmöglichkeiten. Als erster deutscher Hersteller hat Daimler 2017 ein Brennstoffzellenfahrzeug vorgestellt. Stationäre Brennstoffzellen-Heizungen (BZH) zur Strom- und Wärmeerzeugung zeigen, wie die Zukunft der Energieversorgung im Haus aussehen kann. Obwohl erste Brennstoffzellen-Heizgeräte und -Fahrzeuge kommerziell verfügbar sind, muss der Reifegrad dieser Technologie mit Forschung und Entwicklung noch weiter ausgebaut werden. Mit dem Technologieeinführungsprogramm des BMWi sollen die BZH nun am Markt etabliert werden.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Brennstoffzellen befinden sich an der Schwelle zur Markteinführung. Doch für eine breite Anwendung in Energiewirtschaft, Konsumgüter- sowie Nutzfahrzeugindustrie müssen sie noch langlebiger und kostengünstiger werden. Das BMWi fördert mit Forschung und Entwicklung die nächsten Generationen von Brennstoffzellen und will damit die Basis für eine international wettbewerbsfähige Brennstoffzellentechnologie in Deutschland schaffen.

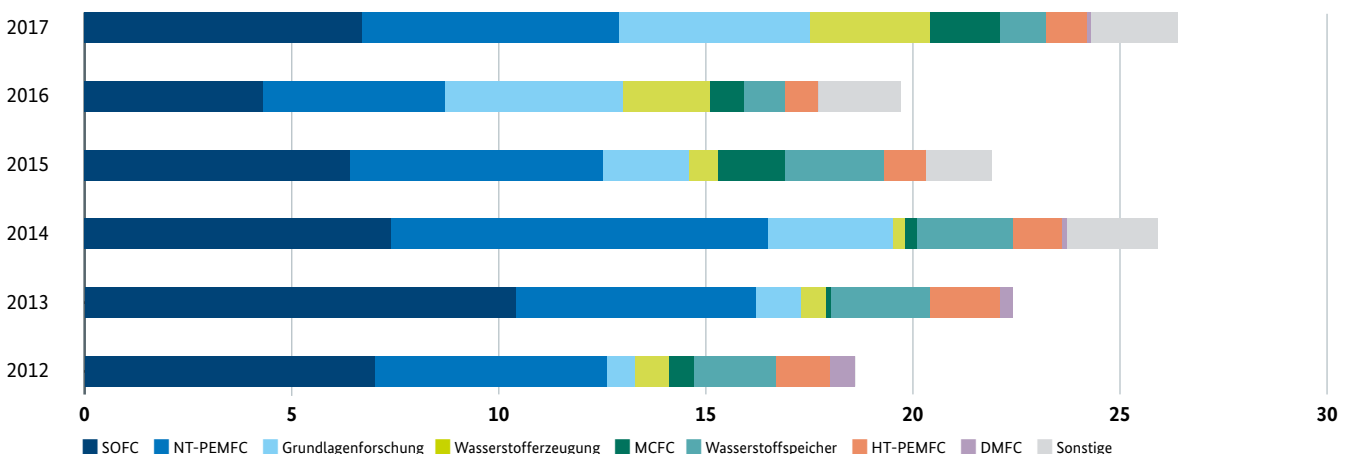
Im Forschungsvorhaben Thermelin haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für die Hausenergieversorgung ein Mikro-Blockheizkraftwerk (Mikro-BHKW) auf Basis einer SOFC-Brennstoffzelle (Solid Oxide Fuel Cell) mit hohem elektrischen Wirkungsgrad von mindestens 50 Prozent entwickelt. Das Forscherteam hat die vorhandene Mikro-BHKW-Technologie im Vorhaben weiterentwickelt und in das Brennstoffzellenmodul einen Dampfreformer integriert. Mit der internen Dampfreformierung oxidiert das Erdgas direkt. Damit ist die SOFC-Brennstoffzelle effizienter als andere Brennstoffzellensysteme mit vorgeschalteter Reformierung. Basis für Thermelin war die Brennstoffzelle als Effizienztechnologie.

Kompakte, robuste, langlebige sowie kosten- und anwendungsgerechte Brennstoffzellensysteme sind das Ziel. Ihr Einsatz ist eng verknüpft mit Technologien zur Wasserstoff-erzeugung und -speicherung. Bei der Wasserstofferzeugung liegt der Fokus der Förderung vor allem auf der Umwandlungseffizienz. Im Hinblick auf die Wasserstoffspeicherung stehen die Erhöhung der Speicherdichte und die Kosten im Vordergrund.

Die Forschungsförderung des BMWi ist technologieoffen gestaltet, sodass je nach Nutzungsprofil die technischen Vorteile der SOFC-, Polymer-Elektrolyt-Technologie (PEMFC) und anderer Typen zum Einsatz kommen können. Das BMWi fördert Vorhaben zu Wasserstofftechnologien, zur Integration von Brennstoffzellen in das Energieversorgungssystem sowie übergreifende Aktivitäten: Im Statusseminar Brennstoffzelle diskutierten etwa Experten aus Forschung und Industrie 2017 über den kurz- und mittelfristigen Forschungsbedarf im Bereich Brennstoffzellentechnologie.

Die BMWi-Förderung von Forschung und Entwicklung der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien ist eingebunden in das „Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien“ (NIP). Mit dem Regierungsprogramm NIP2, das von 2016 bis 2026 läuft, baut die Bundesregierung auf der erreichten Technologiereife und Marktverfügbarkeit erster Gerätegenerationen auf (siehe Kapitel 4.3).

Abbildung 7: Fördermittel für Brennstoffzellen und Wasserstoff in Mio. €  
(Daten siehe Tabelle 2)



BMBF-geförderte Projekte der Grundlagenforschung liefern Lösungen für die nächsten Technologiegenerationen. Die Förderung des BMBF deckt unter jeweils spezifischen Aspekten alle Typen von Brennstoffzellen ab. Im Bereich Wasserstofftechnologie verbessern BMBF-Projekte die Effizienz des Gesamtsystems unter anderem durch innovative Speichermaterialien oder durch Innovationen für die Wasserelektrolyse. Beispielsweise konnten im Projekt POWER-MEE erste Erfolge für eine Leistungserhöhung in der PEM-Elektrolyse durch druckbare Materialien im aktiven Herz der Elektrolysezelle erzielt werden. Das Cluster-vorhaben MANGAN untersucht das technische Potenzial von Mangan als Katalysator für die Teilprozesse der konventionellen Wasserspaltung. Das Element und seine Verbindungen sind gut verfügbar und kostengünstig, sodass teure Edelmetallkatalysatoren ersetzt werden könnten. Dies wäre ein entscheidender Schritt zum Erfolg des Speicherkonzepts Power-to-Gas. Um die Ergebnisse des Vorhabens gut zugänglich zur Verfügung zu stellen, wird derzeit eine umfassende Datenbank der untersuchten Verbindungen aufgebaut.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Brennstoffzellen und Wasserstoff haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2017 156 laufende Vorhaben mit rund 26,5 Millionen Euro gefördert. 2017 haben die Ministerien zudem 48 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 32,23 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 7).

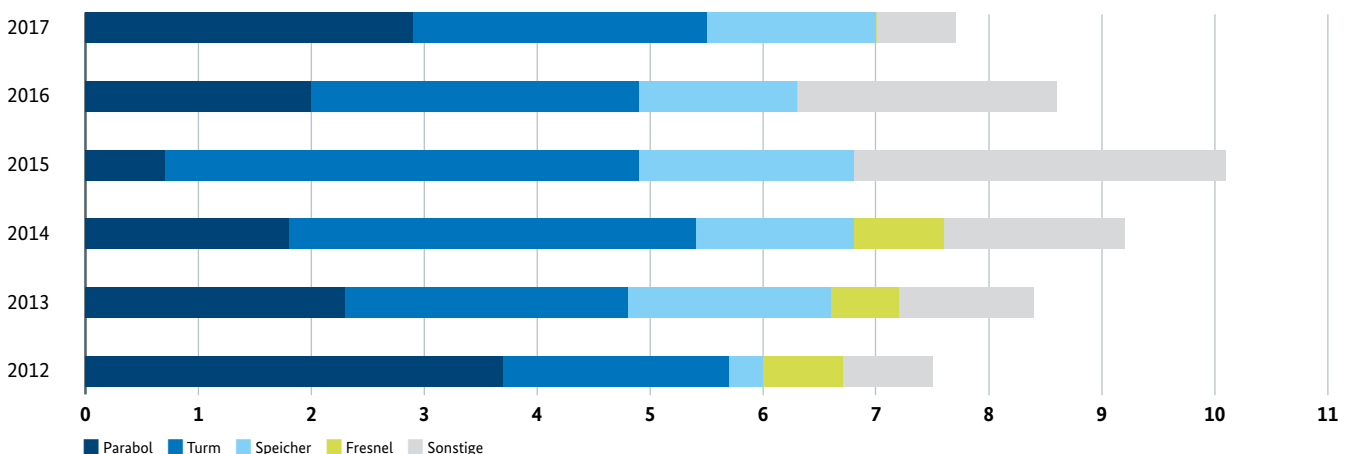
#### 2.1.7 Solarthermische Kraftwerke

Solarthermische Kraftwerke können elektrische Energie an sonnigen Standorten mit hoher Direkteinstrahlung wie etwa Marokko, Spanien oder Südafrika gewinnen. Derzeit sind weltweit mehr als fünf Gigawatt Leistung am Netz, Tendenz weiterhin steigend. Die Internationale Energieagentur (IEA) geht davon aus, dass bis zum Jahr 2050 rund 8 Prozent des Strombedarfs durch solarthermische Kraftwerke gedeckt sein werden. Deutschland eignet sich aufgrund seiner geographischen Lage selbst nicht als Standort, hierzulande gibt es zu wenig direkte Sonnenstrahlung. Der Fokus liegt daher auf dem Export – deutsche Unternehmen sind mit ihrem Know-how bei der Projektplanung und -umsetzung auf dem Weltmarkt sehr gefragt.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die strategische Forschungsförderung des BMWi zielt weiterhin darauf ab, die Rolle deutscher Firmen als technologische Marktführer im globalen Wettbewerb zu flankieren. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sollen dazu beitragen, die Stromerzeugungskosten weiter zu senken und die Wirkungsgrade zu steigern. Schwerpunkte der Forschung sind die Entwicklung neuer und die Verbesserung bestehender Komponenten und Systeme, insbesondere von Solarturmanlagen und linienfokussierenden Systemen, Letztere vor allem mit Salzschnmelze oder anderen Hochtemperaturfluiden als Wärmeträger. Innerhalb des Forschungsvorhabens SITEF haben die Projektpartner zum Beispiel Silikon-Wärmeträgeröle auf ihre besondere Eignung und Tauglichkeit für den Einsatz in Parabolrinnen-Kraftwerken untersucht. Mit solchen Wärmeträgern können vergleichsweise hohe Betriebstemperaturen erreicht werden, der Wirkungsgrad der Kraftwerke steigt.

**Abbildung 8: Fördermittel für Solarthermische Kraftwerke in Mio. €**  
(Daten siehe Tabelle 2)



Ein weiterer Forschungsansatz betrifft die Entwicklung von Standards mittels robuster Mess- und Prüfverfahren, um die Qualität der Komponenten zu erfassen. Mit dem Forschungsvorhaben Synlight wurde in diesem Jahr die größte künstliche Sonne der Welt in Jülich vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Betrieb genommen. In der neuen Forschungsanlage können unter anderem Komponenten der solaren Turmtechnologie in großem Versuchsmaßstab getestet werden.

Ein wesentliches Forschungsgebiet im Zusammenhang mit der solarthermischen Kraftwerkstechnik ist die Entwicklung von Speichern, um auch nachts Strom ins Netz zu speisen. Daher arbeiten Hochschulen, wissenschaftliche Institutionen und Industrieunternehmen intensiv an technologieübergreifenden Konzepten und Pilotprojekten, um das Zusammenwirken unterschiedlicher Erneuerbare-Energien-Technologien mit Speichern weiterzuentwickeln. Innovative Digitalisierungskonzepte können darüber hinaus dazu beitragen, den Betriebsablauf mittels moderner Datenauswertung zu optimieren. Denn in solarthermischen Kraftwerken wird eine Vielzahl von Einzelkomponenten verbaut, die über eine große Fläche verteilt sind. Mit Hilfe optischer Messtechnik – etwa mittels Flugdrohnen – lassen sich Betriebs-, Verschmutzungs- und Degradationszustände von kompletten Solarfeldern erfassen und auswerten.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Solarthermische Kraftwerke hat das BMWi im Jahr 2017 66 laufende Vorhaben mit rund 7,73 Millionen Euro gefördert. 2017 hat das Ministerium zudem 21 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 5,62 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 8, S. 21).

#### 2.1.8 Wasserkraft und Meeresenergie

Um in Deutschland Strom aus Wasserkraft zu gewinnen, wird vor allem das fließende Wasser in Flüssen als Energiequelle genutzt. Die Technologie ist etabliert und kommt an vielen Standorten zum Einsatz. Rund 80 Prozent der Wasserkraftwerke sind hierzulande sogenannte Laufwasserkraftwerke. Die restlichen 20 Prozent der Wasserkraftwerke sind Speicherkraftwerke. Neben der Wasserkraft im Binnenland lässt sich perspektivisch auch Strom aus Meeresenergie generieren. Die Meeresenergieanlagen befinden sich aber im Gegensatz zu der etablierten Kraftwerkstechnik noch in der Entwicklungs- bzw. Erprobungsphase.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Neue Potenziale der Wasserkraft liegen momentan vor allem im Austausch, bzw. in der Modernisierung, vorhandener Anlagen: Beim sogenannten Repowering werden bestehende Anlagen beispielsweise mit neuen, leistungsstärkeren Turbinen ausgestattet. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten können zudem perspektivisch dazu beitragen, dass Laufwasserräder auch bei geringen Gefällen und mittleren Fließgeschwindigkeiten zum Einsatz kommen. Damit ließen sich neue Standorte erschließen. Das BMWi fördert daher Projekte von Hochschulen, wissenschaftlichen Einrichtungen und Industrieunternehmen, die in diesem Bereich aktiv sind. Dabei müssen alle Umwelthanliegen berücksichtigt werden.

Das künftige Potenzial maritimer Energiequellen für den deutschen Küstenbereich ist eher gering einzuschätzen. Nichtsdestotrotz fördert das BMWi Forschungsprojekte, die die dafür notwendige Anlagentechnik und ihre Komponenten optimieren und für den kommerziellen Einsatz auch im Ausland weiterentwickeln. Im Forschungsvorhaben Tidal Power arbeiten Fachleute an einer innovativen Meeresenergie-Anlage mit dem Ziel, sowohl die Investitions- als auch die Wartungskosten deutlich zu senken. Häufig wird im Bereich der Meeresenergie eine fest am Meeresboden verankerte Turbine im Megawattbereich genutzt – bei Tidal Power soll stattdessen eine halbgetauchte, schwimmende Plattform zum Einsatz kommen. Diese sogenannte TRITON-Plattform wird lediglich mit einem Drehgelenk am Meeresboden befestigt, sodass sie sich selbstständig nach der Gezeitenströmung ausrichten kann.

#### Projektförderung

Im Schwerpunkt Wasserkraft und Meeresenergie hat das BMWi im Jahr 2017 17 laufende Vorhaben mit rund 2,15 Millionen Euro gefördert. 2017 hat das Ministerium zudem zwei Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 1,21 Millionen Euro neu bewilligt (Daten siehe Tabelle 2).



## 2.2 Effiziente Energienutzung

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

Die Industrie ist mit einem Anteil von rund 29 Prozent am Endenergieverbrauch der größte Energieverbraucher in Deutschland. Auf den Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen entfallen rund 15 Prozent. Wachstum, Beschäftigung und Wettbewerbsfähigkeit sind immer stärker mit dem Thema Energieeffizienz verknüpft. Für eine erfolgreiche Energiewende sowohl in der Industrie als auch im Gewerbe-, Handels- und Dienstleistungssektor müssen sämtliche Energieeffizienzpotenziale systematisch ausgeschöpft werden. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert Forschung und Entwicklung an energieeffizienten und ressourcenschonenden Technologien in der Breite beider Sektoren und stärkt damit die Position Deutschlands im internationalen Wettbewerb.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Mit einem Anteil von rund zwei Dritteln am industriellen Gesamtendenergieverbrauch ist die Abwärme das unter Effizienzaspekten mit Abstand wichtigste Forschungsthema in der Industrie. Mehreren Studien zufolge liegt das Abwärmepotenzial in Deutschland zwischen etwa 88 und 260 Terawattstunden pro Jahr. Diese Abwärme kann direkt als Wärme genutzt oder in den Prozess zurückgeführt werden. Wird sie in Strom gewandelt, könnten konventionelle Kohlekraftwerke durch eine CO<sub>2</sub>-freie Stromquelle ersetzt werden. Das zeigt die energiewirtschaftliche Relevanz des Themas. Das BMWi hat im Forschungsnetzwerk Energie in Industrie und Gewerbe alle Aktivitäten einer effektiven und effizienten Forschung zu diesem Schlüsselthema im Forschungsfeld Abwärme gebündelt. Auch die Schwerpunkte Tribologie, Fertigungstechnik, Hochtemperatursupraleitung, Eisen und Stahl sowie chemische Verfahrenstechnik sind in eigenen Forschungsfeldern zusammengefasst.

In den insgesamt sieben Forschungsfeldern ermöglicht das BMWi unter dem Dach des Forschungsnetzwerks Energie in Industrie und Gewerbe einen wissenschaftlichen Austausch, langfristige Forschungsk Kooperationen sowie programmatische Weiterentwicklungen. Schlüsselthemen aus Forschung und Entwicklung in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen können über mehrere Jahre gebündelt, aber auch Nischenthemen über das Netzwerk abgebildet werden.

Im Forschungsvorhaben EniGlas haben Forscherinnen und Forscher ein innovatives Schmelzkonzept für Spezialglas entwickelt. Die wichtigste Erkenntnis: Zur weiteren Effizienzsteigerung muss der heute im Wesentlichen in einem durchgängigen Schmelzwannenbecken ablaufende Prozess in möglichst unabhängige Teilschritte zerlegt werden und

dann bei jedem Teilschritt der Energieeintrag individuell optimiert werden. Es ist davon auszugehen, dass die Erkenntnisse aus EniGlas auch auf die Herstellung von Kalk-Natron-Gläsern, also Massengläsern der Hohl- und Flachglasindustrie, übertragbar sein werden.

Für den Sektor Industrie rückt in Zukunft die digitalisierte Produktion zunehmend in den Mittelpunkt. Sie kann eine hohe Transparenz herstellen und Prozesse, auch in Zusammenhang mit neuen Geschäftsmodellen, flexibel steuern.

An der Technischen Universität in Darmstadt erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsvorhaben PHI-Factory, wie eine energieeffiziente und -flexible Fabrik das Stromnetz entlasten kann. Sie entwickeln neue Lösungen, mit denen Fabriken Energie zeitvariabel beziehen und sich an die aktuelle Netzkapazität anpassen können. Ziel ist eine flexible elektrische Fabriknetzführung, die es möglich macht, sowohl den Energieeinsatz entsprechend den Anforderungen zukünftiger Verteilnetze mit hohen Anteilen regenerativer Energien zu steuern als auch systemübergreifend die Energieeffizienz zu steigern. Neben der Verschiebung von Lasten entwickelt und untersucht das Forscherteam Maßnahmen, wie die Netzqualität verbessert und dezentrale Erzeuger- und Speichersysteme in das Energiemanagement eingebunden werden können.

Systemübergreifende Lösungen müssen in Forschung und Entwicklung für komplexe Prozesse weiterentwickelt werden. Simulation und tieferes wissenschaftliches Verständnis können manche Versuchsreihen ablösen, sodass neue Verfahren, näher am energetischen Optimum, schneller und kostengünstiger gefunden werden können.

Die Chancen der Digitalisierung in der Industrie zeigt auch das Kopernikus-Projekt SynErgie auf (siehe Kapitel 2.4.2). Hier arbeiten Unternehmen, Forschungseinrichtungen und zivilgesellschaftliche Akteure gemeinsam an der Flexibilisierung von Industrieprozessen. Durch eine gezielte Produktionssteuerung wird der Energiebedarf der Betriebe an die schwankende Erzeugung aus erneuerbaren Quellen angepasst. Mit Hilfe geeigneter IKT verläuft diese Steuerung automatisiert und an den Bedürfnissen der Unternehmen und des Strommarktes ausgerichtet. Dies führt zu einer Stabilisierung des Stromnetzes, einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien und zu neuen Geschäftsmodellen für energieintensive Unternehmen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen hat das BMWi im Jahr 2017 434 laufende Vorhaben mit rund 44,59 Millionen Euro gefördert. 2017 hat das Ministerium zudem 130 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 55,03 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 9).

2.2.2 Energie in Gebäuden und Quartieren

In Deutschland entfällt etwa ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Gebäude. Das Ziel eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 ist nur zu erreichen, wenn Energieeffizienzmaßnahmen und erneuerbare Energien ineinandergreifen. Seit 2006 sind über 4,6 Millionen Wohnungen mit einem Gesamtinvestitionsvolumen von rund 271 Milliarden Euro energieeffizient saniert oder neu gebaut worden. 13 Prozent des Wärmeverbrauchs wurden im Jahr 2015 durch erneuerbare Energien gedeckt – 2014 waren es noch 12 Prozent. Damit ist das Ziel für 2020 (14 Prozent) bald erreicht.

Die von der Bundesregierung vorgelegte Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) zeigt, wie der Gebäudebestand bis Mitte des Jahrhunderts durch die Steigerung der Energieeffizienz sowie den Einsatz erneuerbarer Energien nahezu klimaneutral werden kann. Gebäude und Quartiere müssen ein integraler Bestandteil des zukünftig nachhaltigen, intelligent gesteuerten Energiesystems werden, das den Energieverbrauch minimiert, die Versorgung mit Strom, Wärme, Kälte und Mobilität aus erneuerbaren Quellen optimiert und die Interaktion zwischen den Sektoren stärkt.

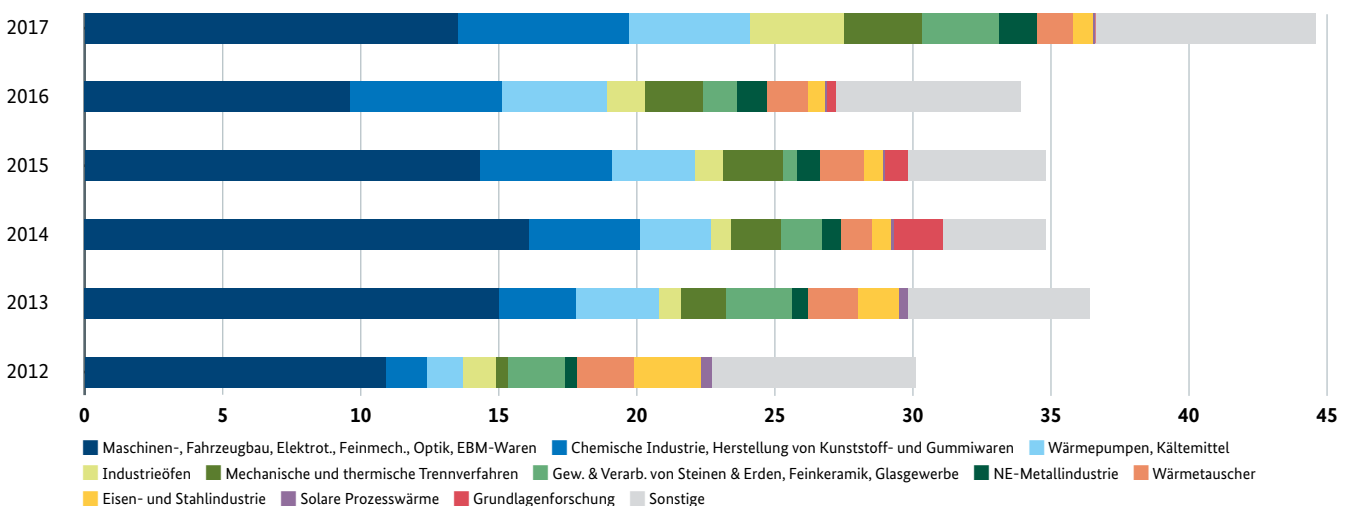
Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Damit Gebäude und Quartiere flexibel und bedarfsgesteuert mit den Netzen interagieren und Erzeugungs-, Energiespeicher- sowie Verteilungsfunktionen im Energiesystem ausüben können, sind in Zukunft weitere, flankierende technologische Entwicklungen und Maßnahmen in Forschung und Entwicklung erforderlich. Schwerpunkte der Forschungsförderung sind die Bereiche Energieoptimiertes Bauen (EnOB), Niedertemperatur-Solarthermie, Thermische Speicher, Forschung für energieeffiziente Wärme- und Kältenetze (EnEff:Wärme), Solarisierung von Wärmenetzen sowie Forschung für die energieeffiziente Stadt (EnEff:Stadt). Dabei rückt die Integration der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr zunehmend in den Fokus, wie auch das systemische Zusammenwirken vielfältiger Energietechnologien.

Exemplarisch ist hier das Vorhaben „EnEff:Stadt Energienetz Berlin“ zu nennen, das Wärme, Kälte sowie regenerativen Strom intelligent zusammenbringt und so den Aufbau einer zukunftsfähigen und flexiblen Versorgungsstruktur am größten Hightech-Standort Europas ermöglicht. Bis 2030 soll der Primärenergieverbrauch für den Technologiepark Adlershof um 30 Prozent reduziert werden. Die vernetzten Energieströme ermöglichen den Aufbau einer zukunftsfähigen und flexiblen Versorgungsstruktur, einer sogenannten Smart Grid Allianz, die mit vorausschauender und nachhaltiger technologischer Planung gezielt optimiert wurde.

Im Bereich Gebäude und Quartiere ist die sektorübergreifende Energieforschung schon lange von zentraler Bedeutung. Integrative Ideen und Konzepte sowie die Partizipation aller beteiligten Akteure zu untersuchen, etwa in sogenannten Living-Labs, sind daher zentrale Bestandteile von ENERGIEWENDEBAUEN. Diese Forschungsinitiative

Abbildung 9: Fördermittel für Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen in Mio. € (Daten siehe Tabelle 3)



bündelt alle Aktivitäten für Forschung, Entwicklung und Demonstration im Bereich Gebäude und Quartiere.

Das Forschungsnetzwerk ENERGIEWENDEBAUEN, früher Gebäude und Quartiere, führt dabei alle Akteure der Branche zusammen. Analysen und Schlussfolgerungen aller laufenden Vorhaben sowie neue Forschungsfelder, Trends und Potenziale werden mit der digitalen „Landkarte der Projekte“ transparent. Zusätzliche Veranstaltungen unter dem Dach der Forschungsinitiative wie ThinkTanks, Kongresse und Workshops vernetzen Forschung, Wirtschaft und Politik.

Mit der gemeinsamen Förderinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt von BMWi und BMBF konnten 2017 fünf von sechs systemisch angelegten Leuchtturmprojekten auf Quartiersebene starten. Sie sollen zeigen, wie durch Innovationen und intelligente Vernetzung energetisch hochwertige, lebenswerte Häuser und Quartiere entstehen können. Die auf fünf Jahre angelegten Reallaborprojekte sollen ein energetisches Gesamtkonzept von der Forschung bis in die Umsetzung verfolgen und alle relevanten Akteure bei den Arbeiten einbeziehen. In Kaiserslautern zeigen neun Partner auf dem ehemaligen Werksgelände der Pfaff AG, wie mit einem hohen Anteil lokal erzeugter erneuerbarer Energie sowie zu sanierenden, denkmalgeschützten und neuen Gebäuden die Energiewende im Quartier erfolgreich umgesetzt werden kann. In Heide (Holstein) erarbeiten im Konsortium „Quarree 100“ zwanzig Partner Lösungen, um die Abregelung von erneuerbarer Energie zu vermeiden und diese lokal sinnvoll zu nutzen. In Oldenburg will das Vorhaben „ENaQ – Energetisches Nachbarschaftsquartier“ neben Strom, Wärme und Elektromobilität vor allem die Akteure und Nutzerinnen und Nutzer miteinander vernetzen. In Zwickau realisiert ein Konsortium aus 13 Partnern im Projekt „ZED“ ein Null-Emissions-Quartier, das zeigen soll, wie Wohnungen auf Basis von elektrisch-thermischen

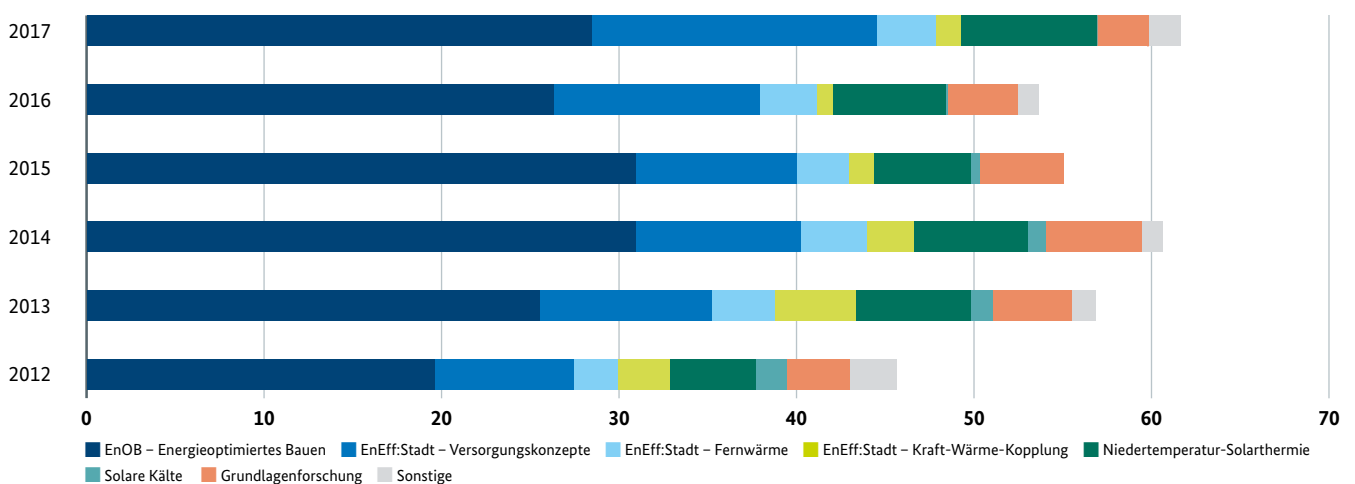
Verbundsystemen zukunftssicher und bezahlbar versorgt werden können. In Esslingen wird das klimaneutrale Stadtquartier „ES-West-P2G2P“ durch einen Verbund innovativer Technologien eine sektorübergreifende Nutzung regenerativer Stromüberschüsse ermöglichen.

Für das ressortübergreifende Modul II der gemeinsamen Förderinitiative stellt die Bundesregierung über 100 Millionen Euro bereit. Das BMWi fördert daneben im Modul I der Förderinitiative die Demonstration von Konzepten zu Sanierung und Neubau von mehrgeschossigen Wohnbauten mit rund 20 Millionen Euro. Im Jahr 2017 haben acht Verbundvorhaben dazu begonnen.

Neben den Aktivitäten in der gemeinsamen Förderinitiative unterstützt das BMBF auch grundlegende Arbeiten für langfristig angelegte Forschungskomplexe. Viele Baudenkmale, die wesentlicher Bestandteil unseres kulturellen Erbes wie auch von großem touristischen Interesse sind, fanden bislang in Zusammenhang mit energetischer Sanierung nur geringe Beachtung. Das 2017 gestartete Vorhaben „Erhalt und Bewirtschaftung von Burgen, Schlössern und Klöstern in Mitteldeutschland angesichts sich verändernder energetischer und klimatischer Randbedingungen“ widmet sich dieser Thematik erstmals in großer Breite und Tiefe. Es werden langfristig ausgerichtete Sanierungskonzepte für diese Gebäudetypen erarbeitet, technische Lösungen entwickelt und Arbeitsmittel für Denkmaleigentümer, Architekten, Ingenieure und Behörden bereitgestellt.

Das BMBF fördert darüber hinaus gezielt Innovationen auf der Materialebene für Anwendungen im Gebäudebereich. Im Forschungsverbund „Thermostop“ wird ein Komposit aus verschiedenen Nanopartikeln entwickelt, das als Wärmeisolation für Gebäude dienen soll. Dieses Material wird die Dämmeigenschaften handelsüblicher porenbasierter

Abbildung 10: Fördermittel für Energieeffizienz in Gebäuden, Quartieren und Städten und Niedertemperatur-Solarthermie in Mio. € (Daten siehe Tabelle 3)



Wärmedämmungen besitzen (zum Beispiel Glaswolle oder PU-Schaum), gleichzeitig aber mechanisch sehr stark belastbar sein und so perspektivisch als Ersatz für herkömmliche Fassadenelemente dienen.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energie in Gebäuden und Quartieren haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2017 655 laufende Vorhaben mit rund 61,76 Millionen Euro gefördert. 2017 haben die Ministerien zudem 205 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 129,96 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 10, S. 25).

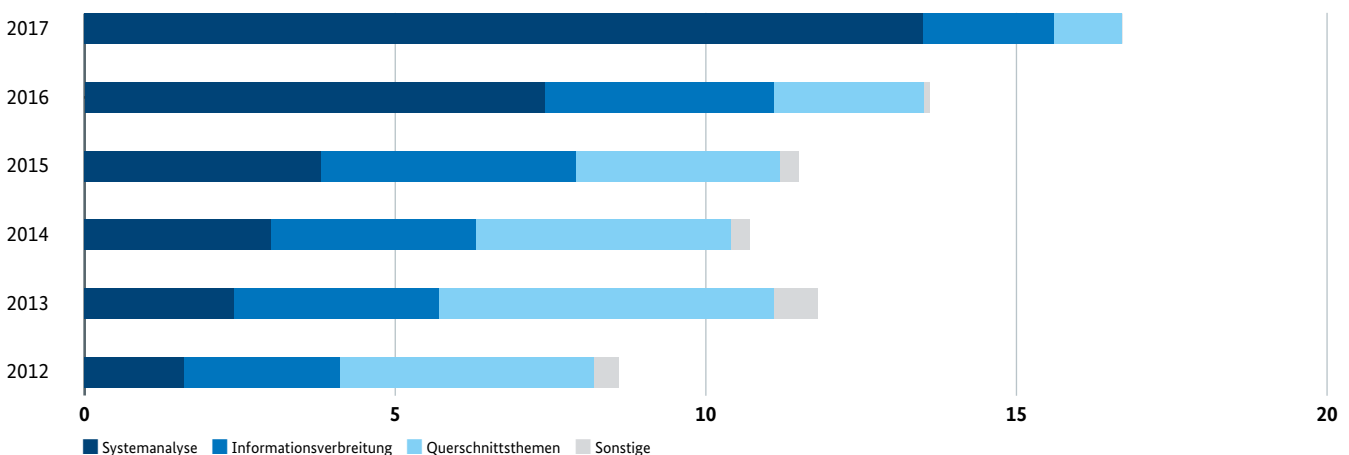
2.3 Systemorientierte Energieforschung

2.3.1 Energiesystemanalyse

Die Erzeugungs- und Verteilstrukturen der Energieversorgung werden immer komplexer. Entsprechend anspruchsvoll ist das Zusammenspiel aller beteiligten Akteure und Ebenen. In der Systemanalyse erarbeiten Forscherinnen und Forscher Antworten darauf, wie das künftige System ausgestaltet werden könnte, damit es zuverlässig, bezahlbar und umweltverträglich ist. Dazu werden Szenarien modelliert und simuliert und auf Basis langfristig angelegter Analysen sowie einer ganzheitlichen Betrachtung des Energiesystems mögliche Zukunftsszenarien durchgespielt. Dies erlaubt die Analyse ökologischer, ökonomischer, technischer, gesellschaftlicher und rechtlicher Folgen der Einführung neuer Technologien und ein Bewerten von Techniken mit Blick auf die Gesamtwirtschaft.

Um insgesamt möglichst zukunftsichere Aussagen zu treffen, bezieht die Systemanalyse andere Forschungsdisziplinen ein. Vor diesem Hintergrund fördert das BMWi im Förderschwerpunkt Systemanalyse des 6. Energieforschungsprogramms Vorhaben von großer Bandbreite – mit ingenieurwissenschaftlicher, ökonomischer, sozialwissenschaftlicher, mathematischer und informationstechnischer Ausrichtung. Mit den Projekten ErdgasBridge und SciGrid\_Gas rückt der Erdgasbereich verstärkt in den Fokus der systemanalytischen Forschung – ihm wird im Zuge der Kopplung der Sektoren Verkehr, Wärme/Kälte und Strom großes Potenzial zugeschrieben. Im Rahmen von SciGrid\_Gas soll ein frei verfügbares Modell des deutschen Gasnetzes entwickelt werden, welches als Baustein auch von anderen Forschenden in systemanalytischen Simulationen genutzt werden kann. Ähnlich ausgerichtet ist das Vorhaben Szenarien\_DB, in welchem eine frei verfügbare Energieszenariendatenbank aufgebaut werden soll. Ziel ist es, durch Bereitstellung und standardisierte Darstellung von Szenariendaten die Transparenz und Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen verschiedener Energiesystemmodelle weiter zu erhöhen. Das Vorhaben InNOSys entspricht dem allgemeinen Trend, den Menschen als wichtige Stellgröße im zukünftigen Energiesystem immer stärker in den Fokus der Modellierer zu rücken. Hier soll ein generisches Werkzeug geschaffen werden, mit dem Energieszenarien innerhalb der drei Nachhaltigkeitsdimensionen Ökonomie, Ökologie sowie soziale Aspekte analysiert werden können. Nicht zuletzt muss die Systemanalyse auch berücksichtigen, dass die europäischen Nachbarn vernetzt agieren, mit Strom handeln und ihn über nationale Grenzen hinweg austauschen. Ein weiterer Aspekt der Forschungsförderung ist daher der Blick auf das europäische Energiesystem. Hier setzt das Verbundvorhaben „Energiewende Deutschland EU“ an. In verschiedenen Szenarien bis zum Jahr 2050 werden mögliche Wechselwirkungen zwischen Deutschland und den europäischen Nachbarländern untersucht.

Abbildung 11: Fördermittel für Systemanalyse und Querschnittsthemen in Mio. €  
(Daten siehe Tabelle 4)



Ein zentrales Thema wird auch künftig Open-Source-Software sein, die großes Potenzial bietet für die Nachvollziehbarkeit von Ergebnissen, das Verbessern von Einzelsystemen und das Etablieren von Standards und Schnittstellen. Auch die Sektorkopplung spielt eine immer größere Rolle. Beispielsweise wird schon heute betrachtet, wie Gasnetze als Speicher von Überschussstrom funktionieren könnten – in einem Energiesystem, in dem die Erneuerbaren einen relativ hohen Anteil erreicht haben werden.

### Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiesystemanalyse hat das BMWi im Jahr 2017 118 laufende Vorhaben mit rund 13,54 Millionen Euro gefördert. 2017 hat das Ministerium zudem 39 Forschungsprojekte mit einem Gesamtvolumen von rund 17,19 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 11).

### 2.3.2 Energiespeicher

Energiespeicher umfassen ein breites Spektrum an Technologien und Anwendungen für alle Bereiche des Energiesystems. Die Entwicklungen für stationäre und mobile Lösungen in den unterschiedlichen Einsatzgebieten sind daher vielfältig, es gibt nicht den einen Speichertyp für die Zukunft. Speicher bieten beispielsweise Möglichkeiten für die E-Mobilität und die Kopplung der Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Verkehr. Als Heimspeicher für Photovoltaikanlagen unterstützen sie einen höheren Eigenverbrauch an erneuerbarer Energie. Zudem ermöglichen Speicher das Überbrücken von Netzengpässen und schaffen Flexibilitätsoptionen in einem Versorgungssystem, in das erneuerbare Energien witterungsbedingt schwankend eingespeist werden. Energiespeicher können schon heute die Lösung für lokale Besonderheiten sein, etwa für Verteilnetzbetreiber, die zeitweilig bereits zu 80 Prozent Strom aus erneuerbaren Quellen im Netz haben. Im Energiesystem der Zukunft schließlich können Speicher generell eine zentrale Rolle spielen, wenn insgesamt ein hoher Anteil erneuerbarer Energien in alle Sektoren der Versorgung integriert wird. Dann kann in großem Maßstab Überschussstrom aus Zeiten mit viel Wind und Sonne akkumuliert und später zum Beispiel in „Dunkelflauten“ verwendet werden.

#### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Im Jahr 2017 wurden in Deutschland 33.500 Heimspeichersysteme für Photovoltaikanlagen neu installiert, der Markt wächst rasant. In den meisten Systemen werden Lithium-Ionen-Batteriezellen eingesetzt. Jedoch war es bisher selbst fachkundigen Installateuren nur schwer bis gar nicht möglich, die Sicherheit der Systeme insbesondere im Langzeitverhalten zu beurteilen. Um diese Lücke zu schließen, fördert das BMWi seit 2014 bzw. 2015 die Projektverbände SPEISI und SafetyFirst. Im Jahr 2017 wurde ein wesentliches

Ergebnis erzielt, indem ein Leitfaden veröffentlicht wurde. Er stellt zum ersten Mal vergleichende Kriterien für die Sicherheit von Photovoltaikspeichersystemen zur Verfügung und soll zeitnah auch auf die Verhältnisse in anderen Ländern übertragen werden.

Wesentlich weiter als die direkte Stromspeicherung in Haushalten mit einer Photovoltaikanlage geht die Umwandlung elektrischer Energie in Wasserstoff oder Erdgas und die Nutzung des Energieinhalts in verschiedenen Sektoren, zum Beispiel der Gaswirtschaft oder dem Sektor Mobilität. Das BMWi fördert unterschiedliche Projekte, in denen die benötigten Technologien für eine effiziente Kopplung dieser Sektoren entwickelt werden. Das Projekt „Energiepark Mainz“ zur Entwicklung und Demonstration einer flexiblen PEM-Elektrolyse (Polymerelektrolytmembran-Elektrolyse) kam im Jahr 2017 zu einem erfolgreichen Abschluss. Es wurde im Rahmen der mittlerweile ausgelaufenen Förderinitiative Energiespeicher gestartet und belegt, dass mit der Technologie Systemdienstleistungen für das Stromnetz erbracht werden können.

Soll der Wasserstoff in Methan umgewandelt werden, ist eine Methanisierungsstufe nach der Elektrolyse erforderlich. Ein möglicher Verfahrensschritt hierzu ist die biologische Methanisierung. Der Projektverbund ORBIT ging im Juli 2017 an den Start und wird den Einsatz eines Rieseltreaktors zur biologischen Methanisierung untersuchen und optimieren.

Künftig wird es in der Forschung zu Energiespeichern verstärkt um das Thema Power-to-Fuel gehen: Im Rahmen der 2017 veröffentlichten Förderbekanntmachung „Energiewende im Verkehr“ des BMWi starten ab 2018 etwa 20 neue Projekte mit Blick auf alternative Kraftstoffe. Mit dabei sind unter anderem Methanol, Ethanol, OME, Kerosin, synthetisch hergestelltes Erdgas und Biogas mit Wasserstoffanteilen.

Das BMBF fördert Vorhaben der anwendungsorientierten Grundlagenforschung als Wegbereiter für die Energiespeicher von morgen. Die Förderung erfolgt auf breiter Front, von Batterien über thermische Speicher bis zu Konzepten für Wasserstoff, Methan oder synthetische Brennstoffe. Neben der Beteiligung an der „Förderinitiative Energiespeicher“ werden Speicher im Rahmen der Initiative „Materialforschung für die Energiewende“ adressiert. Ein Beispiel ist die Forschung an einer Aluminium-Festkörperbatterie im Projekt R2R, die eine viermal höhere Ladungsdichte im Vergleich zu Lithium erreichen könnte. Damit würde ein Auto potenziell den zwei- bis sechsfachen Weg im Vergleich zu kommerziellen Lithium-Ionen-Batterien fahren können. Die Kosten könnten wegen der ausgereiften Produktions- und Recyclingindustrie gegenüber Lithium-Systemen um ein Fünftel gesenkt werden. Das Projekt zeigt auch, wie durch anwendungsorientierte Grundlagenforschung Optionen für die Zukunft entstehen, denn das Potenzial dieses

Batteriekonzeptes wurde in dem Vorläuferprojekt Chry-PhysConcept identifiziert. Energiespeicherung ist auch Gegenstand von BMBF-Großprojekten wie Carbon2Chem oder Kopernikus P2X. Weitere Beiträge zur Speicherforschung finden sich zum Beispiel im Programm „Vom Material zur Innovation“.

Ein Markenzeichen der Projektförderung des BMBF sind die Nachwuchsgruppen mit einer Förderdauer von bis zu fünf Jahren, die exzellenten Nachwuchswissenschaftler/-innen den Aufbau einer eigenständigen Forschung ermöglichen. Auch auf dem Gebiet der Energiespeicher zeugen Erfolgsgeschichten von der Bedeutung dieses Förderinstrumentes: Prof. Volker Presser und Prof. Fabio La Mantia sind mittlerweile als Professoren an der Universität des Saarlandes beziehungsweise an der Universität Bremen tätig.

Projektförderung

Im Schwerpunkt Energiespeicher haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2017 429 laufende Vorhaben mit rund 49,7 Millionen Euro gefördert. 2017 haben die Ministerien zudem 116 Forschungsprojekte mit einem Gesamtvolumen von rund 54,89 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 12).

2.3.3 Stromnetze

Mit der Energiewende wird die Steuerung des Energiesystems komplexer. Es wird in den kommenden Jahrzehnten tiefgreifend umgebaut. Auch die Anforderungen an Übertragungs- und Verteilungsnetzbetreiber steigen. Stromnetze müssen vor allem flexibel und aktiv werden, um die Versorgung auch künftig sichern zu können. Flexibler müssen die Netze vor allem deshalb werden, weil sie bei einem

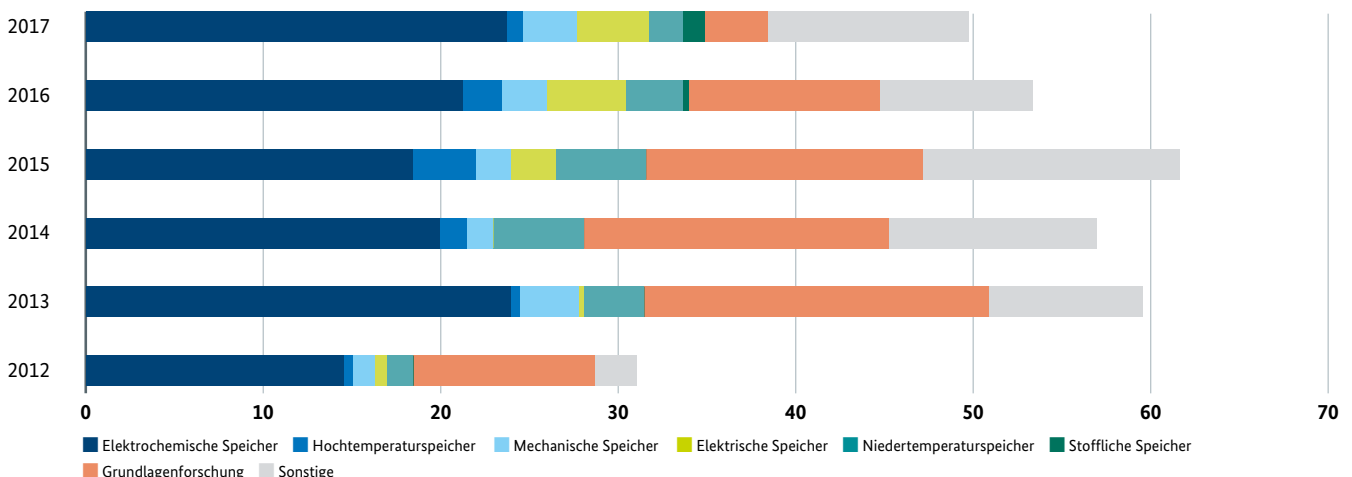
weiter steigenden Anteil von Strom aus erneuerbaren Energiequellen auch immer mehr fluktuierend eingespeisten Strom aufnehmen müssen. Denn Wind und Sonne liefern Strom nicht konstant, sondern witterungsabhängig. Zudem wird Strom aus immer mehr dezentralen Anlagen verschiedener Größe eingespeist. Aktiv müssen die Netze werden, um in diesem Zusammenhang stabil zu bleiben bzw. um Frequenz und Spannung zu halten. Besonders wichtig dafür sind Lösungen für erweiterte Regelungsmöglichkeiten und die Informations- und Kommunikationstechnik. Für den Betrieb intelligenter Stromnetze, sogenannter Smart Grids, sind sowohl innovative Technologien als auch neue Geschäftsmodelle gefragt. Flexible Betriebsstrategien und ein intelligentes Lastmanagement können die weitere Integration erneuerbarer Energien ermöglichen und dabei das Netz stabil halten. Zugleich ergibt sich weiterer Forschungsbedarf, etwa mit Blick auf einen sicheren und effizienten Umgang mit den enormen Datenmengen, die im zunehmend flexibilisierten und automatisierten Energiesystem entstehen.

Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Der Zubau erneuerbarer Energien geht einher mit verstärkt schwankender Einspeisung und größeren Prognoseunsicherheiten. Darum liegt ein Schwerpunkt in der angewandten Projektförderung des BMWi auf der Beherrschung der zunehmenden Dynamik im Stromnetz. Sie zwingt Leitwarten dazu, schneller und präziser auf Ereignisse zu reagieren, um die Systemsicherheit zu gewährleisten.

Das Vorhaben „DynaGridCenter“ dreht sich um die nächste Generation von Netzleitwarten und intelligenter HGÜ-Stationsleittechnik. Diese ermöglicht es, Betriebszustände in Echtzeit zu erfassen und das System selbstständig zu

Abbildung 12: Fördermittel für Speicher in Mio. € (Daten siehe Tabelle 4)



regeln. Der Netzbetrieb kann stabil gehalten werden, weil diese Art intelligenter Stationsleittechnik frühzeitig und automatisiert Hindernisse oder Störungen erkennt und entsprechend reagiert. Im März 2017 wurde im Verbund ein einzigartiges Versuchslabor in Betrieb genommen, an dem in Zukunft die neuen Leitwartenfunktionen prototypisch getestet werden können.

Eine weitere große Herausforderung ist die oft erhebliche räumliche Distanz der Orte von Stromerzeugung und -verbrauch. Gleichstromtechnologie ermöglicht ein verlustarmes und wirtschaftliches Übertragen von Strom auf der Hochspannungsebene über weite Entfernungen und erleichtert das Vermaschen elektrischer Transportnetze. Zudem lässt sie sich gut regeln und steuern.

Das Projekt „E<sup>2</sup>HGÜ“ soll verschiedene technische Elemente der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) optimieren. Das Forscherteam entwickelt und evaluiert daher innovative Betriebsmittel für den Einsatz in transeuropäischen HGÜ-Netzen. Auf dem Gelände des Verbundpartners TU Dortmund ist im März 2017 im Rahmen des Vorhabens der Spatenstich für ein HGÜ-Testzentrum erfolgt. Dort können in Zukunft HGÜ-Komponenten, -Betriebsmittel, -Prüfmuster und -Modelle entwickelt, weiter verbessert und verifiziert werden. Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten sollen in neue Komponenten einfließen, die eine optimierte Auslegung von HGÜ-Betriebsmitteln ermöglichen.

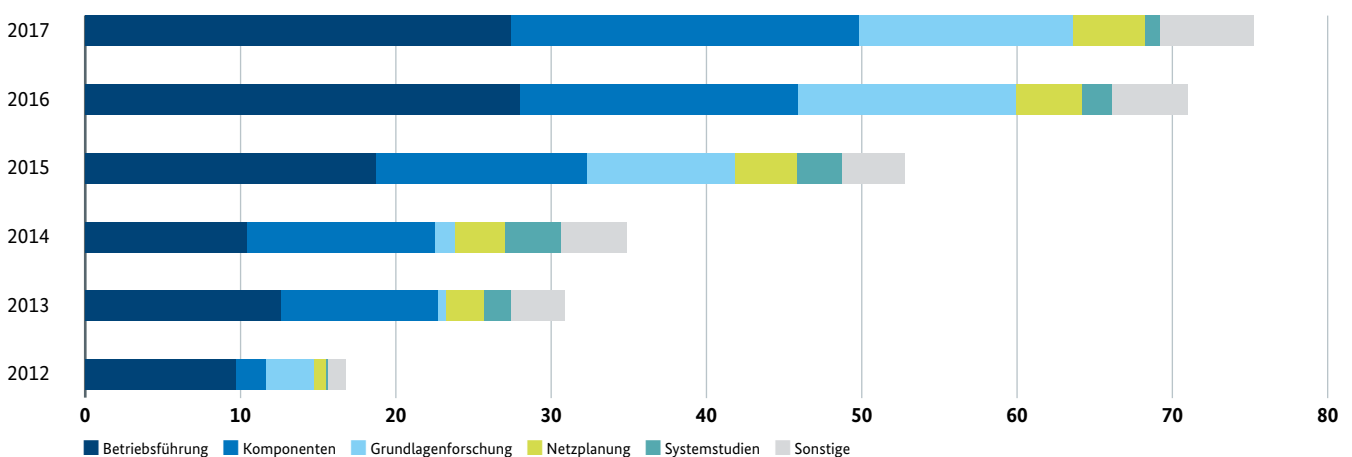
Intensiv gefördert werden auch weiterhin Kooperationsprojekte auf EU-Ebene, beispielsweise im Rahmen des ERA-Nets Smart Grids Plus, einer erfolgreichen Zusammenarbeit mit europäischen Partnern zu intelligenten Stromnetzen.

### Förderinitiative zukunftsfähige Stromnetze

Zur Optimierung der Netze haben das BMWi und das BMBF im Dezember 2012 als Teil des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung die Forschungsinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ initiiert. Das BMWi fördert in dieser Initiative 242 Projekte mit einer Fördersumme von bis zu 104 Millionen Euro. Die geförderten Projekte decken die Schwerpunkte Netzplanung, Netzbetriebsführung sowie Entwicklung und Integration von Komponenten und Betriebsmitteln in das Energiesystem ab. Zu den durch das BMWi geförderten Projekten zählt das Verbundvorhaben Star-StroP. Dabei geht es um die Sicherung der Frequenzstabilität im Netz. Mit dem zunehmenden Anteil erneuerbarer Energien steigt auch die Zahl an Wechselrichtern im Gesamtsystem, die den Strom aus Gleichstromquellen wie Windenergieanlagen vor der Einspeisung ins Netz in Wechselstrom umwandeln. Die Wechselrichter sind jedoch nicht ohne weiteres in der Lage, Stabilitätsanforderungen auf sehr kurzen Zeitskalen zu erfüllen. Bislang sind nur Lösungen für Zeitfenster und Ausfälle im Rahmen mehrerer Sekunden etabliert. Jetzt sollen Lösungen für eine sehr kurzfristige Regelung innerhalb von Mikro- oder Millisekunden entwickelt werden, optimiert für den Parallelbetrieb von Wechselrichtern.

Das BMBF fördert im Rahmen der Initiative Forschungsprojekte aus den Bereichen Simulation/Modellierung, Netzausbauplanung, Betriebsführung und Monitoring bis hin zu Material- und Komponentenentwicklung. Übergeordnetes Ziel ist, die Netzinfrastruktur optimal auszunutzen, um den notwendigen Netzausbau zu minimieren. Dabei stehen jeweils unterschiedliche Aspekte wie Systemstabilität, Netzschutz oder Automatisierung im Fokus.

**Abbildung 13: Fördermittel für Netze in Mio. €**  
(Daten siehe Tabelle 4)



Ein Beispiel aus dem Bereich Komponenten ist das Projekt HV-SiC, das den Einsatz von Transistoren aus Silizium-Karbid (SiC) untersucht. Im Fokus stehen Umrichter, die ohne 50/60Hz-Transformatoren direkt an das Mittelspannungsnetz gekoppelt werden. Durch den Einsatz neuer Halbleiter aus SiC lassen sich deutliche Wirkungsgradsteigerungen bei gleichzeitiger Kostenreduktion erzielen. Dabei erlauben Transistoren aus SiC höhere Betriebsspannungen, geringere Einschaltwiderstände, kürzere Schaltzeiten und höhere Betriebstemperaturen. Um die Vorteile von Leistungselektronik-Komponenten auf SiC-Basis zu demonstrieren, baut das Projekt aus den optimierten Komponenten einen dreiphasigen 100kW-Umrichter zur Blindleistungskompensation auf.

Im Feld der simulationsbasierten Projekte will „Swarm-Grid“ mit einem neuartigen, kollektiven Regelungsansatz („Schwarmverhalten“) dezentrale Systeme intensiv in die Netzbetriebsführung einbinden. Die Bereitstellung von Systemdienstleistungen zur Verbesserung der Systemstabilität soll dabei mit minimalem Kommunikationsaufwand erfolgen.

Die Projektförderung des BMBF im Bereich Stromnetze wird im Kopernikus-Projekt ENSURE (Neue Energienetzstrukturen für die Energiewende, Kapitel 2.4.2) sowie im Forschungscampus Flexible Elektrische Netze (Kapitel 4.3.4) fortgesetzt.

### Projektförderung

Im Schwerpunkt Stromnetze haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2017 621 laufende Vorhaben mit rund 75,23 Millionen Euro gefördert. 2017 haben die Ministerien zudem 92 Forschungsprojekte mit einem Gesamtvolumen von rund 55,17 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 13, S. 29).

## 2.4 Querschnittsthemen

### 2.4.1 Forschungsallianz Energiewende der IGF

Die Fördermöglichkeiten der „Forschungsallianz Energiewende“ als Programmkooperation der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ richten sich an kleine und mittlere Unternehmen (KMU) industrieller Wertschöpfungsketten, ermöglichen den Zugang zu praxisnahen Forschungsergebnissen und unterstützen Forschungskooperation in branchenweiten und branchenübergreifenden Netzwerken. Die Ergebnisse der daraus geförderten Vorhaben stehen allen Unternehmen zu jeweils gleichen Bedingungen zur Verfügung.

### Förderschwerpunkte und wissenschaftliche Fortschritte

Die Programmkooperation Forschungsallianz Energiewende der IGF soll dabei Orientierungswissen erarbeiten und technologische Plattformen für ganze Branchen oder zur branchenübergreifenden Nutzung entwickeln. Aufbauend auf den Projektergebnissen können die Unternehmen firmenspezifische Lösungen für neue oder deutlich verbesserte Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen entwickeln und so ihre Wettbewerbsfähigkeit verbessern. Das Themenspektrum ist dabei vielfältig und reicht von der Fernwärmeversorgung über flexible Lithium-Ionen-Zellen bis hin zu innovativen Fassadenelementen für energieeffiziente Gebäude. Besonderes Interesse besteht an Projekten zur Digitalisierung der Energiewende oder zur intelligenten Sektorkopplung.

### Projektförderung

Im Schwerpunkt Forschungsallianz Energiewende der IGF hat das BMWi im Jahr 2017 insgesamt 23 laufende Vorhaben mit rund 2,52 Millionen Euro gefördert. 2017 hat das Ministerium zudem 21 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 8,71 Millionen Euro neu bewilligt.

### 2.4.2 Kopernikus-Projekte

Die auf zehn Jahre angelegten missionsorientierten Kopernikus-Projekte bearbeiten die Schlüsselthemen Speicherung, Netzstrukturen, Industrieprozesse und Systemintegration. In ihnen werden mittel- und langfristige Perspektiven für die Energiewende auf diesen Feldern entwickelt. So soll der Brückenschlag von der Grundlage zur Anwendung gelingen. Aktuell arbeiten mehr als 250 Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Verbände in den vier Kopernikus-Projekten.

Im Kopernikus-Projekt „ENSURE“ werden neue Netzstrukturen entwickelt und erprobt, die auch bei stark schwankender Energiebereitstellung durch Wind- und Sonnenenergie eine robuste Versorgungssicherheit sicherstellen. Wesentliches Ziel von ENSURE ist es herauszufinden, wie zentrale und dezentrale Versorgungselemente unter Berücksichtigung von technischen, wirtschaftlichen, ökologischen sowie sozialen Aspekten optimal in einem Gesamtsystem zusammenwirken können und wie groß die jeweiligen Anteile sein sollten. Schwerpunkt im ersten Jahr der Projektlaufzeit war die Identifizierung von technischen Anforderungen an die Stromnetze der Zukunft.

Das Kopernikus-Projekt „P2X“ will Stromspitzen aus erneuerbaren Energien effizient chemisch speicherbar machen. Dabei wird in dem Projekt sowohl untersucht, wie fluktuierender Strom mittels Elektrolyse in Wasserstoff und Synthesegas überführt werden kann, als auch, wie dieses Syn-



thesegas zur Herstellung von Chemikalien genutzt werden kann. Die gewonnenen Erkenntnisse werden im Projektverlauf real demonstriert, beispielsweise in einer Technikanlage, welche CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Luft, Elektrolyse und Kraftstoffherstellung verbindet. Ergebnisse aus dem Vorhaben wurden bereits in Nature Catalysis<sup>2</sup> veröffentlicht. Die darin beschriebenen chemischen Prozesse sind zugleich die Grundlage für das Satellitenprojekt „Rheticus“. Dieses Projekt soll eine Versuchsanlage aufbauen, die „grüne“ Chemie aus Kohlendioxid und Ökostrom günstig und umweltfreundlich produzieren kann und es ermöglicht, erneuerbare Energie über einen längeren Zeitraum zu speichern.

Parallel zu P2X sind die beiden Kopernikus-Satellitenprojekte „PiCK“ und „SPIKE“ gestartet. PiCK entwickelt – alternativ zur Elektrolyse, die in P2X betrachtet wird – einen kombinierten Plasma-Membranprozess zur Spaltung von Kohlendioxid. Dabei entsteht Kohlenmonoxid, welches entsprechend zur Herstellung von Kraftstoffen oder nützlichen Chemikalien verwendet werden kann. SPIKE analysiert verschiedene PtX-Technologien und identifiziert unter anderem das Potenzial für die Integration in den industriellen Bereich. Dabei werden auch Kernfragen wie das Klimaschutzpotenzial und die Wirtschaftlichkeit von PtX-Prozessen adressiert.

Das Kopernikus-Projekt „SynErgie“ flexibilisiert die Stromnachfrage der Industrie, um den Energieverbrauch an die schwankende Energieerzeugung anzupassen. Die technischen Flexibilisierungsmöglichkeiten und deren gesellschaftliche und wirtschaftliche Umsetzung werden identifiziert, entwickelt und demonstriert. Durch die intelligente und automatisierte Steuerung energieintensiver Prozesse werden die Stromnetze stabilisiert und die Aufnahme größerer Mengen erneuerbarer Energien ermöglicht. Eine Vermarktung von Flexibilitäten und die Optimierung des Energieeinkaufs verbessert die Zukunftsperspektive der energieintensiven Industrie in Deutschland und trägt zur Sicherung von Arbeitsplätzen bei. Das Satellitenprojekt „DisConMelter“ untersucht eine elektrische, energieflexible Glasschmelzwanne und befasst sich neben den vielfältigen technischen Herausforderungen ebenfalls mit den sozialen Aspekten einer Produktionsumstellung, wie z. B. einer Verschiebung der Arbeitszeiten. Im Austausch mit den Projektpartnern aus SynErgie werden wirtschaftliche Betrachtungen durchgeführt, welche in Empfehlungen zur zukünftigen Gestaltung des Strommarktes münden.

Das Kopernikus-Projekt „ENavi“ untersucht in einem breiten Ansatz soziale, ökonomische und institutionelle Aspekte für den Umbau der Energieversorgung. Unter intensiver Beteiligung von Bürgern, Wirtschaftsvertretern und Politik werden so kurzfristig detaillierte Strategien für die Trans-

formation des Stromsystems erarbeitet, die als effektiv, effizient und für alle Seiten akzeptabel gelten können. ENavi ist das größte je in Deutschland durchgeführte sozialwissenschaftliche Kooperationsprojekt.

Für die erste Phase der Kopernikus-Initiative bis Ende 2019 hat das BMBF 130 Millionen Euro bereitgestellt.

#### 2.4.3 Carbon2Chem

Im BMBF-Vorhaben „Carbon2Chem“ engagieren sich führende deutsche Unternehmen der Chemie-, Stahl-, Energie- und Automobilbranche sowie renommierte Universitäten und Forschungseinrichtungen, um erstmalig eine klimarelevante Reduktion der Emissionen in der Stahlindustrie zu erzielen. Das Konzept sieht vor, die bei der Stahlproduktion entstehenden Hüttengase nicht nur zur Stromerzeugung zu nutzen, sondern im Rahmen einer branchenübergreifenden Zusammenarbeit in chemische Produkte umzusetzen. Bis zu 20 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr sollen so eingespart werden. Neben den Umsetzungsprozessen für die geplanten chemischen Produkte erforscht das Projekt die Bereitstellung großer Mengen Wasserstoffs aus regenerativen Quellen, die erforderliche Reinigung der Hüttengase sowie die technische Umsetzung im Stahlwerk. Erste Ergebnisse, unter anderem zur Verknüpfung unterschiedlicher Anlagenteile in verteilten Co-Simulationen, wurden im November 2017 auf der 1. Konferenz zur nachhaltigen chemischen Konversion in der Industrie präsentiert. Im gleichen Themenfeld erstellt das BMBF-Projekt MACOR eine umfassende technische und wirtschaftliche Bewertung eines alternativen Konzepts zur großtechnischen Integration von Direktreduktionsanlagen in einen bestehenden Hüttenprozess.

#### 2.4.4 Gesellschaftsverträgliche Transformation des Energiesystems

Durch die Energiewende ergeben sich weitreichende Konsequenzen nicht nur für das Energiesystem, sondern für Wirtschaft und Gesellschaft insgesamt. Die Gestaltung der Energiewende gelingt aber nur, wenn die Bedürfnisse und Erwartungen der Bevölkerung – auch hinsichtlich der Fragen von Beteiligung und Gerechtigkeit – angemessen reflektiert und marktwirtschaftliche Erfordernisse berücksichtigt werden. In 33 Forschungsprojekten förderte das BMBF darum seit 2013 mit rund 30 Millionen Euro Projekte, in denen Wissenschaftler gemeinsam mit Praxispartnern konkrete Lösungsvorschläge für eine umwelt- und gesellschaftsverträgliche Gestaltung der Energiewende entwickelten. Alle Projekte erarbeiteten Handlungsempfeh-

2 T. Haas, R. Krause, R. Weber, M. Demler, G. Schmidt, „Technical photosynthesis involving CO<sub>2</sub> electrolysis and fermentation“, Nature Catalysis 2018, 1, 32-39. <https://doi.org/10.1038/s41929-017-0005-1>.

lungen für Politik, Wirtschaft und Bürger oder gaben Verbrauchern und kommunalen Entscheidern Instrumente für ein optimiertes Herangehen an die neuen Herausforderungen an die Hand. So gingen zum Beispiel wesentliche Überlegungen und Erkenntnisse aus dem Projekt DZ-ES in die Studie „Wie weiter mit dem Ausbau der Windenergie?“ der Agora Energiewende ein. Im Jahr 2017 beendeten die letzten Verbände ihre Arbeit im Rahmen dieser Förderinitiative.

#### 2.4.5 Materialforschung für die Energiewende

Die Entwicklung und Verbesserung von Materialien für den Einsatz bei Energieerzeugung und -nutzung ist von zentraler Bedeutung für die Energiewende, da dies die Basis für innovative Energietechnologien bildet. Die entwickelten Materialien sollen die Effizienz der Energieerzeugung verbessern und Anwendungen für regenerative Energiequellen erschließen, beispielsweise durch Lastflexibilität oder Nutzung regenerativer Kraftstoffe. Die Steigerung der Effizienz bei der Energienutzung ist weiterhin wichtig. Daher hat das BMBF den Schwerpunkt „Materialforschung für die Energiewende“ bereits 2013 erfolgreich initiiert. Diese grundlagenorientierte Förderinitiative ist technologieoffen gestaltet und erstreckt sich über alle Themen im Energiebereich. Im Fokus der Förderung stehen Photovoltaik, Windkraftanlagen, Kraftwerkstechnologien, Energiespeicher, Dämmstoffe, Brennstoffzellen und die Elektrolyse. Damit umfasst die Förderinitiative ein breites Spektrum grundlegender Vorhaben, welche die Materialbasis für eine Vielzahl weiterer Entwicklungen im Bereich der Technologien für Energieerzeugung und -nutzung für die Energiewende erarbeiten.

Zur Unterstützung des wissenschaftlichen Nachwuchses werden im Rahmen der Initiative sieben Nachwuchsgruppen gefördert. Der Leiter der Nachwuchsgruppe Mechano-carb, Dr. Lars Borchardt, wurde vom Magazin „Technology Review“ für seine Forschung an einem umweltfreundlichen Verfahren als einer von zehn der besten „Innovatoren unter 35“ in Deutschland ausgezeichnet. Mit seiner Methode können poröse Kohlenstoffe hergestellt werden, die als Elektroden für Batterien und Kondensatoren dienen, wozu unter anderem erneuerbare Rohstoffe und Abfallprodukte genutzt werden. Die Materialien haben enormes Potenzial als Elektrodenmaterialien für Zukunftstechnologien wie Superkondensatoren, Lithium-Schwefel-Batterien oder Brennstoffzellen.

Das Vorhaben „PSUMEA-2“ der Max-Planck-Gesellschaft mit dem Ziel der Entwicklung einer Hochleistungsmembran für HT-PEM-Brennstoffzellen wurde 2017 erfolgreich abgeschlossen. Die entwickelte Membran erreichte bereits vergleichbare Leistungsdichten und Wirkungsgrade wie die über Jahre optimierten und am Markt etablierten Membranen. Das neue Membranmaterial in Verbindung mit der neuen Verarbeitungstechnik hat das Potenzial, günstigere

Eigenschaften mit geringeren Herstellungskosten zu verbinden. Mit dem Anschlussvorhaben PSUMEA-3 werden die vielversprechenden Arbeiten zu dieser hochinnovativen Membran im Verbund mit weiteren Partnern aus Wissenschaft und Industrie ab 2018 mit insgesamt etwa 877.000 Euro fortgeführt.

#### 2.4.6 Informationsverbreitung (BINE Informationsdienst, FONA)

BINE Informationsdienst

BINE Informationsdienst unterstützt den Innovationstransfer mit Fachinformationen für Energieexperten. Neue Konzepte und Technologien aus herausragenden, anwendungsorientierten Energieforschungsprojekten werden gezielt aufbereitet und verbreitet: Wesentliche Erkenntnisse und Erfahrungen werden vermittelt an Architekten, Planer und Entscheider im Bauwesen, in der Immobilienwirtschaft und in Kommunen, an die vielfältigen Akteure in der Energiewirtschaft und im Sektor Industrie und Gewerbe sowie an Hochschulen und Fachmedien.

In unterschiedlichen Formaten werden für den Innovationstransfer maßgebliche Themen, Projekte, Nachrichten und Veranstaltungen der Forschung im größeren Themenkontext informativ und verständlich kommuniziert. Alle Publikationen vom BINE Informationsdienst sind über die Plattform [www.bine.info](http://www.bine.info) zugänglich und werden zudem aktiv per Newsletter (aktuell etwa 20.000 Abonnenten), Mailings, Medienarbeit und Social Media verbreitet.

Mit den Forschungsportalen zu einzelnen Förderschwerpunkten oder Forschungsinitiativen des BMWi oder zu ressortübergreifenden Förderinitiativen der Bundesregierung können diese den jeweiligen Fachöffentlichkeiten, Branchen und Forschungscommunitys differenziert präsentiert werden: Die Forschungsportale ENERGIEWENDEBAUEN, Energieeffizienz in der Industrie, Kraftwerk Forschung, Energiespeicher und Stromnetze werden von BINE Informationsdienst konzeptionell und redaktionell betreut.

Linktipps:

- [www.energiewendebauen.de](http://www.energiewendebauen.de)
- [www.eneff-industrie.info](http://www.eneff-industrie.info)
- [www.kraftwerkforschung.info](http://www.kraftwerkforschung.info)
- [www.forschung-energiespeicher.info](http://www.forschung-energiespeicher.info)
- [www.forschung-stromnetze.info](http://www.forschung-stromnetze.info)

Fona.de

Das Rahmenprogramm „Forschung für nachhaltige Entwicklung (FONA)“ des BMBF erarbeitet innovative Lösungen für aktuelle Herausforderungen und liefert Entscheidungsgrundlagen für zukunftsorientiertes Handeln. Innerhalb der drei

Leitinitiativen Energiewende, Green Economy und Zukunftstadt besitzt die Energieforschung politische Priorität. Das Spektrum reicht dabei von der Grundlagenforschung bis zur Entwicklung von einsatzbereiten Anwendungen. Die Internetseite [www.fona.de](http://www.fona.de) bereitet Inhalte zur Nachhaltigkeitsforschung wie die verschiedenen Maßnahmen und ihre Ergebnisse für das Fachpublikum, Wissenschaftsjournalisten und die interessierte Öffentlichkeit auf.

## 2.5 Nukleare Sicherheitsforschung

Für den Betrieb, die Stilllegung und die Entsorgung von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren, ebenso wie für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, gelten höchste Sicherheitsanforderungen. Das Atomgesetz fordert daher in §7d, dass der „fortschreitende Stand von Wissenschaft und Technik“ maßgeblich zu sein hat. Damit dies erfüllt werden kann, weist der Gesetzgeber der Forschung und Entwicklung in diesen Gebieten eine herausragende Rolle zu.

Die projektgeförderte nukleare Sicherheits- und Entsorgungsforschung des BMWi trägt durch gezielte Investitionen in Forschung und Entwicklung dazu bei, Grundlagen bereitzustellen und langfristig und kontinuierlich den Stand von Wissenschaft und Technik weiterzuentwickeln und damit einen substanziellen Beitrag zum Aufbau, der Weiterentwicklung und dem Erhalt der wissenschaftlich-technischen Kompetenz zu leisten. Dies gilt auch und gerade vor dem Hintergrund des deutschen Ausstiegs aus der Stromerzeugung aus Kernenergie bis zum Jahr 2022, da über die Restlaufzeit der Kernkraftwerke hinaus in Deutschland weiterhin kerntechnische Anwendungen in Industrie, Forschung und in der Medizin benötigt werden. Ebenso sind ein Höchstmaß an fachlicher Kompetenz sowie die Verfügbarkeit fortschrittlicher Bewertungsmethoden weiterhin unabdingbare Voraussetzung für eine wissenschaft-

lich fundierte Sicherheitsbewertung von Kernkraftwerken und Endlagersystemen im Inland und Ausland.

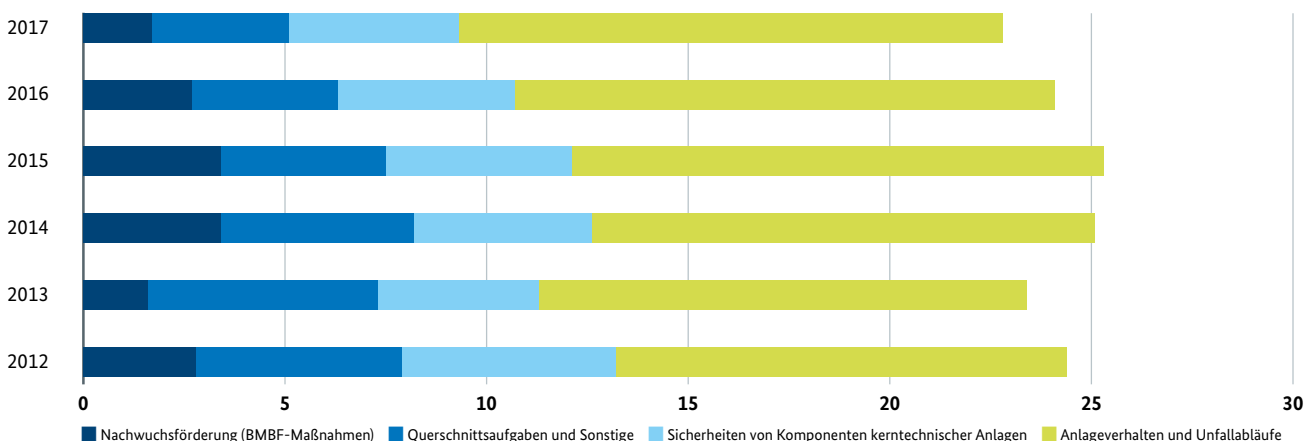
Das BMBF fördert gezielt den Kompetenzerhalt und die Kompetenzerweiterung in den Bereichen nukleare Sicherheits- und Entsorgungsforschung und der Strahlenforschung. Im Mittelpunkt steht die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Dabei wird die Vernetzung von Wissenschaft und Industrie im Zuge der Grundlagenforschung vorangetrieben.

### 2.5.1 Reaktorsicherheitsforschung

Die Reaktorsicherheitsforschung ist Teil der staatlichen Vorsorge zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt vor den Gefahren möglicher Freisetzung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen. Es ist ihre Aufgabe, auch unter Ausstiegsbedingungen das Sicherheitskonzept deutscher Kernkraftwerke abzusichern und durch internationale Kooperationen Beiträge zur stetigen Weiterentwicklung der Sicherheitsstandards kerntechnischer Anlagen weltweit zu leisten.

Das BMWi fördert mit seiner Initiative „Kompetenzerhalt in der Kerntechnik (KEK)“ seit 1996 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und trägt damit zum Erhalt wissenschaftlicher Expertise im Bereich der Reaktorsicherheit bei. Im Jahr 2017 hat das BMWi einen inhaltlichen Schwerpunkt seiner KEK-Initiative auf den Themenbereich „Sicherheit von Komponenten kerntechnischer Anlagen“ gelegt. Gegenstand dieses Themenbereichs sind Forschungsarbeiten zum strukturellen Verhalten von Komponenten und baulichen Anlagenteilen. Gefördert werden experimentelle und numerische Arbeiten, die auch die Entwicklung geeigneter Prüfmethode zur Ermittlung von Schädigungszuständen umfassen.

Abbildung 14: Fördermittel für Reaktorsicherheitsforschung in Mio. €  
(Daten siehe Tabelle 6)



Die realistische Beschreibung von betrieblichen Abläufen, aber auch von Stör- und Unfällen in Kernkraftwerken ist für die sicherheitstechnische Bewertung sowie für die weitere Verbesserung der Schadensvorsorge von wesentlicher Bedeutung. Im Themenbereich „Anlagenverhalten und Unfallabläufe“ fördert das BMWi dazu sowohl experimentelle als auch analytische Arbeiten. Untersucht werden insbesondere das Kernverhalten sowie das Stör- und Unfallverhalten in Kühlkreislauf und Sicherheitseinschluss. Oftmals sind die geförderten Arbeiten stark mit internationaler Forschung verflochten, beispielsweise im Rahmen multilateraler OECD/NEA-Aktivitäten oder des Euratom-Forschungsprogramms.

Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) dienen der Analyse des Verlaufes von Transienten und Störfällen unter Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit verschiedener möglicher Einflussfaktoren. Ihre methodische Weiterentwicklung gehört zu den Querschnittsaufgaben der Reaktorsicherheitsforschung. Im Jahr 2017 sind dazu eine Reihe von Projekten erfolgreich abgeschlossen worden. Dies beinhaltet beispielsweise innovative Arbeiten zur Berücksichtigung menschlicher Handlungsabläufe, die nun in Folgeaktivitäten weiter vertieft werden sollen.

Das BMBF flankiert die Forschungsförderung des BMWi mit Projekten, in denen, entsprechend den Förderschwerpunkten des BMWi, die wissenschaftlichen Kenntnisse auf dem Gebiet der Reaktorsicherheitsforschung vertieft und weiterentwickelt werden und die vor allem der Ausbildung dienen. Die Projekte befassten sich mit Fragestellungen zur messtechnischen Charakterisierung von Fluid-Struktur-Wechselwirkung, zur Auslegung passiver Sicherheitselemente und zur Nasslagerung von abgebrannten Brennelementen. In 2017 erfolgten keine Neubewilligungen.

Im Schwerpunkt Reaktorsicherheitsforschung haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2017 159 laufende Vorhaben mit rund 22,76 Millionen Euro gefördert. 2017 haben die Ministerien zudem 36 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 22,52 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 14). Das BMWi hat im Jahr 2017 rund 190 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen (Vollzeitäquivalente), das BMBF 13 Nachwuchswissenschaftler und -wissenschaftlerinnen gefördert.

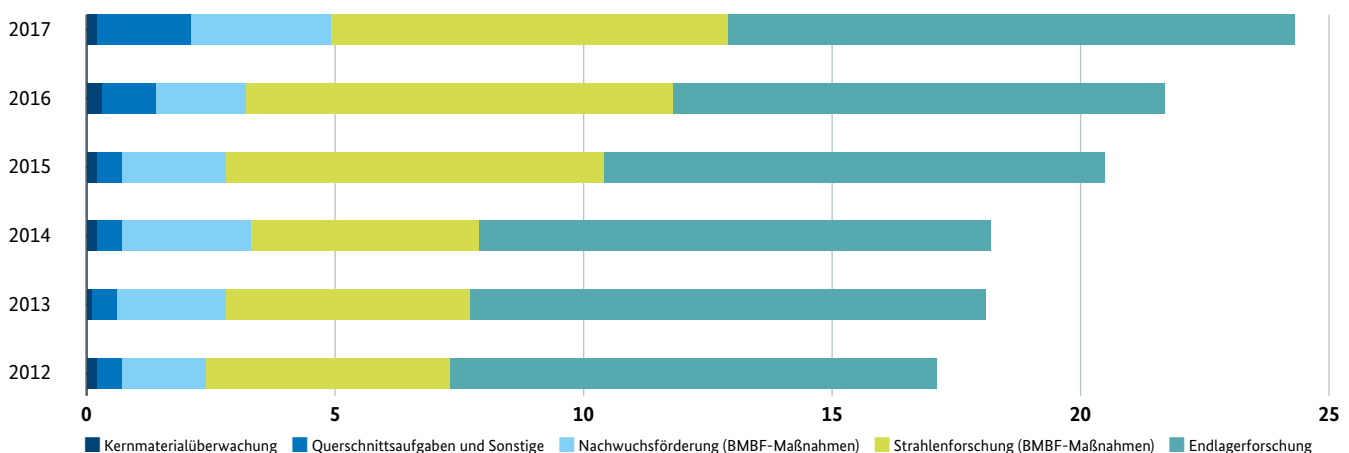
### 2.5.2 Endlager- und Entsorgungsforschung

Die Projektförderung im Bereich Endlager- und Entsorgungsforschung erfolgt federführend durch das BMWi und richtet sich programmatisch an den regelmäßig fortgeschriebenen BMWi-Förderkonzepten aus. Aktuell ist das Förderkonzept „Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (2015-2018)“ die Grundlage. Forschungspolitisch sind auch Inhalte des Standortauswahlgesetzes, des Nationalen Entsorgungsprogramms und der EU-Richtlinie 2011/70/Euratom darin gespiegelt. Die Förderziele sind das Schaffen der wissenschaftlichen Grundlagen, die Entwicklung von Methoden und Techniken nach Stand von Wissenschaft und Technik sowie die Bereitstellung von Wissen und Expertise. Die Umsetzung erfolgt in definierten FuE-Bereichen durch anwendungsorientierte, generische FuE-Projekte mit Bezug auf alle für Deutschland relevanten Wirtsgesteine (Salz, Ton- und Kristallingestein). Im Rahmen der Förderaktivitäten spielen internationale Kooperation und Nachwuchsförderung eine bedeutende Rolle.

Das BMWi hat den FuE-Bereich 1 „Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Behälter und Abfälle“ konsequent weiter ausgebaut. Unter anderem als ein Schwer-

Abbildung 15: Fördermittel für Endlager-, Entsorgungsforschung und Strahlenforschung<sup>3</sup> in Mio. €

(Daten siehe Tabelle 6)



<sup>3</sup> In den Vorjahren wurde die Strahlenforschung in einem separaten Diagramm dargestellt.

punktthema der KEK-Initiative (s. auch Kapitel 2.5.1) sind sechs Neuvorhaben mit einem Fördermittelansatz von 2,42 Millionen Euro bewilligt worden. Diese untersuchen ein breites Spektrum sicherheitsrelevanter Fragen zur Bewertung des Langzeitverhaltens von Behältern, abgebrannten Brennelementen und Abfällen sowie zum Alterungsmanagement des Gesamtsystems Zwischenlager.

Im FuE-Bereich 2 „Wissenschaftliche Grundlagen der Standortauswahl“ werden Methoden und wissenschaftliche Grundlagen für eine Endlagerstandortauswahl und zur Charakterisierung von vorzufindenden Geosystemen erarbeitet. Im Jahr 2017 wurden drei neue Projekte mit einer Fördersumme von rund 0,61 Millionen Euro bewilligt.

Im FuE-Bereich 3 „Endlagerkonzepte und Endlagertechnik“ werden Projekte zu konzeptionellen, methodischen und technischen Fragestellungen gefördert. Im Jahr 2017 wurden sieben Neuvorhaben mit rund 4,3 Millionen Euro Fördersumme bewilligt. Darunter sind Vorhaben, die sich mit Dicht- und Verschlussystemen in Tonstein und Steinsalz befassen sowie Fragen zur Entwicklung von Endlagerbehältern betreffen.

Im FuE-Bereich 4 „Sicherheitsnachweis“ werden FuE-Projekte zur Erarbeitung grundlegender Kenntnisse für einen Sicherheitsnachweis gefördert. Dazu zählen experimentelle Arbeiten, modelltheoretische Untersuchungen und die Weiterentwicklung des sicherheitsanalytischen Instrumentariums. Im Jahr 2017 wurden elf Neuvorhaben mit einer Fördersumme von rund 6,61 Millionen Euro bewilligt.

Im FuE-Bereich 5 „Wissensmanagement und sozio-technische Fragestellungen“ sollen Methoden, Instrumente, Verfahren und Lösungsansätze für die Anwendung auf dem Gebiet Entsorgung/Endlagerung entwickelt werden. Im Jahr 2017 wurden drei Vorhaben mit einem Fördervolumen von rund 1,23 Millionen Euro neu bewilligt.

Im Rahmen der BMWi-Projektförderung werden im FuE-Bereich 6 „Kernmaterialüberwachung“ Vorhaben zu konzeptionellen, technisch-methodischen und politisch-institutionellen Fragen gefördert. Diese sind aufgrund der globalen Bedeutung des Themas in nationale und internationale Forschungsnetzwerke (Euratom, IAEA) eingebettet. Im Jahr 2017 wurden keine Neuvorhaben bewilligt.

Internationale Kooperation ist eine wichtige Komponente innerhalb der BMWi-Projektförderung und wird im BMWi-Förderkonzept auch als wichtiger Aspekt angesehen. Mehr als ein Drittel aller im Jahr 2017 geförderten FuE-Projekte haben direkten oder indirekten Bezug zu internationalen Kooperationsaktivitäten.

Ein weiterer wesentlicher Gesichtspunkt der BMWi-Förderaktivitäten, und wichtig für den Erhalt von Kompetenz und Expertise, ist die Aus- und Weiterbildung. Im Rahmen der laufenden FuE-Projekte des BMWi werden zurzeit rund 80 Nachwuchswissenschaftler und -wissenschaftlerinnen gefördert.

Das BMBF flankiert die Forschungsförderung des BMWi mit Projekten, die thematisch an den FuE-Bereichen des BMWi-Förderkonzepts gespiegelt werden, die die wissenschaftlichen Kenntnisse auf dem Gebiet der Entsorgungsforschung vertiefen und weiterentwickeln sowie vor allem der Ausbildung von Nachwuchsforschenden dienen.

Ein Forschungsprojekt (TRANSLARA), das sich mit experimentellen Untersuchungen zur Migration und Akkumulation von Radionukliden im oberflächennahen Boden und deren Transfer in Pflanzen befasst, wurde mit rund 2,3 Millionen Euro Fördervolumen neu bewilligt.

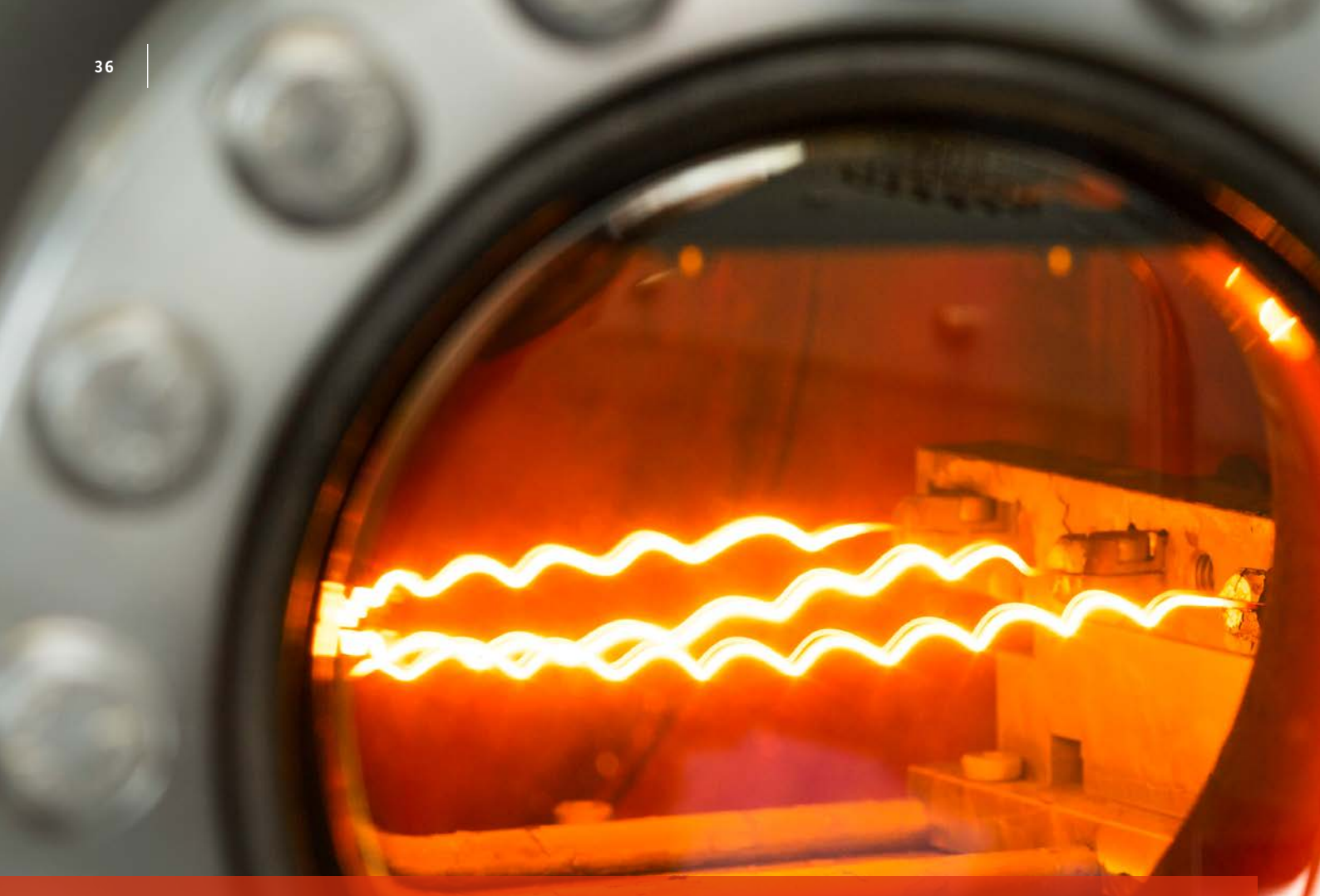
Im Bereich Entsorgungsforschung wurden 2017 durch BMBF 43 Nachwuchswissenschaftler und -wissenschaftlerinnen gefördert.

Im Schwerpunkt Endlager- und Entsorgungsforschung haben das BMWi und das BMBF im Jahr 2017 110 laufende Vorhaben mit rund 16,33 Millionen Euro gefördert. 2017 haben die Ministerien zudem 35 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelvolumen von rund 17,52 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 15).

### 2.5.3 Strahlenforschung

Im Schwerpunkt Strahlenforschung wurden 2017 zu strahlenbiologischen, strahlenmedizinischen und radioökologischen Fragestellungen vom BMBF 73 Vorhaben mit 8 Millionen Euro gefördert (vgl. Abb. 15). Vier Forschungsverbünde (16 Projekte) mit einem Gesamtvolumen von 10,1 Millionen Euro wurden neu bewilligt.

Im Jahr 2017 wurden 140 Nachwuchswissenschaftler und -wissenschaftlerinnen gefördert.



## 3. Institutionelle Energieforschung

### 3.1 Forschungsbereich Energie der HGF

Der Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) hat es sich zur Aufgabe gemacht, durch interdisziplinäre Spitzenforschung Lösungen für die großen Herausforderungen unserer Zeit zu finden. Der fortschreitende Klimawandel ist die zentrale Herausforderung, die der Forschungsbereich Energie adressiert. Dabei werden sowohl grundlagenorientierte als auch anwendungsnahe Forschungsansätze verfolgt. Die strategische Ausrichtung des Forschungsbereichs Energie basiert auf einem umfassenden und systemischen Ansatz zur Erforschung und Entwicklung von Energietechnologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Zudem soll die Erforschung von Energiesystemen das Verständnis der oft komplexen Wechselwirkungen verbessern und damit zum Gelingen der Energiewende beitragen. Letzteres erfolgt insbesondere im Rahmen der Initiative „Energie System 2050“.

Die Arbeit im Rahmen der aktuellen dritten Periode der Programmorientierten Förderung (POF III) ist in sieben Forschungsprogrammen strukturiert: 1. Energieeffizienz,

Materialien und Ressourcen, 2. Erneuerbare Energie, 3. Speicher und vernetzte Infrastrukturen, 4. Zukünftige Informationstechnologien, 5. Technologie, Innovation und Gesellschaft, 6. Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung, 7. Kernfusion.

Acht Helmholtz-Zentren sind am Forschungsbereich Energie beteiligt: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Forschungszentrum Jülich (FZJ), Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB), Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) und Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ).

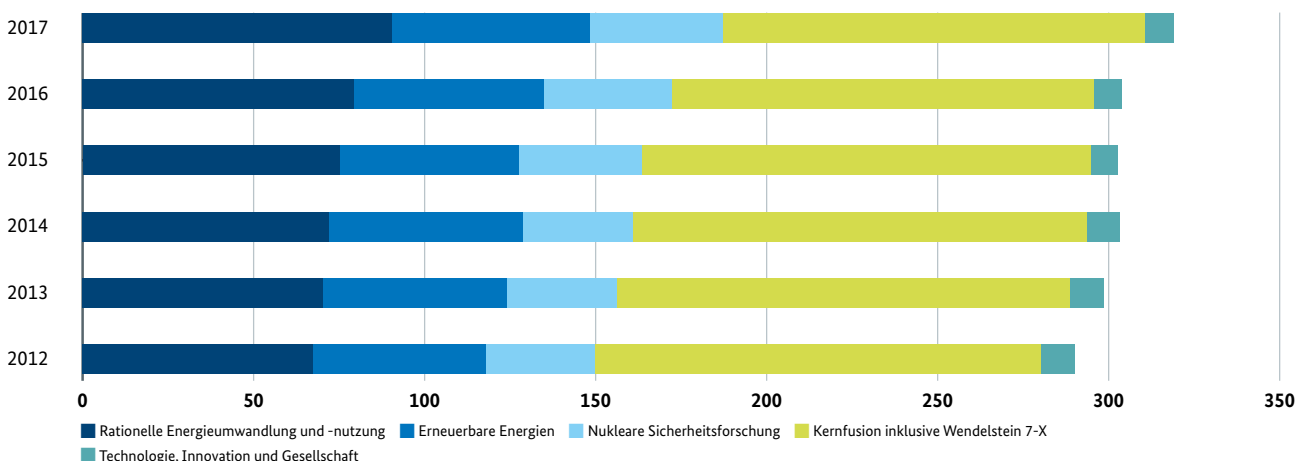
Die HGF ist mit insgesamt mehr als 38.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und einem Jahresbudget von rund 4,4 Milliarden Euro die größte Wissenschaftsorganisation Deutschlands. Im Forschungsbereich Energie arbeiten davon rund 16 Prozent der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und das Jahresbudget des Forschungsbereichs Energie

beträgt mehr als 600 Millionen Euro. Davon sind ca. 200 Millionen Euro Drittmittel, wobei ein Großteil der Drittmittel aus der staatlichen Projektförderung stammt. Die institutionelle Förderung der Zentren wird dabei zu je 90 Prozent von der Bundesregierung und zu je 10 Prozent von den Sitzländern getragen. Mit Ausnahme des DLR erfolgt die Finanzierung der beteiligten Forschungszentren aus dem Haushalt des BMBF. Das DLR wird über den Haushalt

des BMWi finanziert. Eine Übersicht über die Finanzierung verschiedener Themen im Rahmen der institutionellen Energieforschung durch die am 6. Energieforschungsprogramm beteiligten Bundesministerien gibt Abb. 16.

Auf Basis der Empfehlungen des Wissenschaftsrats aus dem Jahr 2015 wurde im Jahr 2017 eine neue Governance-Struktur für die HGF entwickelt. Auf Ebene der Forschungsber-

**Abbildung 16: Themen der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren in Mio. €**  
(Daten siehe Tabelle 7)



che wird es in Zukunft drei Gremien geben. Das **Management Board** dient als Kommunikations-, Informations- und Strategieplattform für die am Forschungsbereich Energie beteiligten Zentren. In der **Forschungsbereichsplattform** beraten und entscheiden die Zentren und die Zuwendungsgeber im Konsens über forschungsbereichsspezifische Aufgaben. Ein **Strategischer Beirat** schafft eine unabhängige, externe wissenschaftliche Beratung für den Forschungsbereich, den Senat und den Präsidenten. Durch diese Maßnahmen soll im Sinne der Empfehlungen des Wissenschaftsrats die Programmorientierung des Forschungsbereichs weiter gestärkt werden.

Der Wissenschaftsrat hatte zudem eine rückblickende Qualitätsbegutachtung vorgeschlagen. Diese wurde im Herbst 2017 begonnen und im April 2018 abgeschlossen. Die Ergebnisse dieser Begutachtung werden zusammen mit den forschungspolitischen Vorgaben der Zuwendungsgeber und den Programmmentwürfen die Grundlage für eine strategische Begutachtung bilden. Diese wird die Grundlage für die vierte Periode der Programmorientierten Förderung (POF IV) sein.

Der Forschungsbereich Energie der HGF zeichnet sich durch große und weltweit einzigartige Forschungsinfrastrukturen aus, die in den verschiedenen Zentren entwickelt, genutzt und anderen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zur Verfügung gestellt werden. Dazu zählen insbesondere das Energy Lab 2.0, die Helmholtz Energy Materials Foundry (HEMF), die Helmholtz Energy Materials Characterization Platform (HEMCP), die Dresden Sodium Facility for Dynamo and Thermohydraulic Studies (DRESDYN), das Research Center for Gas Turbines sowie die Fusionsforschungsanlage Wendelstein 7-X. Neu dazugekommen im Jahr 2017 sind das Energy Materials In-Situ Laboratory (EMIL), der Living Lab Energy Campus (LLEC), sowie die größte künstliche Sonne der Welt, der Hochleistungsstrahler Synlight.

## 3.2 Fusionsforschung

Die steigende Energienachfrage vor dem Hintergrund der zunehmenden Weltbevölkerung und die Notwendigkeit, CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren, erfordern es aus Sicht der Bundesregierung, technologieoffen auch im Bereich der Grundlagenforschung weiterhin langfristige Konzepte für die Energieforschung zu beforschen.

Die Förderung der Fusionsforschung erfolgt überwiegend durch die programmorientierte Förderung der HGF. An diesem Programm sind das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie das Forschungszentrum Jülich (FZJ) beteiligt. Im internationalen Vergleich verfügen diese Forschungsinstitute über ein herausragendes wissenschaftliches Know-

how. Mit Großgeräten wie dem Tokamak ASDEX Upgrade und dem Stellarator Wendelstein 7-X, beide am IPP, sowie dem Hochtemperatur-Helium-Kreislauf (HELOKA) und der Testeinrichtung für supraleitende Komponenten (TOSKA), beide am KIT, steht eine weltweit einmalige Infrastruktur zur Verfügung.

Die Arbeiten von IPP, KIT und FZJ sind eingebunden in das europäische Fusionsforschungsprogramm von Euratom. Das IPP koordiniert das von 29 nationalen Fusionszentren aus 26 Ländern der EU sowie der Schweiz gegründete Konsortium EUROfusion, das die neue zentrale Struktur der europäischen Fusionsforschung darstellt. Das IPP selbst zählt weltweit zu den führenden Instituten.

Auf europäischer Ebene unterstützt Deutschland als Mitglied von Euratom zusammen mit allen anderen EU-Mitgliedstaaten den Bau des International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) in Cadarache (Südfrankreich). Euratom vertritt Europa im ITER-Rat als einer der sieben Partner im Projekt (Europa, Japan, USA, Russland, China, Südkorea und Indien). Deutsche Industrieunternehmen setzen technologisch anspruchsvolle Aufträge für den Aufbau von ITER um, stärken ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit und profitieren von der Zusammenarbeit mit den Forschungszentren und Universitäten. Deutsche Firmen und Forschungsinstitute warben bisher Aufträge für ITER in Höhe von rund 580 Millionen Euro (Stand: Dezember 2017) ein.





## 4. Weitere energierelevante Förderaktivitäten

### 4.1 Forschungsförderung der Länder

Bereits seit 2008 führt der der Projektträger Jülich (PtJ) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) eine jährliche Erhebung zu den finanziellen Aufwendungen der Länder für die nichtnukleare Energieforschung durch (vgl. Abb. 17). Alle bislang unter dem Titel „Förderung der nichtnuklearen Energieforschung durch die Länder“ veröffentlichten Berichte können im Internet unter der Adresse <https://www.ptj.de/ueber-uns/unseregeschaeftsfelder/energie/arbeitsgruppe-energiestrategie/laenderbericht-energieforschung> abgerufen werden.

Der vorliegenden Untersuchung für das Jahr 2016 zufolge summieren sich die Aufwendungen der Länder für die Projektförderung sowie die institutionelle Förderung insgesamt auf über 248 Millionen Euro (vgl. Abb. 17). Die entsprechenden Ausgaben der Bundesregierung summieren sich nach Angabe des BMWi auf fast 665 Millionen Euro. Die gesamtstaatliche Forschungsförderung im Bereich der nichtnuklearen Energietechnologien im Jahre 2016 beläuft sich demnach auf über 913 Millionen Euro.

Die Forschungsförderung im Bereich Regenerative Energien beläuft sich insgesamt auf 110,9 Millionen Euro und ist damit im Vergleich zu den Vorjahren auf hohem Niveau rückläufig. Die Photovoltaik nimmt mit 27,3 Millionen Euro den höchsten Stellenwert ein und wird in Baden-Württemberg (13,7 Millionen Euro), Bayern (6,8 Millionen Euro) und Niedersachsen (2,7 Millionen Euro) am intensivsten gefördert. Die Biomasseforschung (11,8 Millionen Euro) wird allen voran in den Ländern Bayern (6,6 Millionen Euro) und Niedersachsen (2,1 Millionen Euro) gefördert. Die im Vergleich zum Vorjahr stark rückläufige Technologieförderung im Bereich Windenergie (von 12,3 auf 4 Millionen Euro) erfährt in Bayern (1,3 Millionen Euro) und Bremen (1 Million Euro) finanzielle Unterstützung. Das Forschungsfeld Geothermie (4,7 Millionen Euro) setzt entsprechende geologische Rahmenbedingungen voraus und beschränkt sich im Wesentlichen auf die Länder Niedersachsen (2,2 Millionen Euro) und Bayern (1,5 Millionen Euro).

Abbildung 17: Aufwendungen für die nichtnukleare Energieforschung nach Ländern 2008–2016 in Mio. €  
(Daten siehe Tabelle 8)

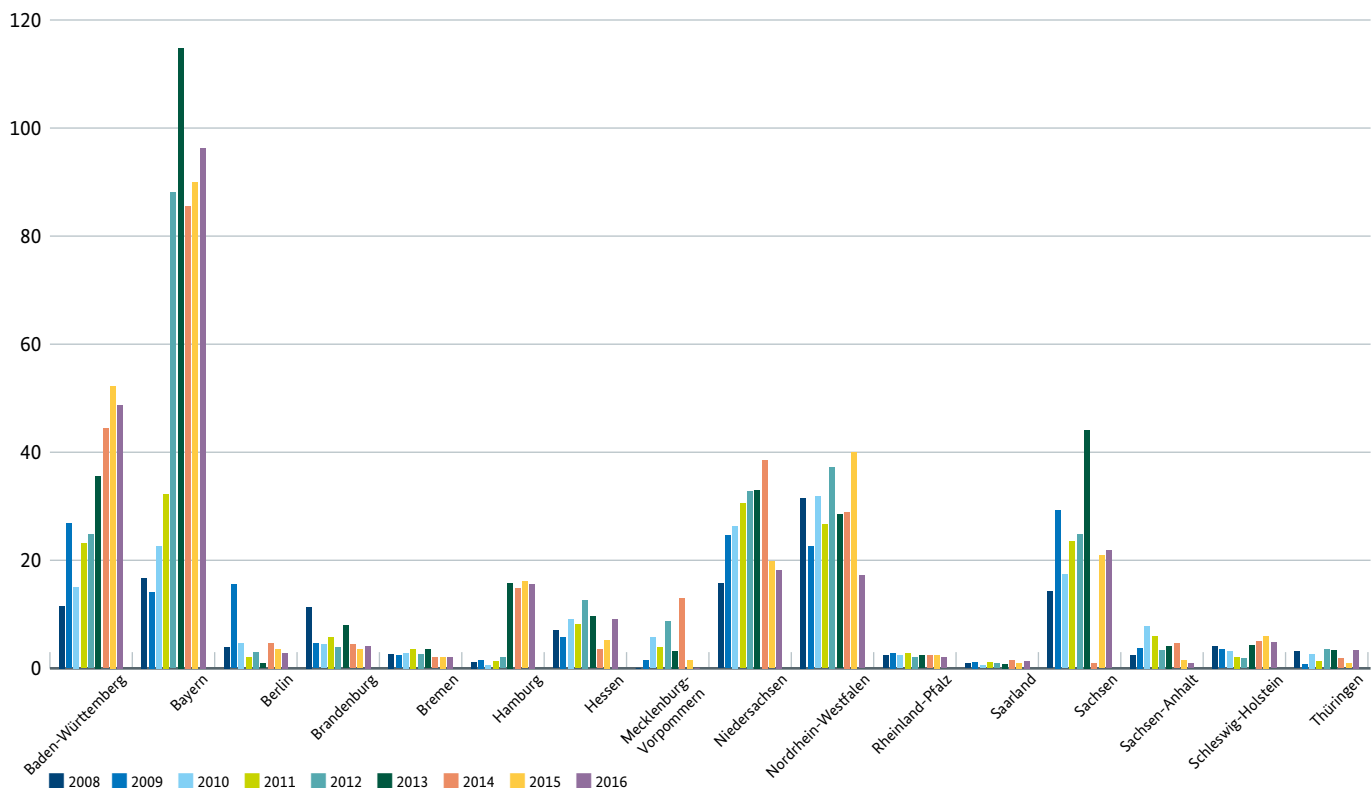
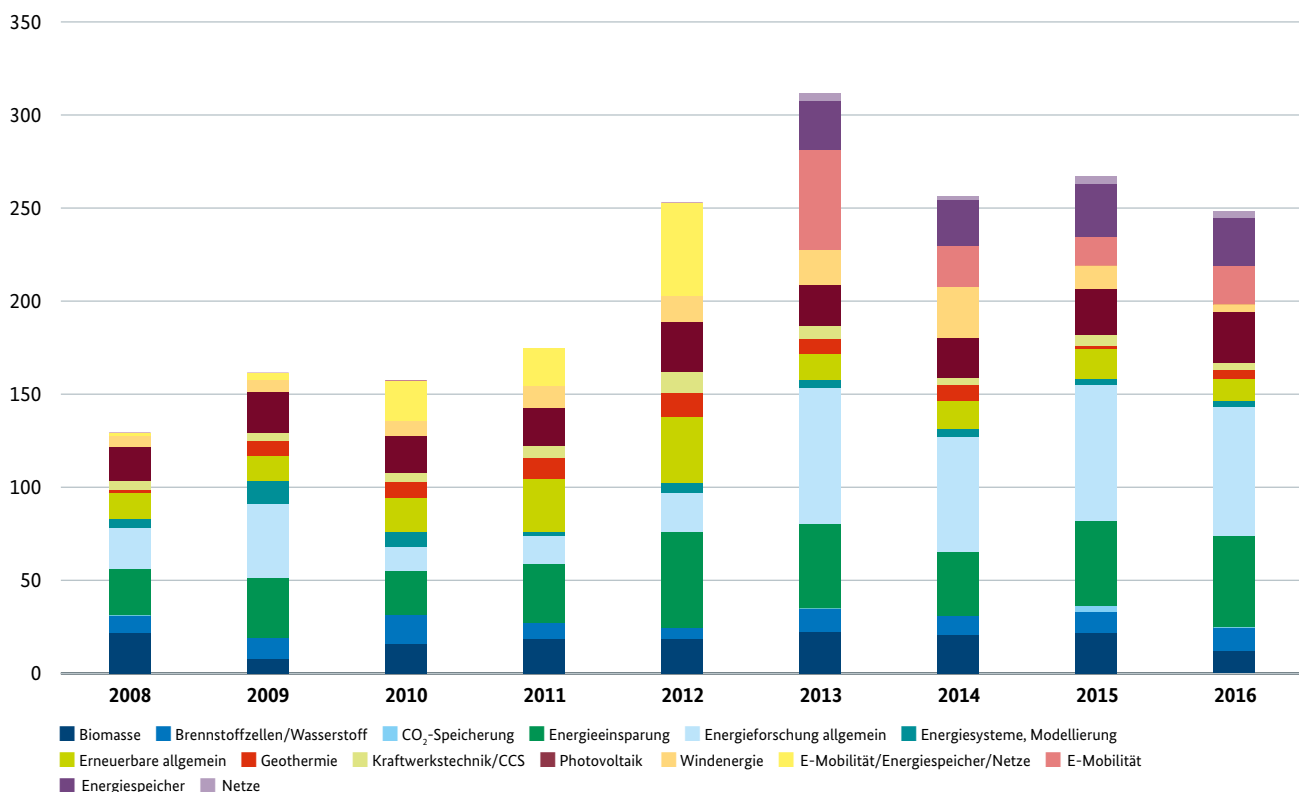


Abbildung 18: Aufwendungen der Länder für die nichtnukleare Energieforschung 2008–2016 in Mio. €  
(Daten siehe Tabelle 9)



Die einzelne Betrachtung weiterer Energietechnologien zeigt, dass die Förderung der Energiespeicher (26,3 Millionen Euro) sich auf dem Vorjahresniveau bewegt, während die Elektromobilität (20,7 Millionen Euro) gegenüber 2015 stärker gefördert wird und die finanzielle Unterstützung für den Bereich Stromnetze mit 3,6 Millionen Euro leicht rückläufig ist.

Die Forschungsaktivitäten im Bereich der konventionellen Kraftwerkstechnik sind auf wenige Länder beschränkt. Nennenswerte Beiträge zur technologischen Förderung liefern Bayern (1,9 Millionen Euro) und Nordrhein-Westfalen (1,2 Millionen Euro).

Die Forschungsförderung im Bereich der Brennstoffzellen- und Wasserstoff-Technologien ist mit 12,8 Millionen Euro im Vergleich zum Vorjahr leicht angestiegen und stellt in Bayern (5,4 Millionen Euro) einen Förderschwerpunkt dar.

Das Thema Energiesystemanalyse und -modellierung widmet sich vor allem der Bereitstellung valider Energieszenarien und wird insgesamt mit einem finanziellen Umfang von 3,3 Millionen Euro durch die Länder gefördert.

Die Länder liefern mit einem Fördervolumen von über 248 Millionen Euro einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der mit der Energiewende einhergehenden energiepolitischen Zielvorgaben und tragen mehr als ein Viertel der gesamtstaatlichen Aufwendungen im Bereich der nichtnuklearen Energieforschung.

## 4.2 Forschungsrahmenprogramm der EU (Horizon 2020)

### Ziel und Umfang der EU-Forschungsförderung

Zum Ausbau der europäischen Wirtschaftskraft sowie zur Sicherung der globalen Wettbewerbsfähigkeit Europas bündelt die Europäische Union ihre Förderanstrengungen für Forschung und Innovation in dem mehrjährigen Rahmenprogramm „Horizont 2020“. Für eine Gesamtlaufzeit von 2014 bis 2020 werden rund 80 Milliarden Euro bereitgestellt. Ein wichtiges Element in diesem Programm ist die „Gesellschaftliche Herausforderung: Sichere, saubere und effiziente Energie“.

Mit dem Ziel, ein klimafreundliches, modernes und harmonisiertes europäisches Energiesystem zu schaffen, soll auch eine nachhaltige, wettbewerbsfähige und gleichzeitig kostengünstige und sichere Energieversorgung in Europa gewährleistet werden. In der Weiterentwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zur gesellschaftlichen Herausforderung Energie werden zunehmend auch Verbindungen mit weiteren europäischen (Energy Union und Strategic Energy Technology Plan – SET-Plan) und interna-

tionalen (Mission Innovation, Sustainable Development Goals – SDGs, IEA, IRENA) Strategien im Energiesektor ausgebaut. Transnationale und interdisziplinäre Kooperationsprojekte von Akteuren aus Wissenschaft und Industrie sowie von Anwendern und Nutzern innovativer Energietechnologien werden substantielle Beiträge zur Erreichung der vereinbarten Ziele im Bereich der Energie- und Klimapolitik leisten. Die Anstrengungen konzentrieren sich auf Steigerung der Energieeffizienz, verstärkte Nutzung der erneuerbaren Energiequellen, intelligente Verknüpfung von Energienetzen auf regionaler und internationaler Ebene, bessere Ausrichtung auf den Bedarf des Bürgers sowie auf optimierte Energiesysteme in Ballungszentren wie Städten und Kommunen.

### Erfolgreiche Beteiligung deutscher Antragsteller im Energiebereich

Insgesamt stehen der „Gesellschaftlichen Herausforderung: Sichere, saubere und effiziente Energie“ rund 6 Milliarden Euro für die Programmlaufzeit von 2014 bis 2020 zur Verfügung. Im Zeitraum von 2014 bis 2017 sind rund 2,4 Milliarden Euro für die Förderung ausgewählter Projekte eingesetzt worden (einschließlich Förderung zum Thema Brennstoffzellen und Wasserstoff). Deutsche Antragsteller sind an den vergebenen Fördermitteln mit 15,7 Prozent beziehungsweise rund 376 Millionen Euro beteiligt – und waren somit sehr erfolgreich. Antragsteller aus anderen Staaten folgen erst im Abstand von vier oder mehr Prozentpunkten.

Im Jahr 2016 wurden alleine in den Kernbereichen der nichtnuklearen Energieförderung – „Energieeffizienz“, „Kohlenstoffarme Energie“ und „intelligente Städte und Gemeinden“ – mehr als 515 Millionen Euro Fördermittel für insgesamt 111 Verbundprojekte bewilligt. Deutschland ist dabei mit insgesamt 154 Projektteilnehmern vertreten, die zusammen eine Fördersumme von rund 74 Millionen Euro eingeworben haben. Dies entspricht etwa 14,4 Prozent der bewilligten Fördermittel. Mit einem Abstand von circa 3,3 Prozentpunkten vor dem Vereinigten Königreich und 4,7 Prozentpunkten vor Frankreich fließt der größte Förderanteil nach Deutschland (vgl. Abb. 19, S. 43).

Zuwendungsempfänger aus Deutschland sind an 64 Prozent aller bewilligten Projekte mit mindestens einem Partner beteiligt und bei 16 der 111 bewilligten Projekte kommt der Projektkoordinator aus Deutschland. Etwa 43 Prozent der deutschen Zuwendungsempfänger stammen aus Forschungsinstituten und Hochschulen. 49 Prozent kommen aus privaten Unternehmen, die übrigen 8 Prozent verteilen sich auf öffentliche und sonstige Einrichtungen.

Besonders hoch ist der Anteil von Antragstellern aus Deutschland bei geförderten Projekten im Themenfeld „Kohlenstoffarme Energie“ (67 Prozent). Die übrigen

Zuwendungsempfänger verteilen sich auf die Förderthemen im Bereich „Energieeffizienz“ mit 25 Prozent und „Intelligente Städte und Gemeinden“ mit 8 Prozent.

### Schwerpunkte der Energieforschung

In Abb. 20 ist die Verteilung von Fördermitteln an Zuwendungsempfänger aus Deutschland im Jahr 2016 nach den unterschiedlichen Energiethemen dargestellt. Die Zahlen zeigen einen deutlichen Fokus (80,5 Prozent) auf Themen aus dem Bereich der kohlenstoffarmen Energie, insbesondere auf Forschungs- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der erneuerbare Energien – hier fließen rund 58 Prozent der Fördermittel ein. Die Themen Wasserstoff 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 „Horizont 2020“ gefördert wurden. Das betrifft beispielsweise den Gebäudesektor, die Materialforschung oder Produktionstechnologien.

## 4.3 Aktivitäten der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms

### 4.3.1 EnEff.Gebäude.2050 – Innovative Vorhaben für den nahezu klimaneutralen Gebäudebestand 2050

Die Förderinitiative „EnEff.Gebäude.2050 – Innovative Vorhaben für den nahezu klimaneutralen Gebäudebestand 2050“ unterstützt den Transfer von Ergebnissen aus der Energieforschung in die breite Anwendung. Modellhafte Innovations- und Transformationsprojekte sollen zeigen, wie mit verfügbaren, aber noch nicht am Markt etablierten Technologien und Konzepten der Primärenergiebedarf gesenkt und nahezu klimaneutrale Gebäude und Quartiere breit umgesetzt werden können. Dabei greifen die Vorhaben aktuelle Forschungsergebnisse auf und erproben neue Ansätze und ambitionierte Konzepte zur Steigerung der Energieeffizienz sowie zur Nutzung erneuerbarer Energien in Gebäuden und Quartieren. Unter der Initiative EnEff.Gebäude.2050 fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Innovations- und Transformationsprojekte mit bis zu 54 Millionen Euro. Auch sind Wettbewerbe, die besonders aussichtsreiche Konzeptentwicklungen prämiieren, Teil der Förderinitiative. Im Jahr 2017 sind 10 innovative Ideen mit Preisgeldern in Höhe von insgesamt 280.000 Euro ausgezeichnet worden. Darunter waren auch Ideen für einen internationalen Energiewettbewerb für Gebäude und Quartiere, die einen interessanten Austragungsort präsentieren und Konzepte aufzeigen, um die vorgeschlagene Wettbewerbsstätte nachhaltig als „Living-Lab“ in den Stadtraum zu integrieren.

### 4.3.2 Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)

Das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) wird seit 2007 als ressortübergreifendes Programm gemeinsam mit der Industrie und der Wissenschaft umgesetzt. Unter Federführung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) wird das NIP seit 2016 bis 2026 in einer zweiten Phase fortgeführt (NIP 2), die eine Kontinuität für Forschung und Entwicklung sichert und die Marktaktivierung adressiert. Mit NIP 2 sollen Produkte und Anwendungen, die bereits die technische Marktreife erzielt haben, wettbewerbsfähig werden. Bis 2019 fördert das BMVI die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie zunächst mit rund 250 Millionen Euro. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) führt seine Förderung der angewandten Forschung und Entwicklung in diesem Bereich im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms mit jährlich rund 25 Millionen Euro fort.

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

In den sogenannten „SINTEG-Schaufenstern“ entwickeln und demonstrieren fünf großflächige Modellregionen mit über 300 Partnern skalierbare Musterlösungen für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung bei hohen Anteilen fluktuierender Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Im Zentrum stehen dabei die intelligente Vernetzung von Erzeugung und Verbrauch sowie der Einsatz innovativer Netztechnologien und -betriebskonzepte. Das Förderprogramm thematisiert damit zentrale Herausforderungen der Energiewende wie Systemintegration, Flexibilität, Digitalisierung, Systemsicherheit und Energieeffizienz sowie den Aufbau intelligenter Energienetze und Marktstrukturen. Die Schaufenster wurden im Rahmen 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. Ziel des Programms ist auch das Sammeln von in der Praxis erprobten Erfahrungen für die zukünftige Weiterentwicklung des Rechtsrahmens. Hierfür hat die Bundesregierung die im Juni 2017 in Kraft getretene SINTEG-Verordnung mit zeitlich befristeten Experimentieroptionen beschlossen. SINTEG wird damit zum Reallabor für die intelligente Energieversorgung der Zukunft.

Abbildung 19: Länderverteilung der Zuwendungsempfänger und Fördermittel (absolut und prozentual) im Kernbereich der Energieforschung in „Horizont 2020“ im Jahr 2016 in Mio. €

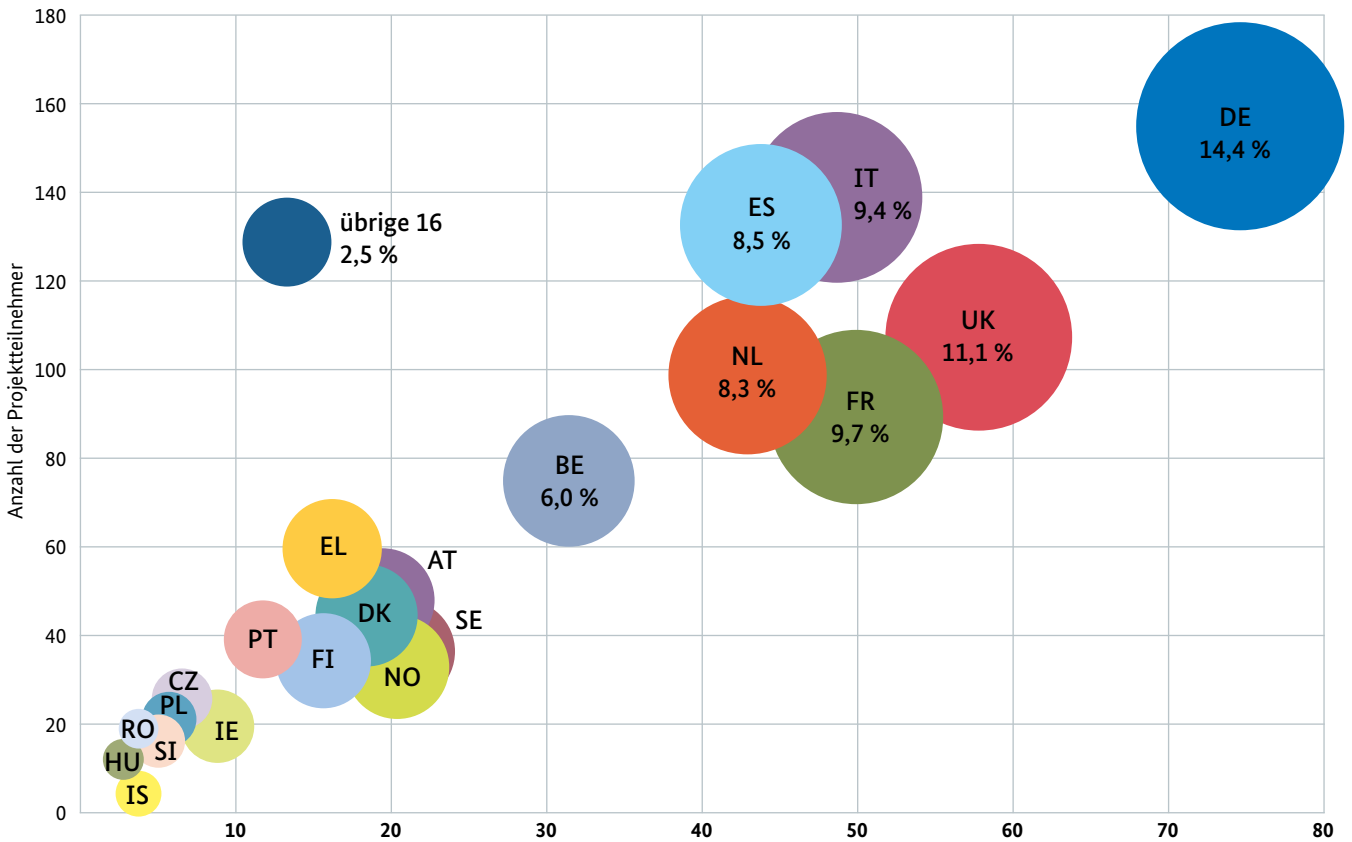
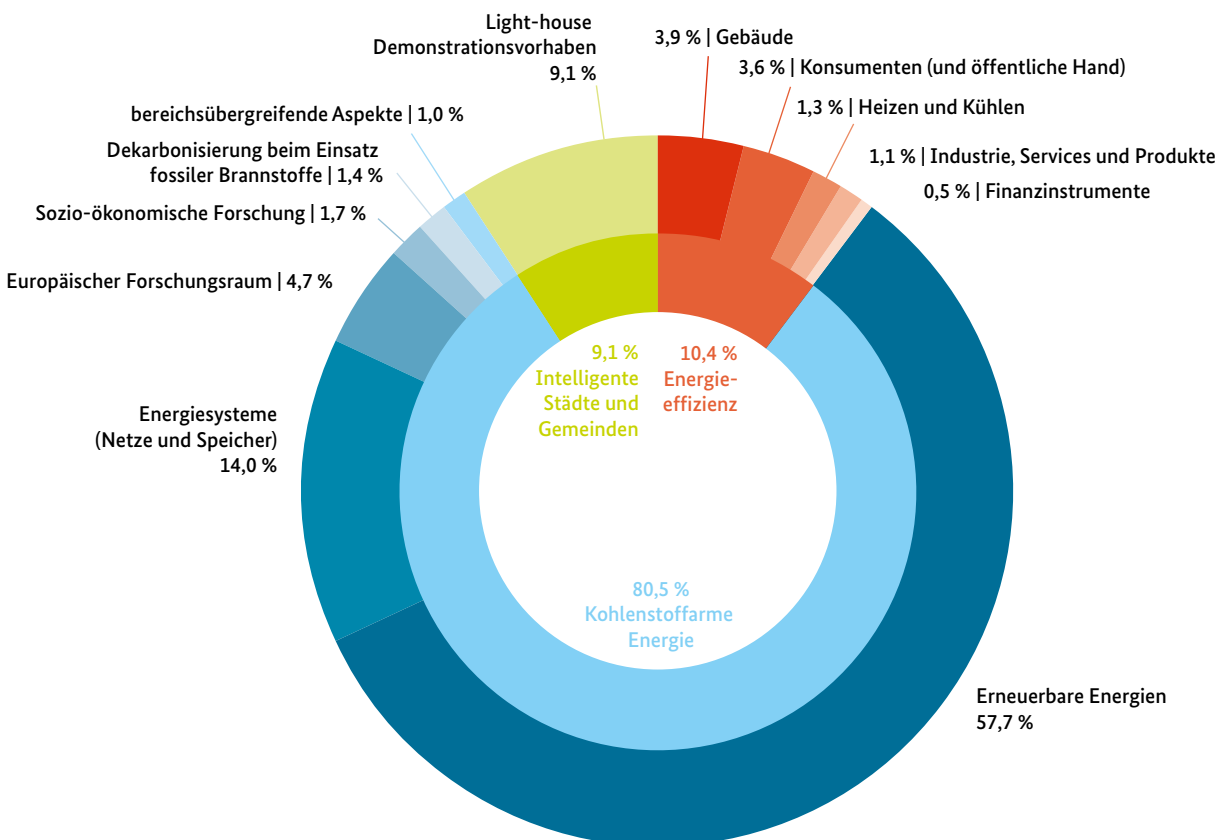


Abbildung 20: Verteilung von Fördermitteln in „Horizont 2020“ im Kernbereich der Energieforschung an Zuwendungsempfänger aus Deutschland nach Themengebieten (2016)



#### 4.3.4 Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen

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 hohen Potenzialen für Sprunginnovationen adressiert. Die Förderung erfolgt in mehreren aufeinanderfolgenden Phasen (insgesamt maximal 15 Jahre) mit bis zu 2 Millionen Euro jährlich. Im Energiebereich fördert das BMBF zwei Forschungscampi: „Flexible elektrische Netze“ (FEN) in Aachen und „Mobility2Grid“ (M2G) in Berlin. So entsteht mit FEN auf dem Campus der RWTH Aachen ein Mittelspannungs-Gleichstrom-Forschungsnetz, das in dieser Form eine absolute Neuheit darstellt. M2G erforscht in einem Reallabor auf dem EUREF-Campus in Berlin Schöneberg das innovative Zusammenspiel von Elektromobilität und intelligenten Energienetzen.

#### 4.3.5 Vom Material zur Innovation

Im Jahr 2017 wurden im Rahmen des Förderprogramms „Vom Material zur Innovation“ Beiträge zur Energieforschung geleistet. Schwerpunkt waren Aktivitäten zu elektrochemischen Energiespeichern, insbesondere zu sekundären Lithium-Ionen-Batterien und zu zukünftigen Batteriesystemen. In der zweiten Phase der Förderinitiative Batterie 2020 starteten neue Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu Materialien und Prozessen mit dem Anwendungsschwerpunkt Elektromobilität. Daneben wurde das Thema Batteriezellfertigung im Rahmen weiterer Forschungs- und Entwicklungsvorhaben intensiviert. Dabei wurden sowohl neue Fertigungsprozesse und -konzepte für Lithium-Ionen-Zellen in neuen Zellformaten als auch Material- und Prozesstechniken für Festkörperbatterien adressiert. Im Programm „Vom Material zur Innovation“ wurden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu elektrochemischen Energiespeichern in Höhe von rund 53 Millionen Euro bewilligt.

# 5. Tabellen

## 5.1 Fördermittel im 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Die folgenden Tabellen für die Bundesförderung stellen die in den jeweiligen Haushaltsjahren für die einzelnen Förderbereiche abgeflossenen Mittel dar. Die Daten wurden im Januar 2018 erhoben.

Zusätzlich werden für das Berichtsjahr 2017 die Anzahl der laufenden (inkl. der noch nicht abgeschlossenen) Projekte und der neu bewilligten Projekte dargestellt sowie die dadurch festgelegte Fördersumme, die sich während der typischerweise mehrjährigen Projektlaufzeit auf die Folgejahre verteilt.

**Tabelle 1 | Übersicht der Themen im 6. Energieforschungsprogramm des Bundes**

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €											
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Energieeffizienz	110,34	133,95	151,55	189,31	206,13	215,14	239,06	296,64	300,80	317,26	336,09	381,97
Erneuerbare Energien	120,23	126,47	152,86	202,01	210,61	221,91	258,85	298,10	303,30	323,33	328,82	418,25
Nukleare Sicherheit und Entsorgung	54,33	57,58	62,59	70,41	71,93	73,03	74,74	75,62	76,95	82,92	84,44	87,48
Fusion	114,41	121,52	125,58	142,65	131,03	137,44	133,10	138,72	138,14	139,22	126,63	125,73
<b>Insgesamt</b>	<b>399,31</b>	<b>439,52</b>	<b>492,58</b>	<b>604,37</b>	<b>619,71</b>	<b>647,52</b>	<b>705,75</b>	<b>809,09</b>	<b>819,20</b>	<b>862,73</b>	<b>875,98</b>	<b>1.013,43</b>

**Tabelle 2 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Energieumwandlung**

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	laufend in 2017	neu bewilligt in 2017	neu bewilligt in 2017
<b>Photovoltaik</b> (inkl. andere Programme)	<b>67,08</b> (85,69)	<b>63,59</b> (81,16)	<b>58,34</b> (64,92)	<b>71,26</b> (73,60)	<b>63,99</b> (65,66)	<b>84,46</b> (84,56)	<b>449</b>	<b>104</b>	<b>90,71</b>
Kristallines Silizium	30,40	30,51	26,72	36,74	36,99	52,92	248	48	47,75
Dünnschichttechnologien	15,33	12,69	11,31	10,45	8,78	10,69	76	21	16,86
Grundlagenforschung (inkl. andere Programme)	15,62 (34,23)	14,87 (32,44)	15,00 (21,59)	11,59 (13,93)	6,17 (7,84)	3,51 (3,61)	25	1	1,40
Sonstige	5,73	5,53	5,31	12,47	12,05	17,33	100	34	24,70
<b>Windenergie</b>	<b>38,42</b>	<b>52,57</b>	<b>53,06</b>	<b>53,04</b>	<b>49,69</b>	<b>75,11</b>	<b>354</b>	<b>86</b>	<b>95,97</b>
Anlagenentwicklung	2,62	15,07	21,93	25,26	18,40	39,80	135	40	36,99
Onshore	0,62	0,51	0,50	1,29	4,10	3,23	13	7	1,79
Offshore	3,34	12,23	12,72	7,98	9,18	11,09	71	14	40,14
Windphysik und Meteorologie	0,12	1,73	2,33	3,62	3,03	3,06	20	4	1,02
Logistik, Anlageninstallation, Instandhaltung und Betriebsführung	23,00	12,88	8,39	6,39	8,10	11,18	70	6	1,28

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	laufend in 2017	neu bewilligt in 2017	neu bewilligt in 2017
Umweltaspekte der Windenergie und Ökologische Begleitforschung	1,43	2,33	2,64	2,46	2,23	2,48	19	2	3,72
Sonstige	7,29	7,82	4,54	6,04	4,65	4,27	26	13	11,04
<b>Bioenergie</b> (inkl. andere Programme)	<b>40,86</b> (48,59)	<b>42,61</b> (48,68)	<b>42,97</b> (44,11)	<b>42,10</b> (43,92)	<b>37,88</b> (37,88)	<b>33,04</b> (33,04)	<b>562</b>	<b>177</b>	<b>38,61</b>
Erzeugung – Anbau	6,91	6,31	5,98	4,43	4,69	5,70	85	26	7,27
Erzeugung – Züchtung	4,43	5,25	4,77	4,92	4,49	4,58	83	30	7,44
Konversion – Allgemein	–	–	–	0,53	5,22	2,73	51	18	3,30
Konversion – Gasförmig	4,61	4,87	5,27	6,84	4,92	6,79	103	27	5,22
Konversion – Flüssig	4,11	6,12	6,19	5,92	3,97	3,21	35	7	1,28
Konversion – Fest	2,78	0,94	0,73	1,92	2,23	1,77	33	9	1,78
Querschnitt	1,86	3,22	2,85	2,97	2,53	0,94	35	17	6,29
Grundlagenforschung (inkl. andere Programme)	8,81 (16,53)	9,99 (16,06)	12,16 (13,30)	9,89 (11,72)	6,17 (6,17)	3,13	20	–	–
Energetische Biomassenutzung	7,36	5,91	5,03	4,69	3,66	4,18	117	43	6,04
<b>Tiefe Geothermie</b>	<b>20,82</b>	<b>17,10</b>	<b>15,55</b>	<b>13,38</b>	<b>12,54</b>	<b>16,49</b>	<b>80</b>	<b>17</b>	<b>8,00</b>
Prospektion und Exploration	8,39	7,28	9,13	9,12	6,67	8,06	40	5	2,28
Warmwasser- und Dampflagerstätten	4,36	4,97	3,03	2,59	4,61	5,34	14	6	3,08
Hot-Dry-Rock	3,69	0,91	0,33	0,45	1,02	3,04	26	6	2,63
Sonstige	4,37	3,94	3,05	1,22	0,23	0,05	–	–	–
<b>Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien</b> (inkl. andere Programme)	<b>27,54</b> (28,58)	<b>31,62</b> (35,09)	<b>29,60</b> (30,96)	<b>28,20</b> (28,20)	<b>28,52</b> (28,52)	<b>32,82</b> (32,90)	<b>326</b>	<b>51</b>	<b>25,34</b>
Fortgeschrittene Kraftwerkssysteme	10,76	7,45	6,36	2,41	4,84	5,54	51	9	7,62
Komponentenentwicklung	9,18	16,52	18,19	19,19	17,53	21,59	256	42	17,71
Kohlevergasung	2,39	1,54	1,46	2,80	3,52	4,14	8	–	–
Grundlagenforschung (inkl. andere Programme)	4,54 (5,58)	3,79 (7,27)	2,86 (4,22)	1,97 (1,97)	1,36 (1,36)	– (0,08)	–	–	–
Sonstige	0,68	2,32	0,74	1,82	1,27	1,55	11	–	–
<b>Brennstoffzellen und Wasserstoff</b>	<b>19,47</b>	<b>24,88</b>	<b>27,16</b>	<b>22,32</b>	<b>19,69</b>	<b>26,50</b>	<b>156</b>	<b>48</b>	<b>32,23</b>
NT-PEMFC	6,15	6,68	9,92	6,43	4,42	6,24	59	11	6,64
HT-PEMFC	1,30	1,75	1,21	1,01	0,77	0,99	6	5	3,13
MCFC	0,55	0,14	0,30	1,64	0,82	1,72	2	–	–
SOFC	7,40	11,10	7,84	6,53	4,27	6,73	31	7	5,10
DMFC	0,56	0,34	0,06	–	–	0,14	4	4	1,19
Wasserstoffspeicher	1,98	3,16	2,25	2,36	0,99	1,12	8	14	11,18



Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	laufend in 2017	neu bewilligt in 2017	neu bewilligt in 2017
Wasserstoffherzeugung	0,83	0,63	0,30	0,59	2,14	2,86	14	4	1,33
Grundlagenforschung	0,71	1,08	3,04	2,10	4,28	4,58	20	3	3,66
Sonstige	–	–	2,23	1,67	2,01	2,12	12	–	–
<b>Solarthermische Kraftwerke</b>	<b>7,45</b>	<b>8,41</b>	<b>9,25</b>	<b>10,09</b>	<b>8,58</b>	<b>7,73</b>	<b>66</b>	<b>21</b>	<b>5,62</b>
Parabol	3,67	2,25	1,84	0,74	2,04	2,90	29	9	2,75
Turm	2,01	2,50	3,59	4,23	2,86	2,63	27	12	2,87
Fresnel	0,68	0,63	0,82	–	–	0,00	–	–	–
Speicher	0,30	1,79	1,41	1,85	1,37	1,52	2	–	–
Sonstige	0,78	1,24	1,59	3,28	2,32	0,68	8	–	–
<b>Wasserkraft und Meeresenergie</b>	<b>0,98</b>	<b>1,25</b>	<b>1,21</b>	<b>1,68</b>	<b>2,01</b>	<b>2,15</b>	<b>17</b>	<b>2</b>	<b>1,21</b>
<b>Gesamt (inkl. andere Programme)</b>	<b>222,62 (249,99)</b>	<b>242,02 (269,15)</b>	<b>237,14 (246,23)</b>	<b>242,06 (246,22)</b>	<b>222,90 (224,57)</b>	<b>278,30 (278,47)</b>	<b>2010</b>	<b>506</b>	<b>297,69</b>

Tabelle 3 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Energienutzung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	laufend in 2017	neu bewilligt in 2017	neu bewilligt in 2017
<b>Energieeffizienz in Gebäuden u. Städten</b>	<b>45,81</b>	<b>56,76</b>	<b>60,55</b>	<b>54,86</b>	<b>53,60</b>	<b>61,76</b>	<b>655</b>	<b>205</b>	<b>129,96</b>
(inkl. andere Programme)	(47,74)	(58,94)	(63,53)	(54,86)	(53,72)	(61,80)			
EnOB – Energieoptimiertes Bauen	19,65	25,50	30,95	30,86	26,33	28,44	322	85	38,42
EnEff:Stadt – Versorgungskonzepte	7,85	9,69	9,28	9,06	11,62	16,10	160	65	46,05
EnEff:Stadt – Fernwärme	2,50	3,53	3,75	2,87	3,16	3,35	44	12	3,02
EnEff:Stadt – Kraft-Wärme-Kopplung	2,93	4,61	2,65	1,39	0,89	1,39	11	–	–
Niedertemperatur-Solarthermie	4,90	6,47	6,36	5,54	6,43	7,71	70	8	5,87
Solare Kälte	1,73	1,21	1,02	0,48	0,13	–	–	–	–
Grundlagenforschung (inkl. andere Programme)	3,63 (3,63)	4,49 (4,49)	5,36 (5,36)	4,65 (4,65)	3,88 (4,00)	2,92 (2,96)	39	35	36,60
Forschungsinitiative Zukunft Bau des BMUB (anderes Programm)	(1,93)	(2,18)	(2,98)	–	–	11,09	–	–	–
Sonstige	2,62	1,25	1,19	–	1,17	1,85	9	–	–
<b>Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und bei Dienstleistungen</b>	<b>30,01</b>	<b>36,38</b>	<b>34,70</b>	<b>34,85</b>	<b>33,70</b>	<b>44,59</b>	<b>434</b>	<b>130</b>	<b>55,03</b>
Maschinen-, Fahrzeugbau, Elektrot., Feinmech., Optik, EBM-Waren	10,90	14,97	16,07	14,30	9,57	13,54	110	42	17,85

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	laufend in 2017	neu bewilligt in 2017	neu bewilligt in 2017
Eisen- und Stahlindustrie	2,42	1,54	0,69	0,67	0,55	0,69	23	14	3,22
Gew. & Verarb. von Steinen & Erden, Feinkeramik, Glasgewerbe	2,05	2,41	1,45	0,54	1,20	2,76	17	1	1,43
Wärmepumpen, Kältemittel	1,28	2,99	2,58	3,02	3,83	4,45	23	8	6,59
Industrieöfen	1,19	0,83	0,67	0,99	1,41	3,36	39	14	4,98
Mechanische und thermische Trennverfahren	0,39	1,57	1,79	2,23	2,05	2,82	32	6	2,43
Chemische Industrie, Herstellung von Kunststoff- und Gummiwaren	1,52	2,79	4,05	4,81	5,46	6,25	81	26	8,76
NE-Metallindustrie	0,44	0,56	0,72	0,79	1,09	1,40	10	4	1,38
Wärmetauscher	2,11	1,82	1,13	1,61	1,46	1,26	10	–	–
Solare Prozesswärme	0,35	0,25	0,10	0,10	0,09	0,08	1	–	–
Grundlagenforschung	–	–	1,76	0,79	0,32	0,00	1	–	–
Sonstige	7,35	6,64	3,68	5,01	6,68	7,98	87	15	8,39
<b>Gesamt (inkl. andere Programme)</b>	<b>75,81 (79,80)</b>	<b>93,14 (97,73)</b>	<b>95,25 (99,68)</b>	<b>89,70 (90,25)</b>	<b>87,30 (88,63)</b>	<b>106,35 (109,14)</b>	<b>1.089</b>	<b>335</b>	<b>184,99</b>

**Tabelle 4 | Mittelabfluss in der Energieverteilung<sup>4</sup> und systemorientierten Projektförderung einschließlich Querschnittsthemen**

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	laufend in 2017	neu bewilligt in 2017	neu bewilligt in 2017
<b>Querschnittsthemen und Systemanalyse</b>	<b>8,60</b>	<b>11,70</b>	<b>10,82</b>	<b>11,46</b>	<b>13,67</b>	<b>16,79</b>	<b>140</b>	<b>41</b>	<b>20,20</b>
Systemanalyse	1,57	2,38	3,03	3,75	7,42	13,54	118	39	17,19
Informationsverbreitung	2,49	3,27	3,33	4,09	3,74	2,10	11	1	2,01
Querschnittsthemen	4,10	5,38	4,13	3,35	2,42	1,15	11	1	1,00
Sonstige	0,44	0,66	0,33	0,27	0,09	–	–	–	–
<b>Energiespeicher (inkl. andere Programme)</b>	<b>31,02 (38,90)</b>	<b>59,30 (61,46)</b>	<b>56,99 (57,26)</b>	<b>61,59 (61,76)</b>	<b>53,34 (53,34)</b>	<b>49,70 (49,70)</b>	<b>429</b>	<b>116</b>	<b>54,89</b>
Elektrochemische Speicher	14,48	23,87	19,86	18,41	21,24	23,71	176	78	41,04
Hochtemperaturspeicher	0,47	0,47	1,52	3,51	2,16	0,92	21	3	2,35
Mechanische Speicher	1,19	3,26	1,53	1,97	2,48	3,01	26	4	1,10
Elektrische Speicher	0,74	0,28	0,05	2,48	4,54	4,11	44	9	2,40
Niedertemperaturspeicher	1,53	3,37	5,13	5,14	3,19	1,86	33	7	3,22
Stoffliche Speicher	–	–	–	–	0,34	1,15	20	11	3,70

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	laufend in 2017	neu bewilligt in 2017	neu bewilligt in 2017
Grundlagenforschung (inkl. andere Programme)	10,20 (18,08)	19,37 (21,53)	17,21 (17,48)	15,61 (15,77)	10,79 (10,79)	3,60	33	–	–
Sonstige	2,41	8,67	11,70	14,48	8,61	11,34	76	4	1,09
<b>Netze</b>	<b>16,74</b>	<b>30,95</b>	<b>34,88</b>	<b>52,85</b>	<b>70,93</b>	<b>75,23</b>	<b>621</b>	<b>92</b>	<b>55,17</b>
Komponenten	1,93	10,15	12,12	13,60	17,87	22,44	169	44	25,16
Netzplanung	0,78	2,51	3,24	4,00	4,26	4,62	40	6	1,62
Betriebsführung	9,74	12,62	10,40	18,72	27,98	27,38	259	25	18,01
Systemstudien	0,06	1,68	3,60	2,94	1,90	0,99	5	–	–
Grundlagenforschung	3,06	0,49	1,26	9,46	14,02	13,77	94	1	0,21
Sonstige	1,17	3,50	4,26	4,12	4,90	6,03	54	16	10,16
<b>Programmkooperation Industrielle Gemeinschaftsforschung</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>0,05</b>	<b>2,52</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>8,71</b>
<b>Gesamt (inkl. andere Programme)</b>	<b>56,35 (64,23)</b>	<b>101,95 (104,10)</b>	<b>102,69 (102,96)</b>	<b>125,90 (126,06)</b>	<b>137,99 (137,99)</b>	<b>144,23 (144,23)</b>	<b>1.213</b>	<b>270</b>	<b>138,96</b>

4 In den Vorjahren wurden Energienutzung und Energieverteilung gemeinsam ausgewiesen. Ab diesem Jahr werden die Themen Energiespeicher und Netze der systemorientierten Forschung zugeordnet. Die Einzeldaten für die Vorjahre sind gleich geblieben.

Tabelle 5 | Mittelabfluss in der weiteren Projektförderung des BMBF

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	laufend in 2017	neu bewilligt in 2017	neu bewilligt in 2017
Sozial-ökologische Forschung (inkl. andere Programme)	– –	1,18 (3,08)	3,25 (8,58)	3,95 (11,11)	2,64 (4,42)	0,36 (2,07)	8 –	– –	– –
Energiematerialien	–	–	0,72	10,41	27,87	26,68	143	4	0,88
Kopernikus-Projekte	–	–	–	–	0,40	40,16	173	18	4,50
Carbon2Chem	–	–	–	–	8,64	11,84	35	9	2,55
Projektbezogene Fusionsforschung	2,58	6,29	5,55	7,70	3,12	2,23	1	–	–
Sonstige Projektförderung des BMBF (inkl. andere Programme)	7,11 (7,11)	2,35 (3,23)	3,93 (3,93)	3,23	4,19	5,27	13	8	2,54
<b>Gesamt (inkl. andere Programme)</b>	<b>9,69 (9,69)</b>	<b>9,82 (12,61)</b>	<b>13,45 (18,79)</b>	<b>25,29 (32,46)</b>	<b>46,86 (48,63)</b>	<b>86,53 (88,24)</b>	<b>373</b>	<b>39</b>	<b>10,46</b>

Tabelle 6 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Nukleare Sicherheitsforschung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	laufend in 2017	neu bewilligt in 2017	neu bewilligt in 2017
<b>Endlager- und Entsorgungsforschung</b>	<b>12,30</b>	<b>13,23</b>	<b>13,58</b>	<b>12,95</b>	<b>13,09</b>	<b>16,33</b>	<b>110</b>	<b>35</b>	<b>17,53</b>
Endlagerforschung	9,84	10,39	10,25	10,06	9,94	11,43	74	21	11,52
Querschnittsaufgaben und Sonstige	0,54	0,53	0,53	0,54	1,06	1,90	15	9	3,65
Kernmaterialüberwachung	0,18	0,15	0,19	0,24	0,26	0,21	1	–	–
Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen)	1,74	2,17	2,61	2,11	1,83	2,78	20	5	2,35
<b>Reaktorsicherheitsforschung</b>	<b>24,38</b>	<b>23,43</b>	<b>25,10</b>	<b>25,22</b>	<b>24,06</b>	<b>22,76</b>	<b>159</b>	<b>36</b>	<b>22,52</b>
Sicherheit von Komponenten kerntechnischer Anlagen	5,28	4,01	4,38	4,55	4,38	4,20	46	14	6,27
Anlagenverhalten und Unfallabläufe	11,25	12,09	12,51	13,22	13,37	13,46	73	18	13,35
Querschnittsaufgaben und Sonstige	5,08	5,72	4,81	4,05	3,63	3,37	20	4	2,90
Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen)	2,77	1,62	3,39	3,39	2,68	1,73	20	–	–
<b>Strahlenforschung (BMBF)</b>	<b>4,91</b>	<b>4,95</b>	<b>4,61</b>	<b>7,58</b>	<b>8,58</b>	<b>8,05</b>	<b>73</b>	<b>16</b>	<b>10,14</b>
<b>Gesamt</b>	<b>41,59</b>	<b>41,61</b>	<b>43,29</b>	<b>45,74</b>	<b>45,73</b>	<b>47,13</b>	<b>342</b>	<b>87</b>	<b>50,19</b>

Tabelle 7 | Mittelabfluss in der Institutionellen Energieforschung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Rationelle Energieumwandlung und -nutzung	67,34	70,34	72,09	75,08	79,34	90,39
Erneuerbare Energien	50,75	53,74	56,52	52,46	55,59	57,88
Nukleare Sicherheitsforschung	31,64	32,22	32,26	35,76	37,27	38,84
Kernfusion inklusive Wendelstein 7-X	130,52	132,43	132,59	131,52	123,51	123,51
Technologie, Innovation und Gesellschaft	9,92	10,05	9,95	7,75	8,07	8,32
<b>Gesamt</b>	<b>290,17</b>	<b>298,78</b>	<b>303,41</b>	<b>302,57</b>	<b>303,78</b>	<b>318,95</b>

## 5.2 Fördermittel für Energieforschung der Länder

Die Angaben beruhen auf der Meldung der Länder aus einer regelmäßig im Auftrag des BMWi durchgeführten Abfrage. Bei Mitteln aus dem Europäischen Fonds für Regi-

onale Entwicklung (EFRE) wird nur der Eigenanteil der Länder berücksichtigt. Zahlen für 2017 liegen noch nicht vor. Mecklenburg-Vorpommern hat im Jahre 2016 keine landeseigenen Mittel für die nichtnukleare Energieforschung aufgewendet.

**Tabelle 8 | Aufwendungen der Länder für nichtnukleare Energieforschung**

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

Tabelle 9 | Aufwendungen der Länder für nichtnukleare Energieforschung nach Themen

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



