



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

---

# Bundesbericht Energieforschung 2019

---

*Forschungsförderung für die Energiewende*



## **Impressum**

### **Herausgeber**

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

### **Stand**

April 2019

### **Druck**

BMWi

### **Gestaltung**

PRpetuum GmbH, 80801 München

### **Bildnachweis**

Attiko Metro SA / S. 8  
Ingo Bartussek / Adobe Stock / S. 40  
BELECTRIC / S. 4  
Bierther / PtJ / S. 28  
Elring Klinger AG / S. 11  
Oskar Eyb / Universität Hohenheim / S. 26 rechts  
FH Südwestfalen, FB Elektrische Energietechnik, Fachgebiet Energieversorgung / S. 33 rechts  
Franken Filtertechnik KG / S. 15  
Fraunhofer HHI / S. 36 links  
Fraunhofer IEE / S. 32 links  
Fraunhofer ISE / S. 22  
freebird / Adobe Stock / S. 38 unten  
Jens Gehrcken / Stadt Oldenburg / S. 12 links  
Ute Grabowsky / FONA, phototek / S. 44 rechts, S. 45 rechts  
INEOS Styrolution / S. 17 links  
Infineon Technologies AG / S. 21 rechts  
InnoLas Solutions GmbH / S. 20 rechts  
Sven Jachalke / S. 36 rechts  
Jacobs / Stadt Heide / S. 14 oben  
Harald Kreibich / Stadtwerke Henningsdorf / S. 14 unten  
Metamorworks / Adobe Stock / S. 12 rechts  
Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe GmbH / S. 30  
NexWafe GmbH / S. 20 links  
Rolf Otzipka / S. 44 links  
Maria Parussel / BMWi / S. 49  
Pattilabelle / Adobe Stock / S. 24 oben  
Dan Race / Adobe Stock / S. 33 links  
Hans-Joachim Rickel / BMBF / S. 41  
Robert Bosch GmbH, Corporate Research / S. 38 oben  
Schott AG / S. 45 links  
Sutco Recycling Technik / S. 17 rechts  
teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH / S. 21 links  
Technische Hochschule Ingolstadt, Institut für neue Energiesysteme / S. 26 links  
TenneT TSO GmbH / S. 32 rechts  
Universität Kassel / S. 13  
Universität Stuttgart, IKTD / S. 18  
Holger Vonderlind / BMWi / Titel, S. 24 unten, S. 51  
www.alantum.com / S. 35

### **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 2019

---

*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 Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung	4
1.1.2 Rückblick auf das 6. Energieforschungsprogramm	5
1.1.3 Mittelentwicklung	5
1.1.4 Evaluationen und Erfolgskontrolle	5
1.2 Strukturen der Energieforschungspolitik	6
1.2.1 Ressortaufgaben	6
1.2.2 Koordination der Energieforschungsförderung	6
1.2.3 Nationale Vernetzung	6
1.2.4 Transparenz und Kommunikation	7
1.3 Europäische und internationale Vernetzung	7
1.3.1 Europäische Kooperationen	7
1.3.2 Internationale Kooperation	9
<b>2. Projektförderung</b>	<b>11</b>
2.1 Energiewende in den Verbrauchssektoren	11
2.1.1 Energie in Gebäuden und Quartieren	11
2.1.2 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	15
2.1.3 Schnittstellen zu Mobilität und Verkehr	18
2.2 Energieerzeugung	19
2.2.1 Photovoltaik	19
2.2.2 Windenergie	22
2.2.3 Bioenergie	25
2.2.4 Geothermie	28
2.2.5 Wasserkraft und Meeresenergie	29
2.2.6 Thermische Kraftwerke	29
2.3 Systemintegration	31
2.3.1 Stromnetze	31
2.3.2 Stromspeicher	34
2.3.3 Sektorkopplung	37
2.4 Systemübergreifende Forschungsthemen	39
2.4.1 Energiesystemanalyse	39
2.4.2 Digitalisierung	40
2.4.3 Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende	40
2.4.4 Carbon2Chem und weitere CO <sub>2</sub> -Technologien	40
2.4.5 Energiewende und Gesellschaft	42
2.4.6 Materialforschung für die Energiewende	42
2.4.7 Kopernikus-Projekte für die Energiewende	43
2.5 Nukleare Sicherheitsforschung	46
2.5.1 Reaktorsicherheitsforschung	46
2.5.2 Entsorgungs- und Endlagerforschung	47
2.5.3 Strahlenforschung	48

<b>3. Institutionelle Energieforschung</b> .....	<b>49</b>
3.1 Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft.....	49
3.2 Fusionsforschung.....	50
<b>4. Weitere energierelevante Förderaktivitäten</b> .....	<b>51</b>
4.1 Förderaktivitäten der Länder.....	51
4.2 Forschungsrahmenprogramm der EU.....	53
4.2.1 Ziel und Umfang der EU-Forschungsförderung.....	53
4.2.2 Erfolgreiche Beteiligung deutscher Antragsteller im Energiebereich.....	54
4.2.3 Schwerpunkte der Energieforschung.....	54
4.3 Aktivitäten der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms.....	55
4.3.1 EnEff.Gebäude.2050.....	55
4.3.2 Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP).....	55
4.3.3 SINTEG „Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“.....	55
4.3.4 Forschungscampus.....	55
<b>5. Tabellen</b> .....	<b>56</b>
5.1 Fördermittel im 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung.....	56
5.2 Fördermittel für Energieforschung der Länder.....	63



# 1. Forschungsförderung für die Energiewende

## 1.1 Das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

### 1.1.1 Das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Seit 1977 fördert die Bundesregierung kontinuierlich die Erforschung von nichtnuklearen Energietechnologien. Die programmatische Basis dafür sind sieben aufeinander folgende Energieforschungsprogramme. Im September 2018 hat das Bundeskabinett das 7. Energieforschungsprogramm „Innovationen für die Energiewende“ verabschiedet. Von 2019 bis 2022 sind in Summe rund fünf Milliarden Euro für die Forschungsförderung im Energiebereich vorgesehen. Das aktuelle Programm wurde im Rahmen eines breit angelegten Konsultationsprozesses unter Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) erarbeitet. Beteiligt daran sind drei Ministerien: Während das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Fördermaßnahmen in allen Bereichen der anwendungsorientierten Grundlagenforschung umsetzt, fördert das BMWi anwendungsnahe Forschung und Reallabore entlang der

gesamten Energiekette. Für die anwendungsnahe Biomasseforschung ist das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) zuständig. Zudem fördert das BMWi Vorhaben im Bereich der energetischen Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe.

Mit dem 7. Energieforschungsprogramm werden über die technologiespezifischen Förderschwerpunkte hinaus erstmals auch übergreifende Querschnittsthemen adressiert, die eine zentrale Rolle spielen für den tiefgreifenden Umbau des Energiesystems im Zeichen der Energiewende: Digitalisierung, Sektorkopplung sowie Energiewende und Gesellschaft. Und: Das neue Förderformat der Reallabore ermöglicht unter realen Bedingungen ganzheitlich angelegte Vorhaben, die den Technologie- und Innovationstransfer beschleunigen. Zudem sollen Start-ups noch schneller und besser in die Forschungsförderung gebracht werden und durch ihre hohe Dynamik und Innovationskraft die Energiewende mit vorantreiben.

### 1.1.2 Rückblick auf das 6. Energieforschungsprogramm

Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung wurde am 3. August 2011 vom Bundeskabinett verabschiedet. Es orientierte sich an dem Energiekonzept der Bundesregierung vom 28. September 2010 und seiner Fortschreibung am 11. März 2011. Das 6. Energieforschungsprogramm bildete erstmals die gesamte Energiekette ab, von der Energiebereitstellung und -umwandlung über den Transport und die Verteilung einschließlich Speicherung bis hin zum Energieeinsatz in verschiedenen Sektoren. Eine enge Kooperation der Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft galt als essenziell, um Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Bezahlbarkeit der Energieversorgung zu gewährleisten.

Gefördert wurden vorwiegend Vorhaben der anwendungsorientierten industriellen Forschung und der vorwettbewerblichen Entwicklung sowie Vorhaben mit einem interdisziplinären Ansatz. Hierbei sollte die technologieübergreifende Kopplung von weitestgehend entwickelten Einzelkomponenten zu technischen Gesamtsystemen im Vordergrund stehen. Schwerpunkte waren außerdem die Weiterentwicklung und Integration von neuen Informations- und Kommunikationstechnologien, Fragen der Systemsicherheit und Systemzuverlässigkeit sowie der Akzeptanz. Eine Weiterentwicklung im 6. Energieforschungsprogramm stellten auch die ressortübergreifenden Förderinitiativen zu Energiespeichern, zukünftigen Stromnetzen und zum solaren Bauen dar. Hierdurch konnten diese Themenfelder sehr breit angelegt beforscht werden, indem Fragestellungen von den Grundlagen über die anwendungsorientierte Forschung bis zur Demonstration aufgegriffen wurden.

### 1.1.3 Mittelentwicklung

2018 hat die Bundesregierung im Rahmen des Energieforschungsprogramms rund 1,06 Milliarden Euro für die Forschung, Entwicklung und Demonstration moderner Energie- und Effizienztechnologien und -anwendungen für die Energiewende aufgewendet. Das Fördervolumen bleibt damit auf dem hohen Niveau des Vorjahres. Auf der Webseite [www.enargus.de](http://www.enargus.de) werden die Zahlen zur Projektförderung in diesem Bericht transparent und übersichtlich dargestellt. EnArgus ist das zentrale Informationssystem Energieforschung des BMWi mit Informationen zu laufenden und abgeschlossenen Projekten.

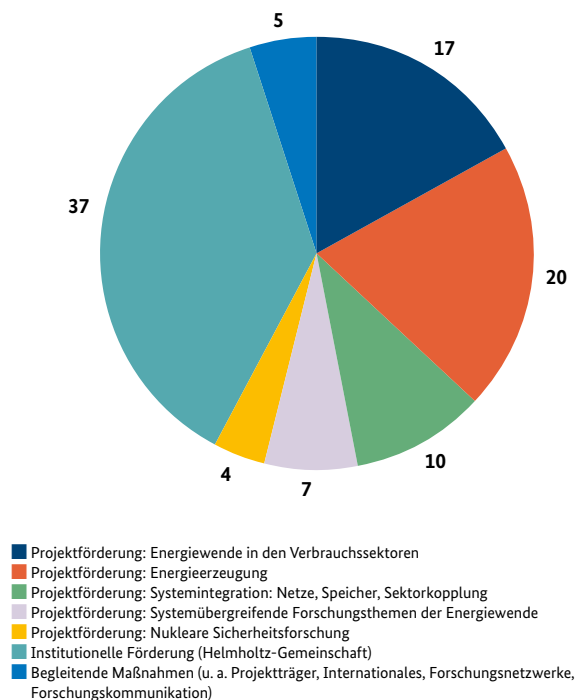
Mit dem Übergang zum neuen Energieforschungsprogramm wird aktuell die Energieforschungsstatistik überarbeitet. Abbildung 1 zeigt, wie sich die Förderung auf die Themen des 7. Energieforschungsprogramms verteilt. Die Tabellen zu einzelnen Forschungsbereichen werden (bis auf die Tabellen 1 und 7) in diesem Jahr noch einmal fortgeschrieben, da das Berichtsjahr 2018 Forschungsförderung unter dem 6. Energieforschungsprogramm erfasst.

### 1.1.4 Evaluationen und Erfolgskontrolle

Wie effizient und wirksam sind die geförderten Maßnahmen? Orientiert sich die Förderpolitik wirklich am Bedarf? Um das zu überprüfen, nutzt die Bundesregierung wissenschaftlich-technische Evaluationen und flankierende Erfolgskontrollen. Damit tragen die am Energieforschungsprogramm beteiligten Bundesministerien dazu bei, die Energieforschung transparent zu gestalten. Darüber hinaus geben die Evaluationen und Erfolgskontrollen wichtige Hinweise zur weiteren Ausgestaltung der Förderung.

2018 hat der Projektträger Jülich (PtJ) im Auftrag des BMWi und BMBF den Zwischenbericht zur begleitenden Erfolgskontrolle der gemeinsamen Förderinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ veröffentlicht. Im Rahmen der Initiative flossen rund 138 Millionen Euro in die verschiedenen Förderprojekte, darunter 70 Verbundprojekte und elf Einzelvorhaben. Gefördert wurden Maßnahmen zu technologischen Verbesserungen in der Betriebsführung und zur Entwicklung innovativer Komponenten und Betriebsmittel sowie Methoden zur effizienteren Netzplanung. Die Expertinnen und Experten untersuchten zum Beispiel, wie künftig auf kritische Situationen wie Netzausfälle, sogenannte Blackouts, in einem veränderten Energiesystem angemessen reagiert werden kann und wie eine vorausschauende Netzplanung strategisch aufgesetzt werden muss.

**Abbildung 1: Übersicht der Fördermittel im Energieforschungsprogramm des Bundes in %**  
(Daten siehe Tabelle 1)



Unter den beteiligten Projektpartnern waren 88 wissenschaftliche Einrichtungen und 112 Unternehmen, zum Beispiel Netzbetreiber, Energieversorger, Hersteller von elektrischen Ausrüstungen, Komponenten und Betriebsmitteln sowie Firmen der Informations- und Kommunikationstechnik-Branche. Dass die Förderinitiative insgesamt erfolgreich war, zeigt der Blick auf die erreichten Entwicklungsgrade der Technologien in den Projekten: Durchschnittlich wurden Sprünge von drei Technology Readiness Level (TRL) erzielt. Dies entspricht beispielsweise der Änderung des Reifegrades einer Technologie von der generellen Nachweisbarkeit der Funktion im Labor hin zu einem Prototyp mit systemrelevanten Eigenschaften, der im Betriebsumfeld getestet wurde. Die wissenschaftlichen und technischen Ziele wurden in 95 Prozent der Projekte erreicht.

## 1.2 Strukturen der Energieforschungspolitik

### 1.2.1 Ressortaufgaben

Da die Zuständigkeit für die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik der Bundesregierung beim BMWi liegt, war es federführend für die Erstellung des 7. Energieforschungsprogramms zuständig. Zudem verantwortet das BMWi die Projektförderung der anwendungsnahen Energieforschung ohne Biomasse. In der institutionellen Förderung ist das BMWi in Abstimmung mit dem BMBF, sowie den Vertretern der Länder und Forschungszentren für die strategische Ausrichtung des Forschungsbereichs Energie der Helmholtz-Gemeinschaft (HGF) zuständig. Zudem verantwortet das BMWi die institutionelle Förderung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Darüber hinaus vertritt das BMWi Deutschland in internationalen und europäischen Gremien der Forschungspolitik im Energiebereich und fördert projektbezogen multilaterale Forschungskooperationen.

Das BMBF ist verantwortlich für die Projektförderung im Bereich der anwendungsorientierten Grundlagenforschung im gesamten Themenspektrum des Programms. Es ist für die gesamte institutionelle Förderung der HGF ohne das DLR zuständig und wirkt an der strategischen Weiterentwicklung des Forschungsbereichs Energie der HGF mit. Zudem fördert das BMBF auf Ebene der EU und mit internationalen Partnern den wissenschaftlichen Nachwuchs sowie den akademischen Austausch und wissenschaftliche Kooperationen. Für die Projektförderung der energetischen Biomassenutzung ist das BMEL zuständig.

### 1.2.2 Koordination der Energieforschungsförderung

Die neue Programmstruktur ermöglicht die Nutzung von Synergien in themenorientierten Kooperationen. Eine wichtige Rolle spielt hierbei die Zusammenarbeit mit Bundesressorts wie dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), das für stark energieabhängige Aufgabenbereiche im Verkehr federführend zuständig ist und eigene Programme zur Einführung zukunftsfähiger Lösungen in die Praxis fördert. Zudem stärkt die Bundesregierung weiterhin den nationalen Austausch mit den anderen am Energieforschungsprogramm beteiligten Ressorts BMBF und BMEL durch die etablierte „Koordinierungsplattform Energieforschungspolitik“. Die Koordinierungsplattform Energieforschungspolitik wird vom BMWi geleitet. Um die Forschungsaktivitäten zu koordinieren und einen hohen Praxisbezug sicherzustellen, setzt die Bundesregierung bei der Entwicklung und Umsetzung von Förderstrategien auf einen transparenten Dialog mit allen relevanten Akteuren in der Energieforschung. Ein wichtiges Forum für den Austausch zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik ist die Energiewendeplattform Forschung und Innovation, kurz FuI-Plattform. Die Mitglieder, Institutionen aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft, können sich hier zu übergreifenden Fragen der Förderpolitik strategisch beraten. Um die Zusammenarbeit mit den Ländern in ausgewählten Bereichen zu intensivieren findet zudem einmal im Jahr das „Bund-Länder-Gespräch Energieforschung“ statt.

### 1.2.3 Nationale Vernetzung

Die Energiewende-Plattform Forschung und Innovation (FuI-Plattform) führt hochrangige Akteure aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft zusammen. Das sind Vertreter aus Verbänden und ausgewählten Unternehmen, Forschungsinstituten und den betreffenden Ressorts in Bund und Ländern. Das Plenum tagt in regelmäßigen Abständen, diskutiert und bewertet aktuelle Entwicklungen sowie Strategien der Energieforschung.

Fachliche Grundlage der FuI-Plattform sind die Forschungsnetzwerke Energie. In den offenen Experten-Netzwerken engagieren sich rund 3.900 Mitglieder, die mit ihrer breit gefächerten Expertise Impulse setzen und den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis beschleunigen. Die Arbeit in den Forschungsnetzwerken erfolgt flexibel in selbstorganisierten Arbeitsgruppen beziehungsweise Forschungsfeldern. So entstehen und festigen sich wichtige Beziehungen zwischen den Akteuren, die teilweise in gemeinsamen Forschungsvorhaben münden. Aktuell gibt es acht Forschungsnetzwerke zu den Themen Bioenergie, Energiewendebauen (Gebäude und Quartiere), Erneuerbare Energien, flexible Energieumwandlung, Industrie und Gewerbe, Stromnetze, Start-ups und Systemanalyse.



Das 2018 gegründete Forschungsnetzwerk Start-ups zeigt, dass die Forschungsnetzwerke wichtige Akteure mit Multiplikatorfunktion für die Energiewende vernetzen und in strategische Überlegungen integrieren. Mit dem 7. Energieforschungsprogramm gewinnen Querschnittsthemen wie Digitalisierung, Energiespeicherung und Sektorkopplung an Bedeutung und werden künftig in netzwerkübergreifender Zusammenarbeit stärker adressiert.

#### 1.2.4 Transparenz und Kommunikation

Die Forschungskommunikation sorgt für Transparenz bei der Verwendung öffentlicher Fördermittel und spielt eine zentrale Rolle für den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis. Es werden zielgruppenspezifische Informationsangebote sowohl für die Öffentlichkeit als auch für die Fachcommunity bereitgestellt.

Die Website [www.energieforschung.de](http://www.energieforschung.de) informiert rund um die durch das BMWi geförderten Vorhaben der angewandten Energieforschung im Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Darüber hinaus bieten Fachportale einen vertieften Zugang zu maßgeblichen Themen, Ergebnissen und Veranstaltungen. Dazu zählen die folgenden Websites zu einzelnen Förderschwerpunkten oder Forschungsinitiativen des BMWi und zu ressortübergreifenden Förderinitiativen der Bundesregierung:

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

Mit dem Informationssystem EnArgus ([www.enargus.de](http://www.enargus.de)) stellt das BMWi ein Internet-Portal bereit, das über laufende und abgeschlossene Forschungsvorhaben, über Energiethemata und Technologien informiert. Die Datenbank enthält über 25.000 Vorhaben seit 1977 und wird täglich aktualisiert.

### 1.3 Europäische und internationale Vernetzung

Die klimarelevante Erzeugung und Verteilung erneuerbarer Energien braucht die transnationale Zusammenarbeit von Forschungsinstituten und Unternehmen, um die Energiewende im globalen Wettbewerb erfolgreich und effizient voranzutreiben. Aus diesem Grund schafft die internationale Forschungsförderung Anreize für gemeinschaftliche Förderprojekte auf europäischer und internationaler Ebene. Der Zusammenschluss internationaler Partner ermöglicht größtmöglichen fachlichen Austausch und die effiziente Nutzung technischer und materieller Ressourcen für die Erforschung klimafreundlicher Energietechnologien. Die Forschungsförderung wird mit dem neuen Energieforschungsprogramm auch an Technologien für die Weltmärkte, insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern, ausgerichtet.

#### 1.3.1 Europäische Kooperationen

Die Europäische Kommission und Mitgliedstaaten treiben im europäischen Forschungsraum (EFR) die Integration und Kooperation der wissenschaftlichen und technologischen Kapazitäten der Mitgliedstaaten immer weiter voran. Um die Ziele des EFR umzusetzen führt die Kommission seit 1984 mehrjährige Rahmenprogramme durch. Das europäische Forschungs- und Innovationsrahmenprogramm Horizont 2020 hat ein Gesamtbudget von rund 80 Milliarden Euro. Ein Schwerpunkt ist die marktnahe Förderung, weshalb neben der klassischen EU-Verbundforschung auch KMU und öffentlich-private Partnerschaften berücksichtigt werden. Im Bereich der gesellschaftlichen Herausforderung „Sichere, saubere und effiziente Energie“ sind für die nichtnuklearen Energietechnologien insgesamt rund 5,9 Milliarden Euro eingeplant. Rund 1.000 Forschungs- und Innovationsprojekte wurden mit Fördermitteln von über 3,2 Milliarden Euro ausgestattet. Dabei sind besonders Themen zur Nutzung Erneuerbarer Energien (48 Prozent), zu Energieeffizienz (18 Prozent) sowie zu Energiesystemen (22 Prozent) berücksichtigt worden. Bis 2020 werden hier noch rund zwei Milliarden Euro als Fördermittel für exzellente Projektvorschläge vergeben. Dabei wurden 2018 die Querschnittsthemen „Next-Generation Batteries“ mit einem Fördervolumen von 2,2 Millionen Euro ins Arbeitsprogramm mit aufgenommen. Eine besondere Stellung kommt dem Thema Wasserstoff und Brennstoffzellen zu, dass in einer öffentlich-privaten Partnerschaft durch das Gemeinschaftsunternehmen „Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking – FCH 2 JU“ verwaltet wird.

Im Juni 2019 werden die Ausschreibungen für das letzte Jahr 2020 von Horizont 2020 veröffentlicht. Diese bilden gleichzeitig den Brückenschlag zum neuen EU-Rahmenprogramm „Horizon Europe“. Neben einer verstärkten

## MetroHESS – Nutzung von Bremsenergie in U-Bahn-Stationen

*Das Beste aus zwei Speichern – Einsatz eines Hybridspeichersystems in U-Bahn-Stationen*

Die Nutzung von Überschussenergie verschiedener Prozesse steht im Fokus vieler Effizienzmaßnahmen. Soll diese Energie zu einem späteren Zeitpunkt genutzt werden, ist der Einsatz von Energiespeichern unumgänglich. Eine große Herausforderung stellt dabei die Auswahl von technologisch und ökonomisch geeigneten Speichertechnologien dar, denn jede Technologie besitzt verschiedene Vor- und Nachteile. Manche Technologien können viel Energie speichern, aber wenig Leistung bereitstellen. Andere können sehr schnell auf sich ändernde Leistungsanforderungen reagieren oder besitzen eine sehr geringe Selbstentladerate. Aus diesen Gründen liegt der Einsatz eines Hybridspeichersystems nahe, also eines Speichersystems bestehend aus zwei unterschiedlichen Speichertechnologien. Die Vorteile der jeweiligen Technologien können so kombiniert und die Nachteile kompensiert werden. Im deutsch-griechischen Kooperationsprojekt MetroHESS soll zur Erprobung ein Hybrid-Speichersystem



Metro Linie 3, Station Keramikos

ausgelegt werden, welches die Bremsenergie einer U-Bahn in kurzer Zeit aufnimmt, um sie dann langsam und kontinuierlich an die U-Bahn-Station abzugeben.

**Zuwendungsempfänger:** Leibniz Universität Hannover und drei weitere Verbundpartner  
**Förderkennzeichen:** 03SF0560  
**Fördermittelansatz:** rund 380.000 Euro  
**Projektlaufzeit:** 2018–2020

Berücksichtigung von inhaltlichen Schnittstellen zu Klima- und Verkehrsaspekten spielen die Energiethemen auch weiterhin eine bedeutende Rolle in der europäischen Förderung. Begleitet werden die Fördermaßnahmen der EU durch den europäischen Strategieplan für Energietechnologie, kurz: SET-Plan. Darin werden in Abstimmung von Mitgliedstaaten, Stakeholder-Gruppen und der Europäischen Kommission die Energiesektoren in Europa beleuchtet und Potenziale für erweiterten Kooperations- und Forschungsbedarf aufgezeigt. Die aktuellsten Strategiepapiere sind sogenannte Implementation Plans (IP), die Kooperationsabsichten zwischen einzelnen Mitgliedstaaten zu Themenbereichen wie erneuerbare Energietechnologien, Energieeffizienz in Gebäuden, Industrie und Quartieren, alternative Treibstoffe, Speichermöglichkeiten, so wie flexiblen und intelligenten Energiesystemen beschreiben.

In sogenannten „Implementation Working Groups“, bestehend aus Vertretern der EU-Mitgliedstaaten wird seit 2018 für die Umsetzung der Energiestrategien der IPs gesorgt. Die Initiative Mission Innovation verbindet dabei EU-Förderung mit globalen Energiestrategien und ermöglicht weitere internationale Kooperationen. Die Nationale Kontaktstelle Energie (NKS) bietet deutschen Antragstellern kostenfrei und interessensneutral Informationen und Beratung im Rahmen der Antragstellung und -einreichung. Die NKS Energie arbeitet im Auftrag des BMWi, das die deutschen Interessen zum Thema Energie auf europäischer Ebene vertritt.

Gemeinsam mit dem französischen Forschungsministerium MESRI startete das BMBF im Oktober 2018 eine Förderinitiative zur Nachhaltigen Energieversorgung Europas. Ziel ist es, die deutsch-französische Zusammenarbeit zu stärken und Innovationsprozesse in Deutschland und Frankreich anzuregen. Die bilateralen Projekte sollen Lösungen auf den Gebieten „Umwandlung und Speicherung von Energie aus Erneuerbaren Quellen“ sowie „Smart Grids auf Übertragungs- und Verteilnetzebene“ liefern. Neben einem sektorenübergreifenden Ansatz sind Praxisrelevanz sowie die Berücksichtigung ökonomischer und gesellschaftlicher Aspekte gefragt. Die Auswahl erfolgte im Frühjahr 2019.

Das thematisch breit aufgestellte bilaterale Deutsch-Griechische Forschungs- und Innovationsprogramm wurde 2013 erstmalig aufgelegt und im Dezember 2016 fortgesetzt. Das BMBF und das griechische Ministerium für Bildung, Forschung und religiöse Angelegenheiten stellen insgesamt 18 Millionen Euro bereit. Die ausgewählten Projekte starteten im März 2018 und leisten einen wichtigen Beitrag zur Stärkung der Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft sowie zur Förderung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern in beiden Ländern. Unter den Themenfeldern Gesundheitsforschung, Bioökonomie, Geistes- und Sozialwissenschaften, Kultur und Tourismus, Materialforschung sowie Schlüsseltechnologien nimmt die Energieforschung mit 8 von 24 laufenden Verbänden eine zentrale Rolle ein. Thematisch decken die Projekte die Energieerzeugung, wie etwa die Entwicklung

fortschrittlicher Kleinwindanlagen, über die Systemintegration, zum Beispiel die Erforschung nachhaltiger Brennstoffzellen-Anwendungen für Insel-Energie-Systeme, bis hin zu gesellschaftlichen Themen ab.

### 1.3.2 Internationale Kooperation

Eine nachhaltige und zukunftsweisende Energieversorgung erfordert den fortlaufenden Austausch zwischen Regierungen, Forschungsinstituten, Universitäten und Industrieunternehmen – sowohl auf europäischer als auch auf globaler Ebene.

#### Internationale Energie Agentur (IEA)

Die Internationale Energie Agentur (IEA) hat eine beratende Funktion und unterstützt ihre 30 Mitgliedstaaten dabei, die Erforschung, Entwicklung und Anwendung von nachhaltigen Energietechnologien weltweit voranzutreiben. Lag früher der Fokus auf der Sicherung der Ölversorgung sind die Schwerpunkte heutzutage eine gemeinsame Klimapolitik, Marktreflexionen, die Zusammenarbeit bei der Entwicklung neuer Energietechnologien sowie die Aufklärung und Einbindung aufstrebender Schwellenländer in energiepolitischen Fragen. Darüber hinaus bietet die IEA mit ihrem Energietechnologienetzwerk (ETN) eine Kooperationsplattform für die Forschung und Entwicklung von Energietechnologien. Das Lenkungsgremium des ETN ist der Ausschuss für Energieforschung und Technologie (Committee on Energy Research and Technology, CERT), der die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf politischer Ebene koordiniert. Die dem CERT und den Working Parties unterstellten Technologiekoooperationsprogramme (TCP) bilden das gesamte energietechnologische Spektrum ab und legen Arbeitsthemen, Regeln und Ziele der multilateralen Zusammenarbeit vertraglich fest. Deutschland ist aktuell an 22 der insgesamt 38 laufenden TCP beteiligt.

#### Mission Innovation

„Mission Innovation“ ist eine globale Initiative von inzwischen 23 Staaten und der Europäischen Kommission. Ins Leben gerufen wurde Mission Innovation bei der „COP21“ Klimakonferenz, um die Einhaltung des Paris Agreement durch die Beschleunigung von Innovationen für saubere Energietechnologien zu unterstützen. Mitgliedstaaten und Europäische Kommission haben sich dazu verpflichtet, in Mission Innovation das Budget für Forschungs- und Innovationsförderung im Energiebereich bis 2021 zu verdoppeln. Wichtiger Beitrag hierbei das Forschungsrahmenprogramm „Horizont 2020“ der Europäischen Kommission. Thematisch hat sich Mission Innovation bei der 22. UN Klimakonferenz in Marokko, kurz: „COP22“, in sogenannten „Innovation Challenges“ aufgestellt, zu deren Lösung rund um den Globus internationale Projekte finanziert werden.

Deutschland legt bei Mission Innovation einen strategischen Fokus auf die Themen Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe und ist Co-Lead der Innovation Challenges zu Wasserstoff und zur Umwandlung von Sonnenenergie in chemische Energieträger. Ausgeschriebene Themen im Arbeitsprogramm 2018–2020 der „Gesellschaftlichen Herausforderung Energie“ unter Horizont 2020 nehmen explizit Bezug zu Mission Innovation.

#### Bilaterale Initiativen / Europäische Kooperationen

Die zweite deutsch-finnische Förderinitiative wurde 2017 initiiert und auf die im SET-Plan postulierten Ziele ausgerichtet. Aus der Vielzahl eingereicherter Skizzen konnten schließlich zehn ausgewählte Projekte 2018 starten, die von deutscher Seite mit über sieben Millionen Euro gefördert werden.

Weiterhin engagiert sich das BMBF im Rahmen der Zentren „WASCAL“ (West African Science Service Centre for Climate Change and Adaptive Land Management) und „SASSCAL“ (Southern African Science Service Centre for Climate Change and Adaptive Land Management) erfolgreich in mehr als 15 Ländern Afrikas. Auf Basis dieser Strukturen wird das Engagement im Bereich der erneuerbaren Energien weiterhin ausgebaut, denn einfacher Zugang zu Energie ist ein Schlüssel für die wirtschaftliche und soziale Entwicklung in Afrika. Dies wird zum Abbau des Entwicklungs- und Wohlstandsgefälles beitragen und ist daher von hohem wirtschafts-, sicherheits- und migrationspolitischem Interesse. Im Rahmen mehrerer Studien in westafrikanischen Ländern wurden belastbare Daten erhoben und die Bedarfe und Potenziale von Erneuerbaren Energien ausgewertet und abgeschätzt. Anschließend werden technische Strategien und Szenarien identifiziert und entwickelt, die auf lokale klimatische, ökonomische und gesellschaftliche Bedingungen abgestimmt sind.

Das BMBF hat die bestehende Energiepartnerschaft mit Australien im Rahmen einer wissenschaftlichen und technologischen Zusammenarbeit weiter ausgebaut.

## Internationale Kooperation (Australien)

*Vergleichende Analyse energiepolitischer Transformationsprozesse, Potenzialerhebung für Transfer*

Für eine effiziente Umsetzung der Energiewende in Deutschland und ein koordiniertes Vorgehen bei der Umsetzung der Pariser Klimaziele ist die internationale Abstimmung mit wichtigen Partnern unerlässlich. Das BMBF fördert daher Forschungsprojekte, die die energiepolitischen Transformationsprozesse in unterschiedlichen Ländern analysierend vergleichen und einen intensiven Dialog über Herausforderungen und Lösungen pflegen. Das Kooperationsvorhaben „Grundlagen der Energieforschung in internationaler Perspektive“, an dem neben der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) auch der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) beteiligt ist, widmet sich insbesondere der Vernetzung auf der Praxisebene. Im Zentrum stehen sogenannte „Fact Finding Missions“, in denen Ministerien, führende Wissenschaftsinstitutionen, Unternehmen oder NGOs etc. bilateral miteinander in einen intensiven Austausch gebracht werden, unter anderem durch wechselseitige Delegationsbesuche. Ein intensiver fachlicher Austausch ist im sogenannten Energy Transition Hub organisiert, einer deutsch-australischen Innovationspartnerschaft des BMBF und des australischen Außenhan-

delsministeriums. Hier arbeiten im Focus-Projekt START führende Forschungsinstitutionen beider Länder zusammen, um die jeweiligen energiepolitischen Herausforderungen gemeinsam zu adressieren.

**Projekt 1:** Grundlagen der Energieforschung in internationaler Perspektive

**Zuwendungsempfänger:** acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Berlin

**Förderkennzeichen:** GDEI2016

**Fördermittelansatz:** rund 994.520 Euro

**Projektlaufzeit:** 2016–2020

**Projekt 2:** Strategic Scenario Analysis (START) – A first German-Australian focus project

**Zuwendungsempfänger:** Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. und fünf weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03EK3046A-F

**Fördermittelansatz:** rund 2,1 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2017–2019



## 2. Projektförderung

### 2.1 Energiewende in den Verbrauchssektoren

#### 2.1.1 Energie in Gebäuden und Quartieren

Die Bundesregierung will bis zum Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand realisieren. Zu erreichen ist das in erster Linie durch die Sanierung der Gebäudehülle, also von Wänden, Dach, Keller und Fenstern, sowie durch die Erneuerung der Anlagentechnik mit Umstellung auf erneuerbare Energien wie zum Beispiel Solaranlagen oder Wärmepumpen.

Analysiert man die Zahlen aus dem aktuellsten Monitoring-Bericht zur Energiewende „Die Energie der Zukunft“, sind erhebliche weitere Anstrengungen erforderlich, um den Endenergieverbrauch wie geplant zu senken. So ist im Vergleich zum Vorjahr der Primärenergiebedarf im Gebäudebereich in 2016 zwar um 3,2 Prozent gesunken und hat sich gegenüber dem Basisjahr 2008 um 18,3 Prozent reduziert. Allerdings stieg gleichzeitig der Endenergieverbrauch in Gebäuden im Vergleich zum Jahr 2015 um 4,3 Prozent.

Gegenüber dem Basisjahr 2008 liegt eine Minderung um 6,3 Prozent vor. Beim Wärmeverbrauch gibt es positive Tendenzen: Der Anteil erneuerbarer Energien am Wärmeverbrauch betrug im Jahr 2018 13,9 Prozent. Dies kommt dem 2020-Ziel von 14 Prozent bereits sehr nahe. Um den Endenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen im geplanten Umfang zu senken, sind energiesparende Gebäude, integrative Energiekonzepte sowie innovative und wirtschaftliche Versorgungsstrukturen für Quartiere erforderlich. Diese können wesentlich zu einer erfolgreichen Energie- und Wärmewende in Deutschland beitragen. Mit der Energieeffizienzstrategie Gebäude hat die Bundesregierung die zukünftige Ausrichtung für den Gebäudebereich vorgelegt. Hierin integriert ist die Interaktion der Gebäude mit dem Stromsektor (Sektorkopplung). Damit soll ein klarer Handlungsrahmen für die Energiewende im Gebäudebereich geschaffen werden.



### ENaQ – Energetisches Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg

*In Oldenburg planen 21 Projektpartner unter Leitung von OFFIS e.V. auf dem ehemaligen Fliegerhorst ein Stadtquartier, das in seiner Infrastruktur die Sektoren Strom, Wärme, Kälte und Elektromobilität koppelt und den Energiehandel unter Nachbarn möglich macht.*

Auf knapp vier Hektar des ehemaligen Fliegerhorsts in Oldenburg entsteht bis 2022 ein vernetztes, emissionsarmes Stadtquartier mit etwa 110 Wohneinheiten, die ihren Energiebedarf zum größten Teil aus lokal erzeugter Energie abdecken sollen. Das energetische Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg (ENaQ) ist so konzipiert, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das geplante Smart-City-Konzept erproben und direkt im System optimieren können. Verschiedene Szenarien zur Energiebereitstellung sollen simuliert und hinsichtlich unterschiedlicher Bewertungskriterien miteinander verglichen werden, um dann geeignete Systemlösungen für eine dezentrale Energieversorgung zu entwickeln.

**Zuwendungsempfänger:** OFFIS e.V. und 20 weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03SBE111A-L, N-V

**Fördermittelansatz:** rund 8,5 Millionen Euro (BMWi), rund 9,8 Millionen Euro (BMBF)

**Projektlaufzeit:** 2018–2022

Gebäude sind immer seltener abgeschlossene Systeme. Als Elemente in einem größeren Netzwerk haben sie energetische Schnittstellen zu Nachbargebäuden, zum Quartier und zu Strom-, Gas- und Wärmenetzen. Sie spielen als Verbraucher, Erzeuger, Speicher sowie als Energieverteiler im Energiesystem eine zentrale Rolle. Dies setzt eine intelligente Verknüpfung der Strom-, Wärme- und Verkehrssektoren voraus. In diesem Zusammenhang ist die Digitalisierung von großer Bedeutung. Sie trägt dazu bei, dass Anlagen effizient gesteuert und der Einsatz erneuerbarer Energien besser geplant werden kann. Dazu muss die Kommunikationstechnik immer stärker mit der Energietechnik verknüpft werden. Unternehmen und private Bauherren können vermehrt digitale Optionen nutzen, wenn sie Gebäude



### N5GEH – National 5G Energy Hub Einführung zukunfts-trächtiger Kommunikationsstandards in der Energietechnik

*Wie der 5G-Mobilfunkstandard für Anwendungen in Gebäuden und Quartieren genutzt werden könnte*

Mit dem 5G-Standard bewegen sich riesige Datenmengen von A nach B. Das sogenannte „Internet der Dinge“ wird sich auch auf die Gebäudetechnik und die vorgelagerten, elektrischen Verteilsysteme auswirken. Viele Dinge im Gebäude – wie etwa die Werte von Temperatursensoren, Drucksensoren oder Zustandserkennung – können hiermit erfasst, in einer einheitlichen Weise strukturiert, weitergeleitet und einer Datenverarbeitung zugeführt werden. Ziel des Forschungsvorhabens N5GEH unter Leitung der Universität Dresden ist es, den 5G-Standard für Anwendungen in der Energietechnik nutzbar zu machen. Hierzu entwickeln die Forschenden im ersten Schritt eine Open-Source-Plattform für Energiesysteme.

**Zuwendungsempfänger:** Technische Universität Dresden und zwei weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03ET1561A-C

**Fördermittelansatz:** rund 3,1 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2018–2020

planen oder bewirtschaften. Dazu zählt etwa das weiterentwickelte, anbindungsfähige Building Information Modeling (BIM), das unter anderem bei der Berechnung der Energieeffizienz von Objekten eingesetzt werden kann. Auch der Mobilfunkstandard 5G könnte in der Gebäudetechnik und bei den vorgelagerten, elektrischen Verteilsystemen zukünftig eine größere Rolle spielen. Im Projekt N5GEH analysieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die entsprechenden Möglichkeiten.

Um Innovationen schneller in den Markt zu bringen, soll der Transfer von wissenschaftlichen Ergebnissen in die Praxis beschleunigt werden. Eine wichtige Rolle spielen hierbei Demonstrationsvorhaben. Aus diesem Grund setzt die Bundesregierung unter anderem mit dem neuen Förderformat „Reallabore“ auf zeitlich und räumlich begrenzte Experimentierräume. Hier können Forscherteams, Hersteller und

Nutzer innovative Technologien sowie integrale Energiekonzepte unter realen Bedingungen marktnah und im systemischen Zusammenhang erproben. Auch sollen die Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer in der Energieforschung für Gebäude und Quartiere vermehrt berücksichtigt werden. So sollen die Forschenden bei der Entwicklung von Technologien und Konzepten nicht nur die technische Perspektive einnehmen, sondern auch die Wünsche der zukünftigen Anwenderinnen und Anwender miteinbeziehen. Themen wie Warmmietenneutralität, erschwingliche Baupreise, Behaglichkeit oder Nutzerdatenschutz rücken vermehrt in den Fokus. Zukünftig müssen Gebäude und Quartiere im Rahmen der Sektorkopplung stärker mit dem Strom- und dem Verkehrsnetz interagieren. Dazu wird eine enorme

Flexibilisierung in der netzgebundenen Energieversorgung nötig, da es immer mehr dezentrale Versorgungsstrukturen gibt und die Verknüpfung der Sektoren Strom, Verkehr, Wärme zunimmt.

Die Bundesregierung bündelt die Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration für energieeffiziente Gebäude und Quartiere in der Forschungsinitiative Energiewendebauen. Neben aktuellen Förderbekanntmachungen und Fachportalen umfasst diese auch das Forschungsnetzwerk Energiewendebauen. Es dient dazu, die Akteure rund um Energieeffizienz und erneuerbare Energien in Gebäuden und Quartieren zu vernetzen.

### SolarAutomotive – Solare Prozesswärme für die Automobil- und Zulieferindustrie

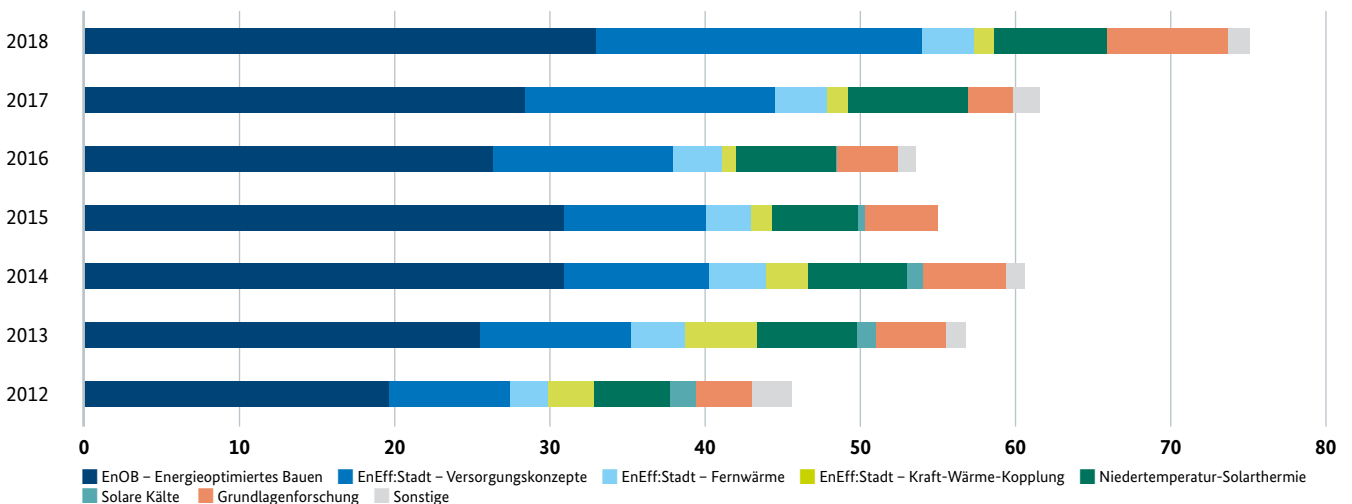
*Im deutsch-österreichischen Forschungsvorhaben SolarAutomotive haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Einsatz solarer Prozesswärme in der Automobil- und Zulieferindustrie erforscht.*

Das deutsche Forscherteam der Universität Kassel und der Stiftung für Ressourceneffizienz und Klimaschutz hat an 19 Standorten deutscher Unternehmen untersucht, für welche Produktionsprozesse sich Solarwärme am besten eignet und wie sie sich effizient und wirtschaftlich in bestehende Wärmeversorgungsstrukturen integrieren lässt. Das Spektrum reichte von betrieblichen Wärmenetzen über beheizte Bäder und Warmwassererzeugung bis hin zu raumluftechnischen Anlagen und Trocknungsprozessen. Die Forschenden entwickelten Werkzeuge, die Solarfirmen, Ingenieurbüros und Energieberater nutzen können, um Anlagen zur Nutzung solarer Prozesswärme vorzuplanen.



**Zuwendungsempfänger:** Universität Kassel, Stiftung für Ressourceneffizienz und Klimaschutz  
**Förderkennzeichen:** 03ET1326A-B  
**Fördermittelansatz:** rund 800.000 Euro  
**Projektlaufzeit:** 2016–2019

Abbildung 2: Fördermittel für Energieeffizienz in Gebäuden, Quartieren und Städten und Niedertemperatur-Solarthermie in Mio. € (Daten siehe Tabelle 3)



## QUARREE100 – Resiliente, integrierte und systemdienliche Energieversorgungssysteme im städtischen Bestandsquartier unter vollständiger Integration erneuerbarer Energien

*Wie mit 100 Prozent regenerativer Energie im schleswig-holsteinischen Heide ein innovatives Stadtquartier entsteht*

QUARREE100 untersucht wie erneuerbare Energien in andere Energieformen umgewandelt, gespeichert und verteilt werden müssen, um in Stadtquartieren eine wettbewerbsfähige, zuverlässige und nachhaltige Energieversorgung zu ermöglichen. Die Verbundpartner von QUARREE100 wollen dieses Kernelement der Energiewende im Heider Stadtquartier Rüsdorfer Kamp erforschen, modellieren und umsetzen. Ziel der Partner ist es, gemeinsam mit und für die Menschen ein ganzheitliches Energiesystem zu entwickeln, das sich ganzjährig mit Strom, Wärme und Mobilität aus 100 Prozent erneuerbaren Quellen versorgt. Weiter sollen Batterie- und Wärmespeicher und flexibel einsetzbare Energieformen, wie auf Wasserstoff basierende Technologien, zum Einsatz kommen.



**Zuwendungsempfänger:** Entwicklungsagentur Region Heide und 21 weitere Verbundpartner  
**Förderkennzeichen:** 03SBE113A-V  
**Fördermittelansatz:** rund 20,5 Millionen Euro (BMBF), rund 3,1 Millionen Euro (BMWi)  
**Projektlaufzeit:** 2017–2022

## Wärmedrehscheibe II – Erneuerbare Fernwärme 2020 – das multifunktionale Fernwärmenetz als Wärmedrehscheibe

*Im Forschungsvorhaben Wärmedrehscheibe II soll der Anteil regenerativer Wärme im Fernwärmenetz von Hennigsdorf bei Berlin bis zum Jahr 2022 auf über 80 Prozent ausgebaut werden.*

Unter Leitung der Kraftwerks- und Projektentwicklungsgesellschaft Hennigsdorf analysierten die Forschenden in einer ersten Phase das Fernwärmenetz sowie die solarthermischen und die vorhandenen Abwärmepotenziale. In einer zweiten Phase sollen die Abwärme des örtlichen Stahlwerks, Solarwärme großer Solarkollektorfelder sowie Power-to-Heat aus regenerativem Überschussstrom in das Fernwärmenetz integriert werden. Gleichzeitig soll dezentral produzierte Wärme, zum Beispiel aus Solarthermieanlagen, im Wärmenetz aufgenommen werden. Ein multifunktionaler Großwärmespeicher schafft die dafür notwendige Flexibilität.



**Zuwendungsempfänger:** Steinbeis Forschungs- und Innovationszentren GmbH und Kraftwerks- und Projektentwicklungsgesellschaft Hennigsdorf mbH & Co. KG  
**Förderkennzeichen:** 03ETS002A-B  
**Fördermittelansatz:** rund 3,8 Millionen Euro  
**Projektlaufzeit:** 2017–2022



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

In Deutschland entfallen etwa 30 Prozent des Endenergieverbrauchs auf die Industrie. Zwei Drittel davon werden in Form von Wärme benötigt. Hier müssen Unternehmen gemeinsam mit Forschung und Entwicklung die Energieeffizienzpotenziale systematisch weiter ausschöpfen und Wege finden, die benötigte Wärmeenergie bei gleichbleibender Produktqualität zu senken. Bisher geht in vielen technischen Prozessen über die Hälfte der eingesetzten Energie als Abwärme verloren. Sie ist jedoch kein Abfall, ihre Nutzung kann sowohl dem Klimaschutz als auch der Wettbewerbsfähigkeit dienen. Um das Energieeffizienzpotenzial in der Industrie weiter zu heben, sind Produkte entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu analysieren und zu optimieren: vom Gewinnen der Rohstoffe über das Verarbeiten, Fertigen und den Energieverbrauch während der Nutzungsphase bis hin zum Entsorgen oder Aufarbeiten am Ende der Lebensdauer. Industrieprozesse müssen flexibler und CO<sub>2</sub>-ärmer werden, damit sie in das sich transformierende Energiesystem eingebunden werden können.

Die Einsparpotenziale sind vielfältig und reichen vom Optimieren eines Motors, Antriebs oder einer Pumpe über neu gestaltete Verarbeitungsschritte bis zu völlig neu entwickelten Produktionsprozessen. Aufgabe von Forschung und Entwicklung ist es, die Handlungsperspektive von unabhängigen Einzelprozessen auf gesamte Prozessketten und technologieübergreifende Effizienzstrategien zu erweitern.

In den Sektoren Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (IGHD) gehört Strom nach Mineralöl, Kohle und Gas zu den wichtigsten Energieträgern. Sein Anteil steigt vermehrt mit der Zunahme digitalisierter und automatisierter Prozesse. Der Einsatz künstlicher Intelligenz in der Produktion ist eine Herausforderung für Forschung und Entwicklung und muss weiter intensiviert werden, damit Deutschland international weiterhin wettbewerbsfähig bleibt. Eine digitalisierte Produktion schafft Transparenz, steht jedoch auch in der Verantwortung, zuverlässige und sichere Prozesse zu gewährleisten. In Forschung und Entwicklung sind systemübergreifende Lösungen weiterzuentwickeln sowie der Transfer von Forschungsergebnissen in Produkte und Geschäftsmodelle der Wirtschaft zu beschleunigen.



#### Projekt ERICAA – Energie- und Ressourceneinsparung durch innovative und CFD-basierte Auslegung von Flüssig/Flüssig-Schwerkraft-Abscheidern

*Flüssigkeiten energieeffizient in Schwerkraft-Abscheidern trennen*

Schwerkraft-Abscheider kommen in der Chemie-, Mineralöl-, Lebensmittel-, und Pharmaindustrie zum Einsatz. Sie trennen zweiphasige Gemische aus organischen und wässrigen Flüssigkeiten: Das sind zum Beispiel Kohlenwasserstoffe und Wasser, organische Lösungsmittel und Wasser oder Methylester und Glycerin. Um einen verfahrenstechnisch sicheren Trennprozess der Flüssigkeiten zu gewährleisten, sind Schwerkraft-Abscheider in der Praxis bisher meist überdimensioniert und führen so zu einem unnötig hohen Energieverbrauch. Im Forschungsvorhaben ERICAA wollen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf Basis von Strömungssimulationen einen praxiserfahrenen Auslegungsstandard für Schwerkraft-Abscheider entwickeln.

**Zuwendungsempfänger:** Franken Filtertechnik Kommanditgesellschaft und fünf weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03ET1391A-F

**Fördermittelansatz:** rund 1,4 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2016–2019

Die Digitalisierung gehört wie zum Beispiel die Prozesswärme und die mechanischen Reibung (Tribologie) zu den industriellen Querschnittstechnologien, die in verschiedenen Branchen oder Prozessen anfallen und deren Energieeffizienzpotenziale mit Forschung und Entwicklung konsequent weiter auszuschöpfen sind. Die Forschungsförderung setzt sowohl auf die kontinuierliche Weiterentwicklung vorhandener als auch auf die Schaffung neuer, noch nicht

am Markt etablierter innovativer Technologien, Komponenten, Prozesse und Verfahren zur Effizienzsteigerung. Ein weiteres Ziel auf dem Weg zu einem CO<sub>2</sub>-armen Industriesektor, ist die Etablierung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. Die Wiederverwendbarkeit von Wertstoffen, Anlagen, Komponenten und Geräten sowie die Aufarbeitung von Abfallströmen stehen deshalb im Fokus der Förderung.

### Projekt $\mu$ PAS II – Miniaturisierter photoakustischer Gassensor als Applikation zur Effizienzsteigerung von Verbrennungsprozessen und von Energietransportprozessen

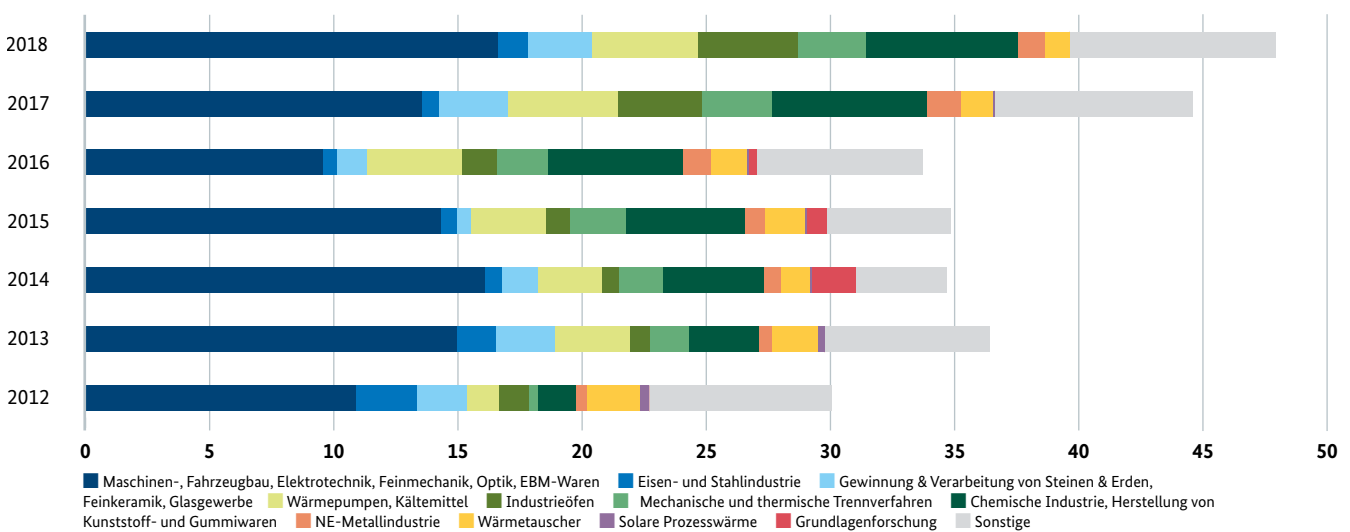
*Mit Photoakustik Gase messen und industrielle Prozesse optimieren*

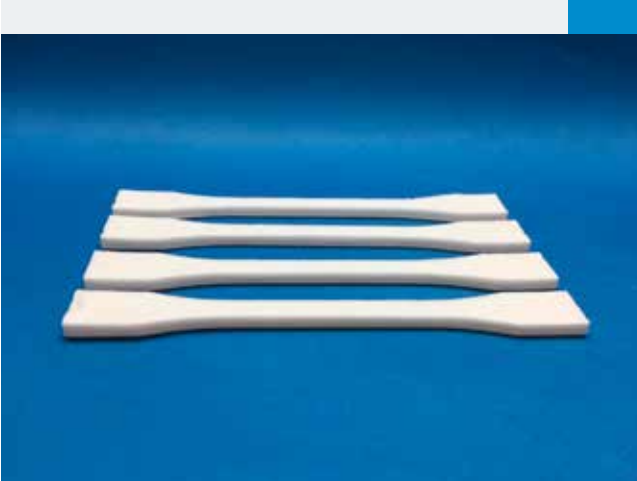
Im Forschungsvorhaben  $\mu$ PAS I haben Forscherinnen und Forscher ein photoakustisches Messsystem für die Spurenanalytik von Prozessgasen entwickelt. In  $\mu$ PAS II baut das Wissenschaftlerteam nun einen miniaturisierten photoakustischen Sensor und testet diesen in Transformatoren und Verbrennungsanlagen mit unterschiedlichen Realgasum-

gebungen. Seinem Einsatz in industriellen Prozessen wird ein großes Potenzial zugeschrieben, Energie einzusparen und Effizienz zu steigern. Der photoakustische Sensor kann durch die Entstehung eines Schallsignals nach Lichtabsorption hochsensitiv Gase – wie zum Beispiel Stickstoffdioxid oder kurzkettige Kohlenwasserstoffe – identifizieren und quantifizieren.

**Zuwendungsempfänger:** Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg und vier weitere Verbundpartner  
**Förderkennzeichen:** 03ET1317A-E  
**Fördermittelansatz:** rund 1,3 Millionen Euro  
**Projektlaufzeit:** 2015–2019

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





Mit dem SLS-Verfahren hat ein Wissenschaftlerteam im Forschungsvorhaben PolySLS Zugprüfstäbe aus einem neuartigen Kunststoffpulver hergestellt.

### Projekt PolySLS – Kunststoff-Blends für das selektive Lasersintern

*Innovatives Polymerpulver ermöglicht Recycling und spart Energie beim 3D-Druck.*

Beim selektiven Lasersintern werden Pulverpartikel mit einem Laser geschmolzen und Schicht für Schicht aufgebaut. Auf diese Art und Weise lassen sich komplizierte, dreidimensionale Objekte aus Kunststoff in jeder denkbaren Form herstellen. Bisher ist das selektive Lasersintern noch sehr energieaufwändig. Im Forschungsvorhaben PolySLS entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein Polymerpulver auf Basis von Styrol, das einen geringeren Schmelzpunkt als das bisher im Prozess verwendete Polymerpulver auf Basis von Polyamid hat. Mit dem neuartigen Polymerpulver will das Forscherteam die Temperatur und die Zykluszeit des Bauprozesses im 3D-Druck reduzieren sowie die Recyclingquote des Pulvers verbessern.

**Zuwendungsempfänger:** INEOS Styrolution Group GmbH

**Förderkennzeichen:** 03ET1505A

**Fördermittelsatz:** rund 650.000 Euro

**Projektlaufzeit:** 2017–2020



Künstliche Intelligenz regelt die Prozessparameter der Kanalbällenpresse so, dass ein optimierter Ballen hergestellt wird.

### Projekt vKBP – Energieeffizienzerhöhung vollautomatischer Kanalbällenpressen durch intelligente Stoffdatenerfassung

*Wie eine vollautomatische und mit künstlicher Intelligenz ausgestattete Kanalbällenpresse die Abfallwirtschaft energieeffizienter macht*

Im Forschungsvorhaben KBP entwickelt ein Wissenschaftlerteam eine vollautomatisierte Kanalbällenpresse mit künstlicher Intelligenz. Die Maschine lernt durch die Analyse komplexer Daten selbständig, wie sie in einem Abfallbetrieb das Transportvolumen recyclingfähiger Stoffe möglichst energieeffizient verringert und einen optimal dichten Ballen presst. Bisher werden Papier, Karton oder Kunststoffe mit auf Erfahrung basierenden Maschinenparametern zu Ballen gepresst. Mit der vollautomatischen Kanalbällenpresse und einer in das System integrierten künstlichen Intelligenz könnte künftig für solche Anlagen ein optimaler Betrieb mit Blick auf den Energieeinsatz und die Produktqualität erreicht werden.

Weitere Energieeffizienzaspkte, die unter Einsatz künstlicher Intelligenz zu innovativen Lösungen führten, ergaben sich bereits aus dem Verbundvorhaben KIPro, zusammen mit der Universität Bremen, Agrarfrost und Schulz Systemtechnik (03ET1265A, 03ET1422A, 03ET1036A-B).

**Zuwendungsempfänger:** Sutco Recycling Technik GmbH

**Förderkennzeichen:** 03ET1326A

**Fördermittelsatz:** rund 1,5 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2015–2019

### 2.1.3 Schnittstellen zu Mobilität und Verkehr

Der Verkehrssektor wird immer bedeutender für eine effektive Umsetzung der Energiewende in Deutschland. Zwar haben sich die fahrzeugspezifischen Emissionswerte in den vergangenen Jahren verbessert. Aufgrund des weiter zunehmenden Verkehrsaufkommens steigen jedoch die verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen weiter an. Für den Mobilitäts- und Verkehrssektor gehört deshalb das Weiterentwickeln innovativer Mobilitätskonzepte sowie alternativer und schadstoffarmer Antriebstechnologien zu den größten Herausforderungen. Batterien- und Brennstoffzellensysteme müssen für eine flächendeckende Marktdurchdringung effizienter, kostengünstiger und langlebiger werden. Aufgabe von Forschung und Entwicklung im Schwerpunkt Brennstoffzellentechnologie ist, die jeweiligen Einzelkomponenten und deren Zusammenspiel im Gesamtsystem zu verbessern. Der Forschungsbereich Brennstoffzellen ist eingebunden in das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP2). Auch alternative Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren sind eine vielversprechende Option: Vorhaben zur Herstellung und Nutzung gasförmiger und flüssiger Kraftstoffe auf Basis erneuerbaren Stroms können zur Defossilisierung der Mobilität beitragen und zudem die Kopplung der Sektoren Strom und Verkehr mit vorantreiben (siehe auch Kapitel 2.3.3).

Eine nachhaltige batterieelektrische Mobilität verlangt, die Wertschöpfungskette von den Rohstoffen über die Produktion und Nutzung bis hin zur Nachnutzung und zum Recycling von Batterien zu betrachten. Reichweiten und Schnellladefähigkeit sind dabei ebenso wichtig wie intelligente Batteriemanagementsysteme (BMS) oder Leistungselektronik. Entwicklungen im Bereich der Elektromobilität sind auch bei Technologien und Konzepten für die Verteilernetze sowie bei der energetischen Quartiersplanung zu beachten. Schließlich spielt auch die gesellschaftliche Akzeptanz eine entscheidende Rolle bei der Evolution des Mobilitäts- und Verkehrssektors.



Aus einem Standardbatteriemodul können unterschiedliche Batteriegrößen zusammengestellt werden.

#### Projekt BaSyMo – Batteriesystem für Modularität

*Ein System für alles: wie ein Standardbatteriemodul universell einsetzbar ist und Kosten senkt*

Für den Einsatz moderner Batterietechnologie sind kostengünstige, zuverlässige und einfach zu implementierende Batteriesysteme gefragt. Bisher sind die auf dem Markt verfügbaren Lösungen für die meisten potenziellen Anwendungen aufgrund zu kleiner Stückzahlen zu teuer. Im Forschungsvorhaben BaSyMo entwickeln, testen und optimieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein modulares Batteriesystem: Unterschiedliche Batteriegrößen können zum Beispiel für ein Kleinfahrzeug, eine Reinigungsmaschine oder einen stationären Speicher aus einem Standardbatteriemodul zusammengestellt werden und sind damit universell einsetzbar. Das führt zu hohen Stückzahlen für das Standardmodul und hat damit Potenzial, die Kosten zu senken.

**Zuwendungsempfänger:** ElingKlinger und sechs weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03ET6087A, D, E, G, H, I, K

**Fördermittelansatz:** rund 3,9 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2016–2019

## 2.2 Energieerzeugung

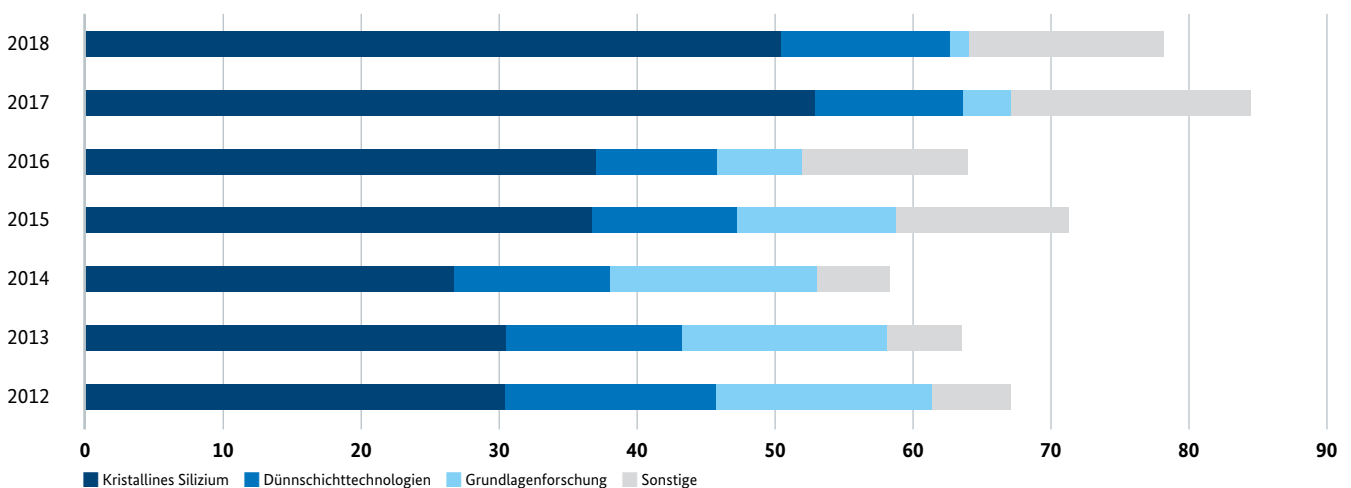
### 2.2.1 Photovoltaik

Photovoltaik gilt – gemeinsam mit der Windenergie – als tragende Säule der Energiewende. Strom aus Photovoltaik-Großanlagen kostet aktuell unter sechs Cent pro Kilowattstunde. Im Vergleich zu 50 Cent pro Kilowattstunde, die dafür noch im Jahr 2000 bezahlt werden mussten, wird der Erfolg deutlich, den Forschung und Entwicklung hierbei ermöglicht haben.

Prinzipiell lassen sich verschiedene Halbleitermaterialien nutzen, um mit Sonnenlicht Strom zu produzieren. Solarzellen auf Basis des kristallinen Siliziums stehen technologisch weiterhin im Vordergrund. Für die Zukunft werden Innovationen durch die Kombination der bereits hochentwickelten Silizium-Solarzellkonzepten mit anderen Halbleitern erwartet. Indem die unterschiedlichen Materialien auf unterschiedliche Bereiche des Sonnenlicht-Spektrums reagieren, können durch Kombinationen höhere Anteile des Sonnenlichts umgesetzt werden. 2018 ist es dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE gelungen, mit einer Dreifach-Solarzelle einen Rekordwirkungsgrad von 33,3 Prozent zu erreichen. Rund ein Drittel des Sonnenlichts wurde somit in Strom umgewandelt. Das BMWi fördert die Forschungsarbeiten innerhalb des Projekts PoTaSi.

Kontinuierliche Verbesserungen werden auch mit einem neuen Dünnschichtmaterial, den Perowskiten, erreicht. Das Material ist leicht verfügbar und einfach zu verarbeiten. Seit gut zehn Jahren werden Perowskite für die Photovoltaik erforscht. Der ursprüngliche Wirkungsgrad von 3,8 Prozent wurde bereits auf über 23 Prozent im Labor gesteigert – somit liegt er auf dem gleichen Niveau wie andere etablierte Dünnschichttechnologien. Die Projektpartner des Förderprojekts ProTandem planen nun, erstmals die industrielle Produktionstauglichkeit von Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen zu zeigen. Neben höheren Wirkungsgraden bieten effiziente Produktionsprozesse eine weitere Option auf sinkende Stromkosten. Innovative Fertigungsverfahren bieten günstige Alternativen zu den etablierten Prozessen. Forschung und Entwicklung an Produktionsprozessen rücken innerhalb des 7. Energieforschungsprogramms verstärkt in den Vordergrund. Neben der klassischen Weiterentwicklung der Technologien – sinkende Kosten bei steigender Qualität – geht es zudem verstärkt um übergreifende, systemische Ansätze. Lebensdauer und Qualitätssicherung auf Systemebene, der stabile Netzbetrieb durch Wechselrichter und Batteriespeicher, Pilotversuche mit vorindustriellen Demonstrationsanlagen sowie erweiterte Einsatzgebiete wie gebäude- oder transportmittelintegrierte Photovoltaik kommen hierbei zum Tragen.

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





Inline-Epitaxieanlage ProConCVD im NexWafe Technologiezentrum

### Epi-POESIE – Epitaktische Wafer für High-End-Zellkonzepte unter Zuhilfenahme von prozessbegleitender Charakterisierung an statistisch relevanten Stückzahlen

*Die vergleichsweise günstigen epitaktisch gewachsenen Siliziumwafer (EpiWafer) sollen auf massenproduktions-tauglichen Anlagen hergestellt werden – und das in hoher Qualität.*

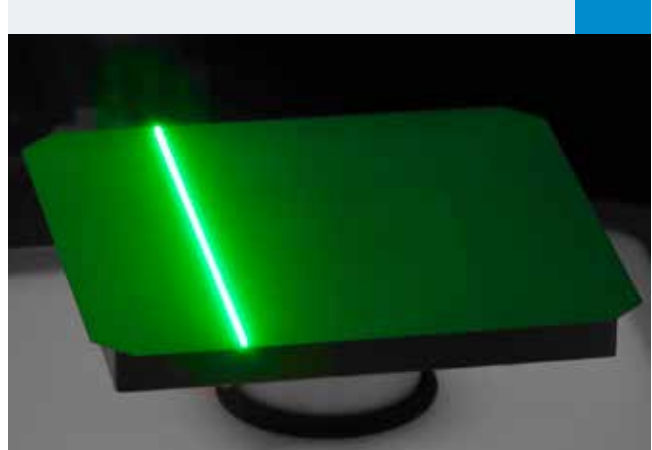
Die Kosten für den Siliziumwafer machen circa 40 Prozent der Solarmodulkosten aus. Die Epitaxie ist eine Möglichkeit für ein kostengünstigeres und ressourcenschonendes Herstellungsverfahren. Dabei werden Siliziumatome auf einem Substrat abgeschieden, wo sie kristallisieren. Die sogenannten EpiWafer können im Vergleich zu herkömmlichen einkristallinen Siliziumwafern um bis zu 50 Prozent günstiger produziert werden. Potenziell können sie sogar höhere Qualitäten und somit höhere Wirkungsgrade erreichen, was in Laboranlagen bereits gelungen ist. Ziel des Projekts ist es nun, geeignete Prozesse auf Verfahren und Anlagen zu übertragen, die einen hohen, industriellen Durchsatz ermöglichen. Im Erfolgsfall ist die Umsetzung in einer industriellen Produktion geplant.

**Zuwendungsempfänger:** NexWafe GmbH und zwei weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 0324290A-C

**Fördermittelansatz:** rund 3,1 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2018–2020



Mithilfe eines Lasers wird lokal auf der Solarzellen-Vorderseite ein selektiver Emitter erzeugt, um den Wirkungsgrad zu steigern.

### GENESIS – Neuartige und weiterentwickelte Produktionsprozesse für die nächste Generation von Silizium-Solarzellen

*Neue und optimierte Einzelprozesse sollen die Produktion von hocheffizienten kristallinen Silizium-Solarzellen (c-Si) mit Wirkungsgraden bis 23,5 Prozent ermöglichen.*

Das Vorhaben zielt auf industrierelevante Prozesse, die von den am Projekt beteiligten Maschinenbauern InnoLas, RENA Technologies und centrotherm umgesetzt und später vermarktet werden sollen. Als Entwicklungs- und Testplattform werden dafür die Technikumseinrichtungen „SolarTeC“ des Instituts für Solarenergieforschung ISFH sowie „PV-TEC“ des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE genutzt. Entwickelt werden Prozesse für zwei neue Generationen von Solarzellen: zum einen für einseitig als auch beidseitig kontaktierte PERC-Solarzellen. PERC steht für „Passivated Emitter and Rear Cell“, Vorder- und Rückseite der Zelle sind hierbei besser vergütet als in der vorherigen Zellgeneration. Zum anderen ermöglichen ladungsträgerselektive Kontakte einen abermals höheren Ertrag – die Projektpartner planen, die entsprechenden Zellkonzepte des ISFH („POLO“) und des Fraunhofer ISE („TOPCon“) nun auf Fertigungsprozesse mit hohem Durchsatz zu übertragen.

**Zuwendungsempfänger:** InnoLas Solutions GmbH und sechs weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 0324274A-G

**Fördermittelansatz:** rund 9,8 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2018–2021



Auf einem Stringer mit Klebeeinheit von teamtechnik haben die Projektpartner das leitfähige Kleben von Solarzellen nachgewiesen.

### **KleVer – Kostensparende Klebstoff-basierte Verbindungstechnologie für Hocheffizienz-solarzellen**

*Die Projektpartner haben nachgewiesen, dass Klebetechnologie als zuverlässige alternative Verschaltungstechnologie genutzt werden kann.*

Bisher werden die Solarzellen in Solarmodulen in der Regel durch Lötten von dünnen Bändchen miteinander verbunden. Klebt man sie stattdessen, reichen wesentlich niedrigere Prozesstemperaturen von unter 180 Grad Celsius aus. Insbesondere temperaturempfindliche Heterojunction-Solarzellen, also hocheffiziente Solarzellkonzepte aus verschiedenen Zellschichten, können durch das Klebeverfahren schonend und materialsparend verschaltet werden. Durch die eingesparten Material- und Prozesskosten sinken die Herstellungskosten der Module. Zum Beispiel wird der Silberverbrauch deutlich reduziert, da Zellen verschaltet werden können, die keine metallischen Sammelschienen, sogenannte Busbars, benötigen. Darüber hinaus, und dies ist ein weiterer wesentlicher Vorteil, ist die Klebetechnologie bleifrei.

**Zuwendungsempfänger:** teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH und Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
**Förderkennzeichen:** 0325833A-B  
**Fördermittelansatz:** rund 2,6 Millionen Euro  
**Projektlaufzeit:** 2015–2018



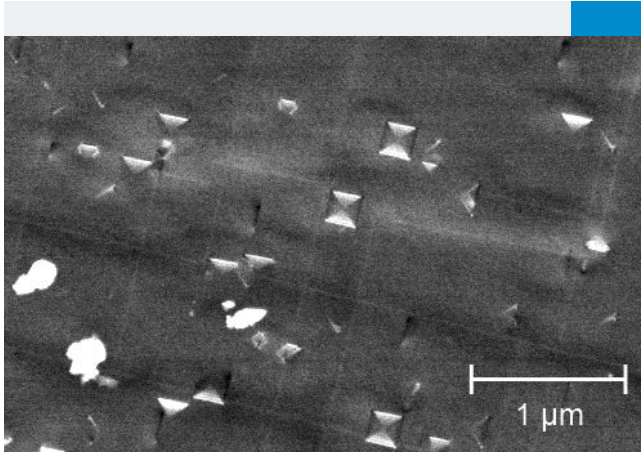
Wechselrichter müssen zukünftig Systemdienstleistungen für einen stabilen Netzbetrieb erbringen.

### **LUIZ – Leistungselektronik – Intelligent und Zuverlässig**

*Die Qualität und die Zuverlässigkeit von Photovoltaik-Wechselrichtern sollen gesteigert werden.*

Perspektivisch müssen Wechselrichter einen zuverlässigen Dauerbetrieb gewährleisten, um bei einem weiteren Ausbau erneuerbarer Energien nicht nur bedarfsgerecht Strom einzuspeisen, sondern auch die benötigten Systemdienstleistungen für einen stabilen Netzbetrieb zu erbringen. Die Projektpartner untersuchen geeignete Lösungen und entwickeln schaltungstechnische Verbesserungsmaßnahmen, die etwa in der Lage sein sollen, intelligente Aussagen über den Zustand einer Anlage zu machen. Hierdurch sollen kosteneffiziente, vorbeugende Wartungsmaßnahmen ermöglicht werden. Die benötigten Verbesserungen identifizieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler anhand von Untersuchungen zu potenziell auftretenden Fehlern. Die angestrebten Innovationen werden anhand eines modifizierten Demonstrators evaluiert.

**Zuwendungsempfänger:** Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und drei weitere Verbundpartner  
**Förderkennzeichen:** 0324363A-D  
**Fördermittelansatz:** rund 2,4 Millionen Euro  
**Projektlaufzeit:** 2019–2021



Electron Channeling Contrast Image (ECCI) einer Galliumphosphid Nukleationsschicht auf Silizium

### MehrSi – Hocheffiziente III-V-Mehrfachsolarzellen auf Silizium

#### Tandemsolarzellen aus III-V-Halbleitern und Silizium

Siliziumsolarzellen dominieren heute den Photovoltaikmarkt, aber die Technologie nähert sich dem theoretisch maximalen Wirkungsgrad an, der mit Silizium als einzigem Absorbermaterial erreicht werden kann. III-V-Mehrfachsolarzellen erreichen hingegen Umwandlungseffizienzen von Sonnenlicht in elektrischen Strom von bis zu 37,9 Prozent. Diese Solarzellen werden auf Gallium-Arsenid-Substraten abgeschieden. Der Einsatz in industriell hergestellten Solarmodulen schien bisher aufgrund hoher Substrat- und Herstellungskosten unrealistisch. Daher untersucht das Konsortium, wie beide Technologien vereint werden können, indem dünne III-V-Halbleiterschichten direkt auf einem Silizium-pn-Übergang aufgebracht werden. Dadurch lassen sich hohe Substratkosten der III-V-Kristalle vermeiden. Aufgrund des höheren Wirkungsgradpotenzials könnten sie die Basis zukünftiger Solarzellengenerationen sein.

**Zuwendungsempfänger:** Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und drei weitere Verbundpartner  
**Förderkennzeichen:** 03SF0525A-D  
**Fördermittelansatz:** rund 3,4 Millionen Euro  
**Projektlaufzeit:** 2015–2019

### 2.2.2 Windenergie

Windenergieanlagen sind die tragende Säule der Energiewende in Deutschland: Rund 30.000 Windräder stehen mittlerweile an Land und auf See. Nach Informationen der Übertragungsnetzbetreiber wurde 2018 an Land insgesamt 89,5 Terawattstunden Strom erzeugt – das sind rund vier Prozent mehr als im Vorjahr. Dazu haben vor allem technische Innovationen beigetragen. So ist gegenüber 2017 die Nennleistung der zugebauten neueren Windenergieanlagen um neun Prozent auf einen Durchschnittswert von über drei Megawatt gestiegen. Dies wurde unter anderem durch größere Rotordurchmesser und höhere Türme erreicht: Mittlerweile liegt der Rotordurchmesser bei Onshore-Windenergieanlagen im Durchschnitt bei 118 Metern und die Nabenhöhe bei 132 Metern. Immer leistungsstärker, höher und größer: Diese Aussage trifft ebenfalls auf die Windenergieanlagen auf See zu. Die neuen, 2018 in Betrieb genommenen Anlagen, weisen eine durchschnittliche Nennleistung von über sieben Megawatt auf. Diese Windräder erreichen auch Spitzenwerte, was den Rotordurchmesser und die Nabenhöhe angeht. Im Vergleich zum Durchschnitt der früheren Jahre hat der Rotordurchmesser von vormals 129 auf 158 Meter und die Nabenhöhe von 93 auf 106 Meter zugenommen. Ende 2018 waren 22 Offshore-Windparks in Betrieb. Nach vorläufigen Berechnungen des Fraunhofer ISE haben sie 18,8 Terawattstunden Strom ins Netz eingespeist, acht Prozent mehr als im Vorjahr.

Höhere Leistungen werden in der Regel durch immer größere Windenergieanlagen erzielt. Damit steigen in der klassischen Anlagentechnik die Anforderungen an die einzelnen Bauteile. Forschungseinrichtungen entwickeln neue Materialien, die dazu beitragen, das Gewicht der Bauteile zu reduzieren, um die Türme, Rotoren oder Fundamente nicht zu sehr zu belasten. So arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES im Forschungsprojekt BladeFactory unter anderem daran, wie immer längere Rotorblätter möglichst effektiv ausgelegt und automatisiert produziert werden können. Für den weiteren Ausbau der Windenergie ist es notwendig, dass die Anlagen noch leistungsfähiger, zuverlässiger und kostengünstiger werden. Sämtliche Komponenten – vom Fundament bis zu den Rotorblattspitzen – müssen daher kontinuierlich weiterentwickelt werden.



Doch nicht nur einzelne Bauteile sind forschungsrelevant: Eine höhere Zuverlässigkeit beziehungsweise längere Lebensdauer lässt sich auch erreichen, indem neue wissenschaftliche Erkenntnisse über Windströmungen und andere meteorologische Kräfte dazu beitragen, die auf die Windenergieanlage einwirkenden Lasten zu minimieren. Mit dem 7. Energieforschungsprogramm rückt daher der Fokus stärker auf das Gesamtsystem der Windenergieanlagen, indem Standortanalysen, meteorologische Erkenntnisse sowie die Komponentenentwicklung Hand in Hand gehen. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt macht dies deutlich:

In den nächsten Jahren werden viele Windenergieanlagen altersbedingt rückgebaut und ihre Wertstoffe soweit wie möglich recycelt. Kontinuierliche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sollen dazu beitragen, dass noch mehr als bisher bereits in der Design- und Planungsphase einer Anlage beziehungsweise eines Windparks die verschiedenen Aspekte der späteren Wiederverwertbarkeit einzelner Komponenten bis hin zur Auslegung gesamter Windenergieanlagen mit Blick auf deren Wiederverwendbarkeit mitgedacht werden.

### BladeFactory – Fertigungstechnologien und prozessorientierte Materialevaluierung für eine Rotorblattproduktion mit hoher Parallelisierung

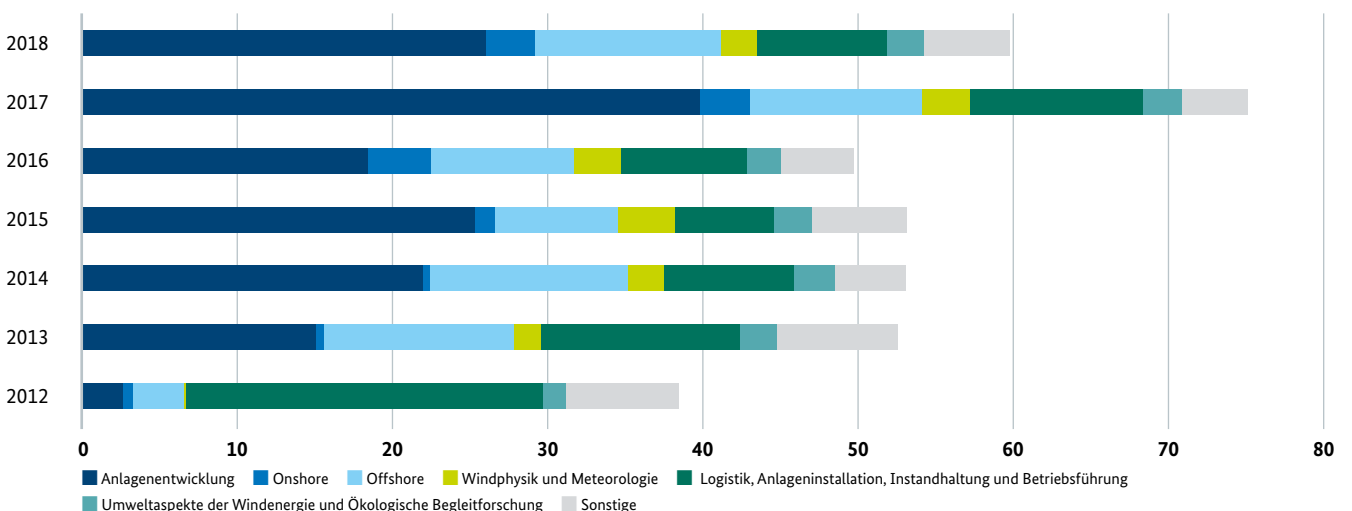
*Rotorblätter sollen effizienter produziert werden, um die Herstellungskosten zu senken.*

Die Produktion eines Rotorblatt-Rohlings dauert nach aktuellem Stand der Technik etwa 24 Stunden. Der Prozess ist langwierig, weil fast alle Fertigungsschritte seriell nacheinander in der Hauptform erfolgen. Darin werden aus den einzelnen Materialien die beiden von außen sichtbaren Halbschalen hergestellt und in der Regel mit Stegen zu einem Rotorblatt verklebt. Schließlich wird alles erwärmt, um den Materialverbund vollständig auszuhärten. Während dieser Reihe von Arbeitsschritten bleibt die Hauptform

belegt. Um die Produktionszeit zu verkürzen, planen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme IWES zusammen mit ihren Forschungspartnern im Projekt BladeFactory, verschiedene Prozesse parallel durchzuführen. Dafür müssen Arbeitsschritte aus der Hauptform in andere Vorrichtungen verlagert werden. Ein weiterer Fokus des Forschungsprojekts liegt auf der Qualitätssteigerung der Rotorblätter, die unter anderem durch den Einsatz von umfassender Messtechnik erreicht werden soll.

**Zuwendungsempfänger:** Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES und drei weitere Verbundpartner  
**Förderkennzeichen:** 0324272A-D  
**Fördermittelansatz:** rund 7 Millionen Euro  
**Projektlaufzeit:** 2018–2022

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



## ModernWindABS – Moderne Methoden für neue Anwendungen bei Betrieb & Service von Windenergieanlagen im Informationsfluss der Industrie 4.0

### *Innovatives Datenmodell optimiert Wartungsintervalle*

Im Forschungsvorhaben ModernWindABS arbeiten unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE Windenergieanlagenbetreiber und Forschungsinstitute an einem intelligenten, sich selbst optimierenden „Anlagengedächtnis“. Dieses nutzt Daten aus dem Betrieb von Windenergieanlagen, um unter anderem mithilfe von Maschinenlernverfahren Wartungsintervalle vorherzusagen oder Fehler frühzeitig erkennen zu können. Dadurch sollen Stillstände und Kosten vermieden werden. Im Forschungsprojekt werden ausgewählte Anwendungen, etwa zur vorausschauenden Instandhaltung, entwickelt und getestet. Ziel ist es, anhand der verfügbaren Daten eine hohe Erkennungsrate bei möglichst wenigen Fehlalarmen zu erreichen und die Fehler möglichst detailliert zu klassifizieren. Daraus sollen neue Geschäftsmodelle entstehen.



**Zuwendungsempfänger:** Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE  
**Förderkennzeichen:** 0324128  
**Fördermittelansatz:** rund 740.000 Euro  
**Projektlaufzeit:** 2016–2019

## WEA-GLITS – Thermisch gespritzte Gleitlagerbeschichtungen für Hauptlager von Windenergieanlagen (WEA)

### *Ein anwendungsgerechtes Werkstoffkonzept für Gleitlager in Windenergieanlagen*

Derzeit werden für die Hauptlagerungen von Windenergieanlagen (WEA) ausnahmslos Wälzlager eingesetzt, wobei diese aufgrund von Ermüdung und Verschleiß mitverantwortlich für Ausfallszeiten der WEA sind. Im Rahmen der Arbeit wird ein innovatives Gleitlagerkonzept unter Verwendung neuer thermisch gespritzter Gleitschichten entwickelt, dass langfristig die anfälligen Wälzlagerungen ersetzen soll. Um die aus anderen Bereichen der Großlagertechnik grundsätzlich bekannten Gleitlager auf den neuen Einsatzbereich in WEA zu übertragen, sind insbesondere Maßnahmen beim Lagerdesign und bei der Wahl einer geeigneten Gleitschicht

notwendig: Die hohen und sehr dynamischen Lasten, kombiniert mit den großen Lagerdurchmessern in WEA erfordern Maßnahmen zur Verbesserung des Tragverhaltens – hier nun erstmals gelöst durch eine neuartige federelastische Stützstruktur der Lagerpads. Die vielen Anfahrvorgänge resultieren zudem in hohen Anforderungen an die Gleitschicht, da hierbei die kleinen Drehzahlen zu Verschleiß führen können. Dazu werden auf Basis des thermischen Spritzens neue Werkstoffe entwickelt. Die Erprobung geschieht unter realistischen Betriebsbedingungen mithilfe eines WEA-Systemprüfstands.

**Zuwendungsempfänger:** RWTH Aachen und zwei weitere Verbundpartner  
**Förderkennzeichen:** 03EK3036A-C  
**Fördermittelansatz:** rund 1,5 Millionen Euro  
**Projektlaufzeit:** 2016–2019

## KOKON II – Zuverlässiger Korrosionsschutz für hochbelastete Flanschverbindungen in Offshore-Windenergieanlagen

*Offshore-Windenergieanlagen benötigen Korrosionsschutz.*

Salzwasser, Windböen und starker Wellengang: Offshore-Windenergieanlagen müssen einiges aushalten. Daher legen die Komponenten-Hersteller Wert auf qualitativ hochwertige Materialien, die den vielfältigen Witterungsverhältnissen genügen. Im Verbundprojekt KOKON II forschen Wissenschaftsteams der RWTH Aachen und der Unternehmen Linde und Krebs Korrosionsschutz unter der Projektleitung der Grillo-Werke daran, wie in Windenergieanlagen verbaute Flanschverbindungen zuverlässig und dauerhaft vor Rost geschützt werden können. Hierfür optimieren sie eine Zink-Aluminium-Beschichtung, die in einem vorangegangenen Projekt bereits Forschungsgegenstand gewesen ist. Ziel ist es, ein Duplex-Korrosionsschutzsystem zu entwickeln, das die Stahlkonstruktionen wartungsfrei mindestens 25 Jahre schützt. Flansche werden sowohl im Turm, in den Rotorblättern und Gründungsstrukturen als auch in der Gondel verbaut.



**Zuwendungsempfänger:** Grillo-Werke und drei weitere Verbundpartner  
**Förderkennzeichen:** 0325672D-G  
**Fördermittelansatz:** rund 670.000 Euro  
**Projektlaufzeit:** 2017–2020

### 2.2.3 Bioenergie

Die hochwertige energetische Verwertung von Biomasse für die effiziente Erzeugung von Bioenergie spielt eine wichtige Rolle beim Ausbau der erneuerbaren Energien: Mit guter Speicherbarkeit, hoher Flexibilität und in dezentraler Anwendung steht Bioenergie als Strom, Wärme oder Kraftstoff zur Verfügung. Im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung sind jetzt auch die ehemals in einem eigenständigen Programm (Energetische Biomassenutzung) geförderten Aktivitäten des BMWi im Bereich der energetischen Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen verankert. Weitere Vorhaben in diesem Bereich werden über das Programm „Nachwachsende Rohstoffe“ (BMEL) unterstützt.

Die FuE-Förderung des BMEL 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, ist daher nur ein Element der Fördermaßnahmen aus dem Programm „Nachwachsende Rohstoffe“. Seit dem Jahr 2000 berücksichtigt es 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: Ausschließlich mit der energetischen Nutzung von Biomassen befassen sich zwei Schwerpunkte:

- Entwicklung von Technologien und Systemen zur Bioenergiegewinnung und -nutzung mit dem Ziel der weiteren Reduzierung von Treibhausgasemissionen
- Flexible und effiziente Bioenergieanlagen zur Erzeugung von erneuerbaren Energieträgern (Strom, Wärme und Mobilität) in Verbindung mit Systemintegration und Sektorkopplung

### Optiflex – Verbundvorhaben zur Optimierung des Betriebs und Designs von Biogasanlagen für eine bedarfsgerechte, flexibilisierte und effiziente Biogasproduktion unter Berücksichtigung der Prozessstabilität als Post-EEG-Strategie

*Biogasanlagen fit machen für die flexible Stromerzeugung im Post-EEG-Zeitalter*

Der weitere Ausbau des regenerativ bedienten Stromsystems erfordert einen optimierten flexiblen Betrieb von Biogasanlagen. Im Rahmen des Verbundprojektes soll eine effiziente und wirtschaftliche Systemlösung für die Post-EEG-Zeit für einen stabilen und nachhaltigen, flexiblen Biogasanlagenbetrieb entwickelt und unter Praxisbedingungen demonstriert werden. Durch Kopplung einer modellbasierten prädiktiven Regelung zum Fütterungsmanagement mit einer angepassten Regelung der hydrodynamischen Prozessabläufe sollen vorliegende Optimierungsansätze zusammengeführt und weiterentwickelt werden.

Folgende technischen-wissenschaftlichen Ziele werden im Verbundprojekt verfolgt:

- Ableitung eines umfassenden Regelalgorithmus für alle zentralen und peripheren Anlagenkomponenten,
- ausrüstungsseitige Anpassung,



- Vorbereitung einer breitenwirksamen MSR-seitigen Nachrüstung bestehender Biogasanlagen als Voraussetzung für einen prozessstabilen, flexiblen Anlagenbetrieb.

**Zuwendungsempfänger:** Universität Hohenheim und vier weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 22402716, 22401617, 22401717, 22402017, 22402117

**Fördermittelansatz:** rund 1,5 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2017–2020

### FlexFuture – Integration von Biogasanlagen in Netze mit hohem Anteil fluktuierender Stromerzeuger

*Betrieb von Blockheizkraftwerken: angepasst an maximale Einspeisung aus lokalen Photovoltaikanlagen*

Durch vorausschauendes Steuern von Biogasanlagen (BGA) lassen sich Netzausbaukosten reduzieren. Zudem kann das Netz durch optimierte Fahrpläne für BGA kostengünstiger stabilisiert werden als mit Stromspeichern. Das Vorhaben FlexFuture kann perspektivisch dazu beitragen, denn im Fokus stand das Integrieren und automatisierte Steuern solcher Anlagen als ein ausgleichendes Element in Verteilnetzen. Im Projekt konnten die mit dem Verteilnetz ausgetauschten Strommengen signifikant erhöht werden. Dabei ist mehr Strom durch die Netze geflossen, ohne das Netz erweitern zu müssen. Gleichzeitig wurde im Sinne der Gesamteffizienz der BGA die produzierte Wärme höchstmöglich über ein Nahwärmenetz genutzt. An der BGA Zellerfeld konnten die Partner ihre Erkenntnisse umsetzen und demonstrieren.



**Zuwendungsempfänger:** TH Ingolstadt und drei weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03KB102A-B, D-E

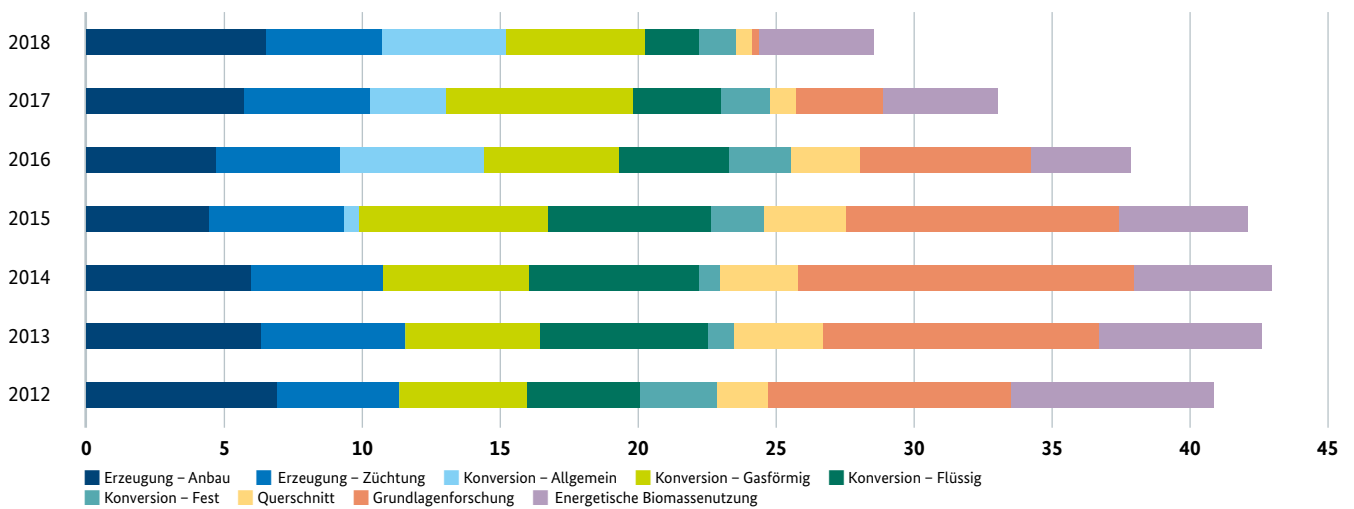
**Fördermittelansatz:** rund 200.000 Euro

**Projektlaufzeit:** 2014–2017

Das BMWi fördert seit 2008 mit dem Programm „Energetische Biomassenutzung“ Vorhaben zur kosten- und energieeffizienten Nutzung von Biomasse im Strom- und Wärme- markt. Dabei geht es insbesondere um biogene Reststoffe und Abfallstoffe. Im Rahmen dieses Programms haben insgesamt über 600 Partner in mehr als 150 Projekten gearbeitet. 2018 wurde das bisher eigenständige BMWi-Programm „Energetische Biomassenutzung“ in das 7. Energieforschungsprogramm und, mit dem Förderbereich 3.7, in die zentrale Förderbekanntmachung des BMWi integriert.

Neben der damit verbundenen Kontinuität der Bioenergieforschung ergeben sich insbesondere Vernetzungschancen mit den anderen Technologien und Sektor-Anwendungen beispielsweise im Gebäude-Wärme-Bereich (Bio-Wärme) oder auch im Verkehr (Biokraftstoffe). Weiterhin wurde das Forschungsnetzwerk Bioenergie im Rahmen der Forschungsnetzwerke des BMWi neu ausgerichtet und mit enger Unterstützung der Begleitforschung durch das Deutsche Biomasseforschungszentrum in den Arbeitsgruppen und Transfermaßnahmen begleitet.

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



2.2.4 Geothermie

Erdwärme ist eine verlässliche Energiequelle. Strategisch soll sie zukünftig verstärkt für die Wärme- und Kälteversorgung eingesetzt werden. In Deutschland sind nach Angaben des Bundesverbands Geothermie (BVG) aktuell 33 Heizwerke in Betrieb. Mehr als 30 Anlagen sind darüber hinaus in Planung oder Bau. Die Stadtwerke München planen, die Fernwärmenetze der Stadt bis zum Jahr 2040 überwiegend mit geothermisch gewonnener Wärme zu

versorgen. Forschungsprojekte, die nach dem 7. Energieforschungsprogramm gefördert werden, sollen nun in erster Linie dazu beitragen, die Geothermie schnell einsetzbar zu machen. Risiken sollen abgebaut, Kosten reduziert, Speichermöglichkeiten geschaffen sowie Bekanntheit und Akzeptanz dieser Form von erneuerbarer Energie gesteigert werden. Hierfür wird besonders auf Demonstrations- und Pilotvorhaben gesetzt, die als Vorbilder für die weitere Standortentwicklung herangezogen werden sollen.

**EBIMA – Entwicklung, Bau und Inbetriebnahme einer mobilen Anlage zum sicheren und effizienten Wechsel von Unterwasserpumpen der Tiefen Geothermie**

*Mit der hier entwickelten Workover-Anlage lassen sich Pumpenwechsel schnell und automatisch durchführen.*

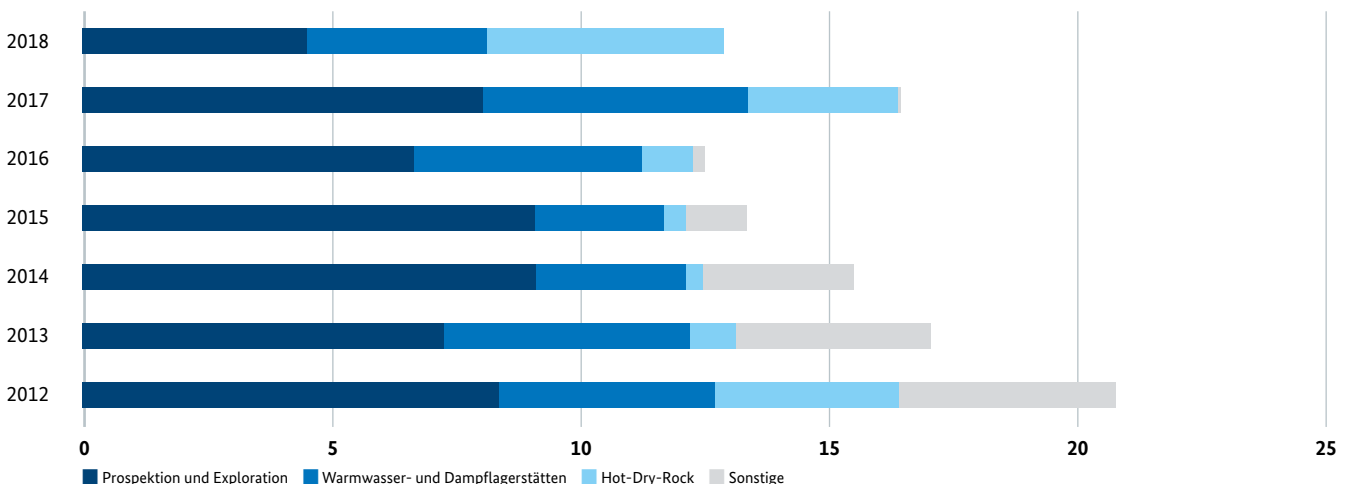
Wenn bei einem Geothermiekraftwerk die Förderpumpe ausfällt, die einige hundert Meter tief in einem Bohrloch platziert ist, müssen sowohl die Pumpe selbst als auch die miteinander verschraubten Förderrohre an die Oberfläche befördert werden. Diese Arbeiten fielen in der Vergangenheit sehr aufwändig aus. Daher haben die Ingenieurinnen und Ingenieure der Firma Max Streicher eine Anlage für diesen sogenannten „Workover“ an Tiefpumpen entwickelt, die den gesamten Prozess in automatischen Schrittketten vollführt. Das ist eine Weltneuheit speziell für den Einsatz in der Geothermie. Die Anlage ist auf einem eigens dafür entwickelten Sattelaufleger aufgebaut, der für das Münchner Stadtgebiet zugelassen ist und somit nun für die verschiedenen Anlagen der Stadtwerke München flexibel einsetzbar ist.



Der Hubschleitten wird innerhalb des Zahnstangenmasts per Fernbedienung auf und ab bewegt.

**Zuwendungsempfänger:** SWM Services GmbH und MAX STREICHER GmbH & Co. KG aA  
**Förderkennzeichen:** 0324072A-B  
**Fördermittelansatz:** rund 1,5 Millionen Euro  
**Projektlaufzeit:** 2016–2018

**Abbildung 7: Fördermittel für Tiefe Geothermie in Mio. €**  
 (Daten siehe Tabelle 2)



### 2.2.5 Wasserkraft und Meeresenergie

Wasserkraft hat gegenüber Wind- und Sonnenenergie einen entscheidenden Vorteil: Die Stromproduktion ist witterungsunabhängig und damit planbar. In Deutschland beträgt der Anteil des aus Wasserkraft erzeugten Stroms rund drei Prozent. Da die geographisch geeigneten Standorte nahezu ausgeschöpft sind, werden vor allem die bestehenden Anlagen modernisiert. Wissenschaftsteams forschen zudem an innovativen Laufwasserrädern, die neue Standorte erschließen könnten. Anlagen, die Strom aus Meeresenergie generieren, sind weltweit noch im Demonstrationsstadium. Das BMWi fördert die Entwicklung und Demonstration von Meeresströmungsturbinen und Wellenenergiekonvertern.

### 2.2.6 Thermische Kraftwerke

Konventionelle Kraftwerke sind als verlässliche Garanten einer sicheren Stromversorgung auch in Zeiten der Energiewende gefragt. Ihre Aufgabe hat sich indes gewandelt: Liefen sie früher im Dauerbetrieb, sind sie heute flexible Dienstleister, wenn die Sonne wenig oder gar nicht scheint oder der Wind nicht weht. Konkret heißt dies, dass Kraftwerke schneller und häufiger an- und abgefahren oder in Teillast betrieben werden müssen, was entsprechend neue Anforderungen an Betriebsprozesse und Bauteile stellt. Zudem soll der Wirkungsgrad der Kraftwerke auch im Teillastbetrieb gesteigert und somit die Kohlendioxid-Emissionen reduziert werden, um die Klimaziele zu erreichen. Das BMWi unterstützt diese Ziele mit seiner anwendungsorientierten Forschungsförderung.

### Fertigungstechnologieentwicklungen für zukünftige und wettbewerbsfähige Gasturbinen – Siemens Manufacturing Center of Excellence (MCoE)

*Hohe Wirkungsgrade senken Kosten und Kohlendioxid-ausstoß.*

Neue Digitalisierungs- und Fertigungstechnologien sollen die Effizienz von Gas- und Dampf-Kraftwerken steigern. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Siemens arbeiten daher im Projekt MCoE daran, Gasturbinen weiterzuentwickeln. Das Projekt soll dazu beitragen, den Wirkungsgrad eines Gas- und Dampf-Kraftwerks (GuD) von derzeit 61,5 auf 65 Prozent zu steigern und die Produktionskosten durch neue und verbesserte Fertigungstechnologien zu senken. Dazu werden verschiedene Aspekte untersucht. Das Projektteam hat zum Beispiel eine Methode entwickelt, mit der verbesserte Kühlluftbohrungen der Turbinenschaufel erstellt werden können, um die Turbine während des Betriebs effektiver zu kühlen. Es geht weiterhin darum, Schichtsysteme von Turbinenschaufeln schneller und effizienter zu bearbeiten, um so neue Designs zu ermöglichen, und schließlich um die Digitalisierung bei der Messtechnik sowie die Integration von CAX (Computer Aided Technologies) bei der Turbinenherstellung.

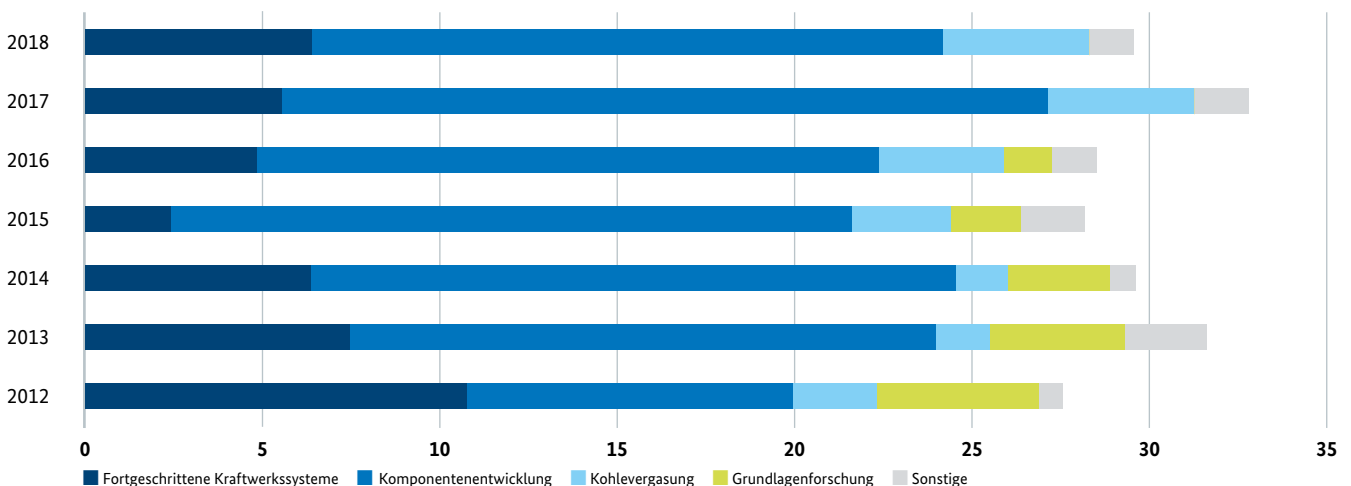
**Zuwendungsempfänger:** Siemens

**Förderkennzeichen:** 03ET7085

**Fördermittelansatz:** rund 2,5 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2016–2021

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



### Kryolens – Kryogene Luftenergiespeicherung

In einem flexiblen Energiesystem kommt Stromspeichern eine entscheidende Rolle zu.

Mit der Energiewende wandelt sich das Energiesystem: Haben früher einige Großkraftwerke Strom erzeugt, speisen nun parallel viele dezentrale Stromproduzenten wie Windparks oder Photovoltaikanlagen in das Versorgungsnetz ein. Stromspeicher können Spitzen ausgleichen, indem sie den Strom zwischenspeichern. Im Projekt Kryolens arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an innovativen Flüssigluftegiespeichern. Das Projektteam untersucht, welche Lösung – je nach Einsatzszenario – die effizienteste Variante ist. Außerdem werden im Projekt die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten und die Ökobilanz der Technologie bewertet. Anhand dieser Analysen soll eine Entscheidungsgrundlage entstehen, auf deren Basis beurteilt werden kann, ob und inwiefern das Energiespeichern mittels flüssiger Luft



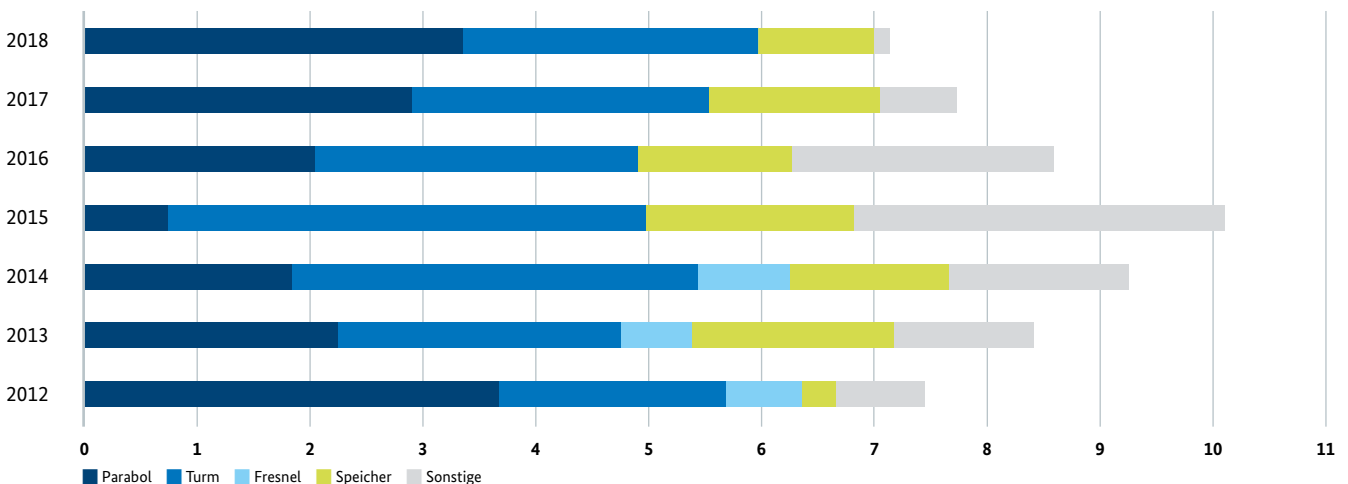
den zukünftigen Bedarf an großtechnischen Stromspeichern decken kann. Im Anschluss an das Projekt soll eine großtechnische Demonstration erfolgen.

**Zuwendungsempfänger:** Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe und Ruhr-Universität Bochum  
**Förderkennzeichen:** 03ET7068A-F  
**Fördermittelansatz:** rund 1,1 Millionen Euro  
**Projektlaufzeit:** 2016–2019

Mit dem 7. Energieforschungsprogramm werden die Kraftwerke verstärkt im Gesamtenergiesystem betrachtet. Zum einen geht es darum, wie die bestehenden Großkraftwerke durch neue technologische Lösungen fit für die Energiewende gemacht werden können. Dazu gehören Umrüst- (sogenannte Retrofit-)maßnahmen, sodass die Kraftwerke neben veränderten Betriebsbedingungen künftig verstärkt mit alternativen Brennstoffen und Brennstoffgemischen wie Biomasse oder Abfällen betrieben werden können. Zum anderen sollen die Forschungsaktivitäten zum Thema Energiespeicher verstärkt werden. Überschüssiger Strom ließe sich beispielsweise mithilfe von Power-to-X-Technologien in Wasserstoff oder Wärme umwandeln und zwischenspeichern, um daraus nach Bedarf anschließend wiederum Strom zu erzeugen (Power-to-X-to-Power).

Tatsache ist: Die Kraftwerksprozesse werden komplexer. Daher gewinnt die Simulation von Anlagen und Komponenten durch einen „Digital Twin“ an Bedeutung, um mithilfe von Modellen, Simulationen und Algorithmen Kraftwerksprozesse virtuell zu optimieren und die gewonnenen Ergebnisse anschließend in reale Betriebsabläufe umzusetzen. Neben den konventionellen Kraftwerken wird auch an solarthermischen Kraftwerken geforscht, mit Fokus auf dem Export. Ein weiteres Forschungsgebiet betrifft den Kraftwerksteil einer Geothermieanlage. Für beide Technologien gilt: Know-how und Produkte „Made in Germany“ sind weltweit gefragt.

Abbildung 9: Fördermittel für Solarthermische Kraftwerke in Mio. €  
 (Daten siehe Tabelle 2)





## 2.3 Systemintegration

### 2.3.1 Stromnetze

Damit die Umstellung der Energieversorgung auf Erneuerbare im Rahmen der Energiewende gelingt, muss das Energiesystem an die veränderten Erzeugungs- und Verbrauchsbedingungen angepasst werden. Das umfasst insbesondere den Aus- und Umbau der Stromnetze als essenzieller Bestandteil und Rückgrat des Energiesystems. Zentrales politisches Ziel ist deswegen einerseits der Netzausbau auf Übertragungs- und Verteilernetzebene, um beispielsweise den in windreichen Regionen Nord- und Ostdeutschlands erzeugten Strom zu den Verbraucherinnen und Verbrauchern in die bevölkerungs- und industrie-reichen Länder im Westen und Süden über weite Strecken zu transportieren. Andererseits stehen eine bessere Auslastung der vorhandenen Stromnetze und ihre Modernisierung im Fokus der Energieforschungspolitik. Dies trägt der aktuellen Entwicklung hin zu lokalen, dezentralen Versorgungsstrukturen Rechnung. Die Verknüpfung des Energiesystems mit der Wärmeversorgung und dem Verkehrs- und Industriezweig im ganzheitlichen Rahmen der Sektorkopplung erfordert einen aufeinander abgestimmten Betrieb von Erzeugungsanlagen, Stromnetzbetreibern und Verbrauchern.

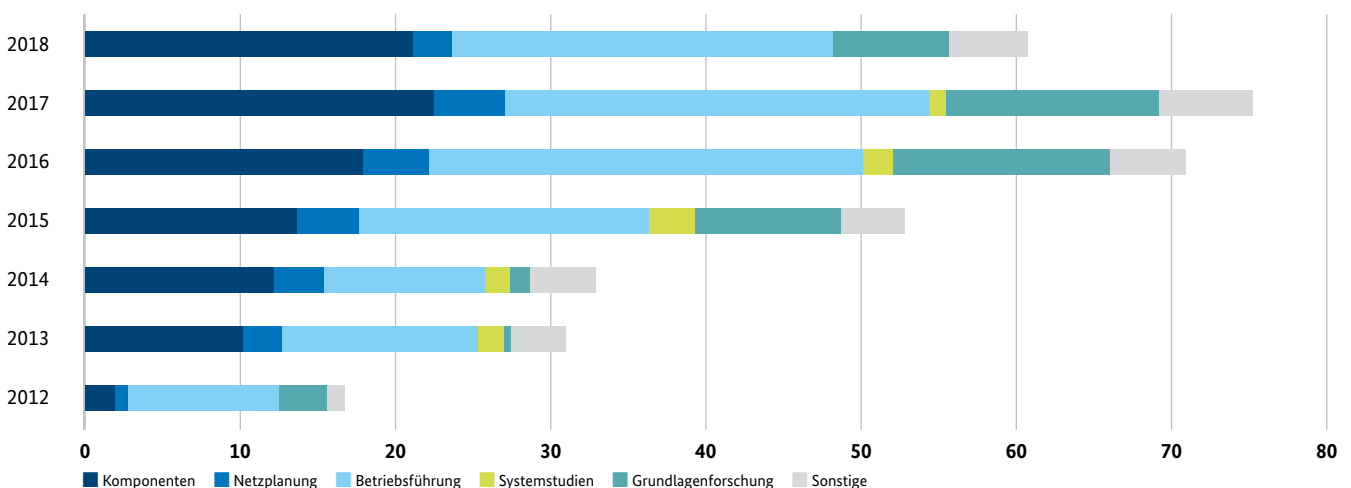
Grundvoraussetzung der Weiterentwicklung ist stets, die Qualität und Sicherheit der Strombereitstellung aufrechtzuerhalten, auf der die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie und Wirtschaft am Standort Deutschland basiert. Gleichermaßen tragen der Netzaus- und -umbau dazu bei, die Energieversorgung hierzulande effizienter und umweltfreund-

licher zu gestalten. Dies geschieht unter Einbezug der Digitalisierung als Chance und Herausforderung, die Netze zu Smart Grids transformiert und Vorhaben im Bereich von Forschung und Entwicklung übergreifend verbindet.

Die Forschungsthemen decken im Bereich Stromnetze aufgrund der Komplexität der Energiesystemintegration ein breites Spektrum ab. Die Basis bildet dabei die Forschung zur Verbesserung von Betriebsmitteln und Komponenten sowie die Entwicklung innovativer Technologien, die die Aufnahme- und Transportkapazität der Netze erhöhen. Schwerpunkte liegen dabei zum Beispiel auf Stromrichtern, neuen Materialien, etwa bei Kabeln, Leitungen und Schaltanlagen sowie AC/DC-Netzen. Im Bereich von Netzbetrieb und -planung fokussieren sich die Expertinnen und Experten auf die Leit- und Schutztechnik, darunter optimierte Betriebsführungskonzepte, automatisierte Erfassung der Energiesystemstruktur und des Netzzustands über alle Spannungsebenen hinweg, Maßnahmen zum Notfallbetrieb und Systemwiederaufbau, Resilienzerhöhung und Cybersicherheit unter Einbezug neuer Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) bei der Datenverarbeitung und -analyse sowie Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und Aufbau von Dienstplattformen.

Um eine systemstabilisierende Wirkung der naturgemäß schwankenden erneuerbaren Energien zu erzielen, arbeiten Fachleute daran, Flexibilitätsoptionen besser zu erschließen. Die Forschung adressiert in diesem Bereich Maßnahmen zum Lastmanagement, neue Modellierungs- und Planungsmethoden sowie Entwicklung einheitlicher Normen und Standards.

Abbildung 10: Fördermittel für Netze in Mio. €  
(Daten siehe Tabelle 4)



Aufgrund der entscheidenden zentralen Funktion der Stromnetze innerhalb des Energiesystems hat die Forschung im Bereich Stromnetze und Netzintegration erneuerbarer Energien zahlreiche Schnittstellen zu anderen Forschungsthemen. Die Einbettung in einen größeren, ganzheitlichen Kontext kennzeichnet auch die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft sowie die Kooperation auf regionaler und überregionaler Ebene und über Landesgrenzen hinweg auf europäischer und internationaler Ebene. Ein abgestimmtes Vorgehen trägt dabei dazu bei, die gemeinsamen Ziele der europäischen Klimapolitik schneller zu erreichen.



Ein Projektmitarbeiter prüft mithilfe eines Laptops das Wärmepumpensystem zur Erprobung der Lastverschiebungsstrategien.

### LAGE-EE – Lastverschiebungspotenziale von Gebäuden für Strom aus erneuerbaren Energien

*Fachleute untersuchen, wie Energie-Überschussangebote optimal thermisch gespeichert werden können.*

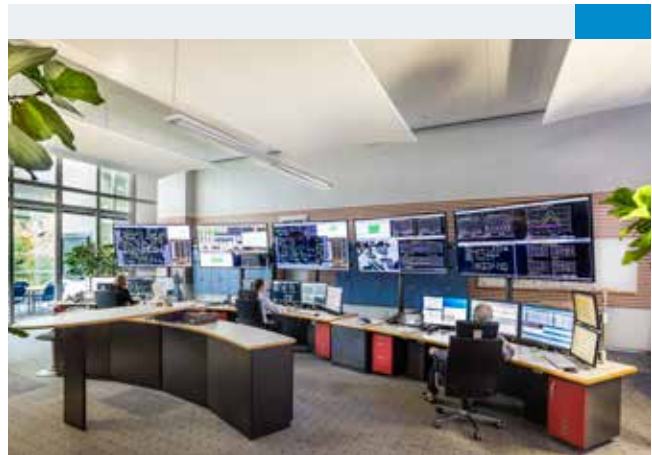
Das Flexibilitätspotenzial von Heizungswärmepumpen für die Lastverschiebung nutzen: Wenn viel Strom im Netz ist, nehmen die Geräte lokal überschüssige elektrische Energie auf und wandeln sie in Wärme um. Dieses Power-to-Heat-Verfahren trägt dazu bei, Stromerzeugung und -verbrauch besser aufeinander abzustimmen. In dem Projekt entwickeln Expertinnen und Experten zu dem Zweck ein ganzheitliches System zur Gebäudeheizung, Kühlung und Warmwasserbereitung. Dazu gehört etwa die technische Steuerung der Haustechnik, sodass die Wärmepumpen automatisch auf Netzbetreiber-Signale reagieren. Ziel des Forscherteams ist es, das Komfortgefühl der Bewohner nicht zu beeinträchtigen. Im abschließenden Feldversuch ermitteln sie die Praxistauglichkeit der Ergebnisse.

**Zuwendungsempfänger:** Fraunhofer-Institut für Energie-wirtschaft und Energiesystemtechnik IEE und fünf weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 0325794A-F

**Fördermittelansatz:** rund 1,3 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2015–2019



Schichtingenieure führen das Höchstspannungsnetz in der TenneT-Regelzone.

### InnoSys2030 – Innovationen in der Systemführung

*Das Forscherteam entwickelt Lösungen für eine gleichmäßigere und höhere Netzauslastung.*

Ziel des Projekts ist es, die Systemführung zu optimieren. Um das zu erreichen, arbeiten die Fachleute daran, zusätzliche Netzkomponenten einzusetzen, den Automatisierungsgrad von Betriebsprozessen zu erhöhen, Informations- und Kommunikationstechnologien auszubauen und Rechenleistungen zu steigern. Dafür analysieren und bewerten die Expertinnen und Experten innovative Ansätze unter elektrotechnischen, ökonomischen und sicherheitsrelevanten Aspekten hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit. Ausgesuchte Maßnahmen simulieren sie anschließend und erproben diese in Laborumgebungen. Mittels in Leitwarten installierten und mit Echtzeit-Daten versorgten Rechnersystemen prüfen die Fachleute bei Feldtests mögliche Auswirkungen auf Betriebsmittelauslastung und Spannungsniveau.

**Zuwendungsempfänger:** TenneT TSO, Bayreuth und 14 weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 0350036A-O

**Fördermittelansatz:** rund 9,4 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2018–2021

## LADEINFRASTRUKTUR 2.0 – Optimierung des koordinierten Ausbaus und Betriebs der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge und der Verteilungsnetze

*Neue Lösungen sorgen für eine höhere Akzeptanz der Elektromobilität. Davon profitiert die Umwelt.*

In dem Projekt analysieren Fachleute mithilfe eines ganzheitlichen Ansatzes die Wechselwirkungen rund um den Ladeprozess von Elektrofahrzeugen. Das ermöglicht den beteiligten Akteuren, etwa bei der Planung, Betriebsführung und Regulation besser aufeinander abgestimmte Lösungen zu entwickeln und anzubieten. Intelligente Ladestrategien und -technik sowie innovative Anreizsysteme sollen dazu beitragen, den Netzausbau zu reduzieren. Von der Optimierung profitieren Fahrzeug- und Ladeinfrastrukturhersteller sowie Netzbetreiber und Energieversorger, zum Beispiel durch neue Möglichkeiten zur Netzintegration, einen branchenübergreifenden Informationsaustausch sowie konkrete Empfehlungen an Wirtschaft und Politik, auf welche Weise die Elektromobilität bestmöglich vorangetrieben werden kann.



**Zuwendungsempfänger:** Fraunhofer-Institut für Energie-wirtschaft und Energiesystemtechnik IEE und sechs weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 0350048A-G

**Fördermittelansatz:** rund 8,8 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2018–2022

## Verbundprojekt iNET-FA<sup>2</sup> – Intelligente Verteilnetze mit fraktaler Automatisierungs-Architektur

*Intelligente Verteilnetze für mehr Flexibilität: eine durchgängige Plattform für Systemdienstleistungen vom Prosumer bis zum Übertragungsnetzbetreiber*

Das Verbundvorhaben iNET-FA<sup>2</sup> spiegelt auf elegante Weise die selbstähnliche Struktur des Verteilnetzes in einer fraktalen Automatisierungs-Architektur wider. Zu diesem Zweck wurde eine Lösung aus Soft- und Hardware für ein intelligentes Verteilnetz erarbeitet, validiert und verifiziert. Smart Grid Cluster Controllern (SGCCs) messen an ausgewählten Netzknoten und Anschlusspunkten Leistungsflüsse, Spannungsqualität und Belastungen der Betriebsmittel und tauschen untereinander Daten aus.

Somit sind die SGCCs befähigt, den Zustand des so beobachteten Netzbereichs zu erfassen und Netzbetreibern und -kunden netzdienliche Handlungen vorzuschlagen. Auf den SGCCs laufen in einer speziell hierfür geschaffenen Softwareumgebung funktionale Apps, über die Netzkunden ihre Flexibilitäten anbieten und automatisch steuern lassen können. Dieser Ansatz erlaubt eine aktive Regelung in allen



Netzebenen mit durchgängiger Abbildung des Marktes, sodass auch Prosumer zu Primär- und Sekundärregelung beitragen können. Dieses funktioniert bereits im Labor.

**Zuwendungsempfänger:** Fachhochschule Südwestfalen und vier weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03EK3541A-D, -F

**Fördermittelansatz:** rund 1,1 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2014–2018

2.3.2 Stromspeicher

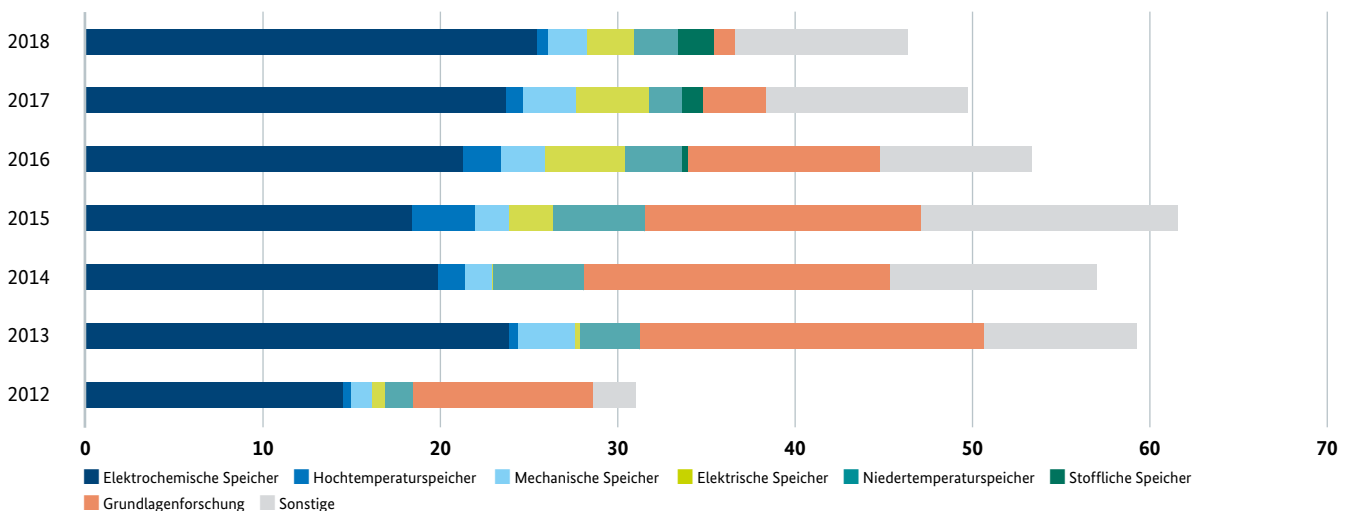
Bis 2050 sollen mindestens 80 Prozent des erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energien erzeugt werden. Im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken können Wind- und Solarparks jedoch nicht kontinuierlich und gleichmäßig den benötigten Strom erzeugen. Die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen ist eng an die jeweilige Wetterlage gekoppelt und unterliegt auch im Tagesverlauf starken Schwankungen. Stromspeicher können diese Schwankungen abfangen, indem sie bei kräftigem Wind oder starker Sonneneinstrahlung Strom zwischenspeichern, der nicht direkt verbraucht werden kann. Bei ungünstiger Wetterlage wie einer Flaute oder nachts können sie dann den gespeicherten Strom wieder an das Netz und damit auch an die Verbraucher abgeben.

Auch für die Stabilisierung des Stromnetzes sind Stromspeicher essenziell. Kleinste Schwankungen in der Netzfrequenz können die Stromversorgung ganzer Stadtteile oder Industriegebiete gefährden. Strategisch an bestimmten Netzpunkten platziert können Stromspeicher zur Erhaltung der Netzfrequenz beitragen und durch intelligentes Lastmanagement den weiteren Zubau von erneuerbaren Energieanlagen begünstigen. Kleinere Stromspeicher sind schon heute essenzielle Bestandteile der Elektromobilität. Zählte das Kraftfahrtbundesamt 2017 noch 11.410 Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen, hat sich diese Zahl bis 2017 auf über 25.000 mehr als verdoppelt. 2018 waren es schließlich sogar über 36.000 Neuzulassungen (Wachstum etwa 44 Prozent), wodurch die Zahl der Elektrofahrzeuge in Deutschland auf fast 54.000 anwuchs.

Auch im Heim- und Gewerbesektor wächst die Nachfrage nach Stromspeichern kontinuierlich. So wurde im August 2018 in Berlin der 100.000ste Solarstromspeicher in Betrieb genommen. In den nächsten zwei Jahren soll sich diese Zahl noch verdoppeln. Gleichzeitig haben sich die Anschaffungskosten für Lithium-Ionen-Batterien, die bevorzugt als Heim- und Gewerbespeicher eingesetzt werden, seit 2013 von 400 Euro pro Kilowattstunde auf weniger als 200 Euro mehr als halbiert. Die Nachfrage nach leistungsfähigen, effizienten und günstigen Stromspeichern für verschiedenste Anwendungsfelder steigt also – und damit auch der internationale Wettbewerb um die besten Technologien. Damit Deutschland weiterhin einer der Vorreiter der Energiewende bleibt und sich auf dem internationalen Speichermarkt fest etablieren kann, fördert die Bundesregierung auch im 7. Energieforschungsprogramm die Grundlagen-(BMBF) wie auch die anwendungsnahe (BMWi) Forschung und Entwicklung entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Um den Einsatz neuer Speichertechnologien unter annähernd realen Bedingungen zu erproben, werden im 7. Energieforschungsprogramm zudem Demonstrationsprojekte, Pilotanlagen, Feldtests und Reallabore förderpolitisch unterstützt.

Die zu erforschenden Speichertechnologien und -konzepte sind so vielfältig wie die Einsatzgebiete. Ein besonderer Schwerpunkt in der Stromspeicherforschung liegt auf den unterschiedlichen Technologietypen der Batterie als zentraler technischer Komponente an wichtigen Stellen des Energiesystems. Zielgrößen sind Kosten, Gesamteffizienz, Leistungsdichte, Energiedichte, Speicherkapazität, Reakti-

Abbildung 11: Fördermittel für Speicher in Mio. €  
(Daten siehe Tabelle 4)



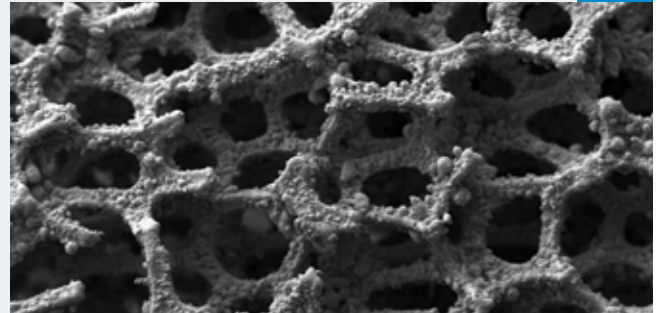
onszeit, Langlebigkeit, Zyklfestigkeit und die Geschwindigkeit des Be- und Entladens. Zudem müssen die Speicher bei hohen wie bei niedrigen Temperaturen stabil und zuverlässig funktionieren. Die Erforschung alternativer Rohstoffquellen und optimierter Elektrodenmaterialien für Batteriezellen soll die Umweltbilanz von Hochleistungsspeichern verbessern und gleichzeitig die Importabhängigkeit reduzieren. Mit Blick auf die wachsende Nachfrage nach Batteriespeichern sollen zudem Redox-Flow-Batte-

rien weiterentwickelt und zur Marktreife gebracht werden. Bei elektrochemischen Speichern ist zudem die Entwicklung grundlegend neuer Zellchemien ein sehr wichtiges Forschungsfeld. Auch Post-Lithium-Batterien, vor allem Metall-Luft- und Festkörperbatterien spielen eine wichtige Rolle. Neben der Forschung im Labor sind die Weiterentwicklung von Fertigungsprozessen, die Standardisierung verschiedener Speichertechnologien und Sicherheitsaspekte wichtige Förderschwerpunkte.

### Batt3D – Hochleistungs- und Feststoffbatterien auf Basis dreidimensionaler Stromableiter

*Lithium-Ionen-Speicher mit Schaumporen für höhere Leistungsdichte*

Lithium-Ionen-Batterien sind aufgrund ihrer schnellen Lade- und Entladezeiten ideal für die Verwendung in Elektrofahrzeugen und stationären Energiespeichern. Im Zuge der Energiewende steigt der Bedarf an solchen Hochleistungsspeichern, gleichzeitig wachsen die Anforderungen an Leistungs- und Energiedichte, Umweltverträglichkeit und Kosten. Im Projekt Batt3D entwickeln Forscher deshalb ein neuartiges Batteriekonzept: Anstatt Anode und Kathode klar räumlich zu trennen, wie es bei Lithium-Ionen-Batterien üblich ist, arbeiten die Forscher mit einem offenporigen Metallschaum. Die Schaumporen werden mit elektrochemisch aktiven Elektrodenmaterialien beschichtet, sodass eine Art dreidimensionale Elektrode mit sehr großer Kontaktfläche entsteht. Durch diesen Elektrodenaufbau lässt sich die Leistungs- und Energiedichte der Batterie steigern, ohne das



Illustrative Darstellung des Legierungsschaums, der für die Elektrodenherstellung als Stromableiter verwendet wird

Volumen zu erhöhen. Zudem ermöglichen diese dreidimensionalen Elektrodenstrukturen neuartige geometrische Bauweisen, die vielseitig eingesetzt werden können.

**Zuwendungsempfänger:** Alantum Europe und sieben weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03ET6111A-J

**Fördermittelansatz:** rund 2,3 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2017–2020

### UnABESA – Universelle Anbindung von Batteriespeichern aus Elektrofahrzeugen für stationäre Anwendungen

*Intelligent koppeln statt zerlegen*

Das Verbundvorhaben UnABESA entwickelt stationäre Energiespeicher auf Basis von Batterien für E-Fahrzeuge. Das Besondere an diesem Projekt ist, dass der Hochvoltpeicher dabei nicht zerlegt wird, um die Zertifizierung nicht zu verlieren. Stattdessen wird die Schnittstelle zwischen automobilen Energiespeichern und stationärem Wechselrichter über ein intelligentes bidirektionales Koppellement optimal konzipiert und umgesetzt. Dabei bleiben alle Funktionen der Batterie – also Effizienz, Sicherheit und Wirtschaft-

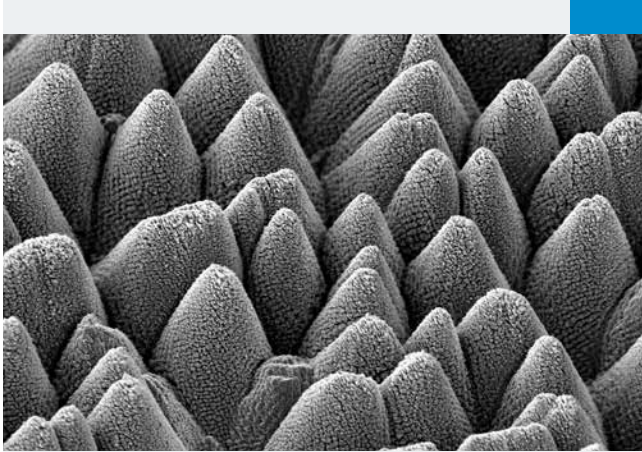
lichkeit – bestehen. Zusammen mit dem Koppellement bildet die Batterie schließlich einen stationären Energiespeicher mit einheitlicher elektrischer und logischer Schnittstelle. Der DC-DC-Wandler des Koppellements wandelt die Spannung der Automotive-Batterie hocheffizient auf das für den Netzumrichter notwendige Niveau. Dadurch können die batterie-seitigen Spezifikationen eingehalten und gleichzeitig ein kostenintensiver Netztrafo eingespart werden.

**Zuwendungsempfänger:** BMW AG und drei weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03ET6126 A-D

**Fördermittelansatz:** rund 1,7 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2017–2020

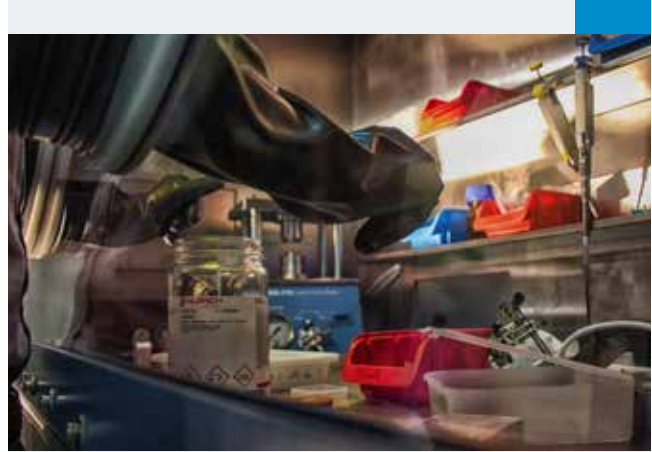


### GreenH2 – Preiswerte, lastflexible und nachhaltige Erzeugung von grünem Wasserstoff

*Optimierte Elektrodenstrukturen für effiziente und günstige Herstellung von Elektrolyseuren*

Je größer die Oberfläche des Elektrodenmaterials in einem Elektrolyseur, desto geringer ist die benötigte Überspannung und desto effizienter ist die Elektrolyse. Daher bestehen die Elektroden in gebräuchlichen alkalischen Elektrolyseuren aus porösen Reney-Nickel-Strukturen, denn diese verfügen über eine große Oberfläche. Für den Einsatz in Verbindung mit Erneuerbare-Energien-Anlagen sind sie allerdings nicht gut geeignet, denn sie verlieren bei starken Lastschwankungen mit der Zeit an Wirkungsgrad. Um dieses Problem zu lösen hat das Forscherteam von GreenH2 ein Fertigungsverfahren auf Basis von Ultrakurzpluslaser-Technologie entwickelt. Hierbei wird die Oberfläche der Elektroden so strukturiert, dass sie gegenüber Lastschwankungen robuster werden. Im Vergleich zu anderen Verfahren, die Oberflächen funktionalisieren, ist diese Methode effizienter und in größerem Maßstab auch günstiger. Heute eingesetzte Elektrolyseure lassen sich damit kostengünstig und schnell optimieren, was den Markt für Power-to-Gas-Anlagen in Verbindung mit EE-Anlagen in Deutschland vorantreiben kann.

**Zuwendungsempfänger:** Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik HHI und fünf weitere Verbundpartner  
**Förderkennzeichen:** 03ET6058A-F  
**Fördermittelansatz:** rund 4,1 Millionen Euro  
**Projektlaufzeit:** 2015–2019



### R2RBattery – Maßgeschneiderte Materialsysteme und Technologien für die Rolle-zu-Rolle-Fertigung elektrochemischer Energiespeicher auf flexiblen Trägern

*Hochvalente Ionen für die Energiewende – neuartige Post-Lithium-Energiespeicher decken den zukünftigen Bedarf an Energiespeichern und werden den stetig steigenden Anforderungen gerecht.*

Im Bereich der elektrochemischen Stromspeicher für die Elektromobilität und für stationäre Anwendungen ist die Umsetzung der Energiewende allein mit der Lithium-Ionen-Technologie nicht möglich. Es werden deshalb zusätzliche alternative Materialsysteme für eine Technologie-Diversifizierung benötigt. Das Projekt R2RBattery entwickelt ein Post-Lithium-Energiespeichersystem auf Basis hochvalenter Ionen in Kooperation mit Industrie- und Forschungspartnern weiter und erarbeitet maßgeschneiderte Lösungen für deren großtechnische Produktion. Diese Aluminium-Ionen-Festkörperbatterie-Materialsysteme leisten einen wichtigen Beitrag zur Energiewende, indem sie doppelt bis viermal so hohe volumetrische Energiedichten wie state-of-the-art Lithium-Ionen-Batterien, eine hohe Lebensdauer mit mehreren Tausend Lade-/Entladezyklen und einen sicheren Betrieb ermöglichen. Mit Aluminium als Anodenmaterial, welches in großem Maße verfügbar ist und für welches großskalige Produktionsprozesse sowie eine Recycling-Infrastruktur vorliegen, ist eine kostengünstige Substitution der knappen Ressource Lithium und ein energieeffizienter Zellproduktionsprozess aussichtsreich. Damit wird eine kostengünstige, ressourcenschonende Herstellung für insbesondere stationäre Anwendungen zur Unterstützung des Ausbaus erneuerbarer Energien ermöglicht.

**Zuwendungsempfänger:** TU Bergakademie Freiberg und vier weitere Verbundpartner  
**Förderkennzeichen:** 03SF0542A-B, D-E  
**Fördermittelansatz:** rund 3,6 Millionen Euro  
**Projektlaufzeit:** 2016–2019

### 2.3.3 Sektorkopplung

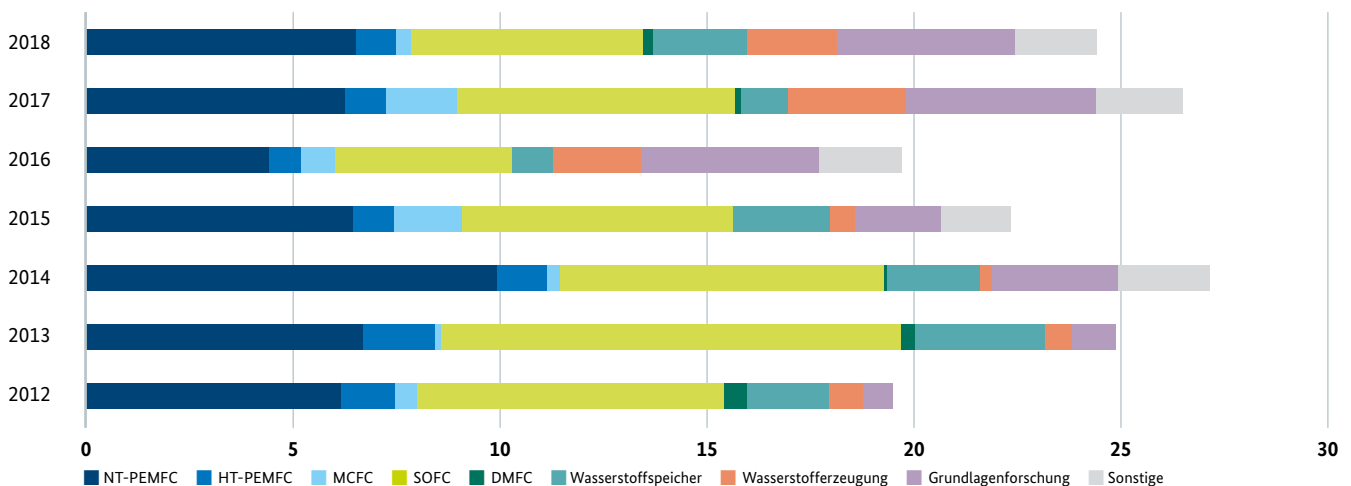
Die Sektorkopplung ist als neues technologieübergreifendes Querschnittsthema im 7. Energieforschungsprogramm verankert. Während sich die bisherigen Programme vor allem auf einzelne Technologien und Systemfragen konzentriert haben, tritt jetzt die Forschung zur Transformation des Energiesystems als Ganzes in den Vordergrund. Viele Einzeltechnologien müssen erfolgreich integriert werden, im Gesamtsystem vernetzt agieren und Informationen schnell und zuverlässig austauschen. Eine zentrale Herausforderung ist dabei die effiziente Kopplung der Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Verkehr. Erneuerbare Energien sind derzeit am besten in den Stromsektor integriert.

Durch die Sektorkopplung sollen nun auch die Bereiche Verkehr und Wärme/Kälte davon profitieren. Erneuerbarer Strom kann entweder direkt genutzt werden oder über effizientes Vernetzen der Energieinfrastrukturen für Strom, Gas, Wärme und Kraftstoff. Ein wichtiger Baustein ist hier Wasserstoff, der beispielsweise über Elektrolyse auf Basis erneuerbaren Stroms erzeugt werden kann: Wasserstoff kann lokal überschüssigen Strom etwa aus Windkraftanla-

gen aufnehmen und dauerhaft speichern. Der Wasserstoff selbst könnte in das vorhandene Gasnetz eingespeist werden. Er kann für chemische Prozesse genutzt werden und dient als Grundlage für synthetische Gase sowie für alternative Kraft- und Brennstoffe.

Konkret soll zum Beispiel die vom BMWi mit rund 87 Millionen Euro geförderte Initiative „Energiewende im Verkehr“ die Sektorkopplung in Deutschland vorantreiben. Seit Sommer 2018 starten nach und nach 16 Großverbände mit circa 150 Einzelprojekten von Partnern aus Forschung und Industrie zu Herstellung und Nutzung alternativer strombasierter Kraftstoffe (Power-to-Fuel). Basierend auf den Forschungsergebnissen soll durch die wissenschaftliche Begleitforschung bis 2022 eine Roadmap entstehen, die Handlungsempfehlungen für die Entwicklung, Produktion und Markteinführung von nachhaltigen Kraftstoffen als Voraussetzung für eine klimafreundlichere Mobilität gibt. Neben dem Energieforschungsprogramm der Bundesregierung setzt die Initiative auf dem Maritimen Forschungsprogramm und dem Programm „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ des BMWi auf.

Abbildung 12: Fördermittel für Brennstoffzellen und Wasserstoff in Mio. €  
(Daten siehe Tabelle 2)



## DESS2020+ – District energy storage and supply system 2020+

*Dezentrale Energieversorgung mit Brennstoffzellen zur Stromspeicherung*

Für die weitere Erhöhung des Anteils Erneuerbarer im Energieversorgungssystem sind Speichermöglichkeiten für fluktuierend erzeugten Strom aus Sonne und Wind gefragt. Die Ingenieure und Forscher von Bosch und dem Fraunhofer ISE haben dafür ein weitgehend geschlossenes System für Wohnquartiere untersucht, in dem Strom regenerativ erzeugt, vor Ort gespeichert und dort auch verbraucht wird, sodass der „grüne“ Strom nicht über weite Strecken trans-

portiert werden muss. Im Fokus stand dabei Wasserstoff als kostengünstiges und wirtschaftliches Speichermedium. Das System funktioniert nicht nur in angeschlossenen Haushalten, sondern perspektivisch auch bei wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen. Die Kernkomponenten: ein PEM-Elektrolyseur, eine Festoxidbrennstoffzelle und mehrere Wasserstoff-Speichertanks.

**Zuwendungsempfänger:** Robert Bosch GmbH und Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

**Förderkennzeichen:** 03ET6075A-B

**Fördermittelansatz:** rund 2,3 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2015–2018

## KEROSyN100 – Entwicklung und Demonstration einer dynamischen, effizienten und skalierbaren Prozesskette für strombasiertes Kerosin – Phase 1

*Defossilisierung des Flugverkehrs durch strombasiertes Kerosin*

Auf Basis von Strom aus erneuerbaren Energiequellen hergestelltes Kerosin ist ein aussichtsreicher Weg zu mehr Nachhaltigkeit im Flugverkehr. Auf diese Weise könnte hier die Nutzung fossiler Energieträger reduziert werden. Die Produktion von solchem „grünen“ synthetischen Kerosin ist das Ziel von KEROSyN100. Systemanalytische Untersuchungen und die Entwicklung einer innovativen Technologie zur Synthese von Kerosin aus Methanol münden in ein Prozesslayout für die erste Power-to-Fuel-Anlage mit Fokus auf Kerosin. Dabei stehen eine systemdienliche Integration in das Energiesystem und eine vollständige Nutzung von Strom aus Erneuerbaren im Mittelpunkt. In einer zweiten Phase sollen die Erkenntnisse in einer kommerziell ausgerichteten Demonstrationsumgebung umgesetzt werden.



Die CO<sub>2</sub>-Reduktion im Flugverkehr ist eine große Herausforderung der Energiewende.

**Zuwendungsempfänger:** Universität Bremen und sechs weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03EIV051A-G

**Fördermittelansatz:** rund 4,1 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2018–2021



## 2.4 Systemübergreifende Forschungsthemen

### 2.4.1 Energiesystemanalyse

Mit Fortschreiten der Energiewende werden die Erzeugungs- und Verteilungsstrukturen zunehmend komplexer. Diese ebenen- und sektorenübergreifende Vernetzung hat einen großen Einfluss auf das Zusammenspiel zwischen Akteuren, Märkten und den eingesetzten Technologien. Systemanalytische Modelle können die Wechselwirkungen und Einflussfaktoren zwischen diesen Ebenen sichtbar machen und ermöglichen es, die Auswirkungen von Veränderungen im System zu simulieren. Insbesondere für die Politik aber auch für wirtschaftliche und gesellschaftliche Akteure sind Energiesystemmodelle daher ein wertvolles Tool, um die Auswirkungen neuer Technologien oder Marktstrukturen im Energiesektor rechtzeitig und umfassend beurteilen zu können.

Damit Systemmodelle allerdings als belastbare Grundlage für Entscheidungsprozesse genutzt werden können, müssen die Ergebnisse der Analysen verständlich, transparent und überprüfbar sein. Um dies zu gewährleisten, fördert die Bundesregierung im 7. Energieforschungsprogramm die Entwicklung von Validierungsmethoden wie etwa Modellvergleiche oder Vergleiche mit historischen Datenreihen. Ein weiteres Ziel der wissenschaftlichen Energiesystemanalyse ist es, die Komplexität von etablierten Modellen zu reduzieren, das heißt, sie zu vereinfachen, ohne dass wichtige Details verloren gehen. Zudem werden Open-Source-Lösungen gefördert, da sie zum einen die Weiterentwicklung und Verbesserung bestehender Modelle beschleunigen können und zum anderen die Entwicklung von Schnittstellen zu anderen Modellen begünstigen.

### open\_MODEX – Modellexperiment zum Vergleich und der Ermittlung von Synergiepotenzialen von Open-Source-Frameworks in der Energiesystemanalyse

#### Energiesystemmodelle unter der Lupe

Um zukunftsweisende Entscheidungen hinsichtlich des künftigen Energiesystems zu treffen, braucht es Analysen und das Verständnis von Systemzusammenhängen. Open Science ist hierbei eine wichtige Voraussetzung dafür, die Qualität von Aussagen, die Politik und Gesellschaft informieren sollen, nachvollziehbar zu machen. Um die Energiesystemanalysen transparent zu gestalten, stehen quelloffene – Open Source (OS) – Frameworks zur Verfügung. Damit lassen sich verschiedenste Szenarien am Computer modellieren. Die Veröffentlichung der Quellcodes als OS ermöglicht es, Rückschlüsse auf die Qualität der Modelle zu ziehen und Gleichungen, Logiken und Organisationsformen in die Analyse miteinzubeziehen. In open\_MODEX werden bekannte offene Frameworks einem theoretischen Vergleich unterzogen sowie bezüglich ihrer Berechnungsergebnisse verglichen. Das Vorhaben ist Teil des vom BMWi mit 5,25 Millionen Euro geförderten thematischen Verbunds MODEX mit insgesamt sechs Modellexperimenten aus unterschiedlichen Themenbereichen, welche zur Qualitätssicherung und Transparenz systemanalytischer Modellierung beitragen sollen.

**Zuwendungsempfänger:** Reiner Lemoine Institut gGmbH und vier weitere Verbundpartner

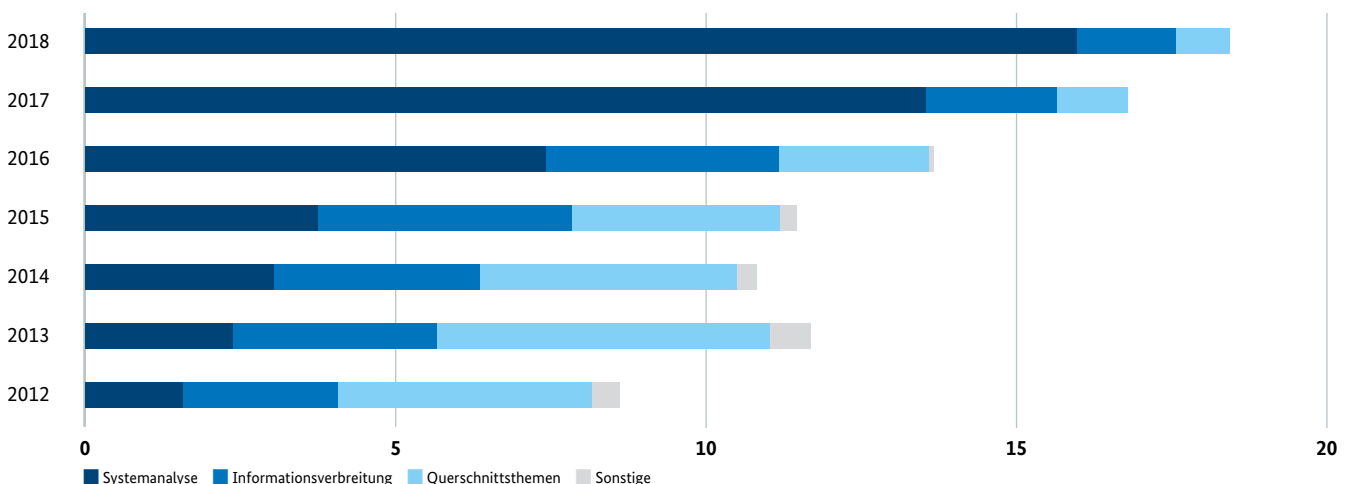
**Förderkennzeichen:** 03ET4076A-E

**Fördermittelansatz:** rund 970.000 Euro

**Projektlaufzeit:** 2019–2021

Abbildung 13: Fördermittel für Systemanalyse und Querschnittsthemen in Mio. €

(Daten siehe Tabelle 4)



### 2.4.2 Digitalisierung

Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) entwickeln sich rasant weiter. Daher kommen IKT eine zentrale Rolle dabei zu, die Herausforderungen der Energiewende, wie die zunehmende Dezentralisierung und Flexibilisierung, zu meistern. Forschung und Entwicklung konzentrieren sich auf Internet of Things, Big Data Analytics, Künstliche Intelligenz, IKT-Sicherheit und Resilienz, Datenhandling und -schutz, Simulationsmethoden, Mensch-Maschine-Interaktion, Robotik, Open-Science sowie digitale Geschäftsmodelle. Ebenso werden Energietechnologien an neue IKT angepasst, etwa 5G, Cloud-Computing, Quantencomputer oder Blockchain. Bei der Digitalisierung handelt es sich um ein Querschnittsthema, das sich über alle Teilbereiche der Energieforschung erstreckt.



#### DECENT – Dezentrales sektorübergreifendes Energie-Management

*Dynamische und stabile Energieverteilungsnetze für intelligente Nachbarschaften*

Strom und Wärme aus Erneuerbare-Energien-Anlagen werden oft dezentral, etwa in Wohn- und Industriegebieten, erzeugt und gespeichert. Daher verfügt insbesondere der Gebäudebereich über großes Potenzial, die Energieversorgung und das Energiemanagement effizienter und ressourcenschonender zu gestalten. Allerdings fehlt an vielen Stellen die notwendige Infrastruktur, um Wärme, Strom und Speicher gemeinsam zu nutzen und zu verwalten. Ziel des Projekts DECENT ist es daher, eine IKT-Lösung zu schaffen, die den lokalen, aber dezentralen Energiehandel mittels Blockchain-Technologie ermöglicht und dabei die Interessen aller Akteure berücksichtigt. Darauf aufbauend sollen dann neue Geschäftsmodelle entwickelt und bewertet werden. Dazu gehört auch die Evaluierung des derzeitigen Rechtsrahmens. Anschließend wird das Forschungsteam die Optimierungsempfehlungen den politischen Entscheidungsträgern zur Verfügung stellen. Das Vorhaben wird im Rahmen einer deutsch-finnischen Förderinitiative in Kooperation mit finnischen Industrie- und Forschungspartner durchgeführt.

**Zuwendungsempfänger:** TU München und drei weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 0350024A-C, E

**Fördermittelansatz:** rund 740.000 Euro

**Projektlaufzeit:** 2018–2020

### 2.4.3 Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende

Das Thema Ressourceneffizienz im Kontext der Energiewende wurde im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms in den Fokus gerückt. Forschungsprojekte in diesem Themenspektrum sollen helfen, strategisch wichtige und begrenzt verfügbare Rohstoffe zu schützen und deren Verwendung nachhaltiger zu gestalten. Zudem sollen Prinzipien des zirkulären Wirtschaftens (Circular Economy) in Zukunft bei allen Förderprojekten mitgedacht werden. Darüber hinaus sollen auch Projekte gefördert werden, die Ressourceneffizienz aus einer übergeordneten Sicht beleuchten. Bereits im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms haben einzelne Projekte das Thema adressiert. Zum Beispiel untersucht das Projekt KoReMo, wie bei der Herstellung von Solarzellen der Einsatz seltener Erden (etwa Indium) reduziert werden könnte.

### 2.4.4 Carbon2Chem und weitere CO<sub>2</sub>-Technologien

Auch CO<sub>2</sub>-Technologien sind ein neuer systemübergreifender Forschungsbereich im 7. Energieforschungsprogramm. Ein wichtiger Fokus liegt auf der Fragestellung, wie industrielle Prozesse, die sich nur sehr schwer dekarbonisieren lassen, dennoch klimafreundlich werden können. Dies ist beispielsweise durch die Nutzung von in solchen Prozessen entstehendem CO<sub>2</sub> („Carbon Capture and Utilization“ – CCU) für die Herstellung von langlebigen Produkten möglich. Aber auch weitere Themen wie die direkte Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus der Luft und übergreifende Fragestellungen zur Entwicklung einer CO<sub>2</sub>-Kreislaufwirtschaft werden adressiert. Insbesondere das Thema CCU wurde auch schon im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms adressiert. Hier ist insbesondere die Forschungsinitiative Carbon2Chem hervorzuheben.

## Carbon2Chem – CO<sub>2</sub>-Reduzierung durch cross-industrielle Kooperation der Stahl-, Chemie- und Energiebranche

*CO<sub>2</sub>-Reduktion durch Nutzung von Hüttengasen aus Stahlwerken zur Produktion von chemischen Grundstoffen*

Unter der Leitung von thyssenkrupp, dem Fraunhofer-Institut UMSICHT und dem Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion (MPG-CEC) erforschen im BMBF-Vorhaben Carbon2Chem 17 Partner aus Wissenschaft und Industrie, wie sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Stahlwerken klimarelevant senken lassen. Statt die Abgase aus der Stahlherstellung in die Atmosphäre zu emittieren, sollen die wertvollen in den Hüttengasen enthaltenen Rohstoffe aufbereitet und zur Herstellung von chemischen Grundstoffen wie Ammoniak, Methanol oder Polymeren genutzt werden. Stahlwerk, chemische Produktionsanlagen und Energieerzeugungsanlagen werden dazu in einem optimierten cross-industriellen Verbund zusammengeschlossen. Bis zu 20 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr sollen auf diese Weise 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.

Im bisherigen Projektverlauf konnte die komplexe Prozess- und Anlagensimulation des cross-industriellen Verbunds als verteilte Co-Simulation bereits weitgehend realisiert werden. Zudem verfügt das Projekt im Technikum am Standort des Duisburger Stahlwerks inzwischen über eine Carbon2Chem-Pilotanlage, die einen 2-MW-Elektrolyseur zur Produktion von Wasserstoff, eine Gasreinigung für die Hüttengase sowie Labore und Testanlagen für verschiedene chemische Produktströme beinhaltet. Pünktlich zur Eröffnung des Technikums im September 2018 konnte dort die weltweit erste Produktionsanlage für Methanol aus Hüttengasen in Betrieb genommen werden. Im November 2018 fand in Berlin die „2. Konferenz zur nachhaltigen chemischen Konversion in der Industrie“ statt, auf der die Projektergebnisse der Öffentlichkeit präsentiert und mit den Konferenzteilnehmern diskutiert wurden.

Im Rahmen des im selben Themenfeld geförderten BMBF-Projekts MACOR, das als Alternative zu Carbon2Chem die großtechnische Integration von Direktreduktionsanlagen in einen bestehenden Hüttenprozess technisch und wirtschaftlich in einer Machbarkeitsstudie bewertet, erfolgten nach Abschluss der Modellierungsarbeiten für das bestehende Hüttenwerk erste Untersuchungen zu den Auswirkungen des Direktreduktionsverfahrens auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen und den spezifischen Energieaufwand. Diese umfassten sowohl Materialanalysen von direkt reduziertem Eisen (DRI) als



auch die Entwicklung eines Modells zur Wirtschaftlichkeitsberechnung.

**Clusterkoordinatoren:** thyssenkrupp AG, Fraunhofer-Institut UMSICHT, Max-Planck-Institut für chemische Energiekonversion, MPI-CEC

### Cluster aus 7 Verbundprojekten (L0–L6)

**L0 – Systemintegration:** thyssenkrupp AG, Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion (MPI-CEC), Fraunhofer-Institut für Umwelt, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Siemens AG

**L1 – Wasserelektrolyse im nicht stationären Betrieb:** thyssenkrupp AG, Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT)

**L2 – Nachhaltige Methanolproduktion:** Nouryon Akzo Nobel Chemicals GmbH, Ruhr-Universität Bochum (RUB), FhG-UMSICHT, MPI-CEC, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Clariant Produkte (Deutschland) GmbH, thyssenkrupp AG

**L3 – Gasreinigung:** Linde AG, RUB, Clariant Produkte (Deutschland) GmbH, FhG-UMSICHT, MPI-CEC, thyssenkrupp AG

**L4 – Höhere Alkohole:** EVONIK Resource Efficiency GmbH, RUB, FhG-UMSICHT, RWTH Aachen – Institut für Technische und Makromolekulare Chemie, thyssenkrupp AG

**L5 – Polymere:** Covestro Deutschland AG, MPI-CEC, RWTH Aachen Catalytic Center, Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, RWTH Aachen – Lehrstühle für Fluidverfahrenstechnik, Technische Thermodynamik und Technische und Makromolekulare Chemie

**L6 – Oxymethylether:** BASF SE, Volkswagen AG, Linde AG, FhG-UMSICHT, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Institut für Katalyseforschung und -technologie, thyssenkrupp AG

**Förderkennzeichen:** 03EK3037-03EK3043

**Fördermittelansatz:** rund 63,3 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2016–2020

## MONIKA – Methanol aus Strom und CO<sub>2</sub> einer Abfallverbrennungsanlage

*Müllverbrennungsanlagen könnten als Stromspeicher genutzt werden.*

Müllverbrennungsanlagen (MVA) setzen durch den Verbrennungsprozess Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) frei. Im Forschungsprojekt MONIKA untersuchen Experten, inwiefern es wirtschaftlich und technisch möglich ist, bestehende Anlagen so nachzurüsten, dass Methanol aus Strom und CO<sub>2</sub> hergestellt werden kann. Konkret würde der in der MVA produzierte

Strom (teilweise) genutzt, um mittels Elektrolyse Wasserstoff herzustellen. Dieser reagiert mit dem zuvor aus dem Rauchgas abgetrennten CO<sub>2</sub> zu Methanol. Das Verfahren böte Anlagenbetreibern die Möglichkeit, den Strom zwischenspeichern, wenn die Netze überlastet sind. Ein weiterer Vorteil: Methanol kann als Betriebsstoff sowohl in der Industrie als auch im Verkehrssektor eingesetzt werden.

**Zuwendungsempfänger:** TU Darmstadt

**Förderkennzeichen:** 03ET7089

**Fördermittelansatz:** rund 370.000 Euro

**Projektlaufzeit:** 2017–2019

### 2.4.5 Energiewende und Gesellschaft

Die Entwicklung von zukunftsfähigen Energietechnologien und innovativen Konzepten verändert nicht nur das Energiesystem sondern auch das alltägliche Leben. Wie kann Energieforschung dazu beitragen, dass sich diese Veränderungen möglichst positiv auswirken und die Wünsche und Vorstellungen der Bürgerinnen und Bürger berücksichtigen? Dieser Frage widmet sich im 7. Energieforschungsprogramm das Querschnittsthema Energiewende und Gesellschaft. Fokus dieses Förderschwerpunkts sind Forschungsvorhaben mit system- und technologieübergreifendem Charakter. Diese können etwa sektorübergreifende Analysen gesellschaftlicher Rahmenbedingungen oder die sozio-ökonomische Untersuchung von Maßnahmen zum Strukturwandel in traditionellen Energieregionen sein. Bereits im 6. Energieforschungsprogramm haben einzelne Projekte solche Fragen adressiert: So untersucht die Begleitforschung der Förderinitiative „Energiewende im Verkehr“, unter welchen Umständen strombasierte Kraftstoffe akzeptiert werden oder auf Ablehnung stoßen.

### 2.4.6 Materialforschung für die Energiewende

Mit dieser Fördermaßnahme verfolgt das BMBF das Ziel, Grundlagenforschung zu Materialien auf aktuelle Herausforderungen der Energiewende auszurichten. Hierbei werden die Ansprüche an Materialien aufgrund einer überwiegend auf erneuerbaren Quellen basierenden Energieversorgung

mit einem bewusst breiten Ansatz adressiert. In drei Förderphasen wurden insgesamt 149 Vorhaben in 38 Verbänden, einem Einzelvorhaben und sieben Nachwuchsgruppen mit etwa 96 Millionen Euro gefördert. Die vielfältigen Herausforderungen umfassen energieeffiziente Bauteile genauso wie thermisch beanspruchte Bauteile in Kraftwerken, Speicher für Strom und Wärme oder Hochleistungsmaterialien für Windkraft und Solaranlagen.

Diese Vorhaben erarbeiteten vielfältige wesentliche wissenschaftliche Fortschritte: Es wurden Wirkungsgradweltrekorde für Perowskit-basierte Solarzellen („MeSa-Zuma“) sowie bei der solaren Wasserspaltung mit Metalloxiden („MeOx4H2“) erreicht. Besonders für Perowskit-Solarzellen konnte durch eine Kooperation zwischen Forschern und der Industrie wesentliche Schritte in Richtung Marktreife eingeleitet werden; ein gemeinsames Patent wurde bereits angemeldet („MeSa-Zuma“). Bei der stationären und mobilen Wasserstoffspeicherung erlangte „HySCORE“ einen Durchbruch bei der Materialstabilität. „NEMEZU“ entwickelte ein edelmetallfreies Katalysatorsystem welcher über dem Einsatz in Brennstoffzellen hinaus von Bedeutung für Batteriesysteme und Elektrolyseure werden könnte.

Dem weiterhin hohen Forschungsbedarf zu Materialien und ihrem Einsatz in Technologien mit Relevanz für die Energiewende wird konsequent im 7. Energieforschungsprogramm Rechnung getragen (siehe Kapitel 4.4.6 im 7. Energieforschungsprogramm).

### Nachwuchsgruppe Mechanocarb – Mechanochemie als nachhaltiges Prinzip zur Synthese und Funktionalisierung nanostrukturierter Kohlenstoffmaterialien in der elektrochemischen Energiespeicherung

*Die Nachwuchsgruppe Mechanocarb will ein ressourcen-, energie- und zeiteffizientes Prinzip zur Herstellung poröser kohlenstoffbasierter Energiespeichermaterialien etablieren.*

Als Elektrodenmaterial in Superkondensatoren, Lithium-Schwefel-(Li-S-)Batterien oder Brennstoffzellen haben poröse, nanostrukturierte Kohlenstoffe eine besondere Bedeutung. Ihre Syntheseverfahren sind jedoch oft mehrstufig und produzieren große Mengen Abfall. Daher sind sie bisher nicht marktfähig (Spitzenreitermaterialien kosten bis zu 10.000 Euro/Kilogramm). Es entsteht bei der Synthese fünf- bis 50-fach mehr (toxischer) Abfall als vom gewünschten Endprodukt. Das neue Verfahren soll die ökonomischen und ökologischen Anforderungen der Energiewende erfüllen. Daher ist nicht nur die Entwicklung besserer Hochleistungsmaterialien notwendig, sondern auch die Erforschung nachhaltiger, kosten-, ressourcen- und energieeffizienter Synthesewege. Die Nachwuchsgruppe Mechanocarb will die Mechanochemie als einen solchen Syntheseweg zur Funktionalisierung poröser kohlenstoffbasierter Elektrodenmaterialien etablieren. Die Forscherinnen und Forscher erwarten, dass mit dieser Methode zur Synthese von zukünftigen Energiespeichermaterialien die Kosten von Hochleistungsmaterialien auf unter 100 Euro/Kilogramm gesenkt werden könnten, was einen möglichen Markteintritt unterstützen würde.

**Zuwendungsempfänger:** TU Dresden

**Förderkennzeichen:** 03SF0498

**Fördermittelansatz:** rund 2,2 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2015–2020

### 2.4.7 Kopernikus-Projekte für die Energiewende

Die auf zehn Jahre angelegten missionsorientierten Kopernikus-Projekte bearbeiten die Schlüsselthemen Netzstrukturen, Speicherung, 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 Jahr 2018 sind die Kopernikus-Projekte in die zweite Hälfte der ersten Förderphase eingetreten und haben erste Erfolgsgeschichten gemeldet.

Im Kopernikus-Projekt ENSURE entstanden Storylines für mögliche Energieszenarien, bei denen die Aspekte Klimaschutz, Dezentralität, Elektrifizierung und europaweite Kooperation in unterschiedlicher Ausprägung berücksichtigt wurden. Darüber hinaus entstanden technische Innovationen, wie das Digital System Protection Design (DSPD), das unterschiedliche Schutzkonzeptvarianten automatisiert erstellt und dadurch die Stromnetze sicherer macht.

Die Arbeiten in P2X haben das große Potenzial von Oxymethylenethern (OME) für den Einsatz als sauberer synthetischer Kraftstoff in Dieselmotoren gezeigt. Daher werden die Aktivitäten aus P2X in der neuen Forschungsinitiative NAMOSYN (Projektstart Frühjahr 2019) weiterentwickelt. Aus dem Kopernikus-Projekt P2X ging zudem das Satellitenprojekt „Rheticus“ hervor, in dem Kohlendioxid mithilfe von Bakterien und Strom aus erneuerbaren Quellen in Spezialchemikalien umgewandelt wird. Die vielversprechenden Ergebnisse der Verbundpartner machten eine schnelle Umsetzung der P2X-Technologie zur Marktreife möglich.

Um bereits in einer frühen Projektphase erste Erfahrungen bei der Umsetzung von Flexibilitätsmaßnahmen zu sammeln, wurden im Kopernikus-Projekt SynErgie zwei sogenannte „Fast Tracks“ integriert. Am Beispiel der Aluminiumherstellung und der Luftzerlegung werden von verschiedenen Unternehmen Demonstratoren aufgebaut. Die Partner konnten bereits zeigen, dass die Leistung eines Elektrolyseofens zur Aluminiumherstellung im laufenden Betrieb kurzfristig um rund 18 Megawatt reduziert bzw. erhöht werden kann. Darüber hinaus hat SynErgie das zukünftige Potenzial zur Flexibilisierung von Industrieprozessen abgeschätzt. Es zeigt sich, dass in einem Zeitraum von 15 Minuten die elektrische Last um bis zu 2,5 Gigawatt reduziert und um 1,1 Gigawatt erhöht werden könnte. Dies würde das Stromnetz in gleicher Weise stabilisieren wie das größte deutsche Pumpspeicherkraftwerk oder zwei Gaskraftwerke.

Die Energiewende wird nach wie vor von fast 90 Prozent der deutschen Bevölkerung befürwortet. Das hat die Untersuchung zur sozialen Nachhaltigkeit der Energiewende unter Mitwirkung des Kopernikus-Projekts ENavi ergeben. Allerdings hält mehr als die Hälfte der Befragten ihre Umsetzung für teuer und ungerecht. Vorschläge und Strategien zur Umsetzung der Energiewende werden im Austausch mit Vertretern der Gesellschaft kontinuierlich geprüft. Dies ist ein wichtiger Bestandteil des ENavi-Konzepts.



### ENSURE – Neue EnergieNetzStruktUREn für die Energiewende

*Neue Netzstrukturen für ein ganzheitliches Energieversorgungssystem mit optimaler Verteilung von zentralen und dezentralen Versorgungselementen*

Im Kopernikus-Projekt ENSURE versuchen Wissenschaftler, Industrieunternehmen und zivilgesellschaftliche Organisationen die zukünftige elektrische Energieversorgung an die mit der Energiewende einhergehenden Veränderungen anzupassen. Ziel ist es, eine sinnvolle Struktur aus zentraler und dezentraler Versorgung zu identifizieren. Innerhalb des Vorhabens liegt der technische Fokus auf der Untersuchung neuer Systemstrukturen und Betriebsführungskonzepten sowie auf der Integration neuer Technologien in das Versorgungssystem. In einer späteren Förderphase sollen die Ergebnisse des Vorhabens im großtechnischen Maßstab realisiert werden und die Möglichkeiten für ein künftiges ganzheitliches Energieversorgungssystem demonstriert und erprobt werden. Alle Arbeiten werden durch eine umfassende Analyse der sozioökonomischen Einflüsse begleitet.

**Zuwendungsempfänger:** Karlsruher Institut für Technologie und 22 weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03SFK1A-X0

**Fördermittelansatz:** rund 29,7 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2016–2019



### P2X – Erforschung, Validierung und Implementierung von „Power-to-X“-Konzepten

*Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid für die Power-to-X-Prozesskette*

Im Kopernikus-Projekt Power-to-X werden in sechs Forschungsclustern Lösungen erforscht, mit denen sich mittels erneuerbarer Energien stoffliche Energieträger sowie chemische Produkte für die Sektoren Energie, Mobilität und Chemie herstellen lassen. Hier erforschen drei der Forschungscluster die Herstellung der Ausgangsstoffe Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid für die Power-to-X-Prozesskette unter Anwendung verschiedener Elektrollysetechnologien. Ein Forschungscluster untersucht die Speicherung sowie den Transport von Wasserstoff mittels flüssiger organischer Wasserstoffträger. Die verbleibenden zwei Forschungscluster beschäftigen sich mit der Umsetzung der Ausgangsstoffe zu den entsprechenden Zielprodukten. Ein Roadmapping-Prozess begleitet und validiert die Arbeiten der Cluster. Das Kopernikus-Projekt Power-to-X liefert somit einen wichtigen Fortschritt zur Energiewende in Deutschland.

**Zuwendungsempfänger:** RWTH Aachen und 41 weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03SF2KA-X0

**Fördermittelansatz:** rund 32,4 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2016–2019



### SynErgie – Synchronisierte und energie-adaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung

#### *Flexible Produktionsprozesse für die Industrie*

Ziel des Kopernikus-Projekts SynErgie ist es, die energieintensiven Produktionsprozesse der Industrie, zum Beispiel aus der Aluminium-, Papier- und Zementherstellung, und deren Energiebedarf mit dem schwankenden Angebot erneuerbarer Energien zu synchronisieren. Gelingt dies, können die Energieversorgungskosten der Industrie gesenkt, und der Anteil erneuerbarer Energien deutlich gesteigert werden. Um die Energienachfrage verschiedener Branchen zu flexibilisieren, bietet das sogenannte Demand-Side-Management (DSM) eine Chance, den Umbau des Energiesystems kosteneffizient und gesellschaftlich akzeptiert zu gestalten. Damit die Nachfrage flexibel auf das Angebot reagieren kann, spielen moderne Ansätze der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) eine entscheidende Rolle. Mithilfe von IKT wird die Energieverteilung zwischen den Industrieprozessen geregelt und dabei das schwankende Energieangebot berücksichtigt. Neben technischen und wirtschaftlichen Aspekten integriert SynErgie auch rechtliche und sozialgesellschaftliche Perspektiven in seine Lösungen.

**Zuwendungsempfänger:** TU Darmstadt und 57 weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03SFK3A-Z1

**Fördermittelansatz:** rund 34,1 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2016–2019



### ENavi – Energiewende-Navigationssystem

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

Im Projekt ENavi arbeiten über 60 Partner unter Leitung des Potsdamer Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) an der Umsetzung eines Forschungsprogramms, das die optimalen Pfade für die Umsetzung der Energiewende identifizieren will. Dabei werden neue Strategien für Bürger, Unternehmen, für Verbände, Kommunen und staatliche Organisationen entwickelt. Diese sollen in einer Kartierung zusammenfließen, die die Handlungsspielräume darstellt und Chancen und Risiken aufzeigt. Die breit angelegte Untersuchung erfolgt dabei über die Grenzen aller relevanten wissenschaftlichen Disziplinen hinweg und in engem Austausch mit Akteuren aus der Praxis. Dabei sind u.a. Nichtregierungsorganisationen, Wirtschaftsunternehmen, Stadtwerke und Gebietskörperschaften in die Projektarbeit einbezogen. Wichtige Hinweise auf die Praxistauglichkeit und die gesellschaftliche Anerkennung der Lösungen werden zudem in Reallaboren und ausgewählten Modellregionen gewonnen. In der Förderphase bis 2019 werden schwerpunktmäßig Strategien zur Transformation des Stromsystems, zur intelligenten Steuerung der Wärmeversorgung und zur Dekarbonisierung des Verkehrs erarbeitet.

**Zuwendungsempfänger:** Potsdamer Institute for Advanced Sustainability Studies IASS und 46 weitere Verbundpartner

**Förderkennzeichen:** 03SFK4A-Z1

**Fördermittelansatz:** rund 30,5 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2016–2019

## 2.5 Nukleare Sicherheitsforschung

### 2.5.1 Reaktorsicherheitsforschung

Die Sicherheit von Kernkraftwerken steht im Fokus der öffentlich geförderten Reaktorsicherheitsforschung. Es sollen abgesicherte Methoden und Werkzeuge entwickelt werden, die eine unabhängige Beurteilung der Sicherheit nuklearer Anlagen im In- und Ausland nach aktuellem Stand der Wissenschaft und Technik ermöglichen und zur Weiterentwicklung der Sicherheitsstandards beitragen. Angesichts des möglichen grenzüberschreitenden Charakters von Betriebsrisiken werden auch Reaktorkonzepte betrachtet, die sich von den in Deutschland noch bis 2022 betriebenen Anlagen unterscheiden oder sich international in Entwicklung befinden. Erhalt und Weiterentwicklung der dazu benötigten wissenschaftlich-technischen Kompetenz

sind gerade vor dem Hintergrund der Beendigung der kerntechnischen Stromerzeugung in Deutschland eine zentrale Motivation der Fördermaßnahme. Die Projektförderung im Bereich Reaktorsicherheitsforschung erfolgt federführend durch das BMWi und wird durch ein Programm zur Nachwuchsförderung des BMBF ergänzt.

Im Jahr 2018 hat das BMWi 136 laufende Vorhaben mit Fördermitteln von rund 20,75 Millionen Euro unterstützt sowie 26 Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von rund 16,93 Millionen Euro neu bewilligt (vgl. Abb. 14). Förderschwerpunkte lagen auf der Entwicklung und experimentellen Absicherung von Rechenprogrammen zur Beschreibungen der Abläufe im Reaktorkern, in den Kühlkreisläufen und im Sicherheitsbehälter, auf werkstoffwissenschaftlichen Untersuchungen sowie der Entwicklung von Methoden zur Integritätsbewertung von Gebäuden

#### MeKom – Experimentelle und numerische Untersuchungen zu Mehrfachrissen in Komponenten der druckführenden Umschließung

*Entwicklung und Validierung einer Methode zur Quantifizierung des Sicherheitsabstandes gegen Versagen von Komponenten mit Rissfeldern*

In großen Schmiedekomponenten können herstellungsbedingte Rissfelder durch Wasserstoffeinfluss entstehen. Untersuchungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass auch in Komponenten kerntechnischer Anlagen derartige Rissfelder enthalten sein können, wie die Befunde in den Reaktordruckbehältern der belgischen Anlagen Doel 3 und Tihange 2 zeigen. Im Verbundvorhaben MeKom soll eine Methodik zur Quantifizierung des Sicherheitsabstandes gegen Inte-

gritätsverlust von sicherheitsrelevanten Komponenten mit Rissfeldern entwickelt werden. Aus dem Versuchsprogramm des Vorhabens konnten belastbare Aussagen zur Interaktion von Einzelrissen in einem Rissfeld gewonnen werden. Die im Vorhaben erweiterten schädigungsmechanischen Modelle sind in der Lage, die Interaktion der Risse in Rissfeldern zu beschreiben. In einem Anschlussvorhaben sollen vertiefte Untersuchungen zur Bewertung von rissfeldbehafteten Bauteilen erfolgen.

**Zuwendungsempfänger:** Universität Stuttgart und RWTH Aachen

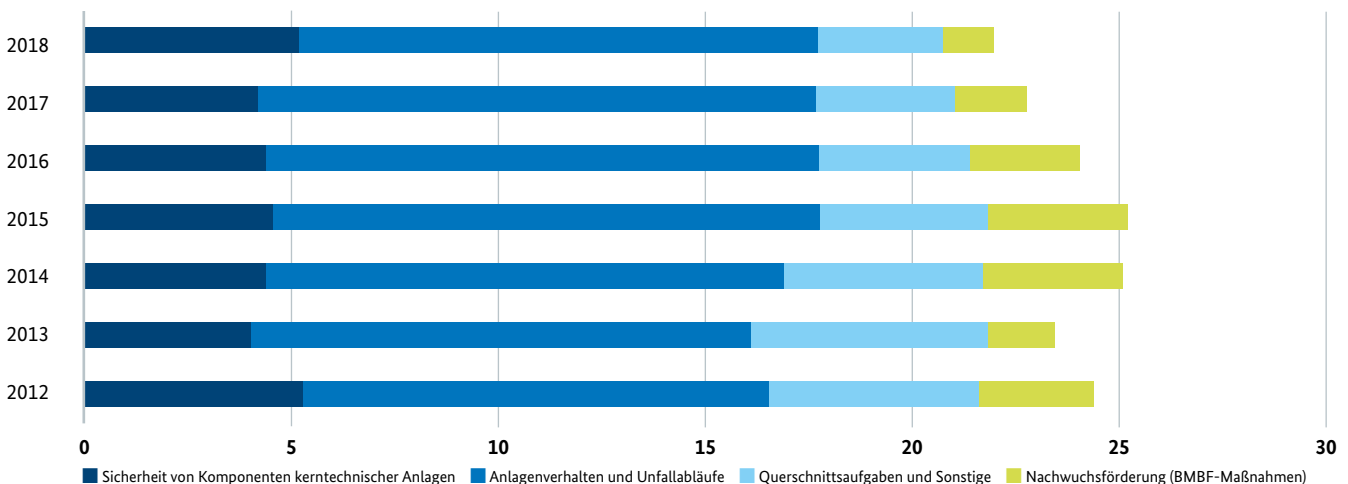
**Förderkennzeichen:** 1501513A-B

**Fördermittelansatz:** rund 1,2 Millionen Euro

**Projektlaufzeit:** 2015–2019

Abbildung 14: Fördermittel für Reaktorsicherheitsforschung in Mio. €

(Daten siehe Tabelle 6)





und Komponenten, auf probabilistischen Methoden, Sicherheitsfragen digitaler Leittechnik sowie der Untersuchung der Einflüsse menschlichen Handelns und der Organisation auf die Sicherheit von Kernkraftwerken.

### 2.5.2 Entsorgungs- und Endlagerforschung

Die in den vergangenen Jahrzehnten durchgeführten Fördermaßnahmen haben dazu beigetragen, die wissenschaftlich-technischen Grundlagen für zukünftige Endlagerkonzepte und Sicherheitsnachweise zu schaffen. In den vergangenen Jahrzehnten wurden Forschungsaktivitäten zur Endlagerung hochradioaktiver Wärme entwickelnder Abfälle in allen Wirtsgesteinen durchgeführt. Wirtsgesteinsübergreifende Aspekte eines Endlagers wurden ebenfalls behandelt. Die Projektförderung des BMWi im Bereich der Entsorgungsforschung wird flankiert von der Forschungsförderung des BMBF, welches gezielt den Kompetenzerhalt im Zuge der Grundlagenforschung und Nachwuchsförderung unterstützt.

Im Jahr 2018 wurden zehn Vorhaben neu bewilligt, die das strategische Ziel der Erarbeitung wissenschaftlich-technischer Grundlagen für die Realisierung eines Endlagers sowie der Untersuchung der Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerung im Fokus haben. Die wissenschaftlichen Fortschritte lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Schaffung von Grundlagen und Bereitstellung von Modellierungswerkzeugen für geomechanische Standortmodelle,
- Verifizierung und Validierung der prädiktiven Analyse zur Standsicherheit und Integrität von Endlagern,
- Berechnung realistischer Verteilungskoeffizienten als Funktion wichtiger geochemischer Parameter (Smart-Kd-Konzept) und Prüfung der Übertragbarkeit auf andere geologische Formationen bzw. Transportcodes,
- Weiterentwicklung der Analyse von thermo-hydro-mechanisch-chemischen (THMC)-Prozessen im Hinblick auf die Prüfung der Integrität der technischen Barriere,
- Weiterentwicklung des Sicherheitsnachweises für ein Endlager im Steinsalz,
- Zusammenstellung der Anforderungen an stützende Ausbauten für ein Endlager im Wirtsgestein Ton,
- Erweiterung der Wissensbasis zu den Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle und Behälter.

Weiterhin wurde in laufenden Vorhaben Untersuchungen zu den Themen Safety Case, Systemverhalten, Monitoring, soziotechnischen Fragestellungen, Governance und Safeguards fortgesetzt.

## BASEL

*Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für wärmeentwickelnde Abfälle und der Langzeitsicherheit*

Die Führung eines Sicherheitsnachweises für ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente unterscheidet zwischen der Betriebs- und der Nachbetriebsphase. Im Sicherheitskonzept ist darzulegen, mit welchen technischen und organisatorischen Maßnahmen die Sicherheit während des Betriebes gewährleistet werden soll. Die Diskussion zur Vorgehensweise bei der Entwicklung eines Safety Case hat sich in der Vergangenheit sehr stark an der Langzeitsicherheit orientiert. Hierbei wurde vernachlässigt, dass der Ablauf der Betriebsphase den Ausgangszustand der Langzeitsicherheitsanalyse bestimmt. Gleichzeitig haben viele Anforderungen für den Nachweis der Langzeitsicherheit Auswirkungen auf das Konzept eines Endlagers. Im Rahmen des Vorhabens BASEL wird eine Vorgehensweise entwickelt, die eine nachvollziehbare Abwägung zwischen den Anforderungen an die Sicherheit während der Betriebsphase und der Langzeitsicherheit erlauben soll.

**Zuwendungsempfänger:** Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) / Braunschweig und BGE TECHNOLOGY GmbH / Peine

**Förderkennzeichen:** 02E11486A-B

**Fördermittelansatz:** rund 645.000 Euro

**Projektlaufzeit:** 2016–2019

2.5.3 Strahlenforschung

Der Schwerpunkt der Förderung des BMBF zur Nuklearen Sicherheits- und Strahlenforschung liegt auf der Strahlenforschung. Auf dem Gebiet der Strahlenforschung wurden 2018 zu strahlenbiologischen, strahlenmedizinischen und radioökologischen Fragestellungen 16 Verbünde mit 53 Einzelprojekten gefördert. Die Struktur der Verbundprojekte hat die interdisziplinäre Zusammenarbeit forciert und die Bearbeitung selbst sehr komplexer Fragestellungen ermöglicht. Insgesamt unterstützte das BMBF 2018 damit circa 150 Nachwuchswissenschaftler und -Wissenschaftlerinnen in ihrer Ausbildung und hat somit substantiell zum Kompetenzerhalt beigetragen.

An verschiedenen Universitäten und Forschungsinstitutionen konnten zudem neue und attraktive Lehrprogramme etabliert werden. Aus den projektgeförderten Forschungsvorhaben erschienen zahlreiche Publikationen in hochrangigen Fachzeitschriften und Journalen. In den Forschungsverbänden wurden gesellschaftlich sehr relevante sowie wissenschaftlich hoch aktuelle Themen bearbeitet. Dabei konnte eine Vielzahl an herausragenden Ergebnissen erzielt werden. Mit diesen Ergebnissen tragen die Verbünde dazu bei, dass in Deutschland für die Bevölkerung weiterhin ein effizienter Strahlenschutz sowie eine optimale und erfolgreiche Anwendung von Strahlung in der Medizin gewährleistet ist. Im Jahr 2018 wurden auf dem Gebiet der Strahlenforschung Forschungsvorhaben mit Fördermitteln in Höhe von etwa 7,9 Millionen Euro unterstützt (vgl. Abb. 15).

**Verbundprojekt DNA-Reparaturfoci – DNA-Reparaturfoci als Marker der individuellen Strahlenempfindlichkeit**

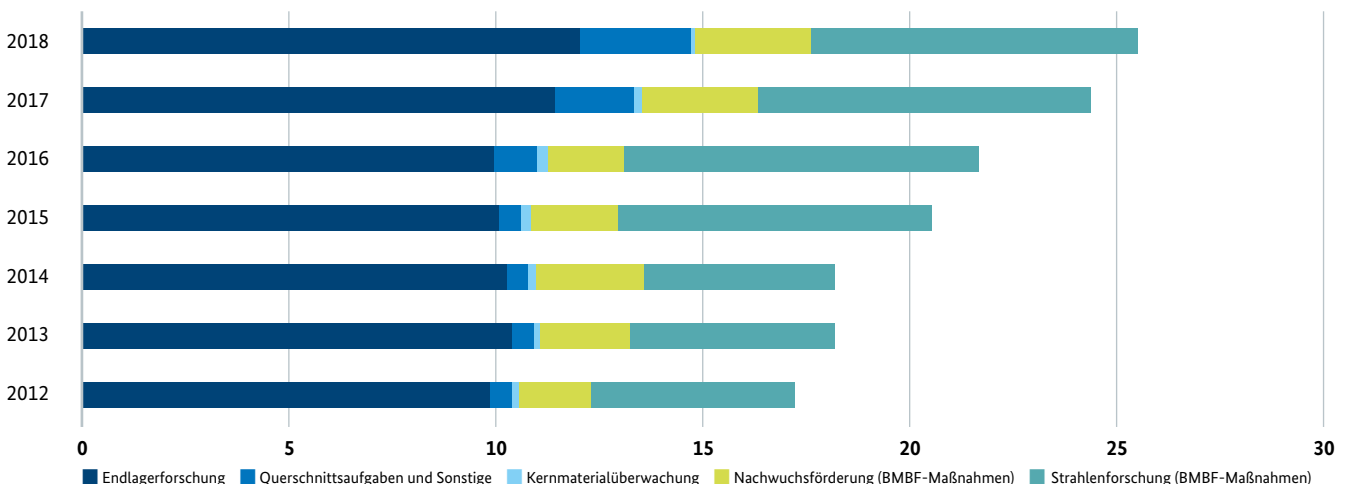
*Etablierung von Reparaturfoci als Marker der individuellen Strahlenempfindlichkeit*

Der biologische Effekt einer Strahlenexposition kann selbst bei gleicher physikalischer Dosis erheblich variieren, da es große Unterschiede in der individuellen Strahlenempfindlichkeit gibt. Mit diesem Forschungsverbund sollen spezifische DNA-Reparaturfoci (RF), wie sie bei der Reparatur von DNA-Doppelstrangbrüchen (DSB) gebildet werden, als biologische Marker der individuellen Strahlenempfindlichkeit etabliert und validiert werden. Hierfür wurden von

50 Tumorpatienten insgesamt über 100 Proben mittels einer Biopsie entnommen, im Labor bestrahlt und analysiert. Anhand einer speziellen Färbung kann jetzt erstmalig bestimmt werden, bei welchen Prostatakarzinomen die Strahlentherapie besonders anspricht. Vor allem wissen die Forschenden jetzt, womit die Strahlentherapie kombiniert werden muss, damit ihre Wirkung allein im Tumor und nicht im anliegenden Normalgewebe verstärkt wird.

**Zuwendungsempfänger:** Universität des Saarlandes (UKS) und vier weitere Verbundpartner  
**Förderkennzeichen:** 02NUK035A-E  
**Fördermittelansatz:** rund 4,1 Millionen Euro  
**Projektlaufzeit:** 2014–2020

Abbildung 15: Fördermittel für Endlager-, Entsorgungsforschung und Strahlenforschung in Mio. € (Daten siehe Tabelle 6)





## 3. Institutionelle Energieforschung

### 3.1 Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft

Viele der in Deutschland institutionell geförderten Forschungseinrichtungen beschäftigen sich mit der Energiewende und neuen Energietechnologien. Aufgrund der engen Abstimmung zwischen Forschungszentren und Zuwendungsgebern im Rahmen der programmorientierten Förderung ist der Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft Teil des Energieforschungsprogramms. Fachleute im Forschungsbereich Energie sollen dazu beitragen, die großen Herausforderungen von Klimaschutz und Energiesystemtransformation zu bewältigen. Im Rahmen seiner Forschungsprogramme entwickelt der Forschungsbereich Energie tragfähige Lösungen für die Energiewende in Deutschland und für den nachhaltigen Umbau der Energieversorgung weltweit. Sowohl grundlagen- als auch anwendungsorientierte Forschung wird hier institutionell gefördert, wobei auch die grundlegenden Arbeiten einen deutlichen Bezug zu konkreten Energieanwendungen aufweisen sollen.

Der Forschungsbereich Energie zeichnet sich durch zwei Alleinstellungsmerkmale aus:

1. Die energieforschenden Helmholtz-Zentren verfügen erstens über langfristig finanzierte, teils weltweit einmalige große Forschungsinfrastrukturen, die nachhaltig für eigene Aktivitäten genutzt sowie Externen, auch aus der Wirtschaft, zur Verfügung gestellt werden. Mit diesen attraktiven Infrastrukturen sind die Helmholtz-Zentren gefragte Partner für Forschungseinrichtungen aus aller Welt, Universitäten im regionalen, nationalen und internationalen Umfeld sowie Unternehmen.
2. Zweitens besitzen die Fachleute des Forschungsbereichs durch die Strukturen der Helmholtz-Gemeinschaft die Möglichkeit, die komplexen Fragestellungen der Energieversorgung ganzheitlich, das heißt im Systemzusammenhang sowie entlang von Prozess- und Wertschöpfungsketten zu bearbeiten. In den Forschungsprogrammen führen sie ihre breit gefächerten Expertisen

zusammen. Von Januar bis April 2018 wurde der Forschungsbereich Energie einer umfassenden und detaillierten wissenschaftlichen Evaluation unterzogen. Hierzu haben Gutachter, international renommierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die Zentren zunächst auf Grund der schriftlichen Unterlagen begutachtet und dann mehrere Tage lang vor Ort untersucht. Insgesamt haben 107 Personen die wissenschaftliche Qualität der Forschungsarbeiten bewertet. Zudem wurden die Fortschritte in Bezug auf die Erreichung der Ziele der dritten Periode der programmorientierten Förderung geprüft. Insgesamt zeigten sich die Gutachter sehr beeindruckt vom Stand der Wissenschaft und insbesondere von den Forschungsinfrastrukturen der energieforschenden Zentren. Die umfangreichen Ergebnisse der Begutachtung wurden in sechs Zentrumsberichten sowie sieben Programmberichten zusammengefasst. Die differenzierte Bewertung und die detaillierten Anregungen der Gutachten erweisen sich als sehr wertvoll für die Weiterentwicklung der Energieforschung in den Helmholtz-Zentren.

Ähnliche Begutachtungen wurden in allen Forschungsbereichen der HGF durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in den Gremien der Helmholtz-Gemeinschaft und mit den Zuwendungsgebern ausführlich diskutiert. Für den Forschungsbereich Energie bildeten sie zusammen mit dem 7. Energieforschungsprogramm die Grundlage für die Ende 2018 vereinbarten forschungspolitischen Ziele der kommenden vierten Periode der programmorientierten Förderung. In den forschungspolitischen Zielen wurde unter anderem vereinbart, dass der Forschungsbereich Energie bei den Themen Materialforschung und Digitalisierung mit anderen Forschungsbereichen zusammenarbeiten wird. Zudem soll der Transfer von Innovationen und wissenschaftlichen Erkenntnissen in Wirtschaft und Gesellschaft verstärkt werden. Zudem wurde die Themenstruktur von zukünftig nur noch vier Programmen festgelegt.

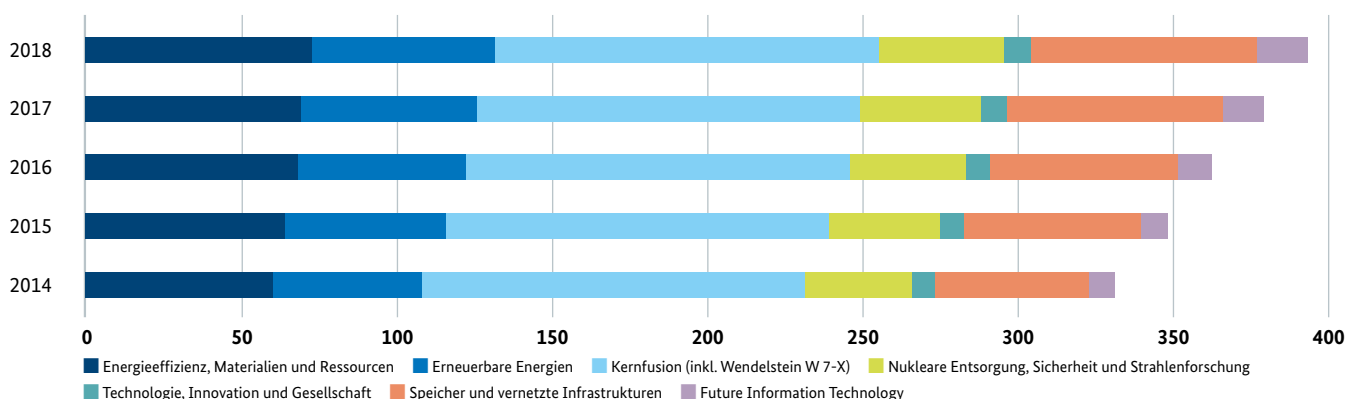
Auf Basis der vereinbarten Ziele werden die Zentren bis Herbst 2019 Programmanträge entwickeln. Im Oktober 2019 erfolgt die strategische Begutachtung dieser Anträge durch ein hochrangig besetztes internationales Expertengremium. Die Ergebnisse der strategischen Bewertung sowie die Passgenauigkeit zu den forschungspolitischen Zielen der vierten Programmperiode bilden dann die Grundlage für die Finanzierungsempfehlungen an die Zuwendungsgeber in Bezug auf die vierte Periode der programmorientierten Förderung, die 2021 beginnen soll. Der Mitteleinsatz im Forschungsbereich Energie ist in Tabelle 7 dargestellt.

### 3.2 Fusionsforschung

Im Rahmen der programmorientierten Förderung der HGF wird im Bereich der anwendungsorientierten Grundlagenforschung auch Fusionsforschung betrieben. Die Erforschung der Fusionsenergiegewinnung hat das Ziel, langfristig eine nicht auf fossile Brennstoffe angewiesene, verlässliche und wirtschaftliche Energiequelle zu erschließen. Aufgrund der weltweit steigenden Energienachfrage ist es aus Sicht der Bundesregierung erforderlich, eine breite Palette von Optionen für die künftige Energieversorgung zu erforschen. Mit seinem herausragenden wissenschaftlichen Know-how in der Fusionsforschung hat Deutschland auch eine globale Verantwortung dafür, das Verständnis von Hochtemperatur-Plasmen und Fusionsprozessen voranzutreiben und dieses Know-how der Welt zur Verfügung zu stellen. Gelingt der Schritt in die Anwendung, wird Fusionsenergie voraussichtlich erst nach 2050 verfügbar sein.

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

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





## 4. Weitere energierelevante Förderaktivitäten

### 4.1 Förderaktivitäten der Länder

Im Auftrag des BMWi führt der PtJ seit 2008 eine jährliche Erhebung zu den finanziellen Aufwendungen der Länder für die nichtnukleare Energieforschung durch (vgl. Abb. 17). Der vorliegenden Umfrage für das Jahr 2017 zufolge belaufen sich die Aufwendungen der Länder für die Energieforschungsförderung insgesamt auf knapp 282 Millionen Euro.

Maßnahmen zur Förderung der Energieeffizienz bilden im Jahre 2017 mit Gesamtaufwendungen in Höhe von 152,7 Millionen Euro den übergreifenden Förderschwerpunkt der Länder.

Die detaillierte Betrachtung der Schlüsseltechnologien zeigt (vgl. Abb. 18), dass die Förderung der Elektromobilität mit 21,4 Millionen Euro im Vergleich zu 2016 noch leicht ausgebaut werden konnte. Die finanzielle Unterstützung für das Forschungsfeld Stromnetze bewegt sich mit 4,8 Mil-

lionen Euro deutlich über dem Vorjahresniveau, während die Förderung der Energiespeicher (18,3 Millionen Euro) leicht rückläufig ist.

Die Forschungsförderung im Bereich Regenerative Energien summiert sich insgesamt auf 129 Millionen Euro und ist damit im Vergleich zum Vorjahr leicht angestiegen. Die technologische Förderung der Photovoltaik nimmt dabei mit 13,2 Millionen Euro den höchsten Stellenwert ein und wird in Niedersachsen (3,8 Millionen Euro) und Bayern (3,4 Millionen Euro) am stärksten gefördert. Die Biomasseforschung (13 Millionen Euro) erfährt allen voran in Bayern mit 7,5 Millionen Euro eine intensive finanzielle Unterstützung. Die Forschungsförderung im Bereich Windenergie konnte leicht ausgebaut werden und liegt 2017 bei 4,9 Millionen Euro. Forschungsaktivitäten zur Geothermie werden auf Länderebene mit 3,5 Millionen Euro finanziert und beschränken sich im Wesentlichen auf die Länder Bayern (1,6 Millionen Euro) und Baden-Württemberg (1,1 Millionen Euro).

Abbildung 17: Aufwendungen für die nichtnukleare Energieforschung nach Ländern 2008–2017 in Mio. €  
(Daten siehe Tabelle 8)

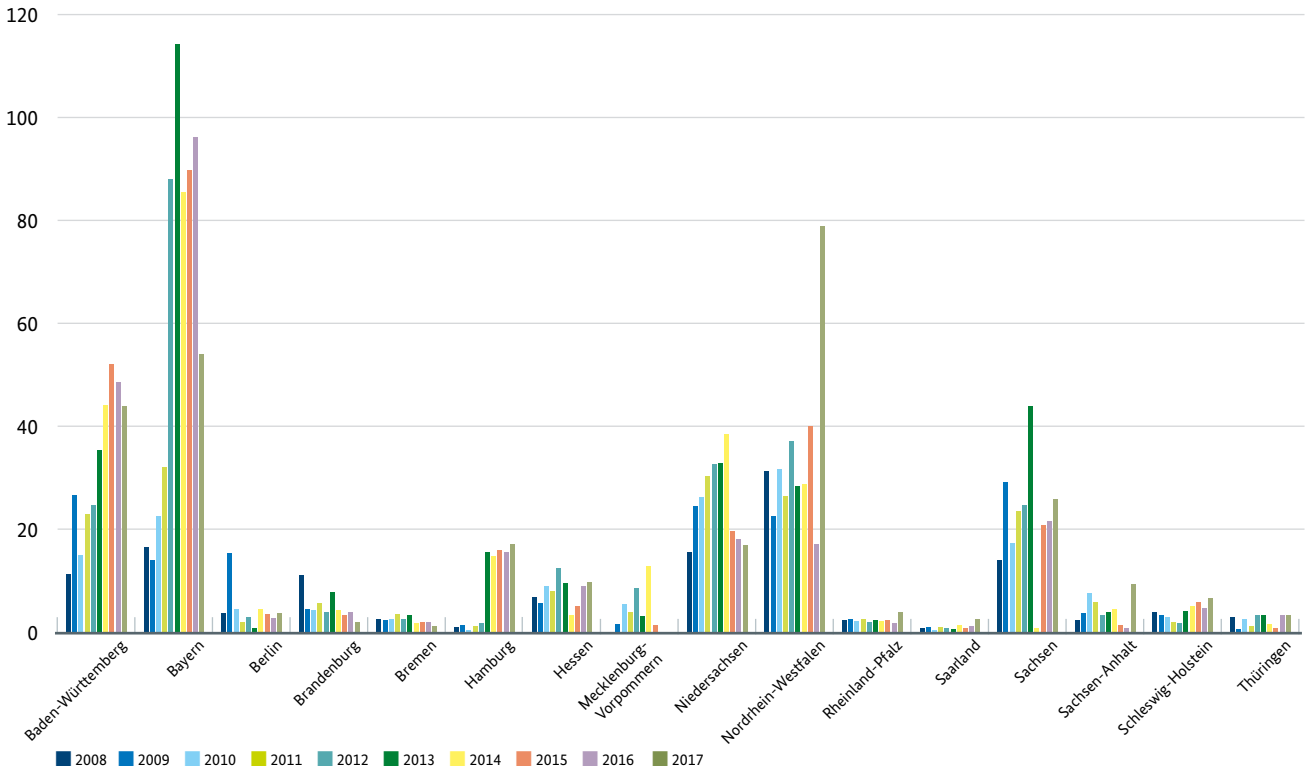
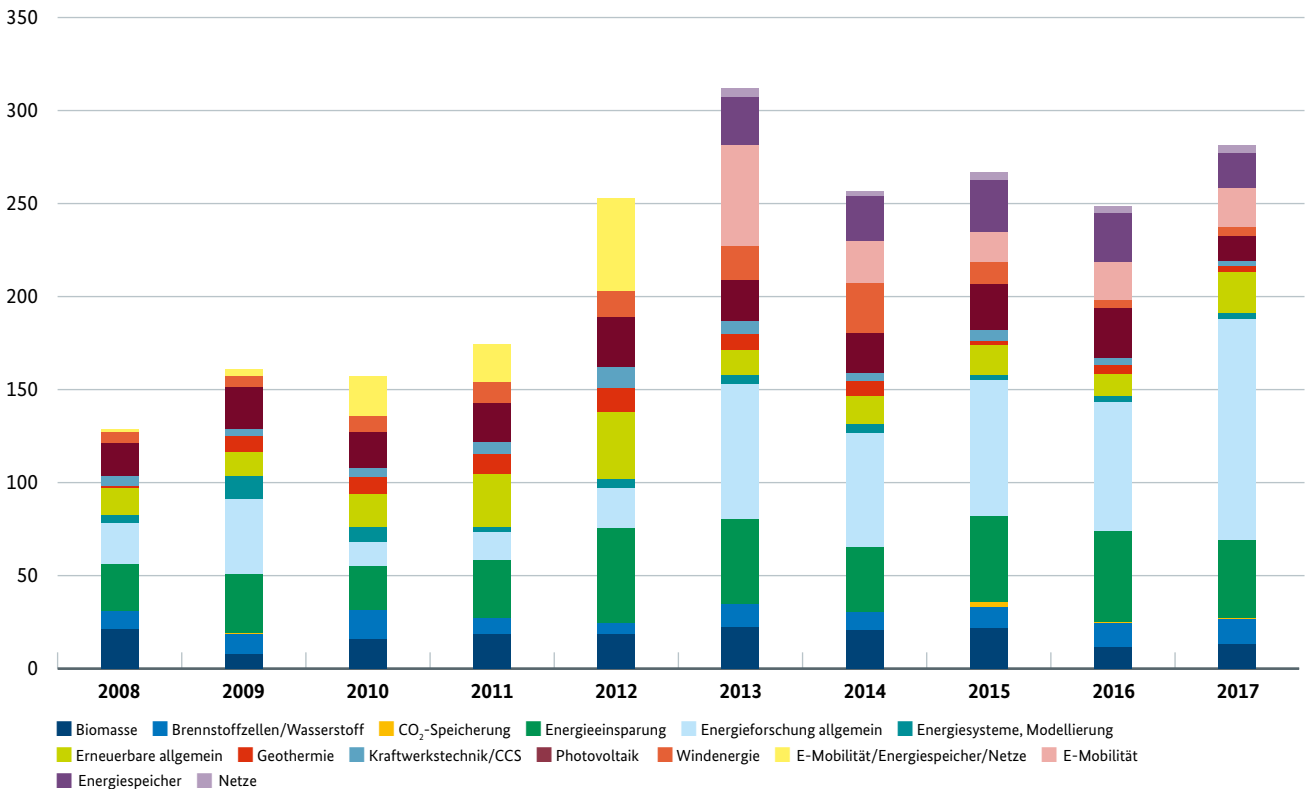


Abbildung 18: Aufwendungen der Länder für die nichtnukleare Energieforschung nach Themen 2008–2017 in Mio. €  
(Daten siehe Tabelle 9)



Konventionelle Kraftwerkstechnologien werden mit insgesamt 2,7 Millionen Euro in nur wenigen Ländern beforscht, nennenswerte Beiträge zur Technologieförderung liefern Nordrhein-Westfalen (1,2 Millionen Euro) und Bayern (1 Million Euro).

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

Die Forschungsförderung im Bereich der Brennstoffzellen- und Wasserstoff-Technologien ist mit 13,7 Millionen Euro im Vergleich zu den Vorjahren weiterhin angestiegen und stellt in Bayern (5,3 Millionen Euro) und Baden-Württemberg (3,8 Millionen Euro) einen Förderschwerpunkt dar.

Die Gesamtaufwendungen der Energieforschungsförderung in Nordrhein-Westfalen heben sich mit insgesamt 79,1 Millionen Euro deutlich von den anderen Ländern ab, gefolgt von Bayern (54,1 Millionen Euro), Baden-Württemberg (44,1 Millionen Euro) und Sachsen (26 Millionen Euro).

Mit einem Fördervolumen von insgesamt über 281 Millionen Euro im Bereich der nichtnuklearen Energieforschung bilden die Länder eine tragende Säule im nationalen Energiewendeprozess und liefern einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der von der Bundesregierung postulierten energiepolitischen Zielvorgaben.

Der ausführliche Bericht „Förderung der nichtnuklearen Energieforschung durch die Länder im Jahre 2017“ kann neben den anderen veröffentlichten Länderberichten im Internet unter der Adresse <https://www.ptj.de/ueber-uns/unsere-geschaeftsfelder/energie/arbeitsgruppe-energiestrategie/laenderbericht-energierecherche> abgerufen werden.

## 4.2 Forschungsrahmenprogramm der EU

### 4.2.1 Ziel und Umfang der EU-Forschungsförderung

Forschung und Entwicklung und die daraus resultierenden Innovationen führen zu einer kontinuierlichen wirtschaftlichen, technologischen und sozialen Weiterentwicklung und sichern somit den gesellschaftlichen Fortschritt. In Europa wird durch das Forschungsrahmenprogramm für Forschung und Innovation „Horizont 2020“ der Grundstein für die Verwirklichung des europäischen Forschungsraums und den Ausbau der europäischen Wettbewerbsfähigkeit gelegt. 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. Neben der Steigerung der Energieeffizienz,

Abbildung 19: Staatenverteilung der Zuwendungsempfänger und Fördermittel im Kernbereich der Energieforschung in „Horizont 2020“ im Jahr 2017

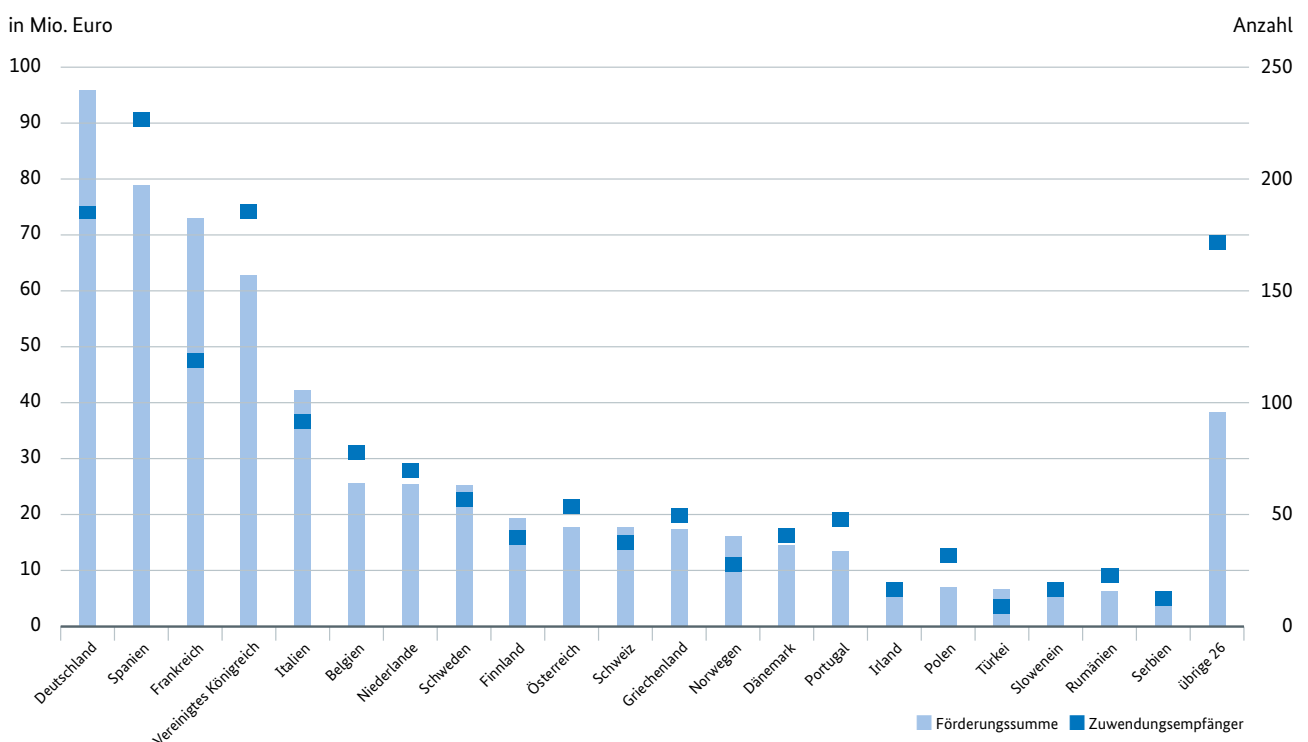
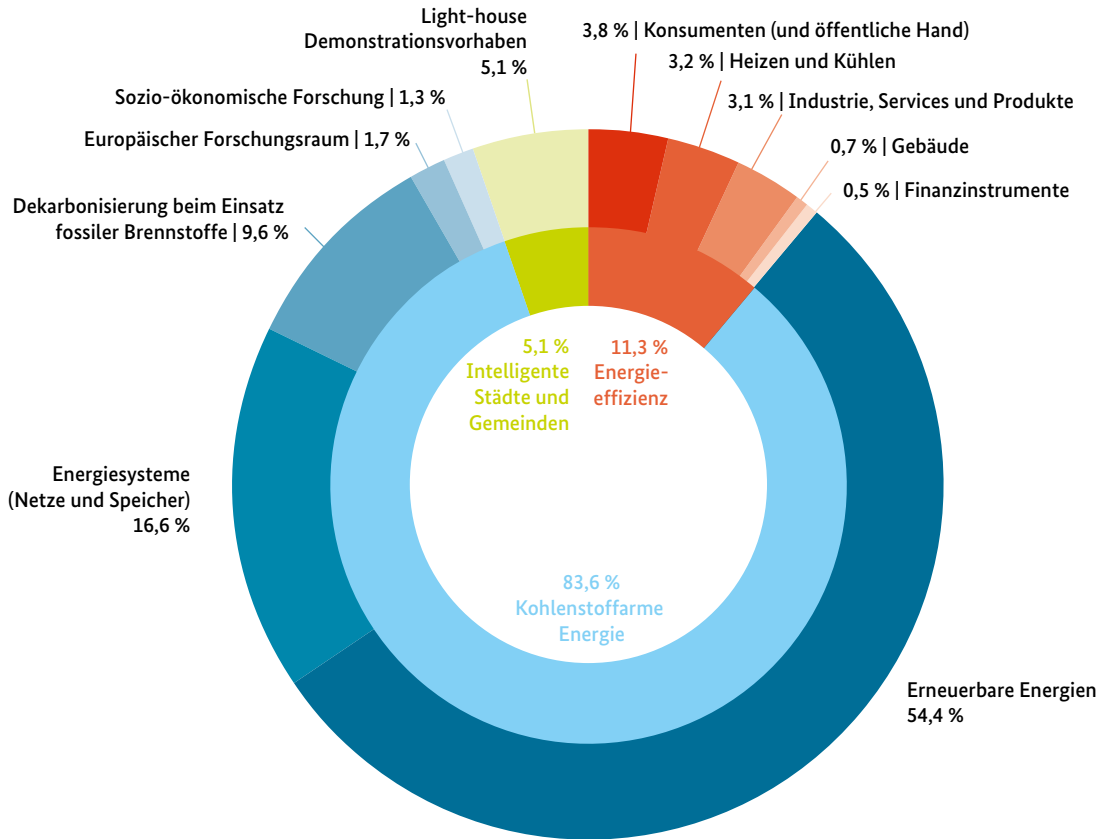


Abbildung 20: Verteilung von Fördermitteln in „Horizont 2020“ im Kernbereich der Energieforschung an Zuwendungsempfänger aus Deutschland nach Themengebieten (2017)



der verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energien, der intelligenten Verknüpfung von Energienetzen auf regionaler und internationaler Ebene, stehen auch die Bedarfe der Bürger sowie optimierte Energiesysteme in Ballungszentren im Fokus der Förderausschreibungen. Besondere Bedeutungen kommen zudem der Energieoptimierung des Gebäudesektors und Forschungsthemen im Bereich der Batterietechnologien zu.

#### 4.2.2 Erfolgreiche Beteiligung deutscher Antragsteller im Energiebereich

Im Jahr 2017 wurden in den Kernbereichen der Energieförderung – „Energieeffizienz“, „Kohlenstoffarme Energie“ und „Intelligente Städte und Gemeinden“ – knapp 623 Millionen Euro Fördermittel für insgesamt 125 Verbundprojekte bewilligt. Deutschland ist dabei in 77 Projekten mit insgesamt 188 Projektteilnehmern vertreten, die zusammen eine Fördersumme von rund 96 Millionen Euro eingeworben haben. Dies entspricht etwa 15,4 Prozent der bewilligten Fördermittel (vgl. Abb. 19). Bei 17 der 125 bewilligten Projekte kommt der Projektkoordinator aus Deutschland. Etwa 40 Prozent der deutschen Zuwendungsempfänger stammen aus Forschungsinstituten und Hochschulen. 47 Prozent kommen aus privaten Unternehmen, die übrigen 13 Prozent verteilen sich auf öffentliche und sonstige Einrichtun-

gen. Besonders hoch ist der Anteil von Antragstellern aus Deutschland bei geförderten Projekten im Themenfeld „Kohlenstoffarme Energie“ (69 Prozent). Die übrigen Zuwendungsempfänger verteilen sich auf die Förderthemen im Bereich „Energieeffizienz“ mit 25 Prozent und „Intelligente Städte und Gemeinden“ mit 6 Prozent.

#### 4.2.3 Schwerpunkte der Energieforschung

In Abbildung 20 ist die Verteilung von Fördermitteln an Zuwendungsempfänger aus Deutschland im Jahr 2017 nach den unterschiedlichen Energiethemen dargestellt. Die Zahlen zeigen einen deutlichen Fokus (83,6 Prozent) auf Themen aus dem Bereich der kohlenstoffarmen Energie, insbesondere auf Forschungs- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der erneuerbaren Energien – hier fließen rund 54,4 Prozent der Fördermittel ein. Die Themen Wasserstoff und Brennstoffzellen sind in Abbildung 20 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 die Materialforschung oder Produktionstechnologien.



### 4.3 Aktivitäten der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms

#### 4.3.1 EnEff.Gebäude.2050

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, den Gebäudebestand in Deutschland bis 2050 nahezu klimaneutral zu gestalten. Die Förderinitiative „EnEff.Gebäude.2050 – Innovative Vorhaben für den nahezu klimaneutralen Gebäudebestand 2050“ soll Forschung und Breitenanwendung stärker verknüpfen und die Markteinführung bereits verfügbarer Technologien und Verfahren unterstützen. Der Forschungsschwerpunkt liegt auf Demonstrationsvorhaben zur Effizienzsteigerung und zur Integration erneuerbarer Energien in Gebäuden. Die Initiative lief zunächst im Kontext des 6. Energieforschungsprogramms und ist nun auch im 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung integriert.

2017 und 2018 hat das BMWi unter dieser anwendungsnahen Förderinitiative 59 Vorhaben mit einem Fördervolumen von rund 21 Millionen Euro gefördert. Für die nächsten Jahre stehen Mittel in ähnlicher Größenordnung bereit.

In einem Wettbewerb unter der Förderinitiative EnEff.Gebäude.2050 hatte das BMWi 2017 innovative Ideen für einen Gebäude-Energiewettbewerb in Deutschland gesucht. Das Konzept „Solar Decathlon goes Urban“, eingereicht von der Bergischen Universität Wuppertal, Stadt Wuppertal, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Stadtwerke, der Neuen Effizienz und der Initiative Utopiastadt, ist im Wettbewerb als Sieger ausgezeichnet worden. Das war die Grundlage für die deutsche Bewerbung um den Austragungsort des „Solar Decathlon Europe“ im Jahr 2021, den die Energy Endeavour Foundation im Januar 2019 nach Wuppertal vergeben hat.

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

Das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) hat zum Ziel, Technologien im Rahmen geltender Richtlinien für Forschung, Entwicklung und Innovation für den Markt vorzubereiten und eine international wettbewerbsfähige Industriebranche in Deutschland zu schaffen. Für diese erste Phase des Programms hat das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Zeitraum von 2007 bis 2016 500 Millionen Euro bereitgestellt. In der zweiten Phase des Programms (NIP 2) soll nun die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie bis 2026 wettbewerbsfähig im Verkehrssektor und im Energiemarkt etabliert werden sowie Forschung für zukünftige Technologiegenerationen erfolgen.

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

Im Rahmen des Förderprogramms „Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“ – kurz SINTEG, entwickeln und demonstrieren Expertinnen und Experten Musterlösungen für die intelligente Energieversorgung der Zukunft. In fünf Modellregionen entwerfen mehr als 300 Partner aus Energiewirtschaft, Industrie und Forschung sowie Kommunen, Landkreise und Länder in ganz Deutschland eine Blaupause für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung bei hohen Anteilen fluktuierender Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen. Die Fachleute erarbeiten innovative digitale Technologien und neue Geschäftsmodelle, um Stromnetze und Märkte flexibel und intelligent zu machen. Zudem sollen die in der Praxis erprobten Erfahrungen der Schaufenster dazu beitragen, den Rechtsrahmen auf Grundlage der gewonnenen Ergebnisse weiterzuentwickeln. SINTEG ist damit ein Reallabor für die intelligente Energieversorgung der Zukunft.

Die Modellregionen wurden im Rahmen eines Förderwettbewerbs ausgewählt. Das BMWi fördert SINTEG für eine Laufzeit von vier Jahren seit Anfang 2017 mit mehr als 200 Millionen Euro. Zusammen mit den Investitionen der beteiligten Projektpartner werden mehr als eine halbe Milliarde Euro in die Digitalisierung des Energiesektors hineingesteckt.

#### 4.3.4 Forschungscampus

Mit der Förderinitiative „Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen“ fördert das 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 zwei 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.

# 5. Tabellen

## 5.1 Fördermittel im 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Die folgenden Tabellen stellen für die Bundesförderung die in den jeweiligen Haushaltsjahren abgeflossenen Mittel dar. Eine Gesamtübersicht über die geförderten Themen bietet Tabelle 1. Die für die einzelnen Förderbereiche abgeflossenen Mittel sind in den Tabellen 2 bis 6 dargestellt. Die Daten wurden im Januar 2019 erhoben und orientieren sich noch am 6. Energieforschungsprogramm, da dieses der Forschungsförderung im Berichtsjahr 2018 zugrunde lag und so die Nachvollziehbarkeit der Zahlenreihen gewährleistet bleibt. Die Forschungsstatistik wird aktuell überarbeitet und soll sich im nächsten Jahr in allen Förderbereichen an der Struktur des 7. Energieforschungsprogramms orientieren.

Zusätzlich wird für das Berichtsjahr 2018 die Anzahl der laufenden (inkl. der noch nicht abgeschlossenen) Projekte und der neu bewilligten Projekte dargestellt sowie der dadurch festgelegte Fördermittelansatz, der sich während der typischerweise mehrjährigen Projektlaufzeit auf die Folgejahre verteilt.

Die abgeflossenen Mittel in der institutionellen Förderung werden in Tabelle 7 dargestellt. Die abgeflossenen Mittel der Länder werden in Tabelle 8 nach Ländern aufgeteilt und in Tabelle 9 nach Themen aufgeteilt dargestellt.

**Tabelle 1 | Übersicht der Themen im Energieforschungsprogramm des Bundes<sup>1</sup>**

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. € 2018
<b>Projektförderung</b>	<b>615,77</b>
Energiewende in den Verbrauchssektoren	176,24
Energieerzeugung	212,36
Systemintegration: Netze, Speicher, Sektorkopplung	110,90
Systemübergreifende Forschungsthemen der Energiewende	68,78
Nukleare Sicherheitsforschung	47,48
<b>Institutionelle Förderung (Helmholtz-Gemeinschaft)</b>	<b>393,75</b>
<b>Begleitende Maßnahmen (u. a. Projektträger, Internationales, Forschungsnetzwerke, Forschungskommunikation)</b>	<b>48,18</b>
<b>Summe</b>	<b>1.057,69</b>

<sup>1</sup> Im Gegensatz zu früheren Ausgaben des Bundesberichts Energieforschung sind die Kategorien dieser Gesamtübersicht an der Struktur des 7. Energieforschungsprogramms orientiert, da diese der Vielfalt der bereits im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms geförderten Themen besser entspricht. Aufgrund der laufenden Überarbeitung der Forschungsstatistik sind die Angaben in Tabelle 1 als vorläufig zu betrachten.

Tabelle 2 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Energieumwandlung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €							Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	laufend in 2018	neu bewilligt in 2018	neu bewilligt in 2018
<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>78,25</b> (78,25)	<b>460</b>	<b>96</b>	<b>83,21</b>
Kristallines Silizium	30,40	30,51	26,72	36,74	36,99	52,92	50,39	246	52	45,29
Dünnschichttechnologien	15,33	12,69	11,31	10,45	8,78	10,69	12,36	103	24	10,61
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)	1,33 (1,33)	13	-	-
Sonstige	5,73	5,53	5,31	12,47	12,05	17,33	14,17	98	20	27,31
<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>59,73</b>	<b>420</b>	<b>121</b>	<b>90,59</b>
Anlagenentwicklung	2,62	15,07	21,93	25,26	18,40	39,80	26,03	165	50	56,05
Onshore	0,62	0,51	0,50	1,29	4,10	3,23	3,10	12	-	-
Offshore	3,34	12,23	12,72	7,98	9,18	11,09	12,00	78	18	13,48
Windphysik und Meteorologie	0,12	1,73	2,33	3,62	3,03	3,06	2,33	31	11	4,15
Logistik, Anlageninstallation, Instandhaltung und Betriebs- führung	23,00	12,88	8,39	6,39	8,10	11,18	8,37	81	22	10,07
Umweltaspekte der Wind- energie und Ökologische Begleitforschung	1,43	2,33	2,64	2,46	2,23	2,48	2,42	26	16	5,51
Sonstige	7,29	7,82	4,54	6,04	4,65	4,27	5,49	27	4	1,34
<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>28,54</b> (28,54)	<b>528</b>	<b>128</b>	<b>33,58</b>
Erzeugung – Anbau	6,91	6,31	5,98	4,43	4,69	5,70	6,52	107	41	13,78
Erzeugung – Züchtung	4,43	5,25	4,77	4,92	4,49	4,58	4,20	63	9	2,20
Konversion – Allgemein	-	-	-	0,53	5,22	2,73	4,46	67	21	5,10
Konversion – Gasförmig	4,61	4,87	5,27	6,84	4,92	6,79	5,04	93	4	1,60
Konversion – Flüssig	4,11	6,12	6,19	5,92	3,97	3,21	1,98	33	3	0,78
Konversion – Fest	2,78	0,94	0,73	1,92	2,23	1,77	1,34	25	3	1,01
Querschnitt	1,86	3,22	2,85	2,97	2,53	0,94	0,59	9	-	-
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 (3,13)	0,22 (0,22)	3	-	-
Energetische Biomassenutzung	7,36	5,91	5,03	4,69	3,66	4,18	4,20	128	47	9,10
<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>12,92</b>	<b>81</b>	<b>21</b>	<b>10,48</b>
Prospektion und Exploration	8,39	7,28	9,13	9,12	6,67	8,06	4,52	25	-	-
Warmwasser- und Dampflagerstätten	4,36	4,97	3,03	2,59	4,61	5,34	3,64	22	4	3,49
Hot-Dry-Rock	3,69	0,91	0,33	0,45	1,02	3,04	4,76	34	17	6,99
Sonstige	4,37	3,94	3,05	1,22	0,23	0,05	-	-	-	-

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €							Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	laufend in 2018	neu bewilligt in 2018	neu bewilligt in 2018
<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>29,57</b> (29,85)	<b>297</b>	<b>66</b>	<b>23,61</b>
Fortgeschrittene Kraftwerkssysteme	10,76	7,45	6,36	2,41	4,84	5,54	6,39	46	1	0,29
Komponentenentwicklung	9,18	16,52	18,19	19,19	17,53	21,59	17,79	228	60	20,78
Kohlevergasung	2,39	1,54	1,46	2,80	3,52	4,14	4,12	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)	– (0,29)	–	–	–
Sonstige	0,68	2,32	0,74	1,82	1,27	1,55	1,26	15	5	2,53
<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>24,41</b>	<b>151</b>	<b>25</b>	<b>15,96</b>
NT-PEMFC	6,15	6,68	9,92	6,43	4,42	6,24	6,51	53	18	10,07
HT-PEMFC	1,30	1,75	1,21	1,01	0,77	0,99	0,98	9	–	–
MCFC	0,55	0,14	0,30	1,64	0,82	1,72	0,35	–	–	–
SOFC	7,40	11,10	7,84	6,53	4,27	6,73	5,60	30	5	5,50
DMFC	0,56	0,34	0,06	–	–	0,14	0,25	4	–	–
Wasserstoffspeicher	1,98	3,16	2,25	2,36	0,99	1,12	2,27	14	–	–
Wasserstofferzeugung	0,83	0,63	0,30	0,59	2,14	2,86	2,17	14	–	–
Grundlagenforschung	0,71	1,08	3,04	2,10	4,28	4,58	4,30	20	–	–
Sonstige	–	–	2,23	1,67	2,01	2,12	1,98	7	2	0,40
<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>7,15</b>	<b>81</b>	<b>29</b>	<b>13,21</b>
Parabol	3,67	2,25	1,84	0,74	2,04	2,90	3,35	26	–	–
Turm	2,01	2,50	3,59	4,23	2,86	2,63	2,62	46	25	12,04
Fresnel	0,68	0,63	0,82	–	–	0,00	–	–	–	–
Speicher	0,30	1,79	1,41	1,85	1,37	1,52	1,02	1	–	–
Sonstige	0,78	1,24	1,59	3,28	2,32	0,68	0,15	8	4	1,16
<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>1,40</b>	<b>16</b>	<b>–</b>	<b>–</b>
<b>Gesamt</b> (inkl. andere Programme)	<b>222,62</b> (249,99)	<b>242,02</b> (269,15)	<b>237,14</b> (246,23)	<b>242,06</b> (246,22)	<b>222,90</b> (224,57)	<b>278,30</b> (278,47)	<b>241,97</b> (242,26)	<b>2.034</b>	<b>486</b>	<b>270,63</b>

Tabelle 3 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Energienutzung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €							Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	laufend in 2018	neu bewilligt in 2018	neu bewilligt in 2018
<b>Energieeffizienz in Gebäuden u. Städten</b> (inkl. andere Programme)	<b>45,81</b> (47,74)	<b>56,76</b> (58,94)	<b>60,55</b> (63,53)	<b>54,86</b> (54,86)	<b>53,60</b> (53,80)	<b>61,76</b> (62,46)	<b>75,01</b> (76,13)	<b>800</b>	<b>257</b>	<b>131,94</b>
EnOB – Energieoptimiertes Bauen	19,65	25,50	30,95	30,86	26,33	28,44	32,95	396	134	54,41
EnEff:Stadt – Versorgungskonzepte	7,85	9,69	9,28	9,06	11,62	16,10	21,04	218	76	48,45
EnEff:Stadt – Fernwärme	2,50	3,53	3,75	2,87	3,16	3,35	3,29	40	7	1,61
EnEff:Stadt – Kraft-Wärme-Kopplung	2,93	4,61	2,65	1,39	0,89	1,39	1,27	14	4	2,89
Niedertemperatur- Solarthermie	4,90	6,47	6,36	5,54	6,43	7,71	7,30	67	13	5,57
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)	7,77 (7,77)	59	23	19,01
Forschungsinitiative Zukunft Bau des BMI – Modellvor- haben Effizienzhaus Plus (anderes Programm)	(1,93)	(2,18)	(2,98)	(–)	(0,08)	(0,66)	(1,12)			
Sonstige	2,62	1,25	1,19	–	1,17	1,85	1,39	6	–	–
<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>47,92</b>	<b>504</b>	<b>123</b>	<b>62,71</b>
Maschinen-, Fahrzeugbau, Elektrotechnik, Feinmecha- nik, Optik, EBM-Waren	10,90	14,97	16,07	14,30	9,57	13,54	16,63	154	55	30,61
Eisen- und Stahlindustrie	2,42	1,54	0,69	0,67	0,55	0,69	1,19	24	6	3,11
Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden, Fein- keramik, Glasgewerbe	2,05	2,41	1,45	0,54	1,20	2,76	2,55	15	–	–
Wärmepumpen, Kältemittel	1,28	2,99	2,58	3,02	3,83	4,45	4,30	31	7	4,41
Industrieöfen	1,19	0,83	0,67	0,99	1,41	3,36	4,00	43	2	1,25
Mechanische und thermische Trennverfahren	0,39	1,57	1,79	2,23	2,05	2,82	2,77	35	–	–
Chemische Industrie, Herstellung von Kunststoff- und Gummiwaren	1,52	2,79	4,05	4,81	5,46	6,25	6,12	58	6	2,12
NE-Metallindustrie	0,44	0,56	0,72	0,79	1,09	1,40	1,05	24	14	4,36
Wärmetauscher	2,11	1,82	1,13	1,61	1,46	1,26	1,01	6	–	–
Solare Prozesswärme	0,35	0,25	0,10	0,10	0,09	0,08	0,01	2	1	0,13
Grundlagenforschung	–	–	1,76	0,79	0,32	0,00	–	–	–	–
Sonstige	7,35	6,64	3,68	5,01	6,68	7,98	8,29	112	32	16,71
<b>Gesamt</b> (inkl. andere Programme)	<b>75,81</b> (77,74)	<b>93,14</b> (95,32)	<b>95,25</b> (98,23)	<b>89,70</b> (89,70)	<b>87,30</b> (87,51)	<b>106,35</b> (107,04)	<b>122,93</b> (124,05)	<b>1.304</b>	<b>380</b>	<b>194,66</b>

**Tabelle 4 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Energieverteilung und systemorientierte Projektförderung einschließlich Querschnittsthemen**

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €							Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	laufend in 2018	neu bewilligt in 2018	neu bewilligt in 2018
<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>18,43</b>	<b>179</b>	<b>79</b>	<b>28,05</b>
Systemanalyse	1,57	2,38	3,03	3,75	7,42	13,54	15,97	171	79	28,05
Informationsverbreitung	2,49	3,27	3,33	4,09	3,74	2,10	1,60	1	–	–
Querschnittsthemen	4,10	5,38	4,13	3,35	2,42	1,15	0,86	7	–	–
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>46,34 (46,34)</b>	<b>453</b>	<b>165</b>	<b>83,46</b>
Elektrochemische Speicher	14,48	23,87	19,86	18,41	21,24	23,71	25,45	197	52	23,16
Hochtemperaturspeicher	0,47	0,47	1,52	3,51	2,16	0,92	0,62	22	12	3,54
Mechanische Speicher	1,19	3,26	1,53	1,97	2,48	3,01	2,16	23	6	1,88
Elektrische Speicher	0,74	0,28	0,05	2,48	4,54	4,11	2,67	33	–	–
Niedertemperaturspeicher	1,53	3,37	5,13	5,14	3,19	1,86	2,49	22	5	3,46
Stoffliche Speicher	–	–	–	–	0,34	1,15	2,02	66	60	39,44
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 (3,60)	1,17 (1,17)	23	21	7,87
Sonstige	2,41	8,67	11,70	14,48	8,61	11,34	9,77	67	9	4,11
<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>60,76</b>	<b>627</b>	<b>147</b>	<b>73,77</b>
Komponenten	1,93	10,15	12,12	13,60	17,87	22,44	21,10	159	–	–
Netzplanung	0,78	2,51	3,24	4,00	4,26	4,62	2,50	45	21	6,58
Betriebsführung	9,74	12,62	10,40	18,72	27,98	27,38	24,57	225	5	2,41
Systemstudien	0,06	1,68	3,60	2,94	1,90	0,99	–	–	–	–
Grundlagenforschung	3,06	0,49	1,26	9,46	14,02	13,77	7,50	77	12	6,52
Sonstige	1,17	3,50	4,26	4,12	4,90	6,03	5,09	121	109	58,26
<b>Programmkooperation Industrielle Gemeinschafts- forschung</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>0,05</b>	<b>2,52</b>	<b>4,22</b>	<b>31</b>	<b>11</b>	<b>5,12</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>129,75 (129,75)</b>	<b>1.290</b>	<b>402</b>	<b>190,40</b>

Tabelle 5 | Mittelabfluss in der weiteren Projektförderung des BMBF

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €							Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	laufend in 2018	neu bewilligt in 2018	neu bewilligt in 2018
<b>Sozial-ökologische Forschung</b> (inkl. andere Programme)	–	<b>1,18</b>	<b>3,25</b>	<b>3,95</b>	<b>2,64</b>	<b>0,36</b>	–	–	–	–
	–	(3,08)	(8,58)	(11,11)	(4,42)	(2,07)	(0,85)			
<b>Energiematerialien</b>	–	–	<b>0,72</b>	<b>10,41</b>	<b>27,87</b>	<b>26,68</b>	<b>18,21</b>	<b>132</b>	<b>1</b>	<b>0,20</b>
<b>Kopernikus-Projekte</b>	–	–	–	–	<b>0,40</b>	<b>40,16</b>	<b>44,83</b>	<b>172</b>	<b>2</b>	<b>2,75</b>
<b>Carbon2Chem</b>	–	–	–	–	<b>8,64</b>	<b>11,84</b>	<b>16,90</b>	<b>29</b>	–	–
<b>Dekarbonisierung</b>	–	–	–	–	–	–	<b>0,23</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4,02</b>
<b>Projektbezogene Fusionsforschung</b>	<b>2,58</b>	<b>6,29</b>	<b>5,55</b>	<b>7,70</b>	<b>3,12</b>	<b>2,23</b>	–	–	–	–
<b>Sonstige Projektförderung des BMBF</b> (inkl. andere Programme)	<b>7,11</b>	<b>2,35</b>	<b>3,93</b>	<b>3,23</b>	<b>4,19</b>	<b>5,27</b>	<b>10,35</b>	<b>36</b>	<b>25</b>	<b>17,58</b>
	(7,11)	(3,23)	(3,93)	(3,23)	(4,19)	(5,27)	(10,35)			
<b>Gesamt</b> (inkl. andere Programme)	<b>9,69</b>	<b>9,82</b>	<b>13,45</b>	<b>25,29</b>	<b>46,86</b>	<b>86,53</b>	<b>90,29</b>	<b>369</b>	<b>28</b>	<b>20,53</b>
	(9,69)	(12,61)	(18,79)	(32,46)	(48,63)	(88,24)	(91,37)			

Tabelle 6 | Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Nukleare Sicherheitsforschung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €							Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. €
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	laufend in 2018	neu bewilligt in 2018	neu bewilligt in 2018
<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>17,61</b>	<b>121</b>	<b>24</b>	<b>14,38</b>
Endlagerforschung	9,84	10,39	10,25	10,06	9,94	11,43	12,02	87	17	9,36
Querschnittsaufgaben und Sonstige	0,54	0,53	0,53	0,54	1,06	1,90	2,69	18	2	1,33
Kernmaterialüberwachung	0,18	0,15	0,19	0,24	0,26	0,21	0,09	1	–	–
Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen)	1,74	2,17	2,61	2,11	1,83	2,78	2,81	15	5	3,69
<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>21,98</b>	<b>149</b>	<b>26</b>	<b>16,93</b>
Sicherheit von Komponenten kerntechnischer Anlagen	5,28	4,01	4,38	4,55	4,38	4,20	5,19	48	10	6,02
Anlagenverhalten und Unfallabläufe	11,25	12,09	12,51	13,22	13,37	13,46	12,52	72	14	10,17
Querschnittsaufgaben und Sonstige	5,08	5,72	4,81	4,05	3,63	3,37	3,04	16	2	0,74
Nachwuchsförderung (BMBF-Maßnahmen)	2,77	1,62	3,39	3,39	2,68	1,73	1,23	13	–	–
<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>7,89</b>	<b>57</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>47,48</b>	<b>327</b>	<b>50</b>	<b>31,31</b>

**Tabelle 7 | Mittelabfluss in der Institutionellen Energieforschung  
(Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren)<sup>2</sup>**

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. Euro						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>POF II</b>							
Erneuerbare Energien	34,42	36,95					
Rationelle Energieumwandlung und -nutzung	40,73	46,09					
Kernfusion (inkl. Wendelstein W 7-X)	105,04	101,57					
Nukleare Sicherheitsforschung	21,76	22,13					
Technologie, Innovation und Gesellschaft	6,87	6,95					
Programmungebundene Forschung	47,96	49,04					
<b>POF III</b>							
Energieeffizienz, Materialien und Ressourcen			60,49	64,12	68,43	69,45	73,00
Erneuerbare Energien			47,84	51,91	54,37	56,73	59,09
Kernfusion (inkl. Wendelstein W 7-X)			123,51	123,51	123,51	123,51	123,51
Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung			34,62	35,76	37,27	38,84	40,47
Technologie, Innovation und Gesellschaft			7,11	7,65	7,95	8,25	8,54
Speicher und vernetzte Infrastrukturen			49,93	57,12	60,47	69,61	72,86
Future Information Technology			8,11	8,62	10,81	13,24	16,28
<b>Summe</b>	<b>256,78</b>	<b>262,73</b>	<b>331,60</b>	<b>348,69</b>	<b>362,81</b>	<b>379,63</b>	<b>393,75</b>

<sup>2</sup> Gegenüber früheren Ausgaben des Bundesberichtes Energieforschung wird mit dem vorliegenden Bericht die Darstellung an die Programmorientierte Förderung (POF) der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren im Forschungsbereich Energie (Zuwendungsbasis) angeglichen.



## 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 Regionale Entwicklung (EFRE) wird nur der Eigenanteil der

Länder berücksichtigt. Mecklenburg-Vorpommern hat im Jahre 2017 EFRE-Zuschüsse, jedoch keine landeseigenen Mittel für die nichtnukleare Energieforschung aufgewendet.

Zahlen für 2018 liegen noch nicht vor.

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

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

Tabelle 9 | Aufwendungen der Länder für nichtnukleare Energieforschung nach Themen

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



