

## Unterrichtung

durch die Bundesregierung

### Bundesbericht Energieforschung 2013

#### Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 Energieforschungspolitik in Deutschland</b> .....	3
Ziele der Energieforschungspolitik .....	3
Strukturen der Energieforschung .....	3
Umsetzung im Energieforschungsprogramm .....	4
Mittelenwicklung .....	4
Über den Bundesbericht Energieforschung .....	4
<b>2 Projektförderung Energieforschung</b> .....	4
2.1 Energieeffizienz .....	4
2.1.1 Energieeffizienz in Gebäuden und Stadtquartieren .....	6
2.1.2 Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) .....	8
2.1.3 Speicher und Netze .....	9
2.1.4 Kraftwerkstechnologien .....	10
2.1.5 Brennstoffzellen und Wasserstoff .....	11
2.1.6 Querschnittsthemen .....	12
2.2 Erneuerbare Energien .....	12
2.2.1 Windenergie .....	15
2.2.2 Photovoltaik .....	16
2.2.3 SystEEm – Regenerative Energieversorgungssysteme und Integration erneuerbarer Energien .....	18
2.2.4 Tiefe Geothermie .....	19
2.2.5 Niedertemperatur-Solarthermie .....	20
2.2.6 Solarthermische Kraftwerke .....	21
2.2.7 Wasserkraft und Meeresenergie .....	21

	Seite
2.2.8 Querschnittsfragen .....	22
2.2.9 Bioenergie: Erzeugung und Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen .....	23
2.3 Grundlagenforschung Energietechnologien .....	26
2.3.1 Grundlagenforschung Erneuerbare Energien und Energieeffizienz	26
2.3.2 Fusionsforschung .....	31
2.4 Nukleare Sicherheitsforschung .....	32
2.4.1 Reaktorsicherheitsforschung .....	32
2.4.2 Endlager- und Entsorgungsforschung .....	36
2.4.3 Strahlenforschung .....	39
2.5 Forschungsinitiative Energiespeicher .....	40
<b>3 Institutionelle Energieforschung .....</b>	<b>41</b>
3.1 Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren .....	41
3.2 Weitere institutionelle Förderung .....	43
<b>4 Tabellen .....</b>	<b>45</b>
4.1 Mittelabfluss in der Energieforschung .....	45
4.2 Mittelabfluss im Bereich Energieeffizienz .....	45
4.3 Mittelabfluss im Bereich Erneuerbare Energien .....	47
4.4 Mittelabfluss im Bereich Grundlagenforschung Energietechnologien	49
4.5 Mittelabfluss im Bereich Nukleare Sicherheitsforschung .....	50
4.6 Mittelabfluss im Bereich Institutionelle Energieforschung .....	51

## 1 Energieforschungspolitik in Deutschland

### Ziele der Energieforschungspolitik

Die Bundesregierung hat in ihrem Energiekonzept vom September 2010 ein klares Bild eines umweltschonenden, zuverlässigen und bezahlbaren Energieversorgungssystems für das Jahr 2050 entworfen und einen Weg dorthin vorgezeichnet. Eckpunkte dieser langfristigen energiepolitischen Vorgaben sind eine Senkung der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 und eine Halbierung des Primärenergieverbrauchs (Bezugsjahr 2008), was u. a. durch einen Ausbau der erneuerbaren Energien auf 60 Prozent des Bruttoendenergieverbrauchs und eine Steigerung der Energieproduktivität um durchschnittlich 2,1 Prozent pro Jahr erreicht werden soll. Nach den Ereignissen in Fukushima wurde im Juni 2011 beschlossen, dass Deutschland diesen Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz noch schneller beschreitet und ab 2022 auf die Stromerzeugung aus Kernenergie verzichtet.

Die Bundesregierung hat daher auch ihre Energieforschungspolitik auf die Energiewende ausgerichtet. Im Zentrum stehen erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energiespeicher, Netze und die Integration erneuerbarer Energien. Ziel ist die Stimulierung eines Innovationschubs in diesen Bereichen.

Forschung und Entwicklung ist eine gemeinsame Aufgabe von Wirtschaft und Wissenschaft. Die Energieforschungspolitik der Bundesregierung schafft im Bereich der Wirtschaft Rahmenbedingungen für die notwendigen Innovationen und greift dort fördernd ein, wo langfristige strategische gesamtgesellschaftliche Überlegungen nicht mit den kurzfristiger orientierten ökonomischen Interessen der Unternehmen im Einklang sind. Darüber hinaus setzt die Bundesregierung auf ausgewählten Themenfeldern Anreize, um seitens der privaten Unternehmen zusätzliche Forschungsmittel zu mobilisieren und seitens der Forschungseinrichtungen gezielt Grundlagenwissen für die Energiewende zu generieren. So ist die Energieforschungspolitik ein strategisches Element der Energiepolitik der Bundesregierung.

Am 1. September 2011 trat das 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ in Kraft. Am Programm sind durch die thematische Vielschichtigkeit der Energieforschung die vier Bundesministerien für Wirtschaft und Technologie (BMWi), für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und für Bildung und Forschung (BMBF) mit klar geregelten Zuständigkeiten beteiligt. Drei Kernziele werden mit dem 6. Energieforschungsprogramm verfolgt:

- Das Programm soll einen entscheidenden Beitrag zur Umsetzung der Energiewende in Deutschland leisten. Bei den konkreten Fördermaßnahmen erhalten daher solche Technologien eine Priorität, die dazu beitragen, die Energieeffizienz zu verbessern und den Ausbau der erneuerbaren Energien voranzutreiben. Durch die staatliche Unterstützung sollen Vorhaben, bei denen

besondere technologische und finanzielle Risiken bestehen, ermöglicht bzw. beschleunigt werden.

- Forschung und Entwicklung von Energietechnologien werden in Deutschland in einem hoch entwickelten und innovativen Umfeld betrieben. In vielen Bereichen zählen deutsche Unternehmen heute zu den weltweit Führenden. Ein zweites Ziel ist daher, diese Position zu halten und auszubauen.
- Durch eine langfristig orientierte Ausrichtung der Forschungsthemen werden das vorhandene technologische Wissen gesichert und weitere Optionen für solche Energietechnologien erschlossen, die heute noch gar nicht einsetzbar sind. Mit diesem dritten Ziel soll sichergestellt werden, dass auch im Fall von nicht vorhergesehenen Änderungen der äußeren Rahmenbedingungen das Energiesystem funktionsfähig bleibt und sich Handlungsspielräume für die weitere Gestaltung der Energieversorgung öffnen.

### Strukturen der Energieforschung

Das 6. Energieforschungsprogramm beschreibt die konkreten Fördermaßnahmen mit den entsprechend der energiepolitischen Vorgaben gewählten Schwerpunkte. Die Aktivitäten decken den gesamten Bereich von der Erforschung grundlegender Zusammenhänge über Entwicklungen mit konkretem Bezug zu späteren Anwendungen bis hin zur Demonstration von Pilotanlagen ab.

Die Bundesregierung fördert Forschung und Entwicklung von Technologien mit spezifischen Energiebezügen auch außerhalb des Energieforschungsprogramms. Dabei geht es um Ansätze, bei denen andere fachliche oder politische Ziele vorrangig sind und Disziplinen berührt werden, die etwa den Material-, Verkehrs- oder auch den Gesellschaftswissenschaften zugeordnet werden. Eine wichtige Rolle neben den am Programm beteiligten Ressorts spielt das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in seinen stark energieabhängigen Aufgabebereichen Verkehr, Bauen, Wohnen und Stadtentwicklung, beispielsweise bei der Einführung von Elektromobilität, der Bauforschung (Effizienzhaus Plus) oder im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP). Aber auch Forschungsmaßnahmen der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), der Fraunhofer Gesellschaft (FhG) oder der Leibniz-Gemeinschaft (WGL), die sämtlich nicht Bestandteil des 6. Energieforschungsprogramms sind, weisen Bezüge zu Aktivitäten des Energieforschungsprogramms auf. In besonderer Weise beteiligt sind die von den Ländern grundfinanzierten Universitäten und Hochschulen, die durch umfassende Lehre im Zusammenwirken mit breit angelegter Forschung die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses leisten und damit das Fundament für die erfolgreiche Arbeit künftiger Forschergenerationen legen.

In diesem Sinn ist die Energieforschung tief verwurzelt in der allgemeinen Forschungslandschaft in Deutschland und profitiert in vielfältiger Weise von dem erreichten hohen Niveau. Heute verfügt die Energieforschung in

Deutschland über ein historisch gewachsenes und hoch spezialisiertes Forschungsnetz, das hervorragende Voraussetzungen bietet, um den Herausforderungen des künftigen Energieversorgungssystems zu begegnen.

### Umsetzung im Energieforschungsprogramm

Die Energieforschung berührt auf Seiten der Ministerialverwaltung die Arbeitsgebiete von vier Ressorts. Die Federführung und Verantwortung für die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik liegt beim BMWi, das außerdem die Projektförderung in den Bereichen Energieeffizienz und nukleare Sicherheitsforschung durchführt sowie die institutionelle Förderung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) übernimmt. Zuständig für die Projektförderung im Bereich der erneuerbaren Energien ist das BMU, wobei die Forschungsförderung im Bereich Bioenergie vom BMELV durchgeführt wird. Das BMBF ist zuständig für die Grundlagenforschung in allen genannten Bereichen, darüber hinaus für die Fusions- und Strahlenforschung sowie für die institutionelle Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren (HGF) ohne DLR, der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), der Fraunhofer Gesellschaft (FhG) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

### Mittelentwicklung

Die Mittelentwicklung im Energieforschungsprogramm (vgl. Übersicht in Abb. 1) zeigt eine stetige und signifikante Erhöhung des Fördervolumens in den beiden Bereichen Energieeffizienz und erneuerbare Energien, die auch im Einklang mit den Zielsetzungen des Energiekonzepts der Bundesregierung steht. Die verausgabten Mittel für diese beiden Bereiche nahmen von 230 Mio. Euro (2006) auf 500 Mio. Euro (2012) zu, was einer durchschnittlichen jährlichen Steigerung von knapp 14 Prozent entspricht. Diese Zahlen schließen für die Jahre 2008 bis 2011 eine Förderung aus dem Konjunkturpaket II sowie ab 2011 rd. 44,7 Mio. Euro aus dem Energie- und Klimafonds ein.

Im Jahr 2012 flossen mit 239 Mio. Euro für die Energieeffizienz und 261 Mio. Euro für die erneuerbaren Energien über 70 Prozent des Energieforschungsbudgets des Bundes in die Förderung dieser beiden zentralen Bereiche.

### Über den Bundesbericht Energieforschung

Durch den hohen politischen Stellenwert des Energiethemas sind in den letzten Jahren zahlreiche neue Forschungsinitiativen auf den Weg gebracht worden. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung wurde die Erhöhung der Transparenz als eine der Leitlinien im aktuellen Energieforschungsprogramm formuliert und das BMWi mit der Vorlage eines „Bundesbericht Energieforschung“ beauftragt. Ziel des Berichts ist es, der Öffentlichkeit und dem Parlament Informationen zur Energieforschung bereitzustellen und so einen Überblick über die staatliche Förderpolitik zu gewähren.

Der vorliegende Bundesbericht Energieforschung bezieht sich auf den Übergang zwischen dem 5. und dem 6. Energieforschungsprogramm und erfasst den Zeitraum der Haushaltsjahre 2006 bis 2012.

Als Datengrundlage für die in diesem Bericht dargestellte Projektförderung dient der zentrale Förderkatalog des Bundes (FÖKAT), der weite Teile der Forschungsförderung des Bundes abbildet und nicht auf den Bereich der Energieforschung beschränkt ist. Die Einzelprojekte im FÖKAT sind anhand eines thematisch orientierten Katalogs klassifiziert und so den jeweiligen Förderprogrammen zugeordnet. Im vorliegenden ersten Bericht wurden über 4 000 Projekte der Energieforschung ausgewertet.

Im Zeitraum zwischen 1. Januar 2006 und 31. Dezember 2012 wurden im Energieforschungsprogramm Mittel in einem Gesamtumfang von rund 3,9 Mrd. Euro ausbezahlt. Eine Übersicht der Verteilung dieser Mittel findet sich in Abb. 1.

## 2 Projektförderung Energieforschung

### 2.1 Energieeffizienz

Die Projektförderung Energieeffizienz des BMWi knüpfte im Jahr 2006 zu Beginn des 5. Energieforschungsprogramms an das bestehende Programm zur Förderung der „Rationellen Energieumwandlung“ an. Es umfasst fünf Technologie- und einen Querschnittsbereich:

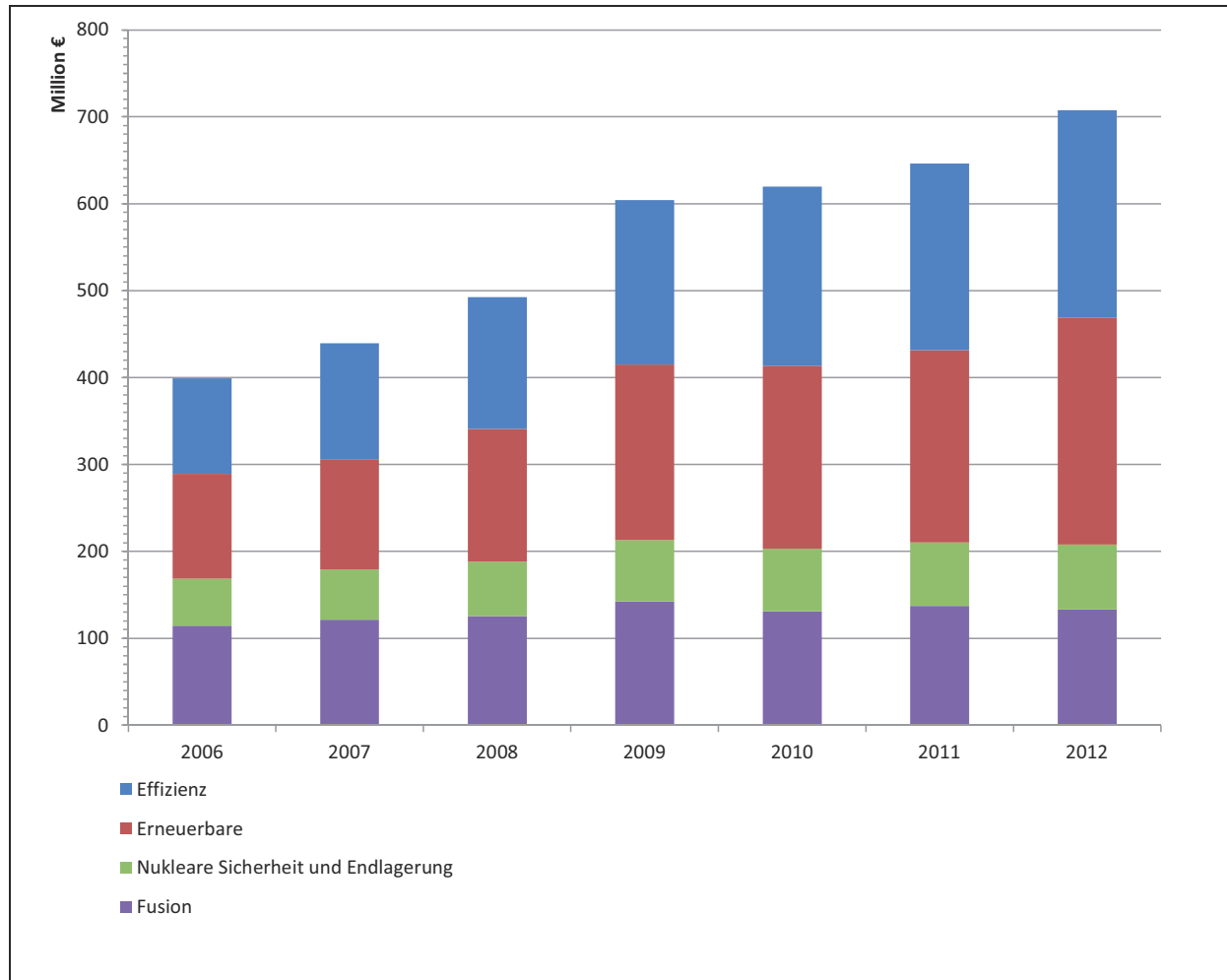
- Kraftwerkstechnik auf der Basis von Kohle und Gas,
- Brennstoffzellen,
- Speichertechnologien und Wasserstoff,
- Energieoptimiertes Bauen,
- Energieeffizienz in der Industrie, im Gewerbe, im Handel und bei Dienstleistungen, sowie
- Systemanalyse und Informationsverbreitung.

Während des gesamten Betrachtungszeitraums erfuhr das Energieforschungsprogramm als Reaktion auf die Entwicklungen in der Klima- und Energiepolitik einen sehr dynamischen Aufwuchs, der auch bei der Bewirtschaftung des Bundeshaushalts umgesetzt werden konnte (vgl. Abb. 2). Für die Forschungsförderung der Energieeffizienz haben sich die Mittel im Zeitraum 2006 bis 2012 von rd. 62 Mio. Euro auf rd. 130 Mio. Euro mehr als verdoppelt.

Nachdem in den ersten Jahren neue Themen für die Förderpolitik an Bedeutung gewannen und die Energieeffizienz in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit gerückt war, wurde eine konzeptionelle Überarbeitung der Projektförderung der nichtnuklearen Energieforschung des BMWi mit Anpassungen innerhalb der oben genannten Technologiebereiche notwendig. Diese wurde im Jahr 2008 mit der Veröffentlichung des Technologieprogramms „Klimaschutz und Energieeffizienz“ vollzogen und ab 2009 auch im Bundeshaushalt umgesetzt. Dank der positiven Mittelentwicklung war es dabei möglich, neue Förderprioritäten mit zusätzlichen Mitteln zu berücksichtigen, ohne für Einzelbereiche die absolute Höhe

Abbildung 1

**Übersicht der Themen im Energieforschungsprogramm des Bundes**  
(Daten siehe Tabelle 2)



der Fördermittel zu reduzieren. Im Programm wurden folgende Anpassungen vorgenommen:

- Der Fachbereich „Energieoptimiertes Bauen“ wurde aufgeteilt. Die wachsende Zahl der Projekte zum Thema „Kraft-Wärme-Kopplung und Fernwärme“ wurde in einen neu geschaffenen Fachbereich, bestehend aus zwei neuen Förderinitiativen, „Energieeffiziente Stadt“ und „Energieeffiziente Wärmeversorgung“, ausgegliedert und thematisch sowie finanziell erweitert.
- Die Zuordnung der Frage des effizienten Umgangs mit elektrischer Energie zum Fachbereich Speichertechnologien wurde durch die Umbenennung des Fachbereichs in „Effiziente Stromnutzung und Speicher“ deutlicher herausgestellt, um der wachsenden Bedeutung dieses Themas Rechnung zu tragen.
- Das Förderthema Wasserstoff wurde wegen der engen Bezüge dem Fachbereich Brennstoffzellen zugeordnet.

Im Verlauf der Vorbereitungen des 6. Energieforschungsprogramms hat sich herausgestellt, dass entsprechend den Vorgaben des Energiekonzepts zwischen den einzelnen Technologiebereichen erhebliche Änderungen bei der Prioritätensetzung bzgl. des kurz- und mittelfristigen Förderbedarfs erforderlich waren.

Um den hohen Erwartungen zur Reduzierung des Primärenergiebedarfs gerecht zu werden, wurde beispielsweise der Bereich der Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen erheblich ausgeweitet. Durch den beabsichtigten intensiven Ausbau der erneuerbaren Energien werden die Bereiche Speicher und Netze künftig eine wesentlich stärkere Rolle einnehmen. Diese

beiden Themen werden daher seit 2012 in zwei getrennten Fachbereichen gefördert. Damit ergibt sich die heutige Förderstruktur in sieben technologischen und einem achten übergreifenden Fachbereich:

- I – Energieoptimiertes Bauen
- II – Energieeffiziente Stadt und dezentrale Energiesysteme
- III – Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
- IV – Speicher
- V – Netze
- VI – Kraftwerkstechnologien
- VII – Brennstoffzellen, Wasserstoff
- VIII – Systemanalyse und Informationsverbreitung.

In dieser Förderstruktur werden in den drei Feldern Speicher, Netze und Brennstoffzellen/Wasserstoff auch Projekte subsumiert, die dem Thema „Energiewirtschaftliche Schlüsselemente der Elektromobilität“ zugeordnet werden.

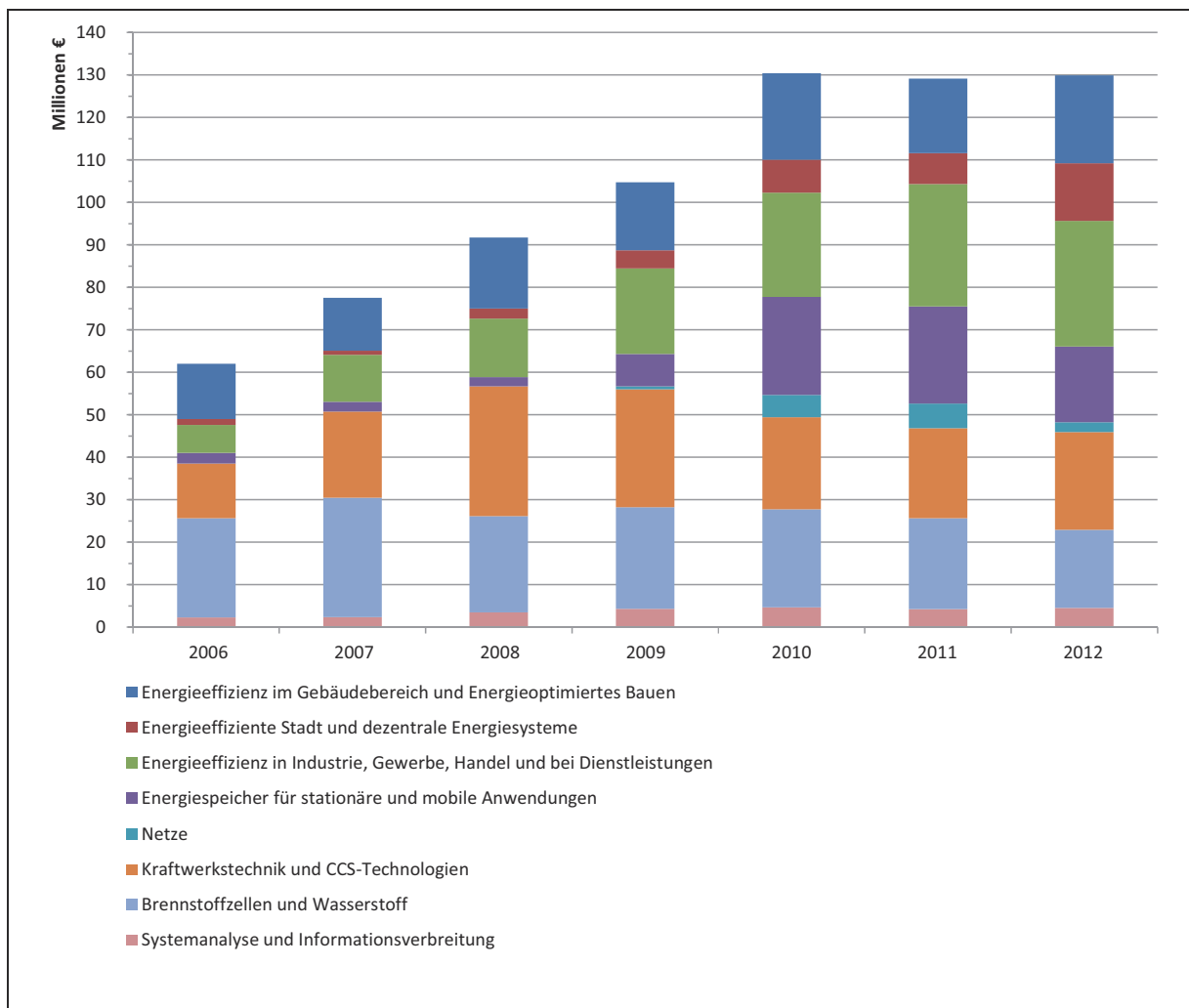
Einen Überblick der Projektförderung zum Thema Energieeffizienz gibt Abb. 2. Die nachfolgende Darstellung der Förderaktivitäten orientiert sich an der heutigen Förderstruktur. Zu diesem Zweck wurden zurückliegende Projekte neu zugeordnet.

### 2.1.1 Energieeffizienz in Gebäuden und Stadtquartieren

Die Forschungsförderung auf dem Gebiet der Energieeffizienz in Gebäuden konzentrierte sich im 5. Energieforschungsprogramm unter den Vorgaben des Förderschwer-

Abbildung 2

**Projektförderung Energieeffizienz**  
(Daten siehe Tabelle 3)



punkts „EnOB – Energieoptimiertes Bauen“ anfangs vorrangig auf den Energieverbrauch des isoliert betrachteten Gebäudes: mehr als drei Viertel der eingesetzten Fördermittel flossen in Projekte zu den Themen „Solaroptimiertes Bauen – EnBau“ und „Energieoptimierte Verbesserung der Bausubstanz – EnSan“ (vgl. Abb. 3).

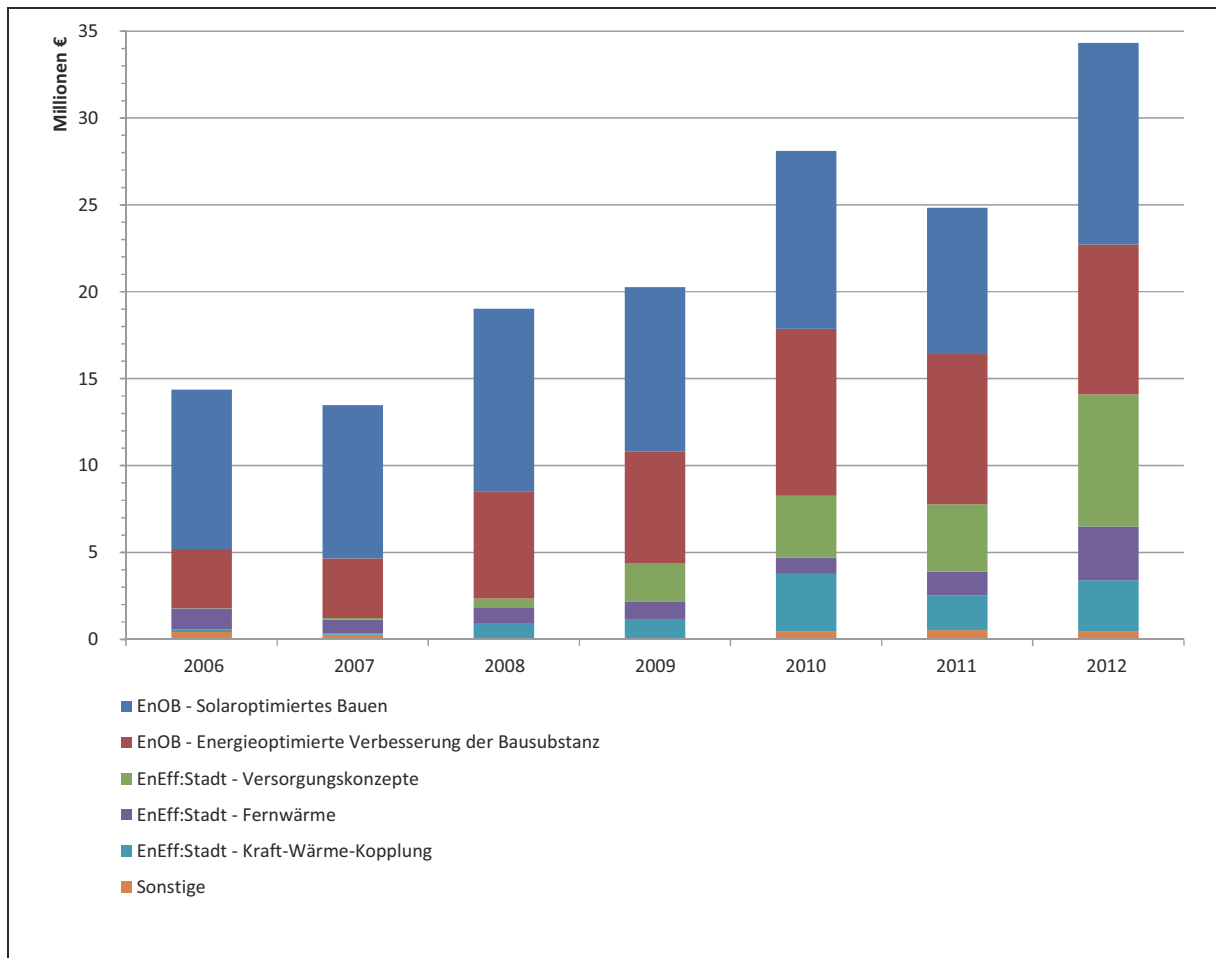
Ein zentrales Forschungsthema war die thermische Isolierung der Gebäudehülle im Neubau, aber insbesondere auch die Entwicklung von praktisch im Bestand einsetzbaren Lösungen, bei denen Fragen der gestalterischen Flexibilität noch stärker im Vordergrund stehen. Hier wurden u. a. mehrere Projekte zur Vakuum-Isolationstechnik durchgeführt. Weitere Forschungsprojekte untersuchten Gebäudeverglasungen in ihrer Doppelfunktion als Wärmeisolator und Beleuchtungselement. In Demonstrationsvorhaben wurden deren Funktions- und Praxistauglichkeit getestet. Als Ergebnis eines Evaluationsprozesses wurden die Bereiche EnBau und EnSan in 2007 zusammengeführt.

Im gleichen Jahr wurde mit den neuen Förderkonzepten „Energieeffiziente Stadt“ und „Energieeffiziente Wärmeversorgung“ die Perspektive erweitert und das Gebäude in den Kontext eines Stadtquartiers und seiner Energieversorgung gestellt. In der Folge wurde die Erforschung verschiedener Aspekte der integrierten Betrachtung von Stadtquartieren und ihrer Strom-, Wärme- und Kälteversorgung ausgebaut, was durch eine Erhöhung der Fördermittel von rd. 2 Mio. Euro noch in 2008 auf 13,6 Mio. Euro in 2012 unterlegt wurde. Mit der Förderung von Demonstrationsprojekten zur energetischen Stadtsanierung wurden innovative Konzepte integraler Planung erfolgreich umgesetzt und in der parallel laufenden Begleitforschung analysiert.

Die Erforschung von Konzepten und Materialien zur Speicherung thermischer Energie ist inhaltlich im Gebäudereich verankert, wird aber aus heutiger Sicht dem Fachbereich „Energiespeicher“ zugeordnet.

Abbildung 3

**Fördermittel für energieeffiziente Gebäude und Städte**  
(Daten siehe Tabelle 3)



**2.1.2 Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)**

Die Forschungsmittel des BMWi für Projekte zur Steigerung der Energieeffizienz in Industrie und GHD (vgl. Abb. 4) sind im Betrachtungszeitraum überproportional gewachsen. Sie wurden mit einer Steigerung von 6,6 Mio. Euro (2006) auf 29,6 Mio. Euro (2012) weit mehr als vervierfacht. Der Anteil des Förderschwerpunkts an den Mitteln für die Projektförderung Energieeffizienz hat sich im gleichen Zeitraum von 11 auf 23 Prozent verdoppelt. Daran wird deutlich, dass die Energieforschungspolitik neben dem Beitrag zur Erreichung energiewirtschaftlicher Vorgaben auch das Ziel verfolgt, in deutschen Unternehmen vorhandenes Know-how auf dem Gebiet moderner Energietechnologien zu halten und zu stärken.

Mit dem dynamischen Mittelaufwuchs konnte einerseits die Forschung in den energieintensiven Industrien verstetigt werden. Andererseits wurden insbesondere solche Forschungsthemen ausgebaut oder neu erschlossen, die Energieeffizienz branchenübergreifend betrachten und Verfahren entwickeln, die breitere Einsatzmöglichkeiten

bieten. Im Detail untergliedert sich die Förderung wie folgt:

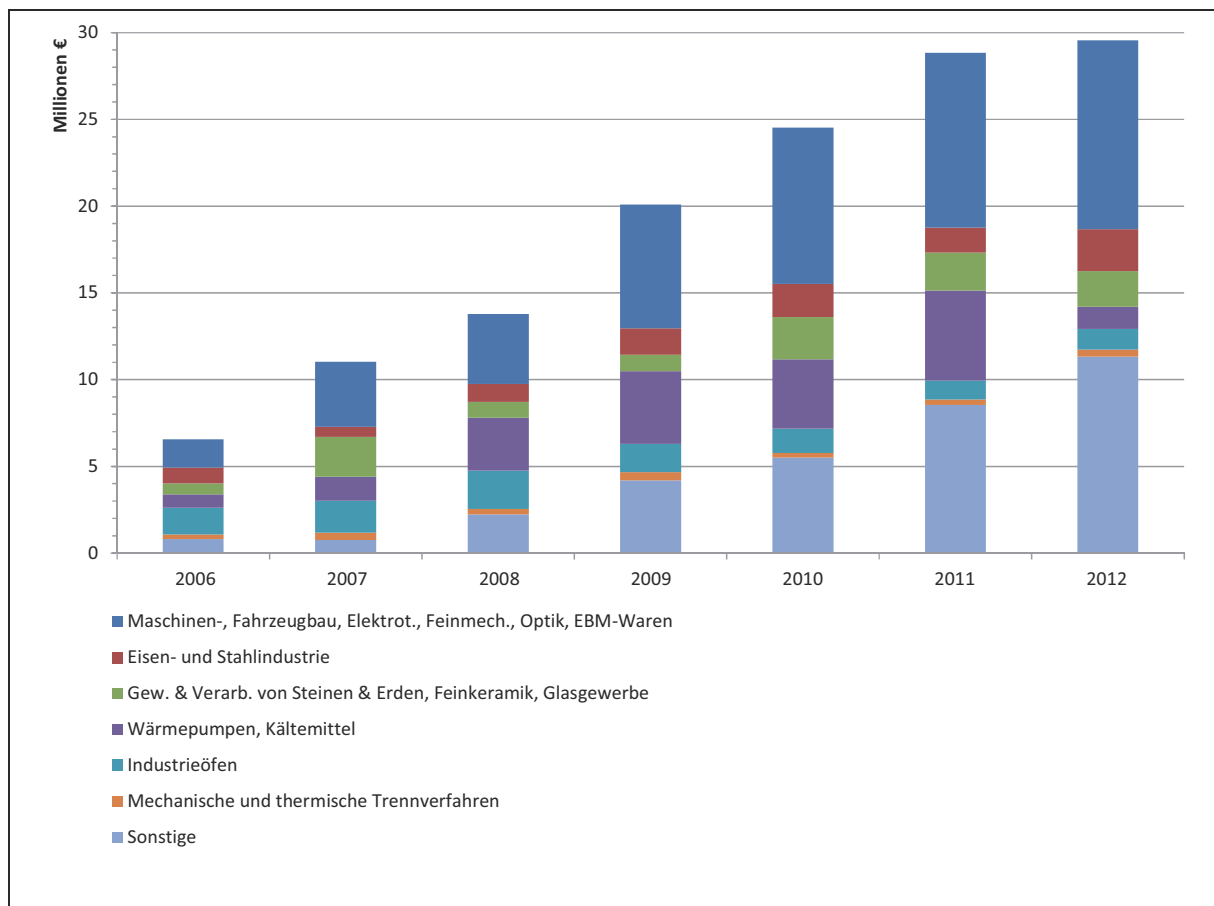
Im Maschinen- und Fahrzeugbau sowie der Anlagentechnik ist der größte Aufwuchs zu verzeichnen. Gefördert wurden u.a. Entwicklungen zur Optimierung bei der mechanischen Kraftübertragung in Motoren, Getrieben und Lagern, Leichtbaustrategien und Hybridsysteme für Industriedieselmotoren sowie Projekte in der Oberflächen- und Umformtechnik. Einen Schwerpunkt bildete die Supraleitertechnologie mit einer Spannweite von Fertigungstechnologien und einem Generator-Teststand bis hin zu Pilotanwendungen von Netzkomponenten (Strombegrenzer) und Torquemotoren.

Im Bereich Wärme und Kälte wurden neben Entwicklungen von Wärmepumpen für verschiedene Einsatzbereiche der Erwärmung und Kühlung auch Adsorptions-Anlagen auf Zeolithbasis gefördert. Die effiziente Abwärmenutzung wurde sowohl mit Hilfe von ORC-Prozessen<sup>1</sup> wie

<sup>1</sup> ORC: (engl. Organic Rankine Cycle) Dampfkreislauf basierend auf organischen Flüssigkeiten niedriger Verdampfungstemperatur

Abbildung 4

**Fördermittel für Energieeffizienz in Industrie und GHD**  
(Daten siehe Tabelle 3)





auch in mehreren Projekten zur Thermoelektrik gesteigert.

Die Zahlen aus dem Bereich Gewinnung und Verarbeitung von Steinen, Erden, Keramik und Glas beziehen sich auf Projekte wie die Ofengasverstromung eines Carbid-Ofens, die Synthesegasherstellung in einem Kalkwerk und neue Konzepte bei der Schmelze und Wärmebehandlung von Spezialgläsern ebenso wie verbesserte Verfahren bei der Herstellung und Verarbeitung von Zement, Beton und Ziegeln.

Im Themengebiet Industrieöfen wurden eine Vielzahl von Projekten in den energieintensiven Industrien gefördert, die von der Simulation bis zur prototypischen Umsetzung reichten und u.a. Aspekte der Bauweise und Materialien, der Brennstoffe und Brennstoffsubstitution sowie der Sensortechnik, Regelung und Prozessführung umfassen. Separat ausgewiesen sind Projekte in der Eisen- und Stahlindustrie mit Schwerpunkten auf der Optimierung von Schmelz- und Gießvorgängen.

Übrige Vorhaben sind in der Sparte Sonstiges subsumiert. Hierzu zählen u.a. Aktivitäten bei Trocknungsprozessen, Trennverfahren, spezielle Fragen der Bearbeitung von Papier und Textilien sowie die Optimierung von Produktions- und Logistiknetzwerken.

**2.1.3 Speicher und Netze**

Der weiter voranschreitende Ausbau der regenerativen Stromerzeugung hat inzwischen ein Volumen erreicht, bei

dem die Integration dieser Energie in das Gesamtsystem ohne neue Maßnahmen an technische Grenzen stößt, da regenerativ erzeugte Energie i. d. R. fluktuierend und dezentral zur Verfügung steht. Zuverlässige Energiespeicher und leistungsstarke Stromnetze können Antworten bei der Lösung dieser Fragen sein.

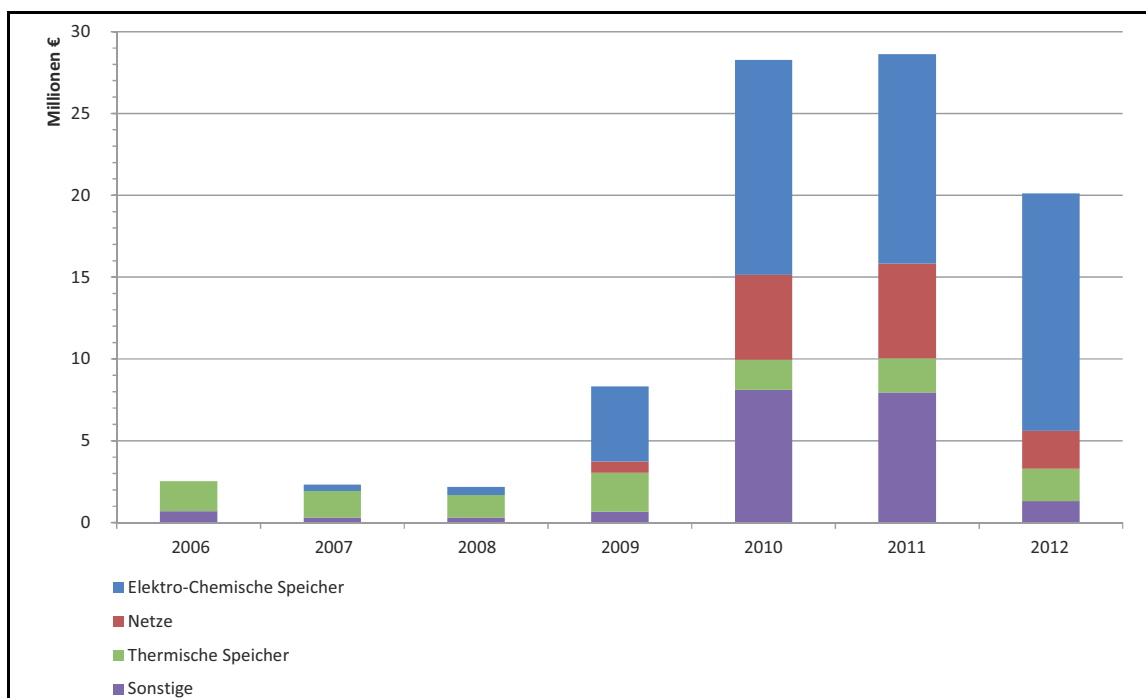
Auch im Bereich der Energieeffizienz werden Weiterentwicklungen von Speichern und Netzen benötigt, um Möglichkeiten und Bedarf für die Flexibilisierung zwischen Erzeugung und Verbrauch von Energie bestmöglich aufeinander abzustimmen und damit den Primärenergieverbrauch weiter zu senken. Schwerpunkte wurden dafür in folgenden Themen gesetzt:

**Energiespeicher**

- Elektrische Speicher (z. B. Weiterentwicklung von lithiumbasierten Batterien sowie Redox-Flow-Zellen und Superkondensatoren; Erarbeitung von Konzepten für die adiabate Druckluftspeichertechnik)
- Stoffliche Speicher (u. a. Entwicklung flexiblerer Elektrolyseure zur Wasserstoffherzeugung; Methoden zur Umwandlung des Wasserstoffs in synthetisches Erdgas oder höhere Kohlenwasserstoffe)
- Thermische Speicher (z. B. Identifizierung innovativer Materialien und Konstruktionsprinzipien für Latentwärme-Speicher im Gebäudebereich; Verbesserung der Energieeffizienz stromgeführter Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen))

Abbildung 5

**Fördermittel für Netze und Speicher**  
(Daten siehe Tabelle 3)



- Begleitforschung (u. a. systemanalytische Untersuchungen)

Netztechnologien

- insbesondere die Entwicklung neuer Komponenten, Betriebsmittel und Prüfeinrichtungen für Hochspannungs- und Verteilnetze sowie netzschonende Integration von Elektrofahrzeugen

Für die Bereiche Speicher und Netze flossen in größerem Umfang zusätzliche Mittel ab dem Jahr 2009, die ab 2010 rd. 28 Mio. Euro jährlich erreichten (vgl. Abb. 5).

Um den Bedarf an einer weiteren Entwicklung von Speichertechnologien zu unterstreichen, hat die Bundesregierung im Mai 2011 eine gemeinsame Förderbekanntmachung zu Energiespeichern (vgl. Kapitel 2.5) veröffentlicht. Im Jahr 2012 sind daher in der Projektförderung Energieeffizienz rd. 21 Prozent der neu bewilligten Projektmittel dem Bereich Speicher zugeordnet.

**2.1.4 Kraftwerkstechnologien**

Die Förderung auf dem Gebiet der fossilen Kraftwerkstechnologien ist in der Forschungs- und Entwicklungsinitiative COORETEC gebündelt, die vom BMWi ins Leben gerufen wurde und gemeinsam mit der Energiewirtschaft, dem Anlagenbau und den Forschungsinstituten in Form

von thematisch organisierten Arbeitsgruppen getragen wird.

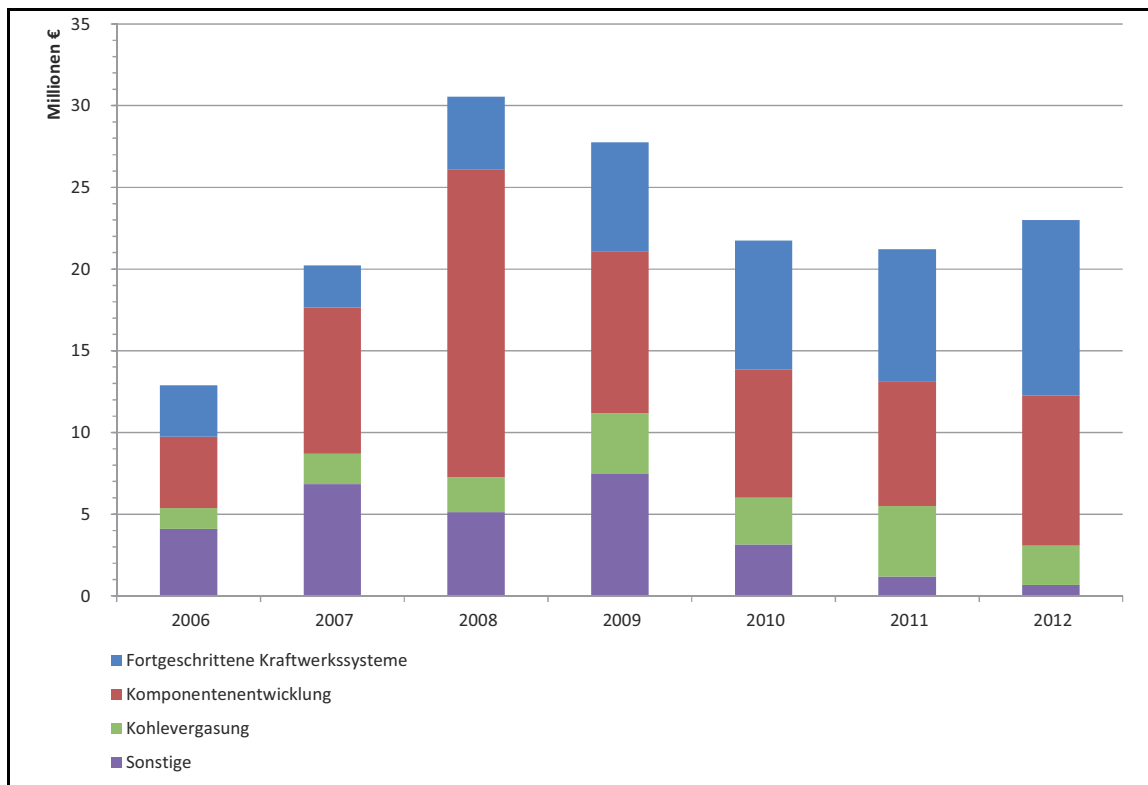
Der überwiegende Anteil der Mittel – 2012 rd. 86 Prozent der Mittel des Fachbereichs – ist für die weitere Forschung und Entwicklung von zwei Technologiesträngen aufgewandt worden: Komponenten für effizientere und flexiblere Kraftwerke sowie Technik für Kraftwerke, die durch Abscheidung und Speicherung des Kohlendioxids kaum oder kein klimawirksames Gas mehr emittieren. In Abb. 6 sind unter „fortgeschrittene Kraftwerkssysteme“ auch Themen der Null-Emissions-Kraftwerke, wie Erforschung und prototypische Darstellung der Kohlendioxidabscheidung im Kraftwerksprozess, abgebildet. Hierzu zählen spezifische Technologien zur Gasabscheidung vor und nach der Verbrennung, aber auch übergreifend Kompressor- und weitere Anlagentechniken.

Im Bereich der Komponentenentwicklung wurden vornehmlich Fragen der Optimierung von Gas- und Dampfturbinen entlang der vier Arbeitsphasen Verdichtung, Verbrennung, Kühlung und Expansion untersucht, desweiteren auch Detailfragen zu Konstruktion und Materialentwicklung.

Die Erforschung anderer Technologiestränge zur Energiegewinnung aus fossilen Energieträgern spielt demgegenüber eine untergeordnete Rolle. Im Bereich der Kohlevergasung wurden zuletzt neueste Überlegungen im Hinblick

Abbildung 6

**Fördermittel für Kraftwerkstechnologien**  
(Daten siehe Tabelle 3)



auf Anwendungen in einem IGCC-Prozess<sup>2</sup> in Forschungsprojekten aufgegriffen.

**2.1.5 Brennstoffzellen und Wasserstoff**

Die Brennstoffzelle dient der Umwandlung von in Wasserstoffgas gebundener chemischer Energie in elektrischen Strom und Wärme. Gefördert wurde Forschungs- und Entwicklungsarbeit in diversen Technologielinien (Nieder- und Hochtemperatur-PEMFC, DMFC, SOFC und MCFC<sup>3</sup>), die sich in ihrem Aufbau grundsätzlich unterscheiden und vielfältige Einsatzgebiete von der mobilen Stromversorgung bis zur stationären Versorgung eines

Gebäudes mit Elektrizität und Wärme bieten. Die Forschungsagenda umspannt die gesamte Wertschöpfungskette von Material- und Fertigungsverfahren der Zellen über die Stacktechnologie bis hin zur Optimierung von Reformern und weiteren Komponenten, die den Betrieb der Brennstoffzelle mit unterschiedlichen Betriebsstoffen ermöglichen. Die Ziele bestehen in einer Steigerung der Leistungsfähigkeit in verschiedenen Leistungsklassen, in der Erhöhung der Langzeitstabilität und einer Senkung der Kosten. Mittelfristig ist das Vordringen in den wirtschaftlichen Bereich avisiert.

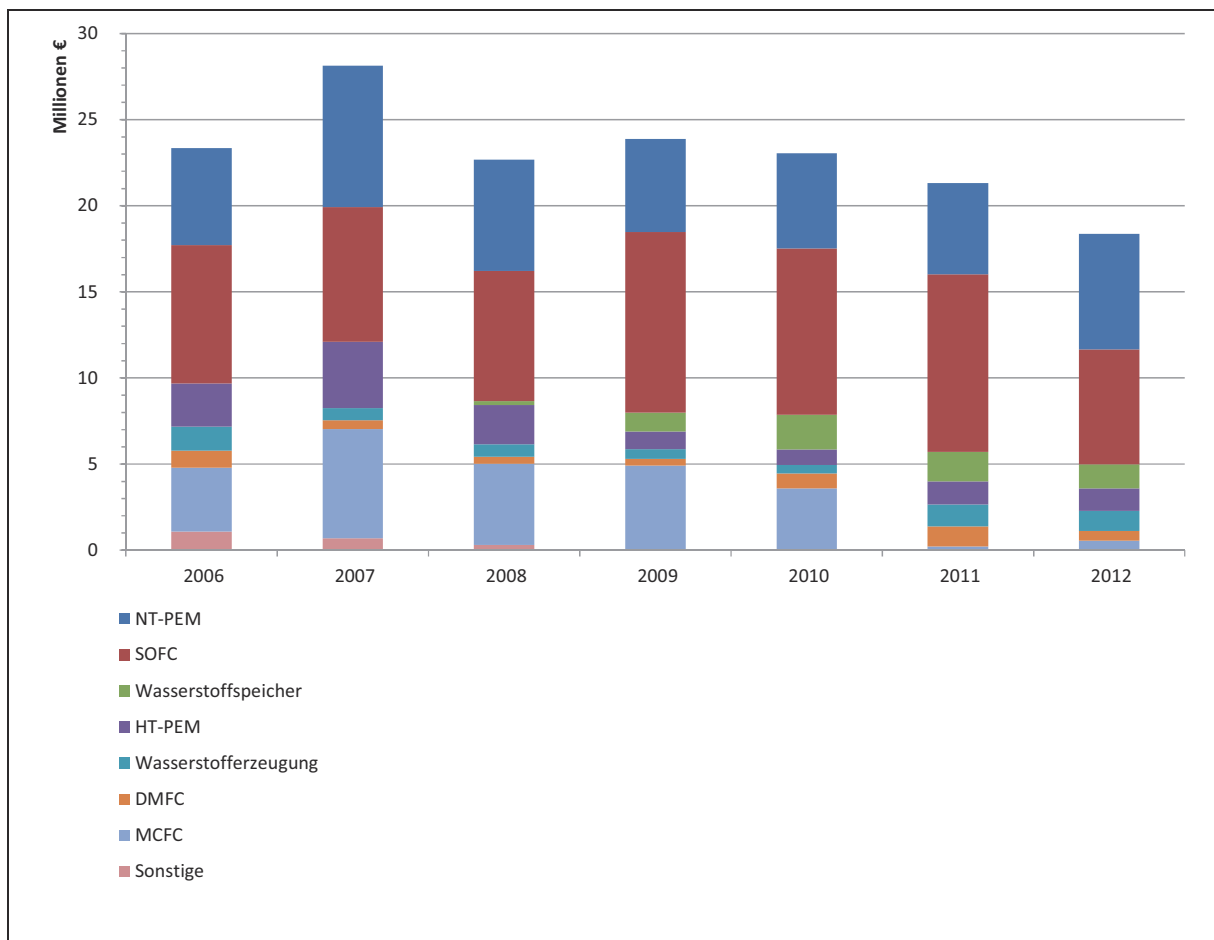
Im Förderschwerpunkt Wasserstoff wurden Fragen von effizienter und sicherer Erzeugung, Speicherung und Transport dieses Energieträgers erforscht.

Die Aktivitäten dieses Fachbereiches verstehen sich als Beitrag des BMWi zum „Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzelle“ (NIP). Im Rahmen des NIP (Laufzeit 2006 bis 2016) sollen insgesamt 1,4 Mrd. Euro in einer Allianz zweier Bundesministerien (BMVBS, BMWi), der Industrie und der Wissenschaft für

<sup>2</sup> IGCC (engl. integrated gasification combined cycle): Gas- und Dampf-Prozess mit vorgeschalteter Vergasung des Brennstoffs  
<sup>3</sup> PEMFC: Brennstoffzelle mit Protonen-Austausch-Membran (engl. proton exchange membrane fuel cell); DMFC: Brennstoffzelle, die direkt mit Methanol betrieben wird; SOFC: Festoxid-Brennstoffzelle (engl. solid oxide fuel cell); MCFC: Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (engl. molten carbonate fuel cell)

Abbildung 7

**Fördermittel für Brennstoffzellen und Wasserstoff**  
 (Daten siehe Tabelle 3)



die Entwicklung und Demonstration dieses Themas aufgewendet werden.

### 2.1.6 Querschnittsthemen

Die zuvor dargestellte technologische Förderung wurde in einem Umfang von rd. 4 Prozent der Gesamtmittel ergänzt durch Querschnittsthemen, die drei Feldern zugeordnet werden können:

Im Feld Energiesystemanalyse wurden ab 2008 verstärkt Forschungsprojekte mit dem Ziel durchgeführt, Auswirkungen im sich ändernden Energiesystem abzuschätzen und Beiträge zu Entscheidungsgrundlagen für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen zu liefern. Wichtige Themen waren Fragen der Integration von stationären und mobilen Speichern sowie KWK-Anlagen in Stromnetze und die Modellierung von Gasnetzen. In einem „Technologiebericht 2050“ wurden Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien in einer langfristigen Perspektive identifiziert.

Die Informationsverbreitung durch den BINE Informationsdienst in Form von aktuellen Nachrichtenmeldungen und regelmäßig erscheinenden umfangreich recherchierten Hintergrundinformationen hat wesentliche Beiträge zur Darstellung der Energieforschungsaktivitäten der Bundesregierung auf dem Gebiet der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energien geleistet und erreicht neben interessierten Kreisen der Bevölkerung auch Vertreter der relevanten Branchen. Im Forschungsprojekt EnArgus wird ein Informationssystem entwickelt, das Daten zur Energieforschung aus verschiedenen Quellen zusammenführt und in aufbereiteter Form zur Verfügung stellt.

Im Bereich der internationalen Zusammenarbeit wurden u.a. einzelne Beteiligungen Deutschlands an Implementing Agreements der Internationale Energieagentur (IEA) unterstützt.

Mit der fachlichen und administrativen Abwicklung der Projektförderung im Bereich Energieeffizienz ist der Projektträger Jülich beauftragt.

### 2.2 Erneuerbare Energien

Der Ausbau der erneuerbaren Energien steht im Zentrum der Energiewende: In Zukunft sollen sie den Hauptanteil am Energiemix übernehmen. Bis 2050 sollen erneuerbare Energien die Energieversorgung Deutschlands zu 60 Prozent übernehmen, die Stromversorgung zu 80 Prozent.

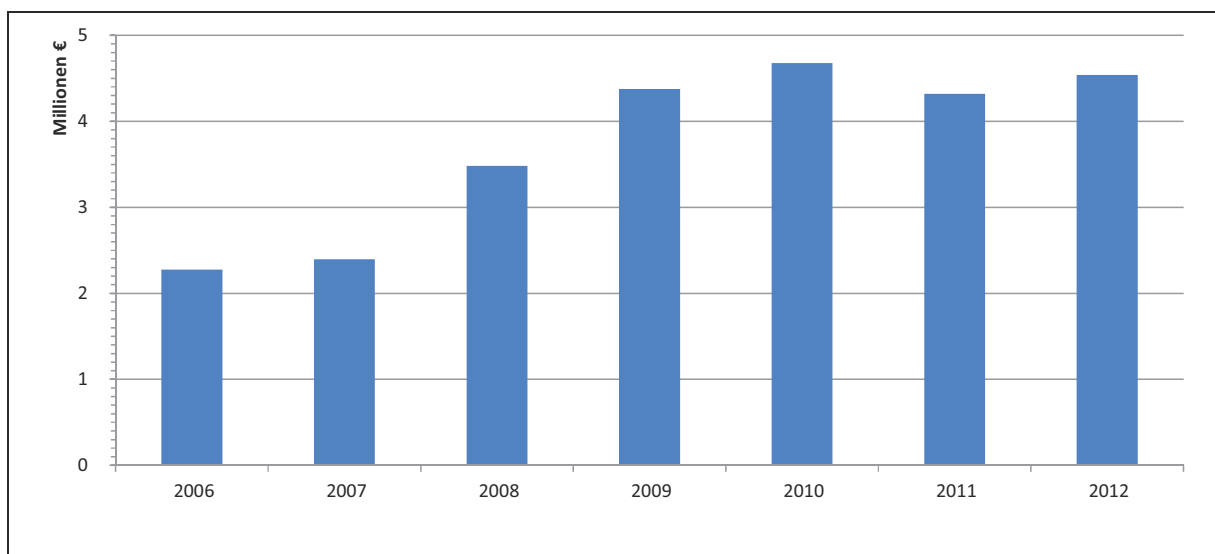
Das BMU ist zuständig für die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der erneuerbaren Energien (mit Ausnahme von Bioenergie, für die das BMELV federführend zeichnet, siehe Kap. 2.2.9) und fördert anwendungsnahe, qualitativ herausragende Projekte, die dazu beitragen,

- das Energieversorgungssystem auf einen Hauptanteil erneuerbarer Energien umzustellen,
- die Kosten der erneuerbaren Energien weiter zu senken,
- die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen in diesen globalen Zukunftsmärkten zu steigern und
- die Umwelt- und Naturverträglichkeit der Technologien zu verbessern.

In den Jahren 2006 bis Jahr 2012 konnte die Projektförderung stetig und signifikant ausgebaut werden. Das Förder-

Abbildung 8

#### Fördermittel für Systemanalyse und Informationsverbreitung (Daten siehe Tabelle 3)



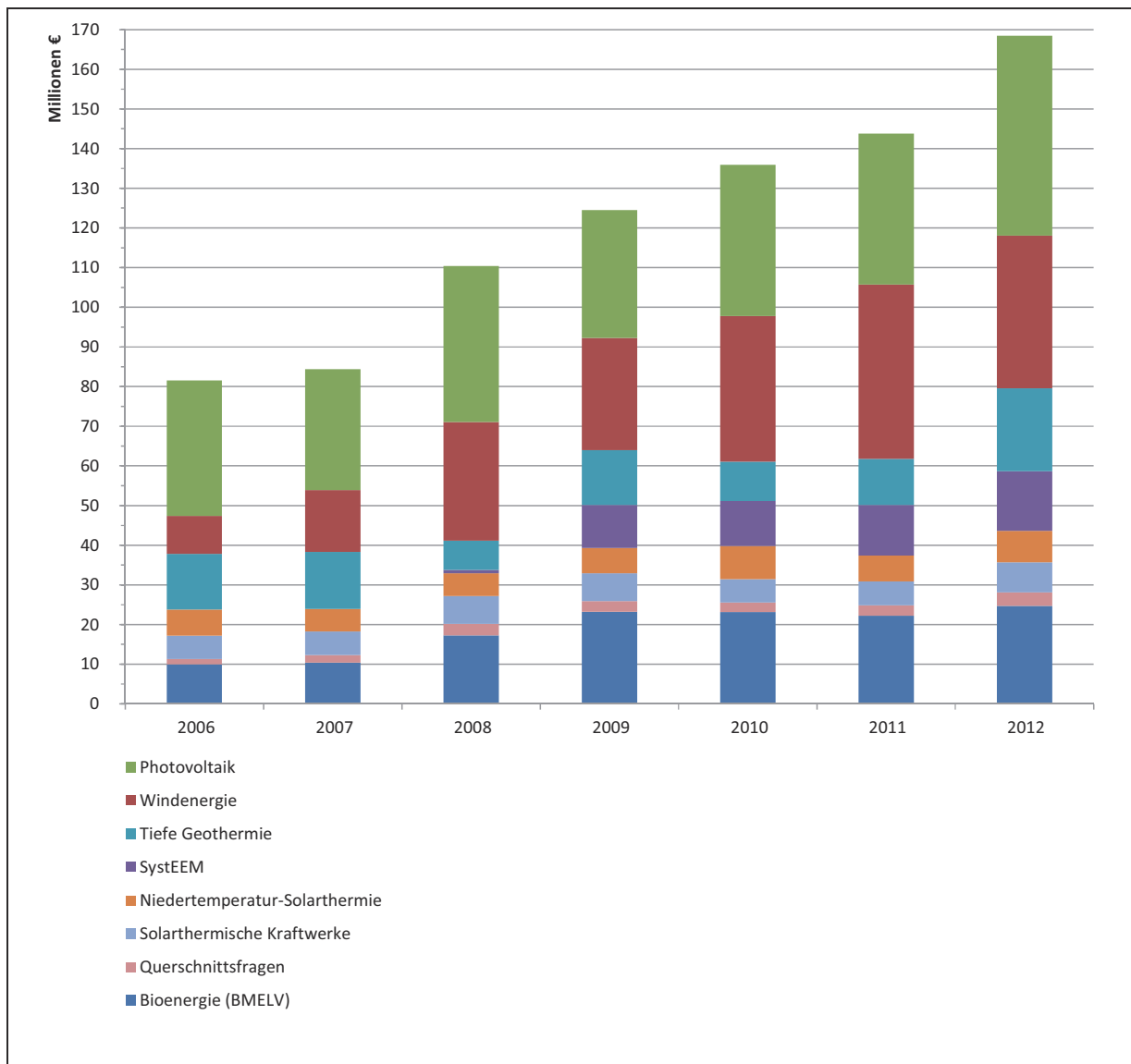
volumen stieg von 80 Mio. Euro im Jahr 2006 auf 154 Mio. Euro im Jahr 2012. Dies entspricht einem Aufwuchs um 93 Prozent und einer jährlichen Steigerung um durchschnittlich 11 Prozent. Seit dem Jahr 2011 werden die Mittel aus dem Bundeshaushalt durch Mittel aus dem Energie- und Klimafonds der Bundesregierung ergänzt, der zur Unterstützung und Beschleunigung der Energie-wende eingerichtet wurde. Im Zeitraum 2006 bis 2012 hat das BMU 1 496 Projekte mit insgesamt rund 759 Mio. Euro aus dem Bundeshaushalt und 16 Mio. Euro aus dem Energie- und Klimafonds unterstützt. Im Jahr 2012 wurden über 370 innovative Projekte mit einem Gesamtvolumen von rund 290 Mio. Euro neu bewilligt, die in den kommenden Jahren gefördert werden.

Das BMU unterstützt Projekte in den Technologiebereichen

- Windenergie,
- Photovoltaik,
- Regenerative Energieversorgungssysteme und Integration erneuerbarer Energien (SystEEM),
- Geothermie,
- Niedertemperatur-Solarthermie,
- solarthermische Stromerzeugung/solarthermische Kraftwerke,

Abbildung 9

**Projektförderung Erneuerbare Energien durch BMU und BMELV**  
(Daten siehe Tabelle 4 und Tabelle 5)



- sowie im Einzelfall Wasserkraft und Meeresenergie.
- Ergänzend werden übergreifende Fragen der Forschung zu erneuerbaren Energien und Querschnittsaktivitäten gefördert.

Beim Start des 5. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung nahm die Förderung der Photovoltaik mit 46 Prozent fast die Hälfte des Gesamtbudgets des BMU im Bereich der erneuerbaren Energien ein, gefolgt von den Bereichen Geothermie und Wind sowie der solarthermischen Wärme- und Stromgewinnung. Angesichts des erheblichen Potentials der Windenergie für den Ausbau der erneuerbaren Energien wurde dieser Förderbereich seitdem kontinuierlich ausgebaut, von 9 Mio. Euro oder einem Zehntel des Gesamtbudgets im Jahr 2006 auf im Schnitt rd. 40 Mio. Euro oder 30 Prozent des Gesamtbudgets in den Jahren 2010 bis 2012.

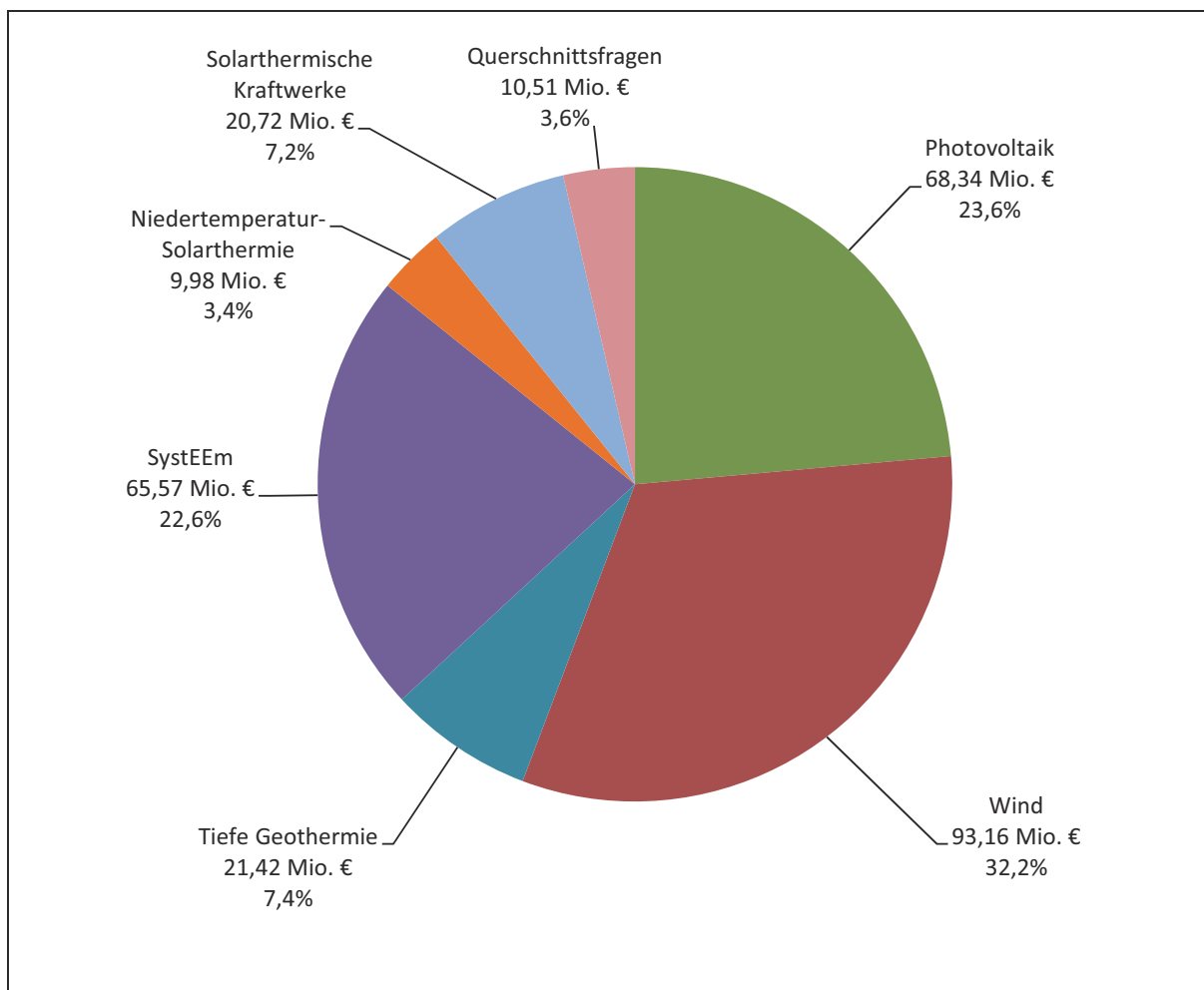
Strategisch neu aufgebaut wurde ab 2008 der Förderschwerpunkt SystEEm. Wenn die erneuerbaren Energien den Hauptanteil an Strom und Energieversorgung über-

nehmen, muss das Energiesystem so umgestaltet werden, dass es mit einem Hauptanteil erneuerbarer Energien und fluktuierender Einspeisung aus Wind- und Sonnenenergie zuverlässig funktioniert. Im Förderschwerpunkt SystEEm werden daher technologische, kosteneffiziente Lösungen für das intelligente Zusammenspiel von Energieangebot und -verbrauch, für den Netzaus- und -umbau und für die mittel- und langfristig wichtige Energiespeicherung gefördert (Stichworte smart grids, smart meter, power-to-gas, Systemdienstleistungen etc.).

Im Jahr 2012 flossen 15 Mio. Euro oder 10 Prozent des Gesamtbudgets der Energieforschung des BMU in Projekte in diesem Bereich. Es ist geplant, diesen Förderschwerpunkt weiter auszubauen, was sich bereits in den im Jahr 2012 neu bewilligten Projekten niederschlägt (vgl. Abb. 10): 2012 wurden hier 80 Projekte mit einem Fördervolumen von 66 Mio. Euro neu bewilligt, was einem Anteil von 23 Prozent am gesamten Neubewilligungsvolumen entspricht.

Abbildung 10

**Anteil der Neubewilligungen für die Projektförderung Erneuerbare Energien im Jahr 2012**



Aufgrund des Mittelaufwuchses von 2006 bis 2012 ging der Ausbau der Förderschwerpunkte Windenergie und SystEEem nicht zu Lasten der übrigen Förderbereiche, vielmehr kam der Mittelaufwuchs der letzten Jahre allen Förderthemen zugute, was sich auch bei der Bewilligung neuer Projekte im Jahr 2012 niederschlug.

Das BMU führt regelmäßig Strategiegelgespräche zu den verschiedenen Fördergebieten durch, die in die strategische Ausrichtung und Prioritätensetzung der Förderung einfließen. Die BMU-Förderung für erneuerbare Energien während der Förderperiode des 5. Energieforschungsprogramms wird einer umfangreichen Gesamtevaluation durch externe Auftragnehmer unterzogen, deren Ergebnisse im kommenden Jahr vorliegen sollen.

Das BMU legt Wert darauf, transparent und anschaulich darzustellen, wie es die öffentlichen Mittel für Forschungsförderung im Bereich der erneuerbaren Energien

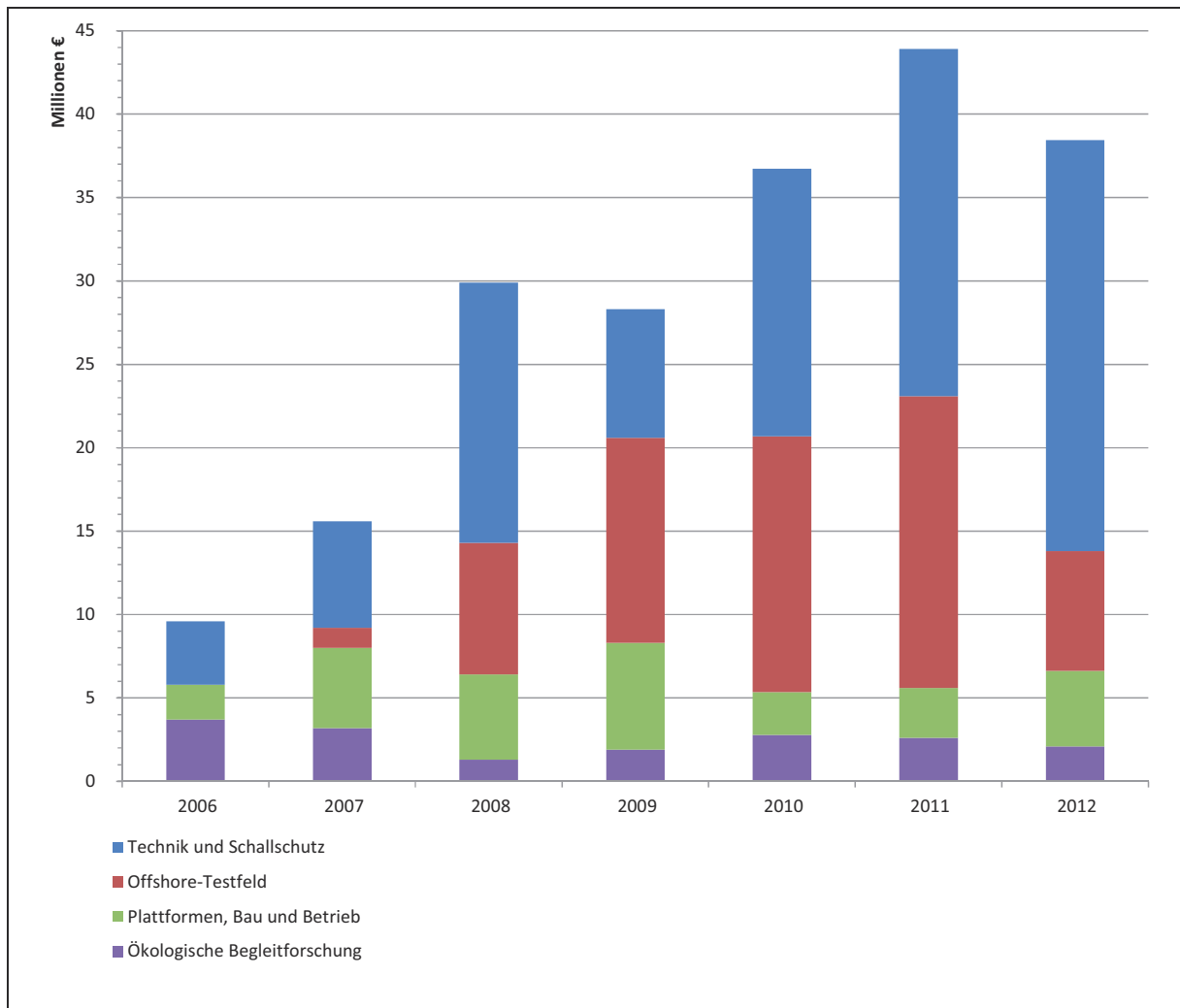
einsetzt. Daher veröffentlicht es seit 2004 jährlich den Forschungsjahresbericht „Innovation durch Forschung“ (auch in englischer Sprache). Der Bericht gibt Interessierten aus Öffentlichkeit, Politik, Wirtschaft und Forschung einen ausführlichen Überblick über die Förderaktivitäten des BMU. Die Leser erfahren, wie die Forschungsmittel im Einzelnen verwendet werden und erhalten einen Einblick in ausgewählte Projekte. Im ebenfalls jährlich erscheinenden „Forschungsjahrbuch Erneuerbare Energien“ werden alle von BMU geförderten Projekte mit einer Kurzbeschreibung dargestellt.

**2.2.1 Windenergie**

Die Projektförderung im Bereich der Windenergie wurde im Berichtszeitraum massiv ausgebaut, um die technologischen Voraussetzungen für die Nutzung der Windenergie auf See und an Land zu verbessern und zur weiteren

Abbildung 11

**Fördermittel für Wind**  
(Daten siehe Tabelle 4)



Kostensenkung der Windstromerzeugung bei Herstellung und Betrieb beizutragen. Das Fördervolumen wurde von 9 Mio. Euro im Jahr 2006 auf rd. 40 Mio. im Schnitt von 2010 bis 2012 vervierfacht, der Anteil von rd. 10 Prozent auf rd. 30 Prozent verdreifacht.

Auf absehbare Zeit kann die Windenergie den größten und wirtschaftlichsten Beitrag zum Ausbau der erneuerbaren Energien beitragen. Neben der Weiterentwicklung einzelner Komponenten steht die Verbesserung und Kostensenkung der Gesamtanlage im Fokus der Forschungsförderung des BMU. Strategiegespräche sowie die Ergebnisse der Evaluation des 4. Energieforschungsprogramms hatten außerdem gezeigt, dass für den Ausbau der Windenergie und für eine gute Wettbewerbsposition der deutschen Windenergie bei der Forschungsinstitutslandschaft und der Forschungsinfrastruktur in Deutschland Verbesserungspotentiale bestanden.

Das BMU hat daher den Aufbau einer leistungsfähigen, weltweit herausragenden Testinfrastruktur sowie den Ausbau und die Diversifizierung der Institutslandschaft gerade auch im Offshore-Bereich massiv unterstützt. Insbesondere sind hier zu nennen:

- Bau und Betrieb der Forschungsplattformen FINO1 bis 3, die wertvolle Beiträge zum Verständnis der zu erwartenden Erträge von Windparks liefern, aber auch die zu erwartenden Lasten aus Wind, Wellen und Strömung erfassen und Raum für eine umfassende ökologische Begleitforschung bieten.
- Die Inbetriebnahme des Offshore-Testfeldes alpha ventus verbunden mit einer umfassenden Begleitforschung, die im Vorhaben RAVE (Research at alpha ventus) koordiniert wird.
- Die Förderung von Messmasten und eines Windkanals verbunden mit geeigneten Messsystemen und ausreichender Rechenkapazität, die zum besseren Verständnis komplexer Onshore-Standorte (z. B. Wald, Mittelgebirge) beitragen.
- Die Gründung des Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik (CWMT) in Bremerhaven verbunden mit dem Aufbau einer leistungsfähigen Infrastruktur (Großprüfstände, Simulationskapazitäten, Labore) an den Standorten Bremerhaven, Hannover, Kassel und Oldenburg.
- Die Verschmelzung des CWMT mit dem Institut für Solare Energieversorgungstechnik – ISET e. V., Kassel, zum 2009 gegründeten Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES).
- Zusammenschlüsse wie ForWind (Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen), WindForS (Universitäten Stuttgart und Tübingen, Technische Universität München, Karlsruher Institut für Technologie, Hochschule Aalen und Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg) oder der Kooperationsvertrag von Fraunhofer-IWES, ForWind und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Hierdurch werden Kompetenzen gebündelt

und Synergien genutzt, die die Bearbeitung komplexer Fragestellungen ermöglichen.

Weitere wichtige Themen der Forschungsförderungen sind schallarme und damit naturverträglichere Offshore-Gründungstechnologien sowie die Analyse von Ausfallursachen und angepassten Betriebsstrategien, um die Stromgestehungskosten weiter zu senken. Zudem werden regelmäßig Projekte zur ökologischen Begleitforschung, also den Auswirkungen der Technologie auf Flora und Fauna, gefördert.

Forschungsfragen der Netzintegration der erneuerbaren Energien wurden bis Ende 2007 innerhalb der Forschung für die Windenergie behandelt. Seit 2008 werden diese Themen im Schwerpunkt SystEEm gefördert (s. Kap. 2.2.3).

## 2.2.2 Photovoltaik

Trotz des Ausbaus der Förderbereiche Wind und SystEEm konnte der Umfang der Forschungsförderung für Photovoltaik in den Jahren 2006 bis 2011 mit einem Schnitt von rd. 37 Mio. Euro aufgrund des gesamten Mittelaufwuchses weitgehend konstant gehalten werden. Im Jahr 2012 lagen die Ausgaben für die Photovoltaik mit rd. 51 Mio. über diesem Schnitt. Neben einem insgesamt deutlichen Aufwuchs im Haushalt sowie im Energie- und Klimafonds schlug sich hier auch die Innovationsallianz Photovoltaik (s. u.) nieder.

Um die Ausbauziele zu möglichst geringen Kosten zu erreichen und den Ausbau der Photovoltaik wirtschaftlich und effizient zu gestalten, sind weitere deutliche Kostensenkungen notwendig. Dies ist auch im Interesse der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen in einem wachsenden, aber umkämpften Markt. Voraussetzung ist eine kontinuierliche und deutliche Senkung der Systempreise. Forschung und Entwicklung können hier einen entscheidenden Beitrag leisten.

Das BMU unterstützt Forschungsinstitute sowie PV-Hersteller und Anlagenbau kontinuierlich dabei, dies zu realisieren und verfolgt dabei insbesondere die Ziele

- die Kosten insbesondere durch effizientere Produktionsverfahren und geringeren Materialeinsatz weiter zu senken,
- die Wirkungsgrade weiter zu erhöhen, insbesondere die Lücke zwischen im Labor erzielten und in der Produktion erreichten Wirkungsgraden zu schließen und
- die Lebensdauer der Komponenten von Photovoltaiksystemen weiter zu erhöhen.

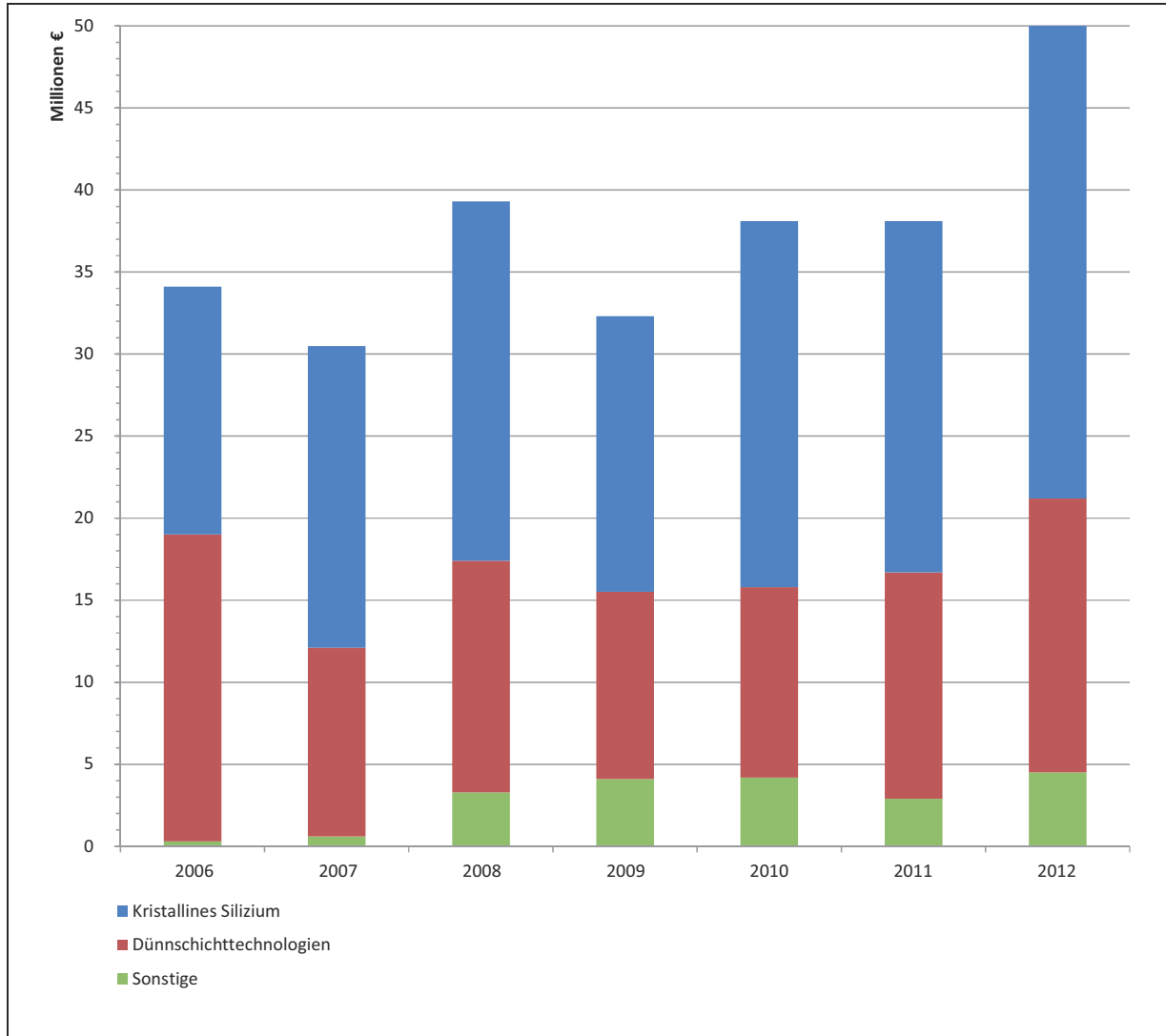
Hier konnten im Berichtszeitraum deutliche Erfolge erreicht werden:

- Beim kristallinen Silizium konnte der Modulwirkungsgrad, der 2005 bei ca. 15 Prozent lag, auf inzwischen rund 17 bis 18 Prozent gesteigert werden. Für 2020 werden 20 Prozent Wirkungsgrad erwartet; Ende der 1990er Jahre waren erst 12 Prozent erreicht. Gleichzeitig nimmt die Materialeffizienz zu. Zur Herstellung von einem Megawatt (MW) Solarzellen wer-



Abbildung 12

**Fördermittel für Photovoltaik**  
(Daten siehe Tabelle 4)



den heute rund 7 Tonnen Silizium benötigt. 2005 waren es noch 12 Tonnen, für 2020 wird eine weitere Reduzierung auf 5 Tonnen erwartet.

- Auch die CIGS<sup>4</sup> Dünnschichttechnologie zeigt deutliche Fortschritte, die sich an der Wirkungsgradentwicklung ablesen lassen. Waren 2005 rund 10 Prozent erreicht, so konnte 2012 ein Rekordmodulwirkungsgrad von 15,9 Prozent erreicht werden; bis 2020 sollen 17 Prozent erreicht sein.

Aktuell befindet sich die PV-Branche in einem harten Konsolidierungsprozess. Die Forschungsförderung des BMU reagiert hierauf, indem

<sup>4</sup> CIGS: Halbleiter basierend auf Kupfer, Indium, Gallium und Schwefel

- Kostensenkung und Leistungssteigerung als zentrale Ziele erhalten und gestärkt werden. Kostensenkungen sind gerade auch durch Innovationen im Anlagenbau zu erreichen, weshalb diese Thematik verstärkt im Fokus der BMU-Forschungsförderung steht.
- nicht nur FuE bei Komponenten (Zellen, Module, Wechselrichter) gefördert wird, sondern die FuE-Förderung für Systemlösungen (einschl. Speicher und Netzanbindung, Steuerbarkeit) deutlich ausgebaut wird. Je nach Schwerpunktsetzung werden Projekte im Förderschwerpunkt Photovoltaik oder SystEEM gefördert.
- mit der Förderung Alleinstellungsmerkmale deutscher Unternehmen voran gebracht werden. Es werden Projekte gefördert, die eine Erhöhung der Lebensdauer,

eine Verringerung der Degradation und umweltverträgliches Recycling zum Ziel haben.

Um die Anstrengungen der deutschen Industrie zu unterstützen, eine Senkung der Fertigungskosten zu erreichen und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken, hat die Bundesregierung in einer Zusammenarbeit von BMU und BMBF im Jahr 2010 auch die Innovationsallianz Photovoltaik aufgesetzt und hierfür 100 Mio. Euro zur Verfügung gestellt<sup>5</sup>. In der Innovationsallianz werden verstärkt Verbundprojekte mit Industriebeteiligung sowie eine verstärkte Kooperation innerhalb der Prozessketten und zwischen Ausrüstungs- und Photovoltaikindustrie gefördert. Die Zwischenergebnisse der Innovationsallianz sind sowohl im Hinblick auf die Kostensenkungen als auch auf die parallelen Investitionen der Unternehmen äußerst vielversprechend. So wurden seit Start der Initiative im Sommer 2010 laut einer Erhebung des Bundesverbands Solarwirtschaft (BSW-Solar) bis zum Herbst 2012 bereits rund 260 Mio. Euro seitens der Industrie zusätzlich für Innovationen aufgewendet, weitere 230 Mio. Euro sind für die kommenden Jahre angekündigt.

Neben dem Blick auf die PV-Industrie gilt es, die Kompetenz der international renommierten deutschen Forschungsinstitute zu erhalten und für die Umsetzung von Innovationen in die Produktion zu nutzen. Dies geschieht durch die Förderung von Verbundprojekten aus Industrie und Forschungsinstituten sowie durch die Förderung von

<sup>5</sup> Die Mittel des BMBF sind z. T. außerhalb des Energieforschungsprogramms budgetiert.

Vorläuferprojekten der Institute mit einem längerfristigen Umsetzungshorizont.

Thematisch orientiert sich die Forschungsförderung des BMU daran, die etablierten Solarzellen aus kristallinem Silizium weiterzuentwickeln, andererseits Dünnschichttechnologien mit hohem Potential voranzubringen. Bei den Dünnschichttechnologien wird aufgrund der Entwicklungen in den vergangenen Jahren aktuell der CIGS-Technologie das größte Potential zugebilligt.

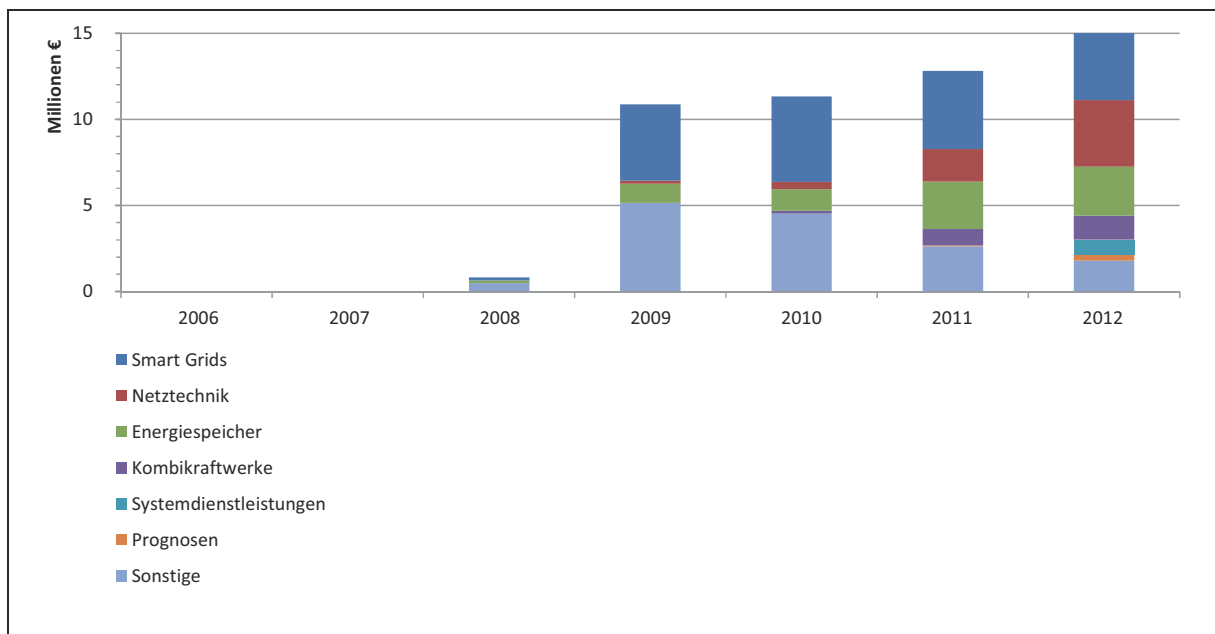
### 2.2.3 SystEEem – Regenerative Energieversorgungssysteme und Integration erneuerbarer Energien

Mit dem Förderschwerpunkt „Regenerative Energieversorgungssysteme und Integration erneuerbarer Energien“ (SystEEem) unterstützt das BMU seit 2008 gezielt den Umbau der Energieversorgungssysteme für das regenerative Energiezeitalter. Das künftige Energieversorgungssystem wird auf einen hohen Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien ausgelegt sein. Für den Systemumbau werden intelligente Netzstrukturen, innovatives Lastmanagement und perspektivisch auch die Speicherung erneuerbarer Energien benötigt. Für diese Herausforderungen sind neue und bessere technische Lösungen erforderlich.

Seit dem Start des Förderschwerpunktes im Jahr 2008 wurde er kontinuierlich ausgebaut. Im Jahr 2012 flossen 15 Mio. Euro in diesen Bereich, für die kommenden Jahre ist ein weiterer Ausbau vorgesehen.

Abbildung 13

**Fördermittel für SystEEem**  
(Daten siehe Tabelle 4)



Der rasante Fortschritt innerhalb der einzelnen Technologien zur Nutzung der erneuerbaren Energien und die Energiewende haben den Umbau der Energieversorgungssysteme immer stärker in den Vordergrund gerückt. Ziel ist die Optimierung des Gesamtsystems. Von Stromerzeugung über Transport, Speicherung und die Verteilung der Elektrizität bis hin zum Verbrauch sind also alle Bereiche zu beachten. Hierfür sind Lösungen zu entwickeln, die einen Beitrag zu einer klimaverträglichen, sicheren und wettbewerbsfähigen Energieversorgung leisten. Das BMU fördert in diesem Förderbereich Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu den Themen Energiespeicher, Netze, Systemdienstleistungen, regenerative Kombikraftwerke/virtuelle Kraftwerke sowie Prognosen für Erzeugung und Verbrauch für einen effizienten Netzbetrieb und Energiehandel.

Angesichts der zentralen Bedeutung dieser Fragen für das künftige Energieversorgungssystem baut das BMU den Förderschwerpunkt SystEEm gezielt aus. Waren es im Jahr der Gründung dieses Förderschwerpunktes (2008) noch 0,8 Mio. Euro, die in laufende Vorhaben investiert wurden, wuchsen die Mittel nach einem Sprung im Jahr 2009 (10,9 Mio. Euro) kontinuierlich bis zum Jahr 2012 auf rund 15 Mio. Euro an.

Gefördert werden anwendungsorientierte Projekte in den Bereichen

- Speichertechnologien,
- Netztechnologien und intelligente Netze,
- regenerative Kombikraftwerke/virtuelle Kraftwerke,
- Systemdienstleistungen sowie
- Prognosen zu Erzeugung und Verbrauch.

Insbesondere die Demonstrationsprojekte „Modellstadt Mannheim“ und „Regenerative Modellregion Harz“ im Rahmen des Förderprogramms eenergy haben praxistaugliche Lösungen für die intelligente Steuerung und Abstimmung von Nachfrage und Verbrauch sowie die Vernetzung unterschiedlicher erneuerbarer Energien in „regenerativen Kombikraftwerken“ entwickelt.

Im Bereich Energiespeicher führt das BMU derzeit gemeinsam mit BMWi und BMBF die ressortübergreifende Förderinitiative Energiespeicher (vgl. Abschnitt 2.5) durch. Hier werden insbesondere Projekte zu den Themen-Leuchttürmen „Batterien in Verteilnetzen“ (Kopplung von Batteriespeichern mit dezentralen Erneuerbare-Energien-Anlagen, insbesondere Photovoltaik) und „Wind-Wasserstoff-Kopplung“ (Erzeugung von Wasserstoff oder Methan mittels Windüberschussstrom, Stichwort Power-to-Gas) gefördert.

#### 2.2.4 Tiefe Geothermie

Im Gegensatz zur fluktuierenden Wind- und Sonnenenergie steht geothermisch gewonnene Energie kontinuierlich zur Verfügung. Neben der direkten Wärmenutzung bietet sich die Geothermie dabei auch für die Stromproduktion an und kann deshalb in einem regenerativen Energiemix der Zukunft eine wichtige Rolle spielen.

In Deutschland gibt es drei bedeutende Regionen, die für die geothermische Nutzung besonders geeignet sind: das norddeutsche Becken im nördlichen Drittel Deutschlands, der Oberrheingraben im Südwesten und das Molassebecken im Süden Deutschlands. 2012 konnten zwei neue Standorte für die Stromgewinnung erschlossen werden: Sauerlach (Bayern) und Insheim (Rheinland-Pfalz) kamen zu den bestehenden Standorten Landau (Rheinland-Pfalz, 2007), Unterhaching (Bayern, 2008/09) und Bruchsal (Baden-Württemberg, 2009) hinzu. Drei weitere Geothermieprojekte zur Stromgewinnung sind im Bau: Kirchstockach, Kirchweidach (beide in Bayern) sowie Oberhaching (ebenfalls Bayern, Strom nur als Nebennutzung). Nach Angaben des Bundesverbands Geothermie e. V. (GtV) waren im Oktober 2012 deutschlandweit 20 geothermisch versorgte Heizkraftwerke in Betrieb, die über Fernwärmenetze Haushalte, Unternehmen und öffentliche Gebäude mit Wärmeenergie versorgen.

Die geothermische Wärmeenergiegewinnung etabliert sich zunehmend. Die geothermische Stromgewinnung befindet sich hingegen noch nicht in einem Stadium, in dem diese Technologie zuverlässig in wirtschaftlichen Maßstäben bundesweit genutzt werden kann, auch wenn im Bereich der Nutzung tiefer Geothermie für die Stromerzeugung in den vergangenen Jahren bereits deutliche wissenschaftlich-technische Fortschritte erzielt wurden.

Angesichts des erheblichen Potenzials der Geothermie hat das BMU im Berichtszeitraum kontinuierlich entsprechende Forschungsprojekte mit jährlich 8 Mio. bis 15 Mio. Euro gefördert. Das aufgrund der beschleunigten Energiewende insgesamt gestiegene Neubewilligungsvolumen führte im Jahr 2012 erstmals zu einem Mittelabfluss von über 20 Mio. Euro.

Die mit Fördermitteln unterstützten Vorhaben umfassten alle Stufen der geothermischen Wertschöpfung, angefangen von der Planungs- und Exploration über die Bohr-, Errichtungs- und Bauphase bis hin zu Test und Betrieb. Die Forschungsprojekte waren dabei stets mit dem Ziel verbunden, die Kosten weiter zu senken, um die Geothermie in den Bereich der Wirtschaftlichkeit zu führen.

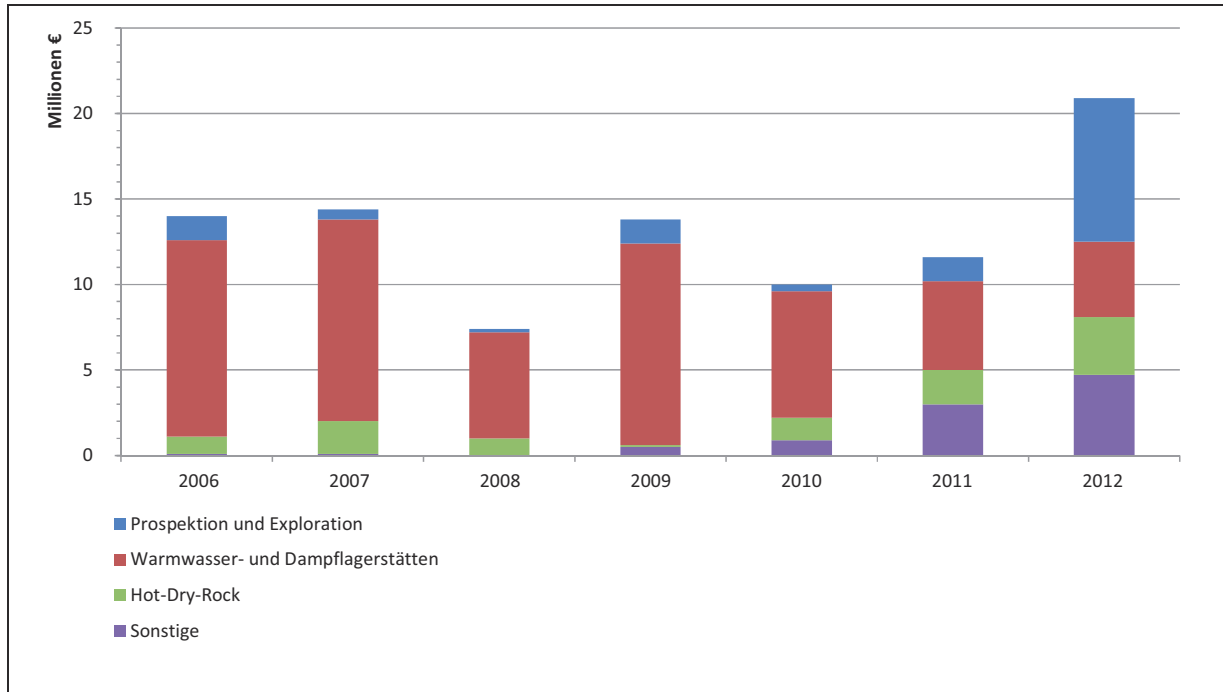
Mit dem Vorhaben GeotIS konnte beispielsweise ein umfangreiches Informationssystem zum geothermischen Potential und zu Geothermieanlagen in Deutschland aufgebaut werden, um geeignete Lokationen rasch bewerten zu können. In zahlreichen Vorhaben wurden Simulationsprogramme zur Bewertung geologischer Daten entwickelt, die ebenfalls dazu beitragen, das geothermische Potential abzuschätzen und das Fündigkeitsrisiko einer Bohrung zu minimieren.

In Deutschland liegen umfangreiche Erfahrungen mit Bohr- und Fördertechniken vor. In einer Vielzahl von Vorhaben wurden diese Erfahrungen auf die Gegebenheiten der Geothermie angepasst und dabei geeignete Bohrverfahren und Konzepte für Förderpumpen entwickelt. Diese Konzepte bilden auch weiterhin einen aktuellen Förderschwerpunkt in der Geothermie.

Neben Entwicklungen im Anlagenbau bildete auch das Monitoring der entsprechenden Anlagen, aber auch das

Abbildung 14

### Fördermittel für Tiefe Geothermie (Daten siehe Tabelle 4)



Geothermiereservoir einen zusätzlichen Forschungsschwerpunkt, der nach wie vor nichts von seiner Aktualität eingebüßt hat. Hier wurde im Berichtszeitraum Fragen etwa zu möglichen Ablagerungen in den Anlagen, zur Korrosion der verwendeten Materialien oder zum Wärmemanagement intensiv nachgegangen.

Zu Beginn des Berichtszeitraumes stand überwiegend die technische Weiterentwicklung im Fokus der Förderung, später wurden auch Konzepte zur Öffentlichkeitsarbeit und Akzeptanz in der Bevölkerung entwickelt, um möglichen Vorbehalten, etwa nach den seismischen Ereignissen in Basel und Landau entgegenzutreten. Inzwischen gehören Konzepte für eine verbesserte Öffentlichkeitsarbeit zum selbstverständlichen Bestandteil erfolgreicher Forschungsvorhaben.

Handelt es sich bei den bisher realisierten Projekten meist um hydrothermale Geothermie, also um die Nutzung vorhandener Thermalwässer, so ist in der weiteren Projektförderung auch die Erforschung heißer trockener Tiefengesteine in der petrothermalen Geothermie vorgesehen.

#### 2.2.5 Niedertemperatur-Solarthermie

Bei der Niedertemperatur-Solarthermie wird Sonnenstrahlung mittels Solarkollektoren in Wärme umgewandelt. Diese Wärme wird entweder direkt oder über Zwischenspeicher genutzt, um Trink- bzw. Brauchwasser zu erwärmen, Gebäude zu heizen, solare Prozesswärme zu

generieren, Nahwärmenetze zu versorgen oder um Kälte zu erzeugen.

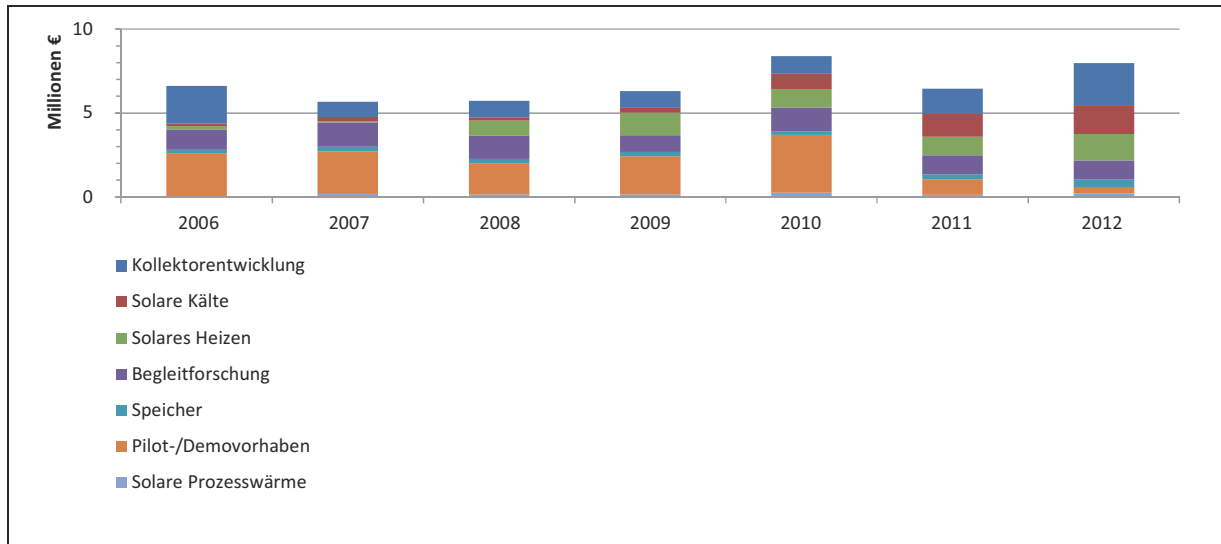
Bis 2008 stand die Umsetzung von Demonstrationsanlagen im Rahmen des Programms Solarthermie2000plus im Vordergrund der BMU-Förderung. Hierfür wurden jährlich rund 6 Mio. Euro aufgewandt. Inzwischen wurde der Anteil an Forschungs- und Entwicklungsvorhaben erhöht, um die technologischen Probleme direkt anzugehen. Vorhaben im Bereich der Niedertemperatur-Solarthermie wurden im Berichtszeitraum mit rund 6 Mio. bis 8 Mio. Euro jährlich unterstützt.

Herausforderungen für die Niedertemperatur-Solarthermie sind die Reduzierung der Systemkosten, die Entwicklung günstiger Speichertechnologien, um einen höheren solaren Deckungsanteil zu erreichen, die Realisierung einer einfachen, flexiblen Systemtechnik, die auch Kombinationen mit anderen Technologien wie z. B. der Wärmepumpe erleichtert, sowie die Erschließung neuer Anwendungsfelder wie solare Nahwärme, solare Prozesswärme oder solare Kühlung.

Dazu werden die Forschungsansätze auch in Pilot- oder Demonstrationsanlagen getestet und für weitere Entwicklungen ausgewertet. Im Wohngebäudebereich ist insbesondere die Entwicklung solarthermischer Gesamtlösungen vom einzelnen Gebäude hin zu gesamten Stadtquartieren relevant. Ein Beispiel ist die bisher größte solarthermische Anlage Deutschlands in Crailsheim, die im Mai 2012 in Betrieb genommen wurde. Bei allen Fördervorhaben steht

Abbildung 15

### Fördermittel für Niedertemperatur-Solarthermie (Daten siehe Tabelle 4)



die Verwertung der Forschungsergebnisse im Fokus, und Industriebeteiligung stellt eine wichtige Voraussetzung dafür dar.

#### 2.2.6 Solarthermische Kraftwerke

In solarthermischen Kraftwerken wird die Sonnenstrahlung zur Stromerzeugung in einem ansonsten konventionellen Kraftwerksprozess genutzt. Spiegel konzentrieren das Sonnenlicht auf einen Strahlungsempfänger und erhitzen ein Wärmeträgermedium. Diese Energie wird über einen Turbosatz in Strom umgewandelt. Für die Stromerzeugung in Regionen der Erde mit hoher direkter Einstrahlung eignen sich solarthermische Kraftwerke in besonderem Maße. Ihr großer Vorteil liegt darin, dass sie durch ihre integrierten Speicher Solarstrom bedarfsgerecht zur Verfügung stellen können.

Solarthermische Kraftwerke werden mittlerweile kommerziell gebaut und betrieben. Sie erreichen aktuell Stromgestehungskosten von 0,15 Euro bis 0,20 Euro pro Kilowattstunde. Dabei wird überwiegend die Parabolrinnentechnologie mit Thermoöl als Wärmeträgermedium eingesetzt.

Solarthermische Kraftwerke haben – bei entsprechender Kostenreduktion – das Potential, in Zukunft einen wichtigen Anteil an der weltweiten Energieversorgung zu erreichen. Perspektivisch können sie auch zur Energieversorgung Deutschlands beitragen (allerdings nicht wirtschaftlich in Deutschland selbst betrieben werden). In Deutschland entwickelte Schlüsselkomponenten wie Spiegel, Absorber und Kollektoren werden in solarthermischen Kraftwerken weltweit eingesetzt. Vor diesem Hintergrund führt das BMU die Förderung von Forschung und Entwicklung dieser Technologie fort. Die jährlichen Ausgaben liegen dabei

seit 2006 kontinuierlich zwischen rund 6 Mio. und 7,5 Mio. Euro (siehe S. 22, Abb. 16).

Insbesondere mit Blick auf die nach wie vor notwendigen Kostenreduktionen und den Ausbau der Speicherkapazität fördert das BMU vor allem Vorhaben der angewandten Forschung unter industrieller Führung oder mit industrieller Beteiligung zu folgenden Schwerpunktthemen:

- neue Wärmeträgerfluide (Salzschmelzen, Direktverdampfung) für Parabol- und Fresnelkraftwerke, die es erlauben, den Kraftwerkswirkungsgrad zu steigern und damit die Stromkosten zu senken,
- Turmkraftwerke,
- Speichertechnologien und Hybridisierung sowie
- die Entwicklung von Konzepten für einen effizienten, kostengünstigen Anlagenbetrieb.

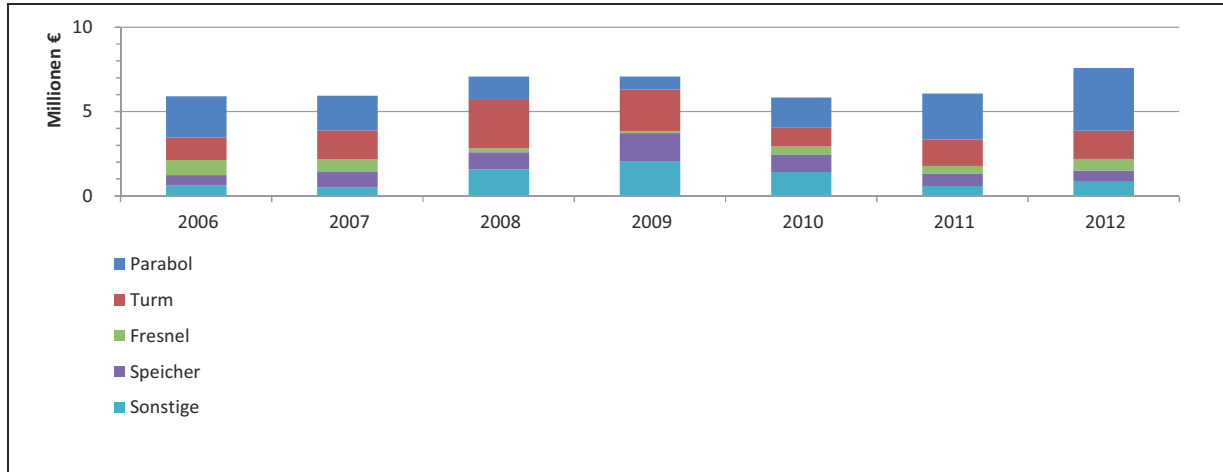
#### 2.2.7 Wasserkraft und Meeresenergie

Für die Stromproduktion aus Wasserkraft wird die natürliche Fließbewegung des Wassers, in erster Linie von Flüssen oder Stauseen, genutzt. Bei der Wasserkraft handelt es sich um eine bewährte Energiequelle, die Technik ist weitgehend ausgereift. Allerdings steigen die ökologischen Anforderungen an die Wasserkraftnutzung.

Die Nutzung der Meeresenergie dagegen befindet sich weltweit noch im Demonstrationsstadium; vor der deutschen Küste selbst kann die Technologie nicht in nennenswertem Umfang und wirtschaftlich eingesetzt werden, da die Strömungsgeschwindigkeiten und der Tidenhub relativ gering sind, die Küste wirtschaftlich stark genutzt wird und diverse Naturschutzgebiete ausgewiesen sind. Für

Abbildung 16

**Fördermittel für Solarthermische Kraftwerke**  
(Daten siehe Tabelle 4)



deutsche Unternehmen bietet sich hier insbesondere die Möglichkeit zum Export.

Projekte in den Bereichen Wasserkraft und Meeresenergie fördert das BMU daher in Einzelfällen, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf die ökologische Eignung der Technologien gelegt wird.

**2.2.8 Querschnittsfragen**

Um die Energiewende umzusetzen, bedarf es nicht nur technischer Lösungen. Es müssen gleichsam geeignete politische, rechtliche, ökonomische, ökologische und soziale Rahmenbedingungen geschaffen werden, damit das Energieversorgungssystem auf hohe Anteile erneuerbarer

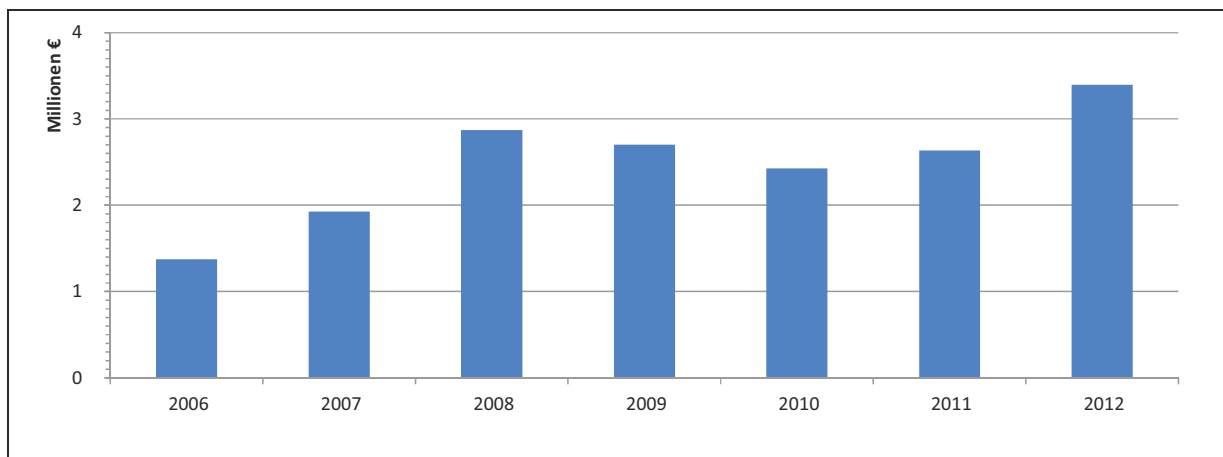
erer Energien umgestellt werden kann, ohne dass die Versorgungssicherheit und der gesellschaftliche Zusammenhalt dahinter zurückstehen.

Das BMU unterstützt Forschungsarbeiten in denen geeignete Rahmenbedingungen zur Transformation des Energieversorgungssystems für hohe Anteile erneuerbarer Energien untersucht werden.

Zu Beginn des Berichtszeitraums standen die Fragen der Akzeptanz und der Partizipation der Bevölkerung an den neuen Technologien im Mittelpunkt der Betrachtung. Seit 2009 wurde dieser Blick besonders um Fragen der Systemanalyse, der Betrachtung von Arbeitsplatzeffekten und Stoffströmen erweitert. Der Schwerpunkt aktuell in

Abbildung 17

**Fördermittel für Querschnittsfragen**  
(Daten siehe Tabelle 4)



der Förderung befindlicher Vorhaben liegt vornehmlich auf der Entwicklung von Konzepten für Strommärkte, der Umsetzung der Energiewende auf regionaler Ebene und auf Untersuchungen zum Zusammenspiel von Netzen, Speichern, Lastmanagement und erneuerbaren Energien. Untersuchungen zu Wechselwirkungen von dezentraler und zentraler Strom- und Wärmeversorgung werden ebenso gefördert. Hier spielen insbesondere planerische Aspekte eine Rolle.

Diese Vorhaben dienen aus Sicht der erneuerbaren Energien insgesamt der Technikbewertung und Technikfolgenabschätzung, der Systemtransformation sowie der Umweltkommunikation.

Zusätzlich werden Ausgaben getätigt für die Unterstützung der Ergebnisverbreitung, für Mitgliedsbeiträge in internationalen Organisationen sowie für Projektträgeraufgaben.

**2.2.9 Bioenergie: Erzeugung und Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen**

Der Beitrag des BMELV zur Projektförderung erneuerbare Energien besteht im Wesentlichen aus Fördermaßnahmen im Rahmen des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“. Dabei ist zu beachten, dass Maßnahmen aus dem vorgenannten Förderprogramm nicht nur Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe umfassen, sondern auch Maßnahmen zur stofflichen Nutzung und zur Öffentlichkeitsarbeit bzw. Verbraucherberatung. Die Pro-

jektförderung, die der Energieforschung zuzurechnen ist, umfasst daher nur einen Teil der Fördermaßnahmen aus dem genannten Förderprogramm. Das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ berücksichtigt seit dem Jahre 2000 verstärkt die energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und von Rest- und Koppelprodukten der land- und forstwirtschaftlichen Erzeugung. Die heute gültige Fassung des Förderprogramms wurde zuletzt 2008 überarbeitet und notifiziert.

Die Förderung des BMELV ist übergeordnet in zwei Bereiche gegliedert:

- Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen mit dem Schwerpunkten Anbau und Züchtung, sowie
- Energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen.

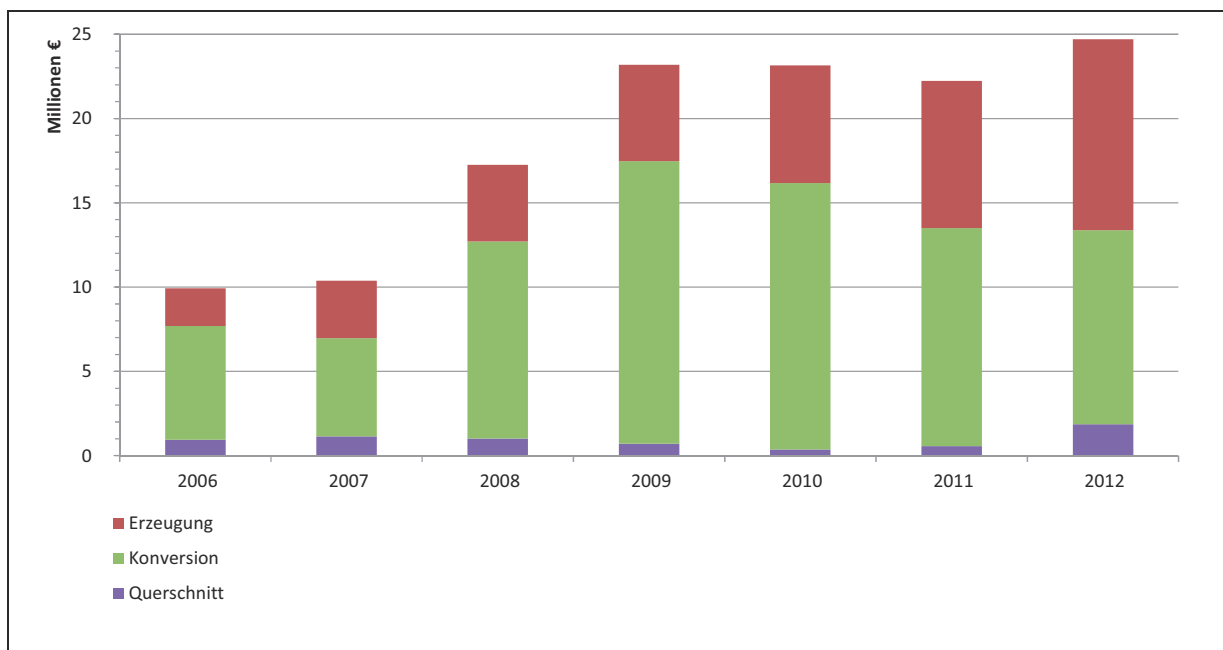
Einen Überblick der Projektförderung zum Thema Bioenergie des BMELV gibt Abb. 18.

Der Förderbereich „Energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen“ ist nach dem Aggregatzustand der biogenen Brennstoffe gegliedert und umfasst damit die drei Bereiche feste, flüssige und gasförmige Bioenergieträger.

Mit der administrativen Abwicklung der Projektförderung des BMELV auf Basis des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“ ist die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, beauftragt.

Abbildung 18

**Projektförderung Bioenergie durch das BMELV**  
(Daten siehe Tabelle 5)





Die Förderung zur Erzeugung von Biomasse umfasst den Anbau nachwachsender Rohstoffe sowie die Züchtung von für die energetische Nutzung geeigneten Energiepflanzen. Die Aufteilung der Projektförderung im Bereich Anbau und Züchtung ist in Abb. 19 dargestellt.

Anbau und Züchtung von Kulturpflanzen sind als Querschnittsaufgaben im Bereich Bioenergie von zentraler Bedeutung für die zukünftige Rohstoffversorgung aller Konversionspfade. Ohne eine nachhaltige, effektive und vor allem Nutzungskonkurrenzen reduzierende land- und forstwirtschaftliche Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen wird sich der im Energiekonzept der Bundesregierung formulierte Ausbau der Bioenergienutzung nicht verwirklichen lassen. Das BMELV unterstützt diese Entwicklung seit vielen Jahren kontinuierlich mit umfangreichen Fördermaßnahmen.

Schwerpunkt bei den Maßnahmen zum Anbau sind die Optimierung land- und forstwirtschaftlicher Produktionssysteme in Hinblick auf Nachhaltigkeit und Ressourcenschutz sowie die Überführung relevanter Ergebnisse in die Praxis. Es werden dabei nicht nur bekannte Anbausysteme verbessert, um den steigenden Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung landwirtschaftlicher Produktionssysteme gerecht zu werden, sondern auch neue leistungsfähige Verfahren entwickelt, die gezielt auf Natur- und Umweltschutzziele ausgerichtet werden. Boden-, Klima- und Gewässerschutz und die Erhaltung der Biodiversität sind dabei von besonderer Bedeutung.

Die Züchtung angepasster Energiepflanzen ergänzt und erweitert die bezüglich des Anbaus verfolgte strategische Stoßrichtung. Durch die Inkulturnahme neuer Pflanzenarten wird das Spektrum der für die Energieerzeugung zur Verfügung stehenden Pflanzen erweitert, und durch die Anpassung von Kulturpflanzen an den Klimawandel auch unter zukünftigen klimatischen Bedingungen ein hoher Ertrag ermöglicht. Ferner werden durch Erhöhung der Ro-

bustheit sowie der Aufnahme- und Verwertungseffizienzen die Ansprüche an Düngung und Standorte im Sinne der Vermeidung von Nutzungskonkurrenzen verringert.

Die steigende Bedeutung von Anbau und Züchtung spiegelt sich in der steigenden Förderung des Bereichs wider: Wurden für Anbau und Züchtung 2006 noch rund 2 Mio. Euro aufgewandt, so lag diese Summe im Haushaltsjahr 2012 bei 11,3 Mio. Euro.

Für die Umwandlung von Biomasse in Wärme, Strom oder Sekundärenergieträger wie Kraftstoffe ist die Bereitstellung effizienter Konversionsverfahren notwendig. Aus Mitteln des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“ werden entsprechende Fördervorhaben zur Konversion fester, flüssiger und gasförmiger Bioenergieträger gefördert.

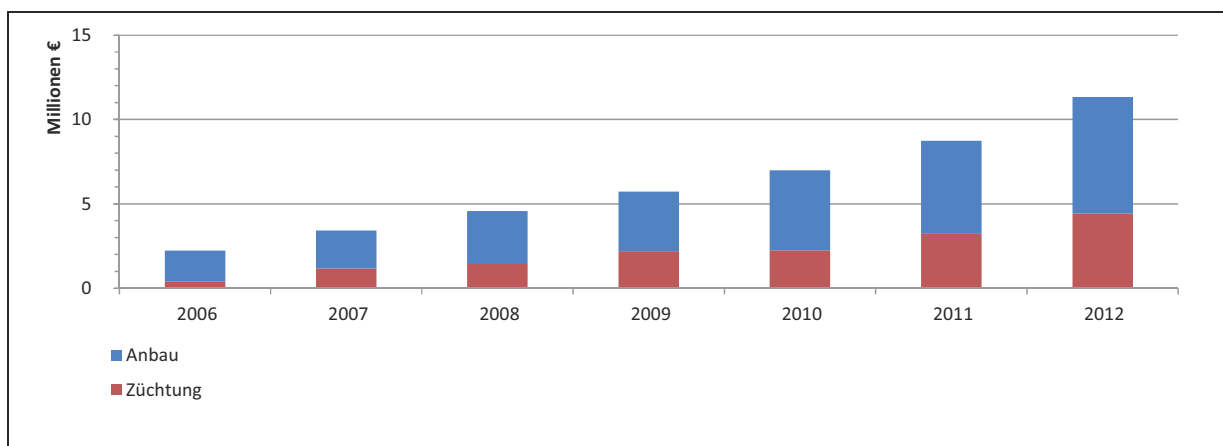
Im Bereich der festen Bioenergieträger besteht insbesondere bei Kleinfeuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Mit der letzten Novellierung der 1. BImSchV wurden verschiedene Emissionsgrenzwerte derart verschärft, dass zukünftig ein deutlicher Rückgang der Nutzung biogener Brennstoffe in Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV zu erwarten ist. Dieser zu erwartenden Entwicklung ist durch entsprechende Fördermaßnahmen zu entsprechenden technischen Entwicklungen entgegenzuwirken. Ebenso wird die Nutzung weiterer fester Biomassefraktionen wie Stroh, Getreiderückstände oder Mischpellets untersucht und weiter entwickelt.

Weitere Fördermaßnahmen zielen auf die Entwicklung neuer und effizienter Konversionsrouten.

Die Förderung zu gasförmigen Bioenergieträgern umfasst den Bereich der anaeroben Vergärung von Biomasse/Bio-gas und wurde im Jahre 2000 neu in das Förderprogramm aufgenommen. Schwerpunkte sind neben der Diversifi-

Abbildung 19

### Fördermittel für Anbau und Züchtung (Daten siehe Tabelle 5)





zierung der Substrate die Erforschung und Beherrschung des Prozesses einschließlich seiner Steuerung sowie die Sicherstellung einer hohen Produktqualität. Die Einspeisung von aufbereitetem Biogas in das Erdgasnetz, auch zur Nutzung als Kraftstoff, ist eine wesentliche technische Option.

Kraftstoffe, deren Erzeugung und deren motorische Nutzung einschließlich der Umweltwirkungen sind Gegenstand der Fördermaßnahmen zu flüssigen Energieträgern. Im Fokus der Fördermaßnahmen steht aufgrund der entsprechenden europäischen Regelungen die Sicherung der Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen sowie die Anpassung an sich ändernde Qualitätsanforderungen. Weitere Maßnahmen sowohl bei der Produktion als auch bei der motorischen Nutzung zielen auf die Einpassung klassischer Biokraftstoffe wie Pflanzenöl oder Ethanol in sich ändernde rechtliche Rahmenbedingungen.

Die Darstellung in Abb. 20 enthält neben Haushaltsmitteln des BMELV für die Jahre 2008 bis 2010 zusätzliche Mittel des Konjunkturpaketes II der Bundesregierung sowie seit 2011 zusätzliche Mittel aus dem Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“ (EKF). Seit dem Wirtschaftsplanjahr 2012 werden aus Mitteln des EKF Fördermaßnahmen zur Bereitstellung von Energieträgern auf der Basis von Algen durch das BMELV gefördert.

Wurden im Jahre 2006 6,7 Mio. Euro zur Förderung der Konversion von Bioenergieträger aufgewandt, so stieg dieser Betrag auf 11,7 Mio. Euro im Jahre 2012. Die entspricht einer Zunahme um 74 Prozent. Mit ca. 4,5 Mio. pro Jahr blieb die Förderung im Bereich Biogas auf ho-

hem Niveau konstant, während die Förderung im Bereich feste Biomasse auch aufgrund der drastischen Änderungen der staatlichen Rahmenbedingungen Schwankungen unterworfen war und heute nicht wesentlich über dem Niveau von 2006 liegt. Die von 2,7 Mio. Euro im Jahr 2006 auf heute 4,1 Mio. Euro um 52 Prozent gestiegene Förderung im Bereich Biokraftstoffe spiegelt im Wesentlichen die öffentliche Diskussion um die Bereitstellung nachhaltiger Lösungen der Biokraftstoffproduktion wider.

Die Abb. 18 macht die Bedeutung der energetischen Nutzung von Biomasse im Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ deutlich. Die ausgereichten Fördermittel für Anbau/Züchtung und Konversion haben sich von ca. 9 Mio. Euro im Jahre 2006 auf 22,7 Mio. Euro im Haushaltsjahr 2012 in etwa verdoppelt. Der Anstieg des Anteils von Anbau und Züchtung an diesen Aufwendungen von 25 Prozent im Jahr 2006 auf 50 Prozent im Jahr 2012 stellt die durch öffentliche Diskussion um Bioenergie eingeforderten Maßnahmen für eine optimierte Bereitstellung von Biomasse für energetische Zwecke unter Beweis.

Einschließlich der Förderung von Querschnittsaufgaben (vgl. Abb. 21) stiegen die Fördermittel im Bereich Bioenergie von 10 Mio. Euro im Jahre 2006 auf 24,7 Mio. Euro im Jahre 2012.

Im Rahmen der Förderung von Querschnittsaufgaben wird ebenfalls die Mitwirkung an internationalen Gremien im Zuständigkeitsbereich des BMELV wie z. B. der Durchführungsvereinbarung Bioenergie der Internationalen Energieagentur (IEA Bioenergie) unterstützt.

Abbildung 20

**Fördermittel für Konversion**  
(Daten siehe Tabelle 5)

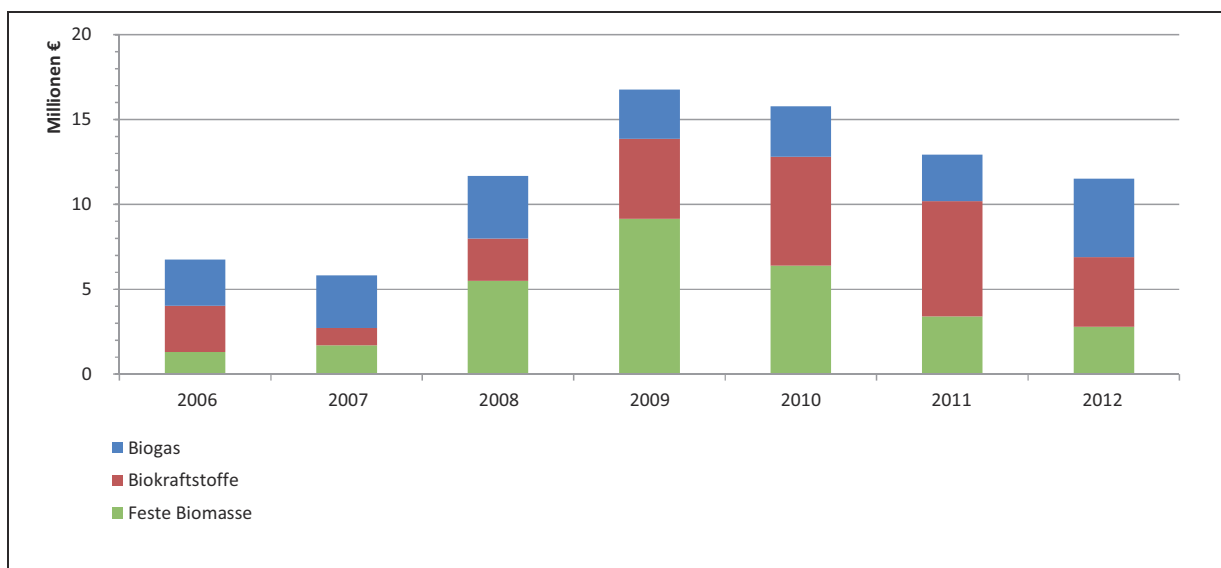
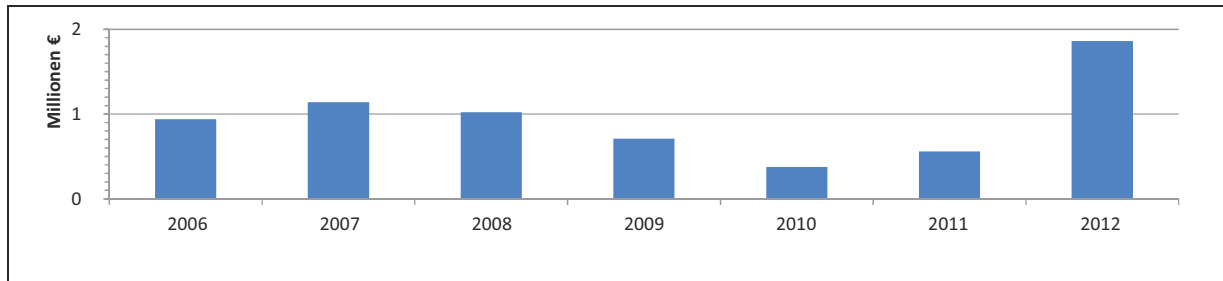


Abbildung 21

### Fördermittel für Querschnittsaufgaben (Daten siehe Tabelle 5)



## 2.3 Grundlagenforschung Energietechnologien

Für das Erreichen des Ziels einer nachhaltigen Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien, wie es das Energiekonzept der Bundesregierung vorsieht, ist die Grundlagenforschung von essentieller Bedeutung. Sie ermöglicht das frühzeitige Identifizieren von Möglichkeiten, Tendenzen, Chancen und Risiken und schafft die Basis für einen langfristigen technologischen Vorsprung des Wirtschaftsstandorts Deutschland. Neue und grundlegende Erkenntnisse erlauben ein schnelles und adäquates Reagieren auf bislang noch unvorhergesehene Entwicklungen. Die Grundlagenforschung ist Keimzelle zukünftiger Innovation und Basis aller anwendungsorientierten Bestrebungen.

Neben technologischen Entwicklungen sind gesellschaftliche Innovationen Voraussetzung für die erfolgreiche Energiewende. Diese entstehen erst mit der Verknüpfung von Wissen, Erfahrung und Technik. Deswegen gewinnt die enge Verzahnung von Energieforschung und Gesellschaftswissenschaften zunehmend an Bedeutung.

Von 2006 bis 2012 förderte das BMBF rund 200 Verbundprojekte mit über 600 Einzelvorhaben zu energiepolitisch relevanten Forschungsthemen. Die jährliche Fördersumme für die Grundlagenforschung verfünffachte sich in diesem Zeitraum von 12 Mio. Euro auf 60 Mio. Euro (hinzu kommen seit 2008 Mittel in Höhe von 10 Mio. Euro jährlich für FuE-Vorhaben im Bereich nukleare Sicherheitsforschung; vgl. Kap. 2.4).

### 2.3.1 Grundlagenforschung Erneuerbare Energien und Energieeffizienz

Das BMBF startete im Jahr 2004 die Förderinitiative „Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung“ (NGEE). Der Schwerpunkt der Initiative war die Förderung von Energieforschungsnetzwerken. Diese sollten gezielt den Aufbau und die Stärkung der Kooperation zwischen Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Unternehmen unterstützen.

Projekte zur effizienten Energienutzung wurden kontinuierlich vorangetrieben, wobei der Fokus auf den Themen

Brennstoffzelle und Wasserstoffherzeugung lag. Weitere Schwerpunkte im Bereich Energieerzeugung bildeten die Themen Photovoltaik und Biomassenutzung. Für diese wurden mehr als 50 Prozent der Fördermittel eingesetzt.

Mit dem Ausbau dezentralisierter Versorgungssysteme mit volatiler Einspeisung erneuerbarer Energien wurde der Entwicklung und Optimierung von Speichertechnologien zunehmende Bedeutung beigemessen. Die Entwicklung neuartiger Konzepte für Stromnetze unter Berücksichtigung von Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Ressourceneffizienz stellte gegen Ende des Berichtszeitraums einen weiteren Baustein der Förderstrategie dar. Abb. 22 gibt einen Überblick über die Projektförderung des BMBF im Berichtszeitraum. Neben den Initiativen zur Grundlagenforschung förderte das BMBF außerhalb des Energieforschungsprogramms anwendungsorientierte Vorhaben in den Bereichen Photovoltaik und Speichertechnik sowie systembiologische Projekte zu Energiepflanzen. In diese Projekte flossen mehr als 115 Mio. Euro.

### Photovoltaik

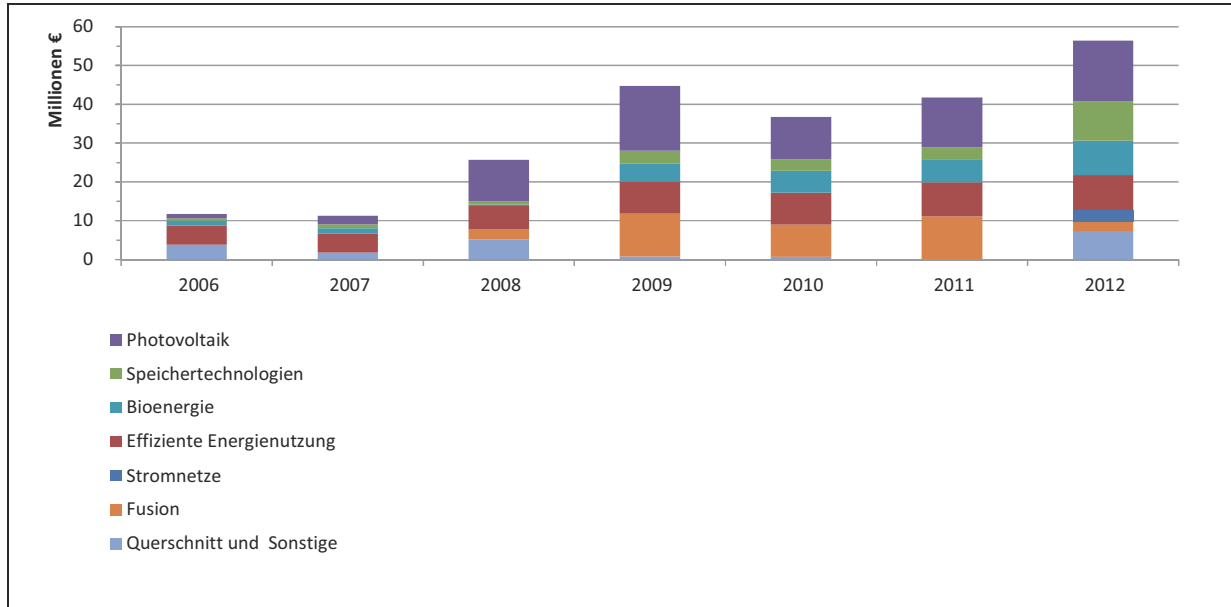
Die Forschungsförderung auf dem Gebiet der Photovoltaik konzentrierte sich im Rahmen der Förderinitiative NGEE auf wichtige Schlüsselthemen im Bereich innovativer Materialstrukturen für die Dünnschichtsolarzellentechnologie.

Ein zentrales Ziel war die Bearbeitung der technologischen Grundlagen zur Realisierung hocheffizienter Dünnschicht-Solarzellen auf Siliziumbasis, auch mit Hilfe nanostrukturierter Materialien. Weitere Forschungsfragen befassten sich mit flexiblen, kostengünstigen Solarzellen aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) sowie II-IV-Mehrfachsolarzellen auf Silizium als Substratmaterial.

Ab 2007 trug die Förderung im Rahmen des Förderkonzepts „Solarenergietechnik der nächsten Generation“ dazu bei, den Einsatz von Dünnschichtsolarzellen aus Verbindungshalbleitern und aus amorphem sowie mikrokristallinem Silizium in der Energieversorgung zu verstärken. In der Folge wurden die Erforschung wissenschaftlicher Fragen bei den bekannten Dünnschichtsolarzellen-Typen und die Ansätze für völlig neuartige Dünnschichtsolarzellen

Abbildung 22

**Projektförderung Grundlagenforschung Energietechnologien im Energieforschungsprogramm**  
(Daten siehe Tabelle 6)



ausgebaut, was durch eine Erhöhung der Gesamtfördermittel für die Dünnschichttechnologie von 10,5 Mio. Euro (2005 bis 2008) auf 17,5 Mio. Euro (2009) unterlegt wurde (vgl. Abb. 23).

Im gleichen Jahr wurde mit dem neuen Förderkonzept „Organische Photovoltaik“ (OPV) die Perspektive erweitert und diese Technologie in den Kontext einer solaren Energieerzeugung gestellt. Die Forschungsarbeiten hatten die Steigerung der Effizienz von OPV-Zellen mit einer hohen Ausbeute, einem hohen Fertigungsdurchsatz und Langzeitstabilität zum Ziel. Mit der Förderbekanntmachung „Organische Elektronik, insbesondere Organische Leuchtdioden und Organische Photovoltaik“ wurde 2011 eine anwendungsorientierte Zielrichtung eingeschlagen. Von 2008 bis 2012 wurde der Reifeprozess der OPV-Technologien mit annähernd 17,1 Mio. Euro gefördert. Weitere 41,4 Mio. Euro entfielen auf anwendungsorientierte Vorhaben im Bereich Prozesstechnik und Materialentwicklung für die organische Photovoltaik<sup>6</sup>.

Im Rahmen der Hightech-Strategie wurde ab 2008 mit der Förderung des Spitzenclusters Solarvalley Mitteldeutschland die Forschung der anorganischen Photovoltaik auch auf Silizium-Wafer-Solarzellen ausgeweitet. In aufeinander abgestimmten Projekten werden bis Ende 2013 die grundsätzlichen Fragestellungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette von kristallinen und Dünnschicht-Silizium-Solarmodulen bearbeitet und die Überführung in die Produktion vorbereitet. Das Gesamtvolumen dieser Maßnahme, die neben der Forschung auch in starkem

Maße Ziele in der akademischen Ausbildung verfolgt, beträgt 40 Mio. Euro über die gesamte Laufzeit. Die Förderung des Spitzenclusters erfolgt außerhalb des Energieforschungsprogramms.

Seit 2011 beschäftigen sich die Projekte der „Innovationsallianz Photovoltaik“ mit Forschungsfragen zu neuen Materialien, einem verbessertem Photonenmanagement sowie optimierten Herstellungsprozessen zur Senkung der Kosten, zur Steigerung des Wirkungsgrads und letztlich zum Erreichen der Netzparität.

Weitere Vorhaben legten ihren Schwerpunkt auf Fragestellungen u. a. zur Nanomorphologie organischer Solarzellen sowie zu innovativen Strukturierungskonzepten für polymere und anorganische Zellarchitekturen.

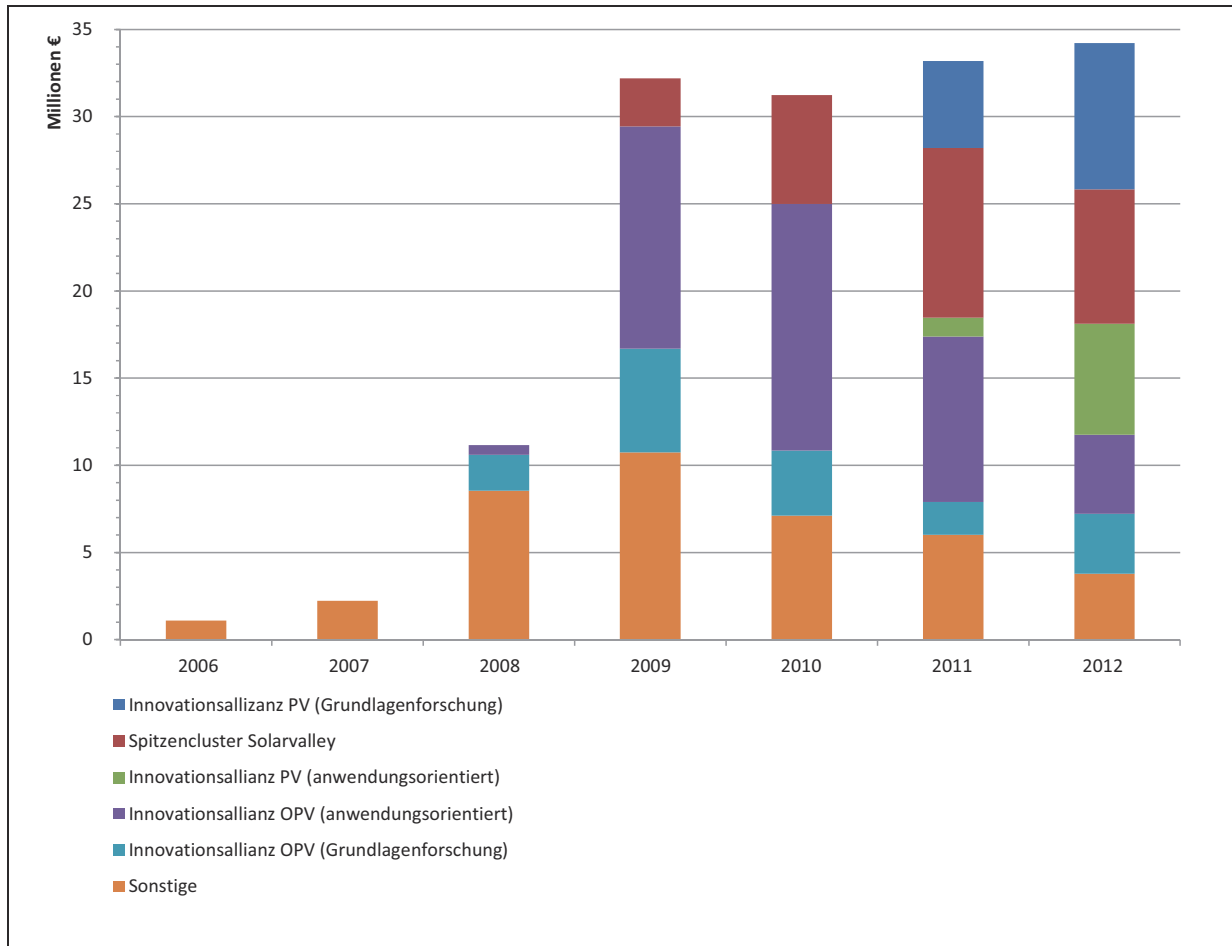
**Biobasierte Energieerzeugung**

Die angewandte Grundlagenforschung im Bereich der Bioenergie wurde innerhalb der seit 2004 bzw. 2005 laufenden Förderinitiativen NGEE und „Innovative Energy Research“ (INNER) gefördert. Die Forschungsprojekte waren auf die systematische Analyse der mikrobiologischen Stoffumwandlung und eine bessere Verwertung des schwer abbaubaren Lignin-Zellulosekomplexes im Substrat fixiert. Zur Ausrichtung auf ihre tragende Rolle in der zukünftigen regenerativen Energieversorgung, der Netzstabilisierung und der Bereitstellung von Kraftstoffen für Mobilität wurde die Forschungsförderung mit den Initiativen „Bioenergie 2021 – Forschung für die Nutzung von Biomasse“ (2008, BIO-EN) und „BioProFi – Bioenergie – Prozessorientiert Forschung und Innovation“ (2011, BIO-EN2) intensiviert. Hierdurch stiegen die jähr-

<sup>6</sup> Die Mittel des BMBF sind z. T. außerhalb des Energieforschungsprogramms budgetiert.

Abbildung 23

### Fördermittel für Photovoltaik (Daten siehe Tabelle 6)



lichen Mittel von 1 Mio. Euro in 2007 auf 5 Mio. Euro in 2009 und auf 12 Mio. Euro in 2012 (vgl. Abb. 24).

In diesen Initiativen liegen die thematischen Schwerpunkte in der Weiterentwicklung von Biogasanlagen, der thermochemischen Biomassekonversion und der Konzeption von Bioraffinerieprozessen auf photobiologischer Basis. Zum Fortschritt der Biogastechnologie werden neuartige Sensoren entwickelt, eine darauf aufbauende Steuerungstechnik für die Anlagen konzipiert und neue Verfahrenskonzepte entworfen. Der Einsatz von Reststoffen als Substrat wird intensiviert, um die Konkurrenz der Energiepflanzenproduktion zur Nahrungsmittelproduktion zu reduzieren. Durch die lastabhängige Einspeisung ins Stromnetz wird ein Ausgleich zur fluktuierenden Stromerzeugung aus Sonne und Wind geschaffen. Die effiziente Biomethanbildung und Einspeisung ins Erdgasnetz bildet eine Schnittstelle zwischen Strom- und Erdgasnetz und stellt mit Methan einen Energieträger zum Betrieb von Kraftfahrzeugen bereit.

Die Entwicklung thermochemischer Konversionsverfahren von komplexer Biomasse zu Kraftstoffen und Roh-

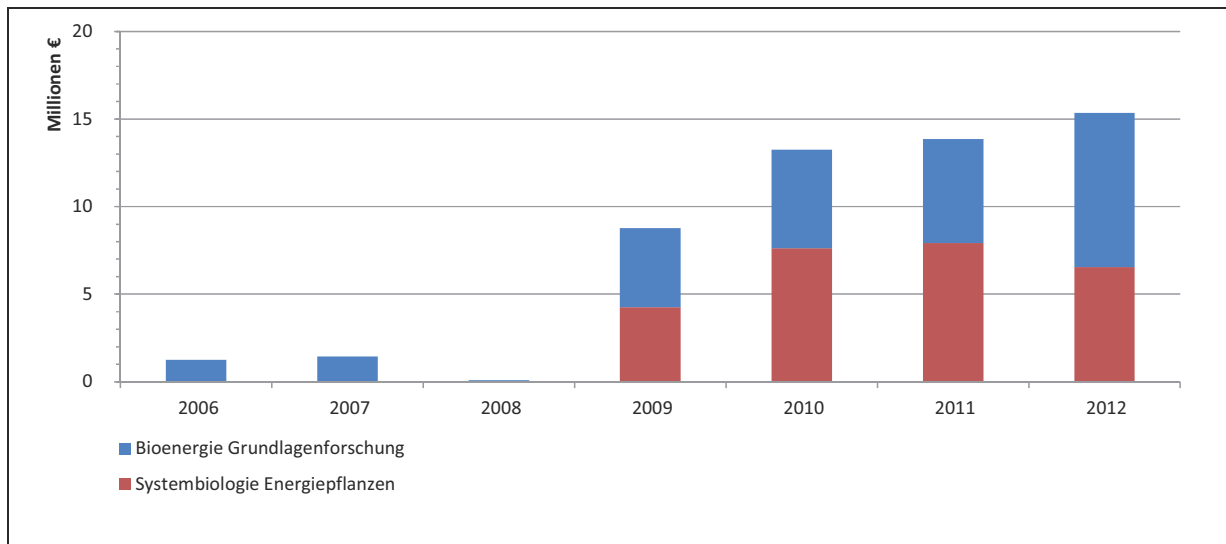
produkten für die chemische Industrie fokussiert sich auf die Weiterentwicklung bestehender und die Identifizierung neuer Katalysatoren. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Biomasse werden ebenfalls Verfahren konzipiert, um die Biomasseerzeugung mit Algen industriell zu erschließen, deren Kultivierung sich zudem auf für die Nahrungsmittelproduktion ungeeigneten Flächen verwirklichen lässt. Im Fokus der Projekte steht die Entwicklung von Bioraffinerien, d. h. die Kaskadennutzung von Biomasse, um eine Vielzahl von Produkten bereitzustellen und somit energetisch und ökonomisch sinnvolle Konzepte zu etablieren.

Mit etwa 26 Mio. Euro wurden darüber hinaus auch Vorhaben in den Bereichen Systembiologie und Bioökonomie gefördert, in deren Mittelpunkt die Optimierung von Energiepflanzen stand<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Die Mittel des BMBF sind z. T. außerhalb des Energieforschungsprogramms budgetiert.

Abbildung 24

**Fördermittel für biobasierte Energieerzeugung**  
(Daten siehe Tabelle 6)



**Energiespeichertechnologien**

Die Förderung der Speichertechnologien belief sich im Berichtszeitraum auf insgesamt 22 Mio. Euro bei steigendem jährlichem Mittelansatz (vgl. Abb. 25). Das BMBF griff dieses Thema bereits in 2004 auf und flankierte die Förderung der erneuerbaren Energien durch Projekte zu

Wärmespeichern und Lithium-Ionen-Batterien. Von 2006 bis 2010 betragen hier die Fördermittel 0,6 Mio. Euro pro Jahr und beliefen sich insgesamt auf 3,2 Mio. Euro.

Mit der „Innovationsallianz Lithium-Ionen-Batterie LIB2015“ wurden die Fördermittel für Speichertechnologien pro Jahr fast vervierfacht. Diese Innovationsallianz

Abbildung 25

**Fördermittel für Speichertechnologien**  
(Daten siehe Tabelle 6)



adressiert als Teil der Hightech-Strategie der Bundesregierung Lithium-Ionen-Batterien als Schlüssel für den breiten Einsatz CO<sub>2</sub>-armer bis -freier Technologien. Seit 2008 fördert das BMBF „LIB2015“ mit insgesamt 50 Mio. Euro, deren Hauptteil anwendungsorientierte Projekte im Bereich Elektromobilität sind.<sup>8</sup>

Mit der gemeinsamen „Förderinitiative Energiespeicher“ der drei Ressorts BMWi, BMU und BMBF rückt die Förderung der gesamten Palette zukunftsfähiger Speichertechnologien in den Fokus (vgl. Kap. 2.5). Das BMBF unterstützt in diesem Rahmen die langfristige Forschung für Speicher von morgen und stellt insgesamt mehr als 70 Mio. Euro an Fördermitteln bereit.

### Energieeffizienz inkl. Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien

Die Forschungsförderung im Bereich „Effiziente Energienutzung“ fokussierte sich auf die Weiterentwicklung der Brennstoffzellentechnologien sowie auf die Entwicklung einer CO<sub>2</sub>-neutralen Energieversorgung. Darüber hinaus werden auch Konzepte gefördert, die es ermöglichen, eine CO<sub>2</sub>-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt zu realisieren. In 2009 starteten mit dem „Wettbewerb Energieeffiziente Stadt“ in fünf Modellkommunen Forschungsverbünde, die neben wissenschaftlichen und technischen Fragen auch solche der sozial-ökologischen Einbettung neuer Energieversorgungskonzepte adressieren. Sie konzentrieren sich auf die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen städtischen Funktionsbereichen, de-

<sup>8</sup> Die Mittel des BMBF sind z. T. außerhalb des Energieforschungsprogramms budgetiert.

ren Energieversorgung und den verschiedenen kommunalen Handlungsebenen. Im Berichtszeitraum flossen rund 9 Mio. Euro in diese Projekte (vgl. Abb. 26).

Im Bereich Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie förderte das BMBF die Verbesserung der Strukturen und Anwendungen von Brennstoffzellbestandteilen – insbesondere Katalysatoren, Elektroden, semipermeable Membranen und Elektrolyte. Ziel war die Substitution besonders teurer Materialien. Forschungsaktivitäten zur Wasserstoff-erzeugung begleiteten die Brennstoffzellenforschung.

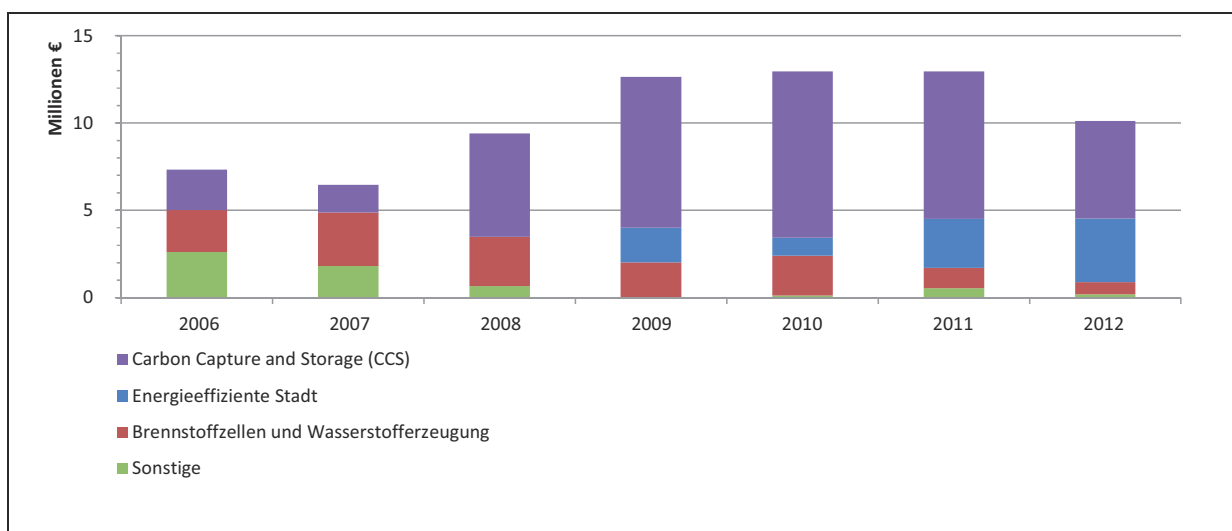
Dabei wurden innovative Verfahren zur effektiven und günstigen Bereitstellung des Brennstoffes H<sub>2</sub> untersucht. Hierzu zählt beispielsweise die Nutzung spezieller Mikroalgen, welche unter bestimmten Prozessbedingungen Wasserstoff produzieren.

Besonders hervorzuheben ist hierbei ein deutsch-kanadisches Kooperationsprojekt. Das Ziel des Projektes besteht in der Verbesserung des Wassermanagements im Inneren der Brennstoffzelle, welches deren Leistung, Stabilität und Betriebssicherheit erhöhen sollte. Das Vorhaben wird ab 2013 in der zweiten Phase weitergeführt.

Weitere Forschungsvorhaben zur Steigerung der Energieeffizienz im Rahmen von INNER und NGEE sind Projekte zur Effizienzsteigerung bei der Gasaufbereitung und zur Vermeidung umweltgefährdender Stoffe in Leuchtdioden. Von 2006 bis 2008 wurden hierfür etwa 5 Mio. Euro vom BMBF bereitgestellt. Seit 2010 wurden Forschungsarbeiten zur Effizienzsteigerung bei Kathodenkatalysatoren und zu Gasaufbereitungstechnologien unterstützt, in denen Möglichkeiten zur besseren Einbindung regenerativer Energien in das bestehende Energienetz erforscht werden.

Abbildung 26

### Fördermittel für Energieeffizienz inkl. Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien (Daten siehe Tabelle 6)





### Sonstige Energieforschung und Querschnittstechnologien

Ergänzt wurden die zuvor beschriebenen Schwerpunkte durch die Förderung einiger Querschnittsthemen und weiterer begleitender Aktivitäten (vgl. Abb. 27). Hierzu zählen bis in das Jahr 2007 auch Vorhaben aus den Bereichen Mathematik und Teilchenphysik, die später eine breite Anwendung in unterschiedlichen Feldern der Energie- und Materialforschung fanden. So wurden etwa grundlegende Arbeiten für die Entwicklung komplexer Datenverarbeitungssoftware oder neue Verfahren zur Modellierung turbulenter Strömungen finanziert. Im Bereich der Teilchenphysik wurden Projekte zur Anwendung und Weiterentwicklung von Methoden der Neutronenstreuung gefördert. Angewandt wurden sie z. B. bei der Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit von biofunktionalen Grenzschichten oder Nanopartikeln.

Im Rahmen von NGEE wurden bis in das Jahr 2010 unterschiedliche Vorhaben zum Wissenstransfer oder aus den Bereichen Geologie und Windkraft gefördert. Im Feld der Geologie wurde ein Projekt zur Entwicklung einer innovativen Vorgehensweise zur Risikoverminderung bei der Exploration und Erschließung geothermischer Lagerstätten gefördert. Es konnte einen wichtigen Ansatz liefern, um das hohe Investitionsrisiko in der Geothermie zu verringern und die flächendeckende nachhaltige Nutzung geothermischer Energie zur Stromerzeugung voran zu treiben. In einem weiteren Forschungsnetzwerk wurde eines der großen ungelösten Probleme bei der Windkraftnutzung erforscht. Dieses zielte darauf ab, die auftretenden Strömungsturbulenzen besser beschreiben und die auftretenden mechanischen Belastungen an einer Windkraftanlage genau erfassen zu können. Die Ergebnisse wurden genutzt um eine erhöhte Effizienz und Lebensdauer von Windkraftanlagen zu erzielen.

Neben dem großen Bereich der Projektförderung in den zuvor genannten Feldern stellte das BMBF auch Mittel für begleitende Maßnahmen wie die Informationsverbreitung zur Verfügung.

### 2.3.2 Fusionsforschung

Die Fusionsforschung ist nicht Bestandteil des Energiekonzeptes der Bundesregierung, weil ihre Erforschung über den Zeitraum des Jahres 2050 hinausreichen wird. Verantwortungsvolle Forschungsförderung bedeutet aber auch, langfristige Entwicklungen in gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technologischen Bereichen zu verfolgen. Die Bundesregierung folgt dabei im Rahmen des Energieforschungsprogramms den Empfehlungen der Leopoldina, zur Sicherung der Energieversorgung in Deutschland die Forschung auch zu dieser Energietechnologie fortzusetzen. Vor diesem Hintergrund unterstützt die Bundesregierung auch ITER, mit dem erstmals Energie mit dem Fusionsprozess erzeugt werden soll.

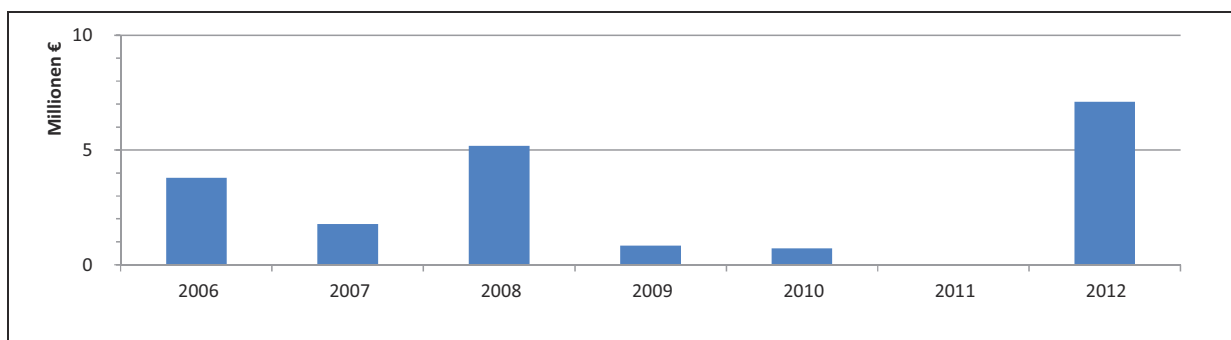
Die Förderung der Kernfusion erfolgt primär im Rahmen der Programmorientierten Förderung (POF) der Helmholtz-Gemeinschaft. An diesem Programm sind das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und das Forschungszentrum Jülich (FZJ) beteiligt.

Deutschland verfügt im Bereich Kernfusion auch im internationalen Vergleich über ein herausragendes wissenschaftliches Know-how, das es angezeigt scheinen lässt, die Kernfusionsforschung kontinuierlich fortzusetzen, um gewährleisten zu können, dass das Potenzial dieser Energiequelle für die Zukunft ausgelotet wird. Mit Großgeräten wie u.a. dem Hochtemperatur-Helium-Kreislauf (HELOKA), der Testeinrichtung für supraleitende Komponenten (TOSCA) (beide am KIT), dem Tokamak „ASDEX Upgrade“ und voraussichtlich ab 2014 dem Stellarator „Wendelstein 7 X“ (beide am IPP) steht eine weltweit einmalige Infrastruktur zur Verfügung.

Mit dem Ziel, deutsche Industrieunternehmen von diesem Know-how profitieren zu lassen und ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit im Hinblick auf technologisch höchst anspruchsvolle Aufträge im Rahmen von ITER und dem darüber hinausgehenden broader approach zu stärken, hat das BMBF ein zeitlich befristetes Projektförderprogramm mit dem Fokus auf Verbundprojekten zwi-

Abbildung 27

**Fördermittel für sonstige Energieforschung und Querschnittstechnologien**  
(Daten siehe Tabelle 6)



schen Forschungsinstituten und Industrie aufgelegt. Im Zeitraum von 2007 bis 2012 wurden insgesamt 41 Mio. Euro aufgewandt (vgl. Abb. 28).

## 2.4 Nukleare Sicherheitsforschung

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

Die projektgeförderte nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung des BMWi trägt in diesem Sinne durch gezielte Investitionen in Forschung und Entwicklung dazu bei, die anwendungsbezogenen Grundlagen bereitzustellen um langfristig und kontinuierlich eine breite Wissensgrundlage zu schaffen, den Stand von Wissenschaft und Technik ständig weiterzuentwickeln und einen substantiellen Beitrag zu Aufbau, Weiterentwicklung und Erhalt der wissenschaftlich-technischen Kompetenz zu leisten. Dies gilt auch und gerade vor dem Hintergrund des deutschen Ausstiegs aus der Stromerzeugung aus Kernenergie bis zum Jahr 2022, da über die Restlaufzeit der Kernkraftwerke hinaus in Deutschland weiterhin kerntechnische Anwendungen in Industrie, Forschung aber darüber hinaus allgemein in Medizin benötigt werden. Daher sind ein Höchstmaß an fachlicher Kompetenz sowie die Verfügbarkeit fortschrittlicher Bewertungsmethoden weiterhin unabdingbare Voraussetzung für eine wissenschaftlich fundierte Sicherheitsbewertung von Kernkraftwerken und Endlagersystemen sowohl im Inland als auch im Ausland.

Als Beitrag zum Kompetenzerhalt sowie zur Kompetenzerweiterung flankiert demgemäß das BMBF die Forschungsförderung des BMWi mit den Bereichen nukleare

Sicherheits-, Entsorgungsforschung und darüber hinaus Strahlenforschung mit dem Ziel der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Basierend auf den Zielen des BMBF-Förderkonzeptes „Grundlagenforschung Energie 2020+“ aus dem Jahr 2008 werden mit diesen Aktivitäten die Vernetzung von Wissenschaft und Industrie vorangetrieben und energiebezogene Grundlagenforschung mit anwendungsorientierten Arbeiten zusammengebracht. Einen Überblick der aktuell (I/2013) geförderten Nachwuchswissenschaftler gibt Abb. 29, die Verteilung der Fördermittel ist in Abb. 30 dargestellt.

### 2.4.1 Reaktorsicherheitsforschung

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

Die Themen der projektgeförderten Forschungsaktivitäten des BMWi auf dem Gebiet der Reaktorsicherheit orientieren sich an den als vorrangig erkannten Forschungsgebieten einer vom BMWi berufenen Evaluierungskommission. Diese im Bericht vom 21. Januar 2000 „Nukleare Sicherheitsforschung und Endlagerforschung in Deutschland“ festgehaltenen Gebiete lassen sich thematisch untergliedern in Untersuchungen zu

- I. Sicherheit von Komponenten kerntechnischer Anlagen
- II. Anlagenverhalten und Unfallabläufe
- III. Mensch-Maschine-Wechselwirkung
- IV. Sicherheit innovativer Reaktorsysteme
- V. Querschnittsthemen und Sonstiges

Abbildung 28

**Fördermittel für Projektförderung im Bereich Fusion**  
(Daten siehe Tabelle 6)

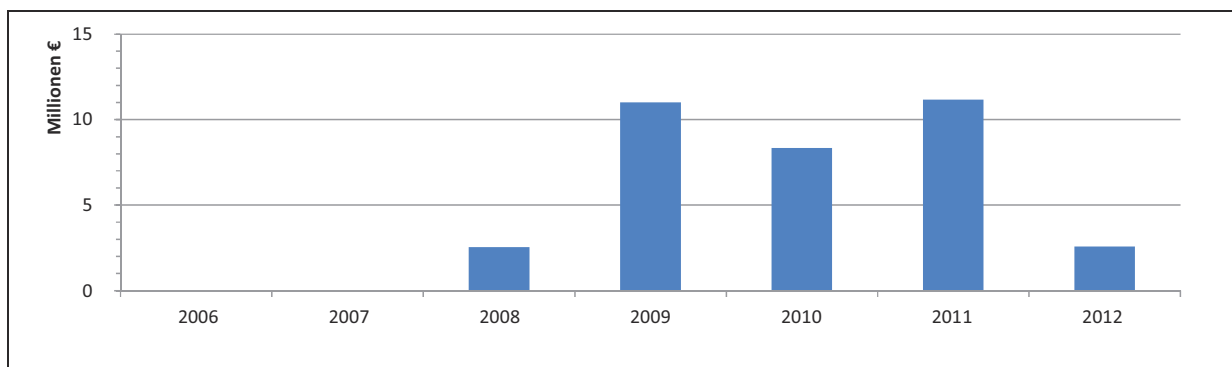




Abbildung 29

**Anzahl der aktuell (I/2013) vom BMBF geförderten Nachwuchswissenschaftler (Diplom/Master, Doktoranden, Post-Doktoranden), verteilt auf die Bereiche Strahlenforschung, Reaktorsicherheitsforschung und Entsorgungsforschung**

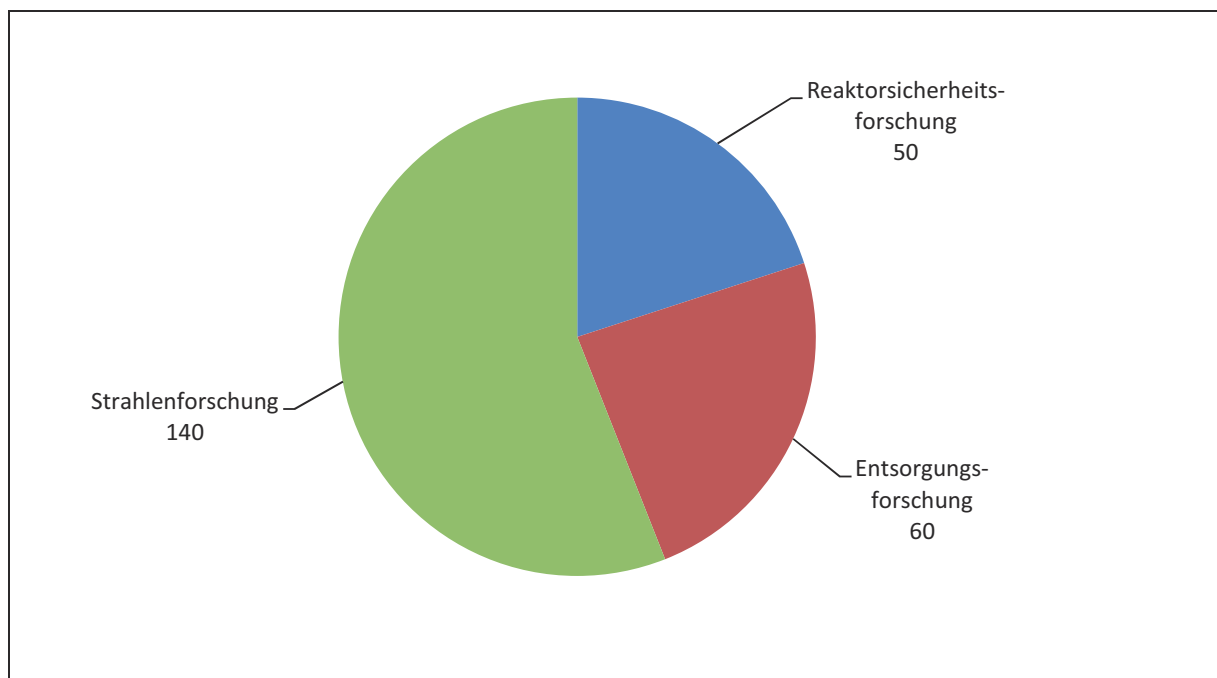
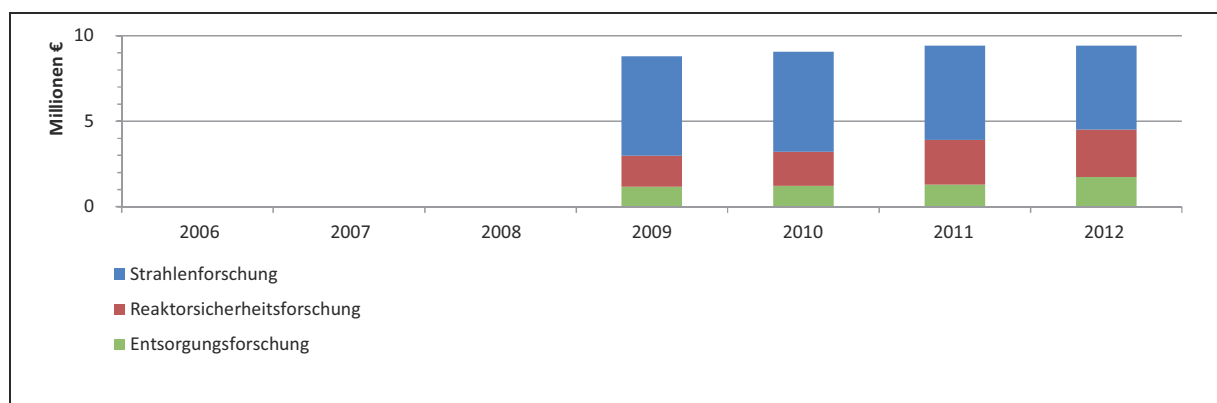


Abbildung 30

**Projektförderung Nukleare Sicherheits- und Entsorgungsforschung durch das BMBF (Daten siehe Tabelle 8)**



Aufbauend auf dem ständig erweiterten Kenntnisstand wurden die Themengebiete im Rahmen des Kompetenzverbundes Kerntechnik regelmäßig fortgeschrieben.

Die Arbeiten sind stark international verflochten. Die Bundesregierung beteiligt sich im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit an experimentellen Großforschungsprogrammen unter der Schirmherrschaft der OECD. Die dabei gewonnenen experimentellen Daten ergänzen eigene

Untersuchungen in Deutschland. Diese Daten sind unverzichtbar für die Überprüfung bzw. Validierung sowie der Weiterentwicklung der in Deutschland entwickelten Simulationswerkzeuge, die sich mit der Sicherheit von Reaktoren beschäftigen. Im Betrachtungszeitraum war Deutschland an 21 OECD-Projekten beteiligt. Darüber hinaus bestehen Kooperationen im Rahmen der Wissenschaftlichen Technischen Zusammenarbeit (WTZ) mit internationalen Forschungseinrichtungen.

Aufgrund der Ereignisse im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Daiichi im Jahr 2011 erfolgte nach erster Analyse der Unfallabläufe eine Anpassung von Vorhaben der projektgeförderten Reaktorsicherheitsforschung des BMWi. Es wurden generische Fragestellungen ermittelt, die durch Umschichtungen in den Arbeitsprogrammen laufender Vorhaben in Bearbeitung genommen wurden. Hierzu wurden Mittel in Höhe von ca. 1 Mio. Euro umgewidmet.

Einen Überblick der Projektförderung zum Thema Reaktorsicherheitsforschung des BMWi gibt Abb. 31.

Das BMBF flankiert die Reaktorsicherheitsforschung mit Projekten zur Ausbildung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Entsprechend der Förderschwerpunkte des BMWi werden für die sicherheitstechnische Beurteilung des Betriebs von Kernreaktoren relevante wissenschaftliche Grundlagen vertieft. Im Vordergrund stehen physikalisch-mathematische Modellierungen sowie die Entwicklung neuartiger Diagnoseverfahren für die Bestimmung des Reaktorzustands. Schwerpunkte waren die Entwicklung von dreidimensionalen Simulationsmethoden im Hinblick auf die ganzheitliche Berechnung eines Reaktors, die Validierung von Modellen für nichtstationäre, turbulente und anisotrope Strömungen in komplexen 3D Geometrien sowie die Entwicklung innovativer Mess- und Diagnosetechniken zur Charakterisierung des Materialzustandes von Komponenten, zur Bestimmung von Reaktorzustandsgrößen sowie von innovativen Verfahren zur Anlagen- und Prozessdiagnose. Im Zeitraum 2006 bis 2012 wurden 30 Vorhaben bewilligt und insgesamt ca. 9,2 Mio. Euro ausbezahlt (siehe Abb. 31).

### Sicherheit von Komponenten kerntechnischer Anlagen

Zur Beurteilung der Integrität von Bauteilen und Komponenten sind validierte Methoden und Werkzeuge bereitzustellen, die deren Verhalten unter der Wirkung aller

zu unterstellenden Belastungen realistisch prognostizieren können. Die Validierung der Methoden erfolgt anhand experimenteller Ergebnisse nationaler und internationaler Untersuchungen.

Die Forschungsförderung auf diesem Themengebiet konzentrierte sich auf die fünf Schwerpunkte Ermittlung von Bauteilbeanspruchungen, Integrität von baulichen Strukturen, Beanspruchbarkeit von Werkstoffen, Untersuchungen zur Bruchmechanik und Zerstörungsfreie Prüfverfahren (siehe Abb. 32). Im Fokus der Forschungsarbeiten standen u. a. die Verbesserung und die Verifizierung der Anwendbarkeit von Verfahren zur Bestimmung des Zustandes sowie der Funktionalität von sicherheitsrelevanten Komponenten und Systeme. Darüber hinaus wurden auch die Auswirkungen auf sicherheitsrelevante Systeme von Anlagen durch betriebliche Einflüsse, wie z. B. Korrosion oder zyklische mechanische Belastungen, aber auch durch anlagenübergreifende sicherheitstechnische Einflüsse wie z. B. Erdbeben untersucht.

### Anlagenverhalten und Unfallabläufe

Die realistische Beschreibung der Abläufe im Reaktorkern und in den Kühlkreisläufen bei Stör- und Unfällen ist für die sicherheitstechnische Bewertung sowie für die weitere Verbesserung der Schadensvorsorge von wesentlicher Bedeutung. Die Integrität des Sicherheitsbehälters, der letzten Barriere gegen den Austritt radioaktiver Stoffe in die Umgebung, ist auch für extrem unwahrscheinliche Unfallabläufe zu bewerten. Dazu ist eine realistische Einschätzung des Ablaufs von Stör- und Unfällen sowie über die Wirksamkeit und Zuverlässigkeit von Maßnahmen zur Verhinderung unzulässiger Belastungen notwendig.

Die Forschungsförderung auf dem Gebiet Anlagenverhalten und Unfallabläufe konzentrierte sich auf die drei Schwerpunkte Thermohydraulisches Anlageverhalten, Kern- und Brennstoffverhalten und Unfallabläufe im Sicherheitsbehälter (siehe Abb. 33). Im Vordergrund der

Abbildung 31

### Projektförderung Reaktorsicherheitsforschung durch das BMWi (Daten siehe Tabelle 7)

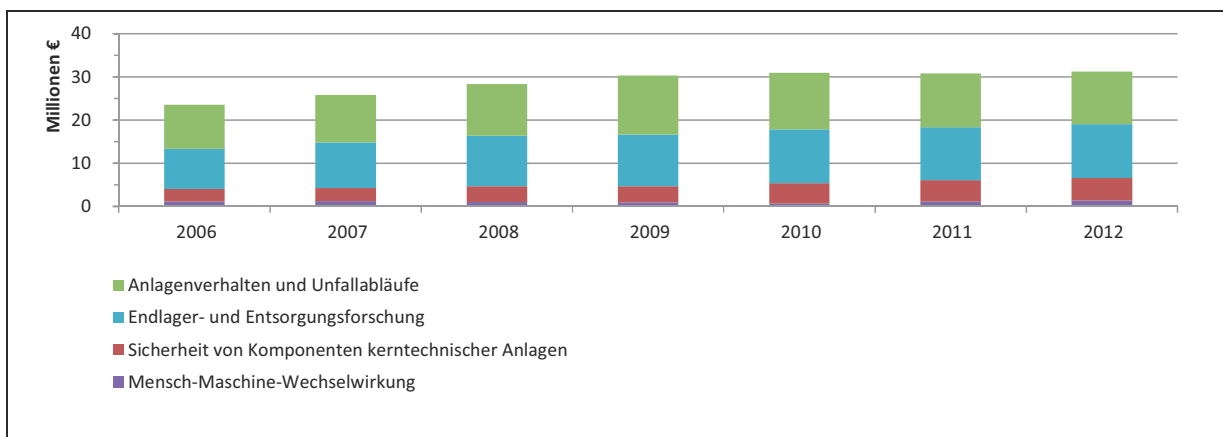


Abbildung 32

**Fördermittel für Komponenten- und Bauteilsicherheit**  
(Daten siehe Tabelle 7)

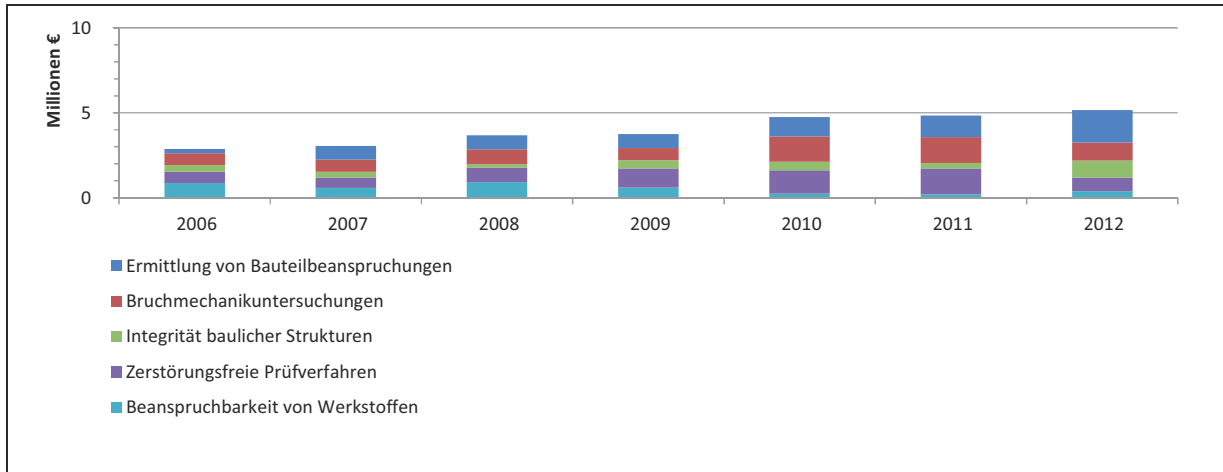
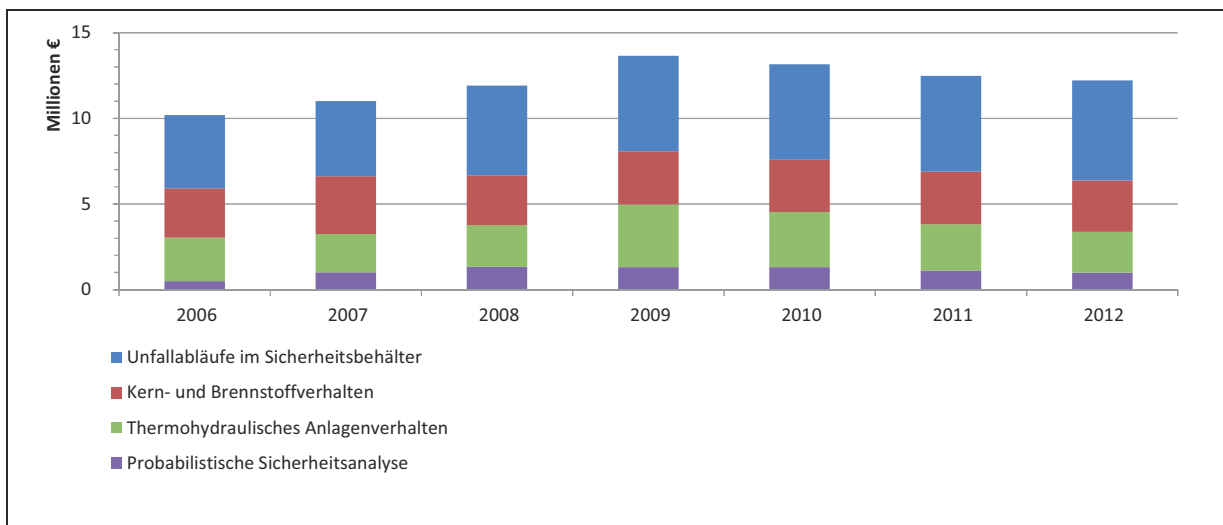


Abbildung 33

**Fördermittel für Anlagenverhalten und Unfallabläufe**  
(Daten siehe Tabelle 7)



Forschungsarbeiten auf diesen drei Gebieten standen die Bereitstellung und die Weiterentwicklung entsprechender Simulationswerkzeuge. Durch die Gegenüberstellung experimenteller Ergebnisse mit den Simulationsrechnungen lassen sich Belastbarkeit und Aussagesicherheit eines Simulationsprogramms zeigen. Daher stellen experimentelle Untersuchungen einen unverzichtbaren Bestandteil für die Weiterentwicklung, Optimierung und Überprüfung von Simulationscodes dar, die zur Bewertung von Abläufen in Kernkraftwerken zur Anwendung kommen. Mit Hilfe von Probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) können alle wichtigen Informationen über das Gesamtsystem,

menschliche Handlungen sowie anlagenübergreifende sicherheitstechnische Einflüsse eingeschlossen, analysiert und dann zu einer Gesamtbewertung für die Sicherheit einer Anlage zusammengeführt werden. Die PSA ergänzt deterministische Sicherheitsuntersuchungen und trägt so zur Bewertung der Ausgewogenheit der vorhandenen Sicherheitstechnik bei.

**Mensch-Maschine-Wechselwirkung**

Die Interaktion von Mensch und Maschine ist generell von hoher Bedeutung für die Sicherheit und Zuverlässig-

keit technischer Systeme. Für den nuklearen Bereich konzentrierte sich die Förderung auf dem Gebiet Mensch-Maschine-Wechselwirkung auf die drei Schwerpunkte Mensch-Maschine-Schnittstelle, moderne Leittechnik sowie Sicherheitskultur (siehe Abb. 34).

Im Schwerpunkt Mensch-Maschine-Schnittstelle wurden neben der Beteiligung an internationalen Aktivitäten Arbeiten zur verbesserten Früherkennung sich anbahnender Störungen, zur Auslegung und Bewertung von Mensch-Maschine-Schnittstellen und Kontrollzentren sowie zur Entwicklung von Analysesimulatoren gefördert. Die im Schwerpunkt moderne Leittechnik geförderten Arbeiten tragen insbesondere dem gegenwärtig im nuklearen Bereich zunehmendem Einsatz digitaler Leittechniksysteme Rechnung. Die Arbeiten im Schwerpunkt Sicherheitskultur umfassten letztendlich im Wesentlichen Untersuchungen zum Verhalten von Personal im konkreten Umfeld der Anlagenorganisation.

### Sicherheit innovativer Reaktorsysteme

Im europäischen, aber auch im außereuropäischen Ausland werden Entwicklungsarbeiten zu fortgeschrittenen und innovativen Reaktorkonzepten durchgeführt. Diese Entwicklungen werden im Rahmen der Reaktorsicherheitsforschung kritisch begleitet. Diese Arbeiten tragen wesentlich dazu bei, notwendige Kompetenzen in Fragen der nuklearen Sicherheit zu international in der Entwicklung befindlichen Technologien zu erhalten. Dafür wurden im Berichtszeitraum ca. 2,5 Mio. Euro zur Verfügung gestellt.

### Querschnittsthemen und Sonstiges

Im Jahr 2012 wurde eine Studie zu Chancen und Risiken von Partitionierung und Transmutation (P&T) hochradioaktiver Abfälle vom BMWi und BMBF initiiert. Die ressortübergreifende Studie wird von den beiden Ministerien gemeinsam finanziert. Ziel der Studie ist, die Option P&T unter den wesentlichen wissenschaftlichen und technologischen Aspekten zu beleuchten sowie die Chancen und Risiken von P&T auch unter sozioökonomischen Gesichtspunkten zu analysieren. Dafür wurden vom BMWi

im Rahmen der Reaktorsicherheitsforschung für das Jahr 2012 ca. 250 000 Euro zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich wurde das BMWi im Bereich Internationale Zusammenarbeit bei seinen vielfältigen bi- und multilateralen internationalen Kooperationen auf dem Gebiet der Reaktorsicherheitsforschung fachlich unterstützt.

### 2.4.2 Endlager- und Entsorgungsforschung

Die Projektförderung im Bereich Endlagerforschung erfolgt federführend durch das BMWi. Die Förderaktivitäten orientieren sich programmatisch an den regelmäßig fortgeschriebenen BMWi-Förderkonzepten „Schwerpunkte zukünftiger FuE-Arbeiten bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle“. Das BMBF flankiert die BMWi-Endlagerforschung mit seiner Entsorgungsforschung basierend auf Zielen des Förderkonzepts „Grundlagenforschung Energie 2020+“ mit Projekten zur Ausbildung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler.

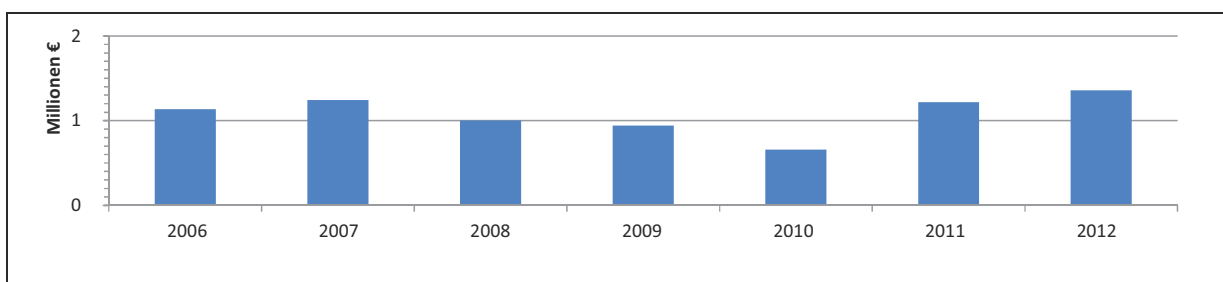
Im Rahmen der Endlagerforschung des BMWi wurden während des Zeitraums 2006 bis 2012 anwendungsorientierte, standortunabhängige FuE-Arbeiten zu allen in Deutschland relevanten Wirtsgesteinen (Salz, Ton und Granit) gefördert. Im Vordergrund der Aktivitäten steht die Erweiterung der Kenntnisse zum Endlagergesamtsystem und den Teilsystemen bestehend aus geologischen, geotechnischen und technischen Barrieren sowie den dazugehörigen Endlagerkonzepten. Internationale bi- und multilaterale Kooperationen ermöglichen es, verschiedene wissenschaftlich-technische Ansätze zu vergleichen, zu bewerten und neueste Erkenntnisse zu berücksichtigen. Neben dem wissenschaftlichen Austausch und der Nutzung von Synergien stellt die Kostenteilung bei internationalen Experimenten einen wesentlichen Vorteil dar. Insbesondere nimmt die Mitarbeit in ausländischen Untertagelabors (z. B. Schweiz, Schweden, Frankreich) einen hohen Stellenwert hinsichtlich der Forschung in den Wirtsgesteinen Ton und Granit ein.

Eine besondere internationale Kooperation findet im Rahmen der „Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste – Technology Platform“ statt ([www.igdt.eu](http://www.igdt.eu)). In Rahmen dieses Zusammenschlusses unterschiedlicher

Abbildung 34

### Fördermittel für Mensch-Maschine-Wechselwirkung

(Daten siehe Tabelle 7)



europäischer wissenschaftlich-technischer Einrichtungen und Endlagerorganisationen, sind u.a. wirtsgesteinsübergreifende Schlüsselthemen definiert worden, die zu bearbeiten sind. Diese Themen sind auch in nationalen FuE-Programmen gespiegelt und können überdies eine Basis für Forschungsaktivitäten in den EU-Rahmenprogrammen sein.

Dem aktuellen Förderkonzept entsprechend orientiert das BMWi die Endlagerforschung an den FuE-Themenbereichen:

- Endlagersystem
- Systemverhalten und Systembeschreibung
- Querschnittsthemen mit Bezug zur Endlagerung

Im Berichtszeitraum 2006 bis 2012 wurden in dem vom BMWi verantworteten Förderbereich insgesamt 163 Vorhaben mit einem Fördervolumen von insgesamt 63,6 Mio. Euro gefördert. Zum 31. Dezember 2012 waren hiervon 98 Vorhaben beendet.

Für den Themenbereich Entsorgungsforschung des BMBF wurden 26 Vorhaben bewilligt und insgesamt ca. 5,4 Mio. Euro gefördert (siehe Abb. 35).

Im Folgenden werden die Themenbereiche der Endlager- und Entsorgungsforschung und deren FuE-Schwerpunkte unter Federführung des BMWi aufgeführt. Die BMBF-Aktivitäten sind entsprechend ausgewiesen.

**Themenbereich Endlagersysteme**

Als Endlagersystem wird die Gesamtheit der technischen Einrichtungen (z. B. Verschlussbauwerke, Teile von Schachtverschlüssen) und geologischen Kompartimente verstanden, deren komplexes Zusammenwirken die lang-

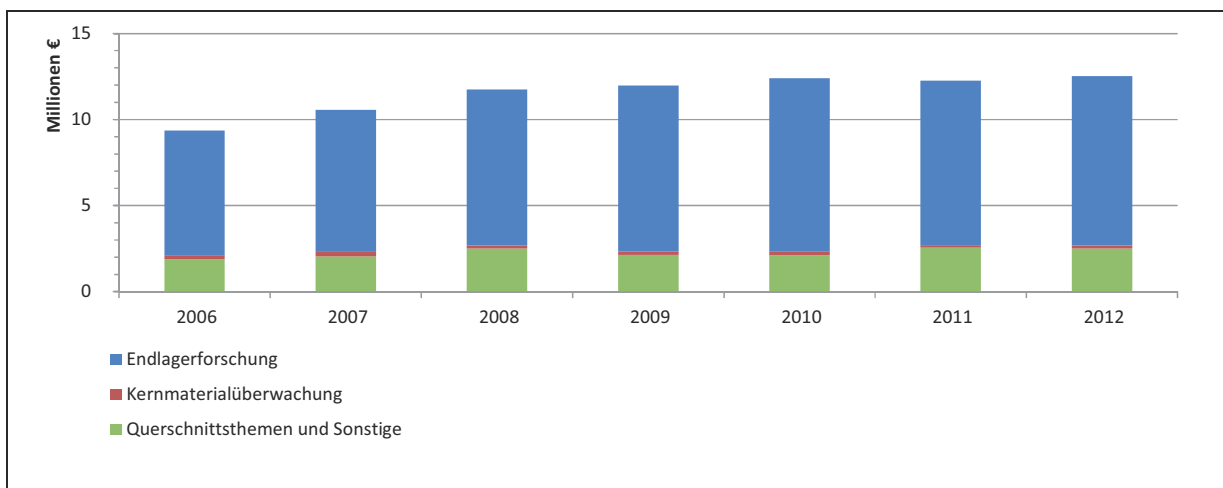
fristige Isolation der endgelagerten radioaktiven Abfälle von der Biosphäre ermöglichen.

FuE-Schwerpunkte zum Themenbereich Endlagersysteme sind:

- Konzepte, Technik und Demonstration
  - Bewertung von Endlagerkonzepten anhand wissenschaftlich-technischer, sicherheitsanalytischer und sozialwissenschaftlicher Aspekte;
  - Optimierung, Anpassung und Modifizierung von Endlagerkonzepten für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle in Steinsalz und Prüfung der Übertragbarkeit auf alternative Wirtsgesteine;
  - Erstellung eines konzeptuellen Sicherheitsnachweises für Tongestein;
  - Erprobung von Verfahren zur Überwachung von Endlagern während der Betriebsphase.
- Wirtsgesteinseigenschaften
  - Beurteilung der endlagerrelevanten Eigenschaften von Steinsalz und Tongestein sowie Einschätzung der bautechnischen Machbarkeit;
  - Fragestellungen zu mikrobiellen Einflüssen, zum Schädigungs- und Verheilungsverhalten.
- Abfälle und Gebinde
  - Bewertung der Relevanz chemotoxischer Abfallbestandteile für die Langzeitsicherheit eines Endlagers.
- Geotechnische Barrieren
  - Entwicklung und Bewertung von Verschlusskonzepten.

Abbildung 35

**Fördermittel für Endlager- und Entsorgungsforschung**  
(Daten siehe Tabelle 7)



Im Berichtszeitraum wurden für den FuE-Themenbereich Endlagersystem Fördermittel des BMWi in Höhe von ca. 17,3 Mio. Euro für 34 Projekte ausgezahlt. Im Jahr 2012 wurden 3 Neuvorhaben bewilligt.

### **Themenbereich: Systemverhalten und Systembeschreibung**

Die Bereitstellung wissenschaftlich-technischer Grundlagen zum Verhalten von Endlagersystemen (Systemverhalten und Systembeschreibung) verlangt die Erstellung von Modellen zur Beschreibung der dort ablaufenden Prozesse sowie die damit zusammenhängenden Betrachtungen hinsichtlich ihrer Einschränkungen und Ungewissheiten. Die Ergebnisse bilden Grundlagen für die Werkzeuge zu sicherheitsanalytischen Betrachtungen im Rahmen eines Safety Case.

FuE-Schwerpunkte zum Themenbereich Systemverhalten sind:

- Wirtsgestein
  - Experimentelle Untersuchungen und Modellierung des geomechanischen, geochemischen und thermohydromechanischen Verhaltens der Wirtsgesteine (Salz, Ton) sowie der darin ablaufenden Prozesse
  - Untersuchung von Beeinträchtigungen des Isolationspotenzials der geologischen Barriere durch geogene und technogene Einwirkungen
  - Untersuchung des grundlegenden Verständnisses der Radionuklidrückhaltung
- Nahfeldgeochemie
  - Untersuchung von geochemischen, physikalischen und mikrobiologischen Prozessen in der unmittelbaren Umgebung des Endlagers
  - Aufbau einer belastbaren, qualitätsgesicherten thermodynamischen Referenz-Datenbasis
- Verhalten von technischen und geotechnischen Barrieren
  - Untersuchung der Rückhalteeigenschaften gegenüber Radionukliden
  - Untersuchung der Barrierewirkung gegenüber Fluiden

FuE-Schwerpunkte zum Themenbereich Systembeschreibung sind:

- Szenarien
  - Beschreibung und Simulation der möglichen Entwicklung eines Endlagersystems im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse
- Methoden, Modelle und numerische Simulation
  - Entwicklung prozessbeschreibender Modelle zur Darstellung thermischer, geomechanischer, hydraulischer und (geo-)chemischer Prozesse

- Untersuchung und quantenchemische Modellierung radiochemischer und radiogeochemischer Prozesse (BMBF-gefördert)
- Qualifizierung von Modellen und Reduzierung von Ungewissheiten
  - Reduzierung von Ungewissheiten in den Daten, Modellen oder Simulationen auf der Grundlage des Ergebnisaustauschs im internationalen Rahmen
- Systemanalysen
  - Erweiterung und Verbesserung des sicherheitsanalytischen Instrumentariums

Im Zeitraum von 2006 bis 2012 wurden für den Themenbereich Systemverhalten und Systembeschreibung Fördermittel des BMWi in Höhe von ca. 43,3 Mio. Euro für 117 Vorhaben aufgewandt. Im Jahr 2012 wurden 12 Neuvorhaben bewilligt.

### **Themenbereich Querschnittsthemen mit Bezug zur Endlagerung**

FuE-Schwerpunkte zum Themenbereich Querschnittsthemen mit Bezug zur Endlagerung:

- Konzeptuelle Entsorgungsoptionen
  - Szenarien zu denkbaren Auswirkungen von Partitionierung und Transmutation (BMW- und BMBF-gefördert).  
In einem Projekt werden unter Einbindung von Natur- und Sozialwissenschaftlern der Stand von Wissenschaft und Technik sowie Chancen und Risiken von Partitionierung und Transmutation untersucht und bewertet sowie u.a. die Auswirkungen des Verfahrens auf die Entsorgungsstrategie dargestellt.
  - Wissenschaftliche Grundlagen von Verfahren für die effektive Abtrennung, Transmutation und endlagergerechte Fixierung radioaktiver Abfälle (BMBF-gefördert).
  - Untersuchung der sicherheitstechnischen Konsequenzen und Auswirkungen der Option „Rückholbarkeit“.
- Management- und sozialwissenschaftliche Aspekte
  - Konzepte und Methoden des Wissenserhalts und des Wissensmanagements;
  - Fragestellungen zur Datenerzeugung und zum Datenmanagement;
  - Governance

Im Berichtszeitraum wurde eine umfassende Dokumentation des Wissensstandes zur Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle („Handbuch der Endlagerung“) erstellt.

Im Berichtszeitraum wurden für den FuE-Themenbereich Querschnittsthemen mit Bezug zur Endlagerung 12 Vorhaben durch BMWi mit ca. 3 Mio. Euro gefördert. Im Jahr 2012 wurden 3 Neuvorhaben bewilligt.

### Kernmaterialüberwachung

Die besondere Struktur und Problematik der internationalen Kernmaterialüberwachung erfordern FuE-Arbeiten zu konzeptionellen, technisch-methodischen und politisch-institutionellen Fragestellungen, weil all diese Aspekte für eine erfolgreiche Anwendung bei den Kernmaterialkontrollen zu beachten und zu behandeln sind. Aufgrund der globalen Bedeutung des Themas sind die Arbeiten zum einen in Forschungsnetzwerke einzubetten, die über die dafür notwendige Kompetenz verfügen, und zum anderen ist die Einbindung in eine multinationale Kooperation (Euratom, IAEA) bei den unterschiedlichen FuE-Aktivitäten vorzusehen.

Im Berichtszeitraum 2006 bis 2012 wurden zwei Vorhaben mit insgesamt 1,4 Mio. Euro gefördert.

### 2.4.3 Strahlenforschung

Seit langem war in Deutschland auf die schwierige Situation in der Strahlenforschung von renommierten Gremien wie der SSK aufmerksam gemacht worden. Durch die Schließung von Lehrstühlen und durch fehlenden wissenschaftlichen Nachwuchs drohte akuter Nachwuchsmangel. Im Jahr 2007 wurde der „Kompetenzverbund Strahlenforschung – KVSF“ gegründet, der sich bezüglich der Stärkung der wissenschaftlichen Kompetenz in der Strahlenforschung engagiert und bisher sehr erfolgreich arbeitet. Aufgrund der hohen Relevanz des Forschungsthemas hat das BMBF Strahlenforschung in diesen Förderschwerpunkt aufgenommen. Im Juli 2011 wurde die zweite Förderbekanntmachung des BMBF zur Nachwuchsförderung in der Nuklearen Sicherheitsforschung inkl. Strahlenforschung veröffentlicht. Die Förderung erfolgt in Abstimmung mit dem BMU.

Im Bereich der Strahlenforschung wurden zwischen 2006 und 2012 zu strahlenbiologischen, strahlenmedizinischen und radioökologischen Fragestellungen 53 Vorhaben bewilligt und ca. 22,1 Mio. Euro ausgegeben (Abb. 30). Schwerpunkte sind:

#### – Strahlenqualität (biologische Wirksamkeit)

Schwerpunkt durchgeführter Forschungsvorhaben ist die Untersuchung der Rolle von UV-A Strahlen bezüglich Telomerschädigung sowie die Untersuchung der Rolle antioxidativer Abwehr und zellulärer Seneszenz bei UV-induzierter Karzinogenese. In diesem Kontext wird die Bedeutung von DNA-Reparaturprozessen und epigenetischen Strukturänderungen für die Hautkrebsentstehung nach Induktion von UVA-induzierten DNA-Schäden untersucht.

Weiterer Schwerpunkt durchgeführter Forschungsvorhaben ist die Untersuchung des Schädigungspotenzials von Radionukliden. Zur Bearbeitung dieses Themenkomplexes werden radiochemische, radiopharmazeutische, dosimetrische und strahlenbiologische Kompetenzen gebündelt.

Auch die systematische Analyse von therapeutischen Strahlen mit Relevanz für Krebs ist Thema von Forschungsvorhaben im genannten Zeitraum. Aus diesem

Kontext heraus wurden Forschungsprojekte initiiert, die die Entwicklung innovativer Verfahren der biomedizinischen Bildgebung zur Optimierung von medizinischen Strahlenanwendungen zum wissenschaftlichen Ziel hatten.

#### – Strahlenempfindlichkeit

Im Rahmen dieses Forschungsschwerpunktes werden epidemiologische, in-vivo und in-vitro Untersuchungen durchgeführt, um Genvarianten zu identifizieren, die durch ihren Einfluss auf den Erhalt der genomischen Stabilität eine erhöhte individuelle Sensitivität für die Ausbildung strahleninduzierter Akut- und Spätschäden besitzen sowie für eine veränderte Strahlenempfindlichkeit von Tumorzellen verantwortlich sind. Weiterhin werden unter diesem Forschungsschwerpunkt zellbiologische und epidemiologische Untersuchungen durchgeführt, die zur Entwicklung effizienterer Prognoseverfahren für mögliche Spätfolgen nach Strahlenexposition beitragen.

#### – Dosis-Wirkungs-Beziehung

Untersuchungen zu diesem Forschungsschwerpunkt widmen sich der Bestimmung der Strahlendosis auf der Basis strahleninduzierter Genexpressionsänderungen, da die Erstellung von Genexpressionsdaten weniger zeit- und kostenintensiv als herkömmliche Methoden ist und dieser Forschungsansatz nicht auf spezifische Gewebe- oder Zellarten beschränkt ist. Im Rahmen der Forschungsarbeiten wird eine Teilmenge an Genen identifiziert, mit denen man anhand der strahleninduzierten Expressionsänderungen die Strahlendosis quantifizieren kann.

#### – Biologische Targets (strukturelle Veränderung der DNA, epigenetische Effekte, Membranschäden, etc.)

Schwerpunkt der Forschungsarbeiten ist die Aufklärung primärer Strahleneffekte sowie die Aufklärung der Reparatur von DNA-Schäden auf molekularer Ebene, um ein besseres Verständnis für die grundlegenden Folgen von Strahlung für die Zelle zu erlangen mit dem Ziel, Vorhersagen bezüglich der Wirkung dicht ionisierender Strahlen machen zu können sowie Eingriffsmöglichkeiten zur Strahlenwirkung aufzuzeigen. Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang die Untersuchung der zeitlichen und räumlichen Wechselwirkung von Reparaturfaktoren an komplexen Schäden nach Teilchenstrahlung.

#### – Charakterisierung Strahlenexposition (Verbreitungspfade, Erfassung der Strahlenbelastung)

Zu diesem Forschungsschwerpunkt werden Untersuchungen auf folgenden Gebieten durchgeführt: Ausbreitung von Radionukliden in Luft, Wasser und Boden, Transport von Radionukliden in Pflanzen, Validierung biokinetischer Stoffwechselmodelle und Strahlenbelastung durch natürliche Radionuklide. Übergeordnetes Ziel ist, das Wissen und die Kompetenz auf dem Gebiet der Radioökologie zu erhöhen und die Abschätzung der Strahlenexposition des Men-



schen über die verschiedenen Expositionspfade zu verbessern.

**2.5 Forschungsinitiative Energiespeicher**

Eine Analyse der energiewirtschaftlichen Situation zeigt, dass Speicher in einem zukünftigen Energiesystem, welches auf der Stromerzeugung durch fluktuierende Energiequellen beruhen soll, eine wichtige Rolle einnehmen müssen.

Für die Speicherung von Energie kommen verschiedene Technologien in Betracht: Batterien können elektrischen Strom großer Leistung kurz- bis mittelfristig speichern und wieder abgeben. Für längerfristige Speicherung großer Mengen elektrischer Energie ist es sinnvoll, nach einer chemischen Umwandlung stoffliche Speicher (etwa für Wasserstoff) zu nutzen, die später für eine Rückverstromung oder zur Unterstützung der öffentlichen Gasversorgung zur Verfügung stehen. Darüber hinaus empfiehlt sich für die Einbindung von regenerativen Wärmequellen und Abwärmequellen sowie KWK-Anlagen in Wärmenetze der Einsatz thermischer Speicher.

Da die Speicherung von Energie Überschneidungen mit vielen der zuvor dargestellten Themengebiete in der Zuständigkeit verschiedener Ministerien aufweist, wurde im Mai 2011 die ressortübergreifende Förderinitiative Energiespeicher gemeinsam von BMWi, BMU und BMBF ausgeschrieben, für die 200 Mio. Euro zur Verfügung gestellt wurden. Eine Übersicht über die Themenverteilung der rund 400 eingereichten qualifizierten Projektvorschläge ist in Abb. 36 dargestellt.

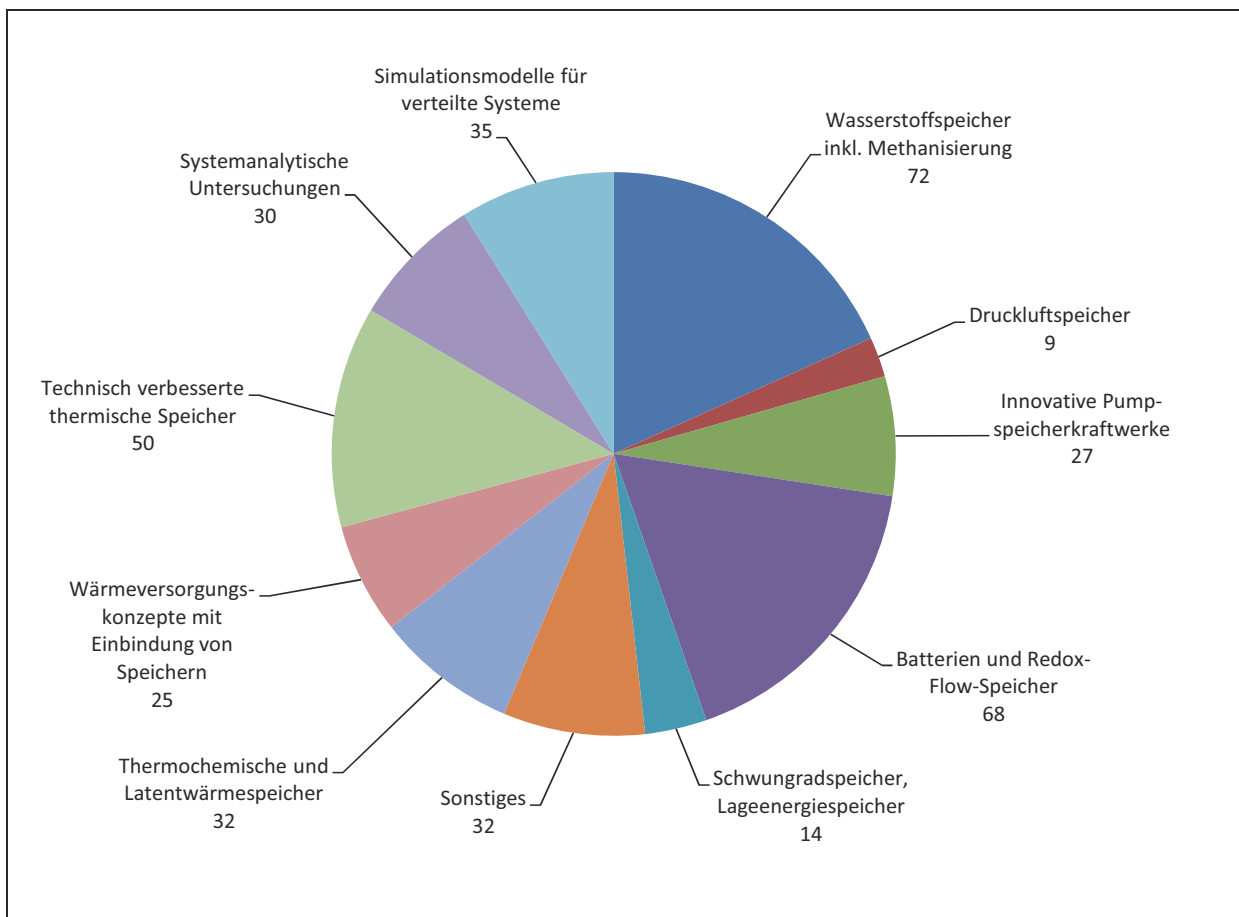
Zum Stichtag 30. Juni 2013 wurden über 194 Einzelprojekte mit einer Fördersumme von rund 165 Mio. Euro an den Start gebracht. Die Bewilligung weiterer Projekte dauert im Jahr 2013 an.

Besondere Schwerpunkte innerhalb der Forschungsinitiative Energiespeicher bilden die Leuchttürme, in denen mehrere Projekte zu verschiedenen Aspekten eines zentralen Themas gruppiert und die beteiligten Akteure vernetzt werden.

Kernelement des Leuchtturms „Wind-Wasserstoff-Kopplung“ ist die Erzeugung von Wasserstoff mit gegenüber

Abbildung 36

**Themen der Förderinitiative Energiespeicher**  
(Quelle: PtJ)





dem heutigen Stand deutlich effizienteren und vor allem flexibleren Technologien zur Stoffumwandlung, so genannten Elektrolyseuren. Die Notwendigkeit, innerhalb kurzer Zeit flexibel regeln zu können, ergibt sich aus der fluktuierenden Einspeisung erneuerbarer Energiequellen ins Stromnetz. Wird der Wasserstoff in Methan umgewandelt, kann er auf einfache Weise über das Erdgasnetz verteilt werden. In diesem Fall spricht man von der „Power-to-Gas“-Technologie, die von der Energiewirtschaft bereits heute als wichtige Option angesehen wird. Sie kann zurzeit aber noch nicht wirtschaftlich betrieben werden. Die Projekte sollen durch verbesserte Technik dazu beitragen, diese Speicheroption wirtschaftlich zu machen.

Den Kern des Leuchtturms „Batterien in Verteilnetzen“ bilden Strategien zur Vermeidung von lokalen Überlastungen im Mittelspannungs- oder Niederspannungsnetz durch den Einsatz von elektrochemischen Speichern. Dazu werden auch so genannte „Redox-Flow-Speicher“ gerechnet. Das Spektrum der Projekte reicht von Batterien, die in Haushalten mit Photovoltaikanlagen gekoppelt werden, bis hin zu Batterien im Megawatt-Maßstab, die von Energieversorgern eingesetzt werden können. Die Entwicklung in diesem Bereich profitiert von den Fortschritten im benachbarten Feld der Elektromobilität, doch sind die Optimierungsziele und damit die einsetzbaren Technologien im Einzelnen unterschiedlich.

Darüber hinaus werden im Themenschwerpunkt thermische Speicherung vielversprechende Optionen in der Entwicklung innovativer Materialien, Systeme und Prozesse gefördert. Ziel ist es, die Energiedichte und Leistung zu vergrößern sowie Speicherverluste zu minimieren. Das Augenmerk liegt dabei auf der Speicherung von Latentwärme im Phasenwechsel und Reaktionswärme in chemischen Reaktionen.

### 3 Institutionelle Energieforschung

#### 3.1 Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren

Die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) nimmt eine wichtige Stellung im Wissenschaftssystem der Bundesrepublik ein. Sie widmet sich grundlegenden wissenschaftlichen Fragestellungen hoher Komplexität, zu deren Bearbeitung sie modernste Großgeräte und wissenschaftliche Infrastrukturen betreibt und weiter entwickelt. Damit trägt sie zur Bewältigung von drängenden, zum Teil weit in die Zukunft gerichteten gesellschaftlichen Herausforderungen bei. Im Mittelpunkt des Forschungsbereichs Energie – einer von insgesamt 6 Forschungsbereichen innerhalb der HGF – steht die Umsetzung der Energiewende. Die Aktivitäten sind Bestandteil des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung.

Die HGF vereint 18 rechtlich eigenständige Forschungszentren mit mehr als 33 600 Mitarbeitern und einem Gesamtbudget in 2012 von rund 3,76 Mrd. Euro. Der Großteil der Finanzierung erfolgt über die institutionelle Förderung, an der sich der Bund mit 90 Prozent und das jeweilige Sitzland mit 10 Prozent beteiligen.

Die Zahl der am Forschungsbereich Energie beteiligten Forschungszentren hat sich auf acht Zentren erhöht. Beteiligt sind die Zentren:

- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR),
- Forschungszentrum Jülich (FZJ),
- Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB),
- Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR),
- Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum (GFZ),
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig (UFZ),
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
- Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP).

Nach einer grundlegenden Neuausrichtung der HGF zu Beginn des Jahrhunderts erfolgt die institutionelle Förderung im Rahmen von zentrenübergreifenden Forschungsprogrammen, die untereinander im Wettbewerb stehen. Ziel dieser so genannten „Programmorientierten Förderung (POF)“ ist die Konzentration auf Spitzenleistungen durch Kooperation und Wettbewerb. Die Programme werden in den Förderperioden alle fünf Jahre von international renommierten Gutachtern hinsichtlich ihrer wissenschaftlichen Exzellenz und strategischen Relevanz evaluiert. Sie orientieren sich an den von den Zuwendungsgebern verabschiedeten Forschungspolitischen Vorgaben.

In der ersten Förderperiode der POF von 2004 bis 2008 konzentrierte sich die Zusammenarbeit der Forschungszentren auf die vier Programme:

- Rationelle Energieumwandlung
- Erneuerbare Energien
- Nukleare Sicherheit und Endlagerforschung
- Kernfusion

Mit der zweiten Periode der POF von 2010 bis 2014 wurden Themen der Programme an den Forschungsbedarf angepasst. So wurde beispielsweise die rationelle Energieumwandlung um die rationelle Energienutzung ergänzt und die Biomasseforschung im Forschungsbereich Energie berücksichtigt. Ferner wurde mit dem Programm Technik, Innovation und Gesellschaft (TIG) ein mit dem Forschungsbereich Schlüsseltechnologien gemeinsames Programm zur Systemanalyse und Technikfolgenabschätzung ins Leben gerufen. Die Programme, beteiligten Zentren (federführendes Zentrum unterstrichen) und Forschungsthemen sind:

- Rationelle Energieumwandlung und -nutzung  
Beteiligte Zentren: DLR, FZJ, KIT

In diesem Bereich werden die Themen Brennstoffkonversion und Gasreinigung (Nutzung alternativer und biogener Brennstoffe), Kraftwerkstechnik (effiziente und umweltfreundliche Stromerzeugung), Brennstoff-

zellen (dezentrale und umweltfreundliche Stromerzeugung), Supraleitung (Reduzierung elektrischer Leitungsverluste im Netz) sowie Energieintensive Prozesse (Optimierung energieintensiver Prozesse) erforscht.

– Erneuerbare Energien

Beteiligte Zentren: HZB, DLR, FZJ, GFZ, KIT, UFZ  
Erforscht werden Dünnschicht-Photovoltaik, konzentrierende Solarsysteme, geothermische Technologien sowie die Veredelung von Biomasse in chemische Energie.

– Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung  
Beteiligte Zentren: KIT, HZDR, FZJ

Dieser Forschungsbereich gliedert sich in die Schwerpunkte Sicherheit kerntechnischer Anlagen und Sicherheit der nuklearen Entsorgung.

– Kernfusion  
Beteiligte Zentren: IPP, FZJ, KIT

Der Bereich befasst sich mit der Stellaratorforschung, der Tokamakphysik (ITER und Fusionsreaktoren), der Fusionstechnologie für ITER, der Fusionstechnologie jenseits von ITER, der Plasma-Wand-Wechselwirkung und der Plasmatheorie.

– Technik, Innovation und Gesellschaft  
Beteiligte Zentren: KIT, FZJ, DLR, UFZ

Hierunter fallen Beiträge zu den Themen Gesellschaftliche Erwartungen an Wissenschaft und Technik, Schlüsseltechnologien und Innovationsprozesse, Transformation von Energiesystemen, Erneuerbare

Energien sowie Rationelle Energieumwandlung und -nutzung.

Eine wichtige Voraussetzung für die Weiterentwicklung der HGF und des Forschungsbereichs Energie wurde 2005 mit dem von Bund und Ländern verabschiedeten Pakt für Forschung und Innovation geschaffen. Bund und Länder hatten sich verpflichtet, die Haushalte der beteiligten Wissenschaftsorganisationen von 2005 bis 2010 um mindestens 3 Prozent pro Jahr zu steigern (Pakt I). Mit der Fortschreibung des Paktes für den Zeitraum 2011 bis 2015 wurde die Steigerungsrate auf mindestens 5 Prozent pro Jahr erhöht (Pakt II).

In der Abb. 37 sind die Zuwendungen des Bundes (BMWi und BMBF) für die institutionelle Förderung des Forschungsbereichs Energie in den Jahren 2006 bis 2012 dargestellt.

Die Leistungsfähigkeit des Forschungsbereichs zeigt sich in einem Vergleich quantitativer Indikatoren, wie in Tabelle 1 dargestellt. Insgesamt zeigen die Indikatoren Steigerungen. Die Schwankungen der vom Institute for Scientific Information (ISI) zitierten Publikationen im Zwei-Jahres-Rhythmus gehen teilweise auf große internationale Konferenzen im Fusionsbereich zurück, die in diesem Rhythmus stattfinden.

Mit der Bearbeitung von Portfoliothemen konnten auch innerhalb der Förderperiode neue Themen aufgenommen und damit Forschungslücken geschlossen werden. Wichtige Themen, die in diesem Kontext bearbeitet wurden und werden sind:

- Helmholtz-Initiative für mobile und stationäre Energiespeichersysteme

Abbildung 37

**Themen der HGF**  
(Daten siehe Tabelle 9)

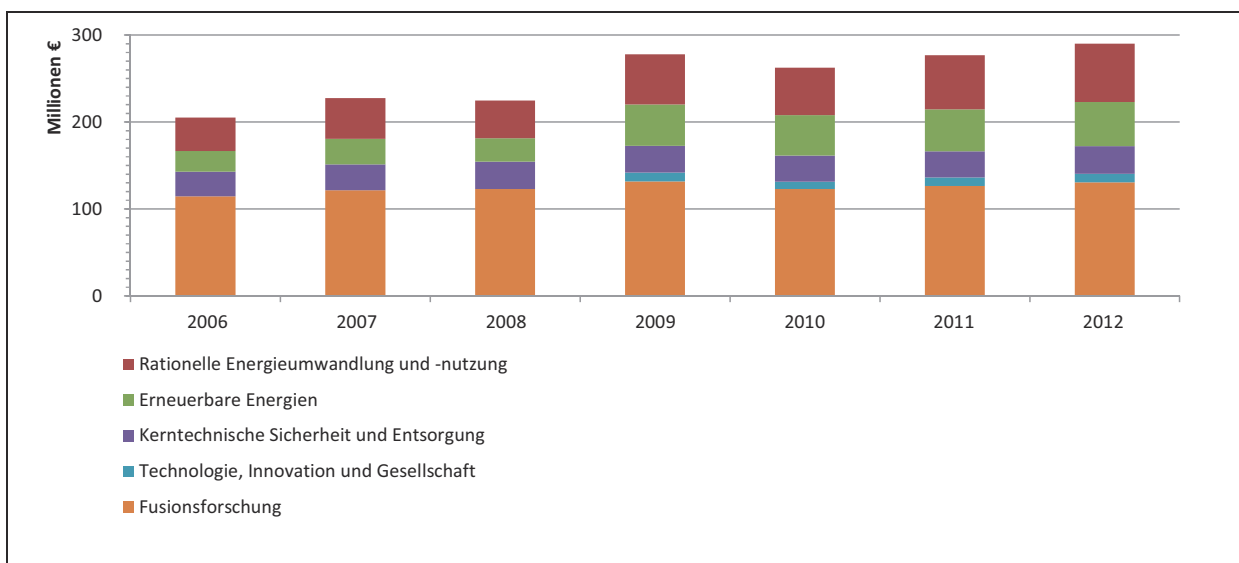


Tabelle 1

**Quantitative Indikatoren der HGF**  
(Quelle: HGF)

Indikator	Anzahl bzw. Mittel in Mio. €				
	2008	2009	2010	2011	2012
ISI zitierte Publikationen	894	1 190	815	1 318	1 112
Andere, referierte Publikationen	530	496	455	609	659
Drittmittelerträge	131,43 Mio. €	145,68 Mio. €	165,54 Mio. €	188,06 Mio. €	146,43 Mio. €
Betreute Doktoranden	374	477	527	636	657
Ausgewählte koordinierte Förderprogramme der DFG	9	14	17	16	27
Kooperationen mit der Wissenschaft	716	859	765	854	964
Kooperationen mit der Wirtschaft	464	566	550	648	688
Erteilte Patente	35	44	40	57	39

- Elektrochemischer Speicher im System – Zuverlässigkeit und Integration
- Nachhaltige Bioökonomie
- Gasseparationsmembranen für CO<sub>2</sub>-freie fossile Kraftwerke
- Materialforschung für die zukünftige Energieversorgung: Materialdesign für die Solarenergiewandlung und für Hochtemperaturanwendungen in Kraftwerken zur Steigerung der Wirkungsgrade
- GEOENERGIE – Umweltfreundliche Bereitstellung heimischer Energieträger aus Georessourcen

Die Vernetzung mit Hochschulen wird durch Helmholtz-Allianzen sowie spezifische Helmholtz-Energie-Allianzen gestärkt. Eine Zusammenarbeit erfolgt in diesem Rahmen bei den Themen:

- Stationäre elektrochemische Speicher und Wandler
- Energieeffiziente chemische Mehrphasenprozesse
- Anorganisch/organische Hybrid-Solarzellen und Techniken für die Photovoltaik
- Flüssige Kohlenwasserstoffe – Speicher mit höchster Energiedichte
- Technologien für das zukünftige Stromnetz
- Zukünftige Infrastrukturen der Energieversorgung – ENERGY-TRANS
- Liquid Metal Technologies (LIMETECH)

Zusätzlich wird die strategische Ausbauinvestition „HEMCP – Helmholtz Energy Materials Characterization Platform“ mit einer Gesamtinvestition von rund 40 Mio.

Euro das Thema Materialforschung auch mit Blick auf die dritte Periode der POF stärken und wichtige Forschungsinfrastrukturen bereitstellen. Als Koordinator fungiert das FZJ, beteiligt sind DLR, HZB, HZDR, HZG und KIT.

Darüber hinaus sollen im Rahmen der Rekrutierungsinitiative herausragende Forscherinnen und Forscher im Bereich der Energieforschung gewonnen werden. Dazu werden bis zu 20 Berufungen mit Universitäten auf W3- und W2-Positionen angestrebt.

Die Vorbereitungen für die dritte Periode der POF von 2015 bis 2019 haben begonnen. Die Forschungszentren erarbeiten auf der Grundlage der vom Ausschuss der Zuwendungsgeber im Januar 2013 verabschiedeten Forschungspolitischen Vorgaben die neuen Programme, die Anfang 2014 einer Evaluierung durch ein internationales Gutachtergremium unterzogen werden. Im Energieforschungsprogramm wird für die dritte Förderperiode ein stärkeres Aufgreifen programmübergreifender Aktivitäten und Querschnittsthemen angeregt und eine Vernetzung der Energieforschung mit Großforschungsgeräten und den strategischen Ausbauinvestitionen anderer Forschungsprogramme nahe gelegt.

### 3.2 Weitere institutionelle Förderung

Neben der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren gibt es weitere Einrichtungen, die durch das BMBF gefördert werden, aber außerhalb des Energieforschungsprogramms Energieforschung betreiben. Mit dem Pakt für Forschung und Innovation erhalten auch diese Organisationen der gemeinsam geförderten Forschungsorganisationen finanzielle Planungssicherheit und den nötigen Spielraum, um trotz steigender Kosten dynamische Entwicklung weiter voranzutreiben. Durch die

institutionelle Förderung werden an den beteiligten Forschungseinrichtungen in Deutschland einzigartige wissenschaftliche Arbeitsbedingungen geschaffen.

Erst dadurch wird die kontinuierliche Bearbeitung langfristiger und grundlegender Fragestellungen im Energiebereich möglich. Zu den wichtigsten Institutionen gehören die Fraunhofer-Gesellschaft, die Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften und die Leibniz-Gesellschaft.

#### **Fraunhofer-Gesellschaft – FhG**

Die FhG setzt im Energiebereich folgende Schwerpunkte:

- Nachhaltigkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung,
- Energieumwandlung,
- Energie- und Ressourceneffizienz,
- Elektromobilität.

Einen zentralen Beitrag leistet hier die „Fraunhofer-Allianz Energie“, in der mehr als 1 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an diesen Themen arbeiten. Innerhalb der Allianz sind die aktuellen Geschäftsfelder: Erneuerbare Energien, Effizienztechnologien, Gebäude und Komponenten, Intelligente Energienetze sowie Speicher- und Mikroenergie-technik. Darüber hinaus werden gezielt Initiativen, z. B. zum Bereich Ressourceneffizienz, durchgeführt (u. a. Innovationscluster „Maintenance, Repair and Overhaul“).

#### **Max-Planck-Gesellschaft – MPG**

Die MPG sieht folgende Kernaufgaben:

- bisherige Energiequellen besser auszuschöpfen,

- neue Energiequellen zu erschließen,
- Energieeffizienz zu steigern,
- Vorräte und Ressourcen der Erde besser zu nutzen,
- Kohlenstoffkreislauf und den Effekt auf das Klima zu verstehen.

Zur Zielerreichung fasst die MPG energierelevante Forschungsbereiche unter dem Dach „Forschungsperspektiven 2010+“ zusammen. Hierzu zählen: Forschen für eine nachhaltige Energieversorgung, komplexe technische Systeme, Kohlenstoffkreislauf im Erdsystem, Katalyseforschung, Aufbruch in die Nanowelt sowie Licht & Materie.

#### **Leibniz-Gemeinschaft – WGL**

Innerhalb der WGL bearbeiten renommierte Institute energie- und klimarelevante Fragestellungen. Aktivitäten sind vor allem in den Bereichen „Energie- und Ressourceneffizienz“ und „Materialentwicklung“ konzentriert.

Weitere Schwerpunkte liegen in der Entwicklung von Nachhaltigkeitsstrategien und gesamtwirtschaftlichen Wirkungsanalysen, der Klimafolgenforschung sowie der Entwicklung von Katalysatoren.

Die Bundesregierung erwartet, dass die institutionell geförderte Energieforschung ihren Beitrag zur künftigen Anpassung und grundlegenden Modernisierung der deutschen Energieversorgung leistet. Die institutionell geförderten Forschungskapazitäten werden im Dialog zwischen Forschungseinrichtungen, Bund und Ländern auf aktuelle Forschungsbedarfe ausgerichtet.

In der Landkarte der Energieforschung hat das BMBF eine Liste der an der Energieforschung beteiligten Institute dieser Gesellschaften zusammengestellt.

**4 Tabellen****4.1 Mittelabfluss in der Energieforschung**

Tabelle 2

**Übersicht der Themen im 6. Energieforschungsprogramm des Bundes**

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Energieeffizienz	110,34	133,95	151,55	189,31	206,13	215,14	239,06
Erneuerbare Energien	120,23	126,47	152,86	202,01	210,61	220,90	260,85
Nukleare Sicherheit	54,33	57,58	62,59	70,41	71,93	73,03	74,74
Fusion	114,41	121,52	125,58	142,65	131,03	137,44	133,10
<b>Insgesamt</b>	<b>399,31</b>	<b>439,52</b>	<b>492,58</b>	<b>604,37</b>	<b>619,71</b>	<b>646,51</b>	<b>707,75</b>

**4.2 Mittelabfluss im Bereich Energieeffizienz**

Tabelle 3

**Themen gefördert vom BMWi**

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Energieeffizienz im Gebäudebereich und Energieoptimiertes Bauen</b>	<b>12,98</b>	<b>12,51</b>	<b>16,73</b>	<b>15,96</b>	<b>20,28</b>	<b>17,61</b>	<b>20,71</b>
Solaroptimiertes Bauen	9,15	8,80	10,54	9,46	10,24	8,43	11,60
Energieoptimierte Verbesserung der Baustanz	3,42	3,45	6,14	6,44	9,60	8,65	8,63
Sonstige	0,42	0,26	0,05	0,06	0,45	0,53	0,48
<b>Energieeffiziente Stadt und dezentrale Energiesysteme</b>	<b>1,39</b>	<b>0,97</b>	<b>2,30</b>	<b>4,31</b>	<b>7,82</b>	<b>7,23</b>	<b>13,61</b>
Versorgungskonzepte	0,01	0,10	0,54	2,21	3,57	3,87	7,58
Fernwärme	1,23	0,76	0,91	0,98	0,92	1,35	3,10
Kraft-Wärme-Kopplung	0,14	0,10	0,85	1,12	3,33	2,01	2,93
Sonstige	0,01	-	-	-	-	-	-
<b>Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und bei Dienstleistungen</b>	<b>6,57</b>	<b>11,02</b>	<b>13,78</b>	<b>20,09</b>	<b>24,52</b>	<b>28,84</b>	<b>29,57</b>
Maschinen-, Fahrzeugbau, Elektrot., Feinmech., Optik, EBM-Waren	1,65	3,75	4,03	7,14	9,00	10,07	10,90
Eisen- und Stahlindustrie	0,90	0,57	1,04	1,51	1,91	1,43	2,42
Gew. & Verarb. von Steinen & Erden, Feinkeramik, Glasgewerbe	0,65	2,30	0,90	0,95	2,44	2,20	2,05
Wärmepumpen, Kältemittel	0,77	1,38	3,06	4,19	4,01	5,19	1,28
Industrieöfen	1,54	1,84	2,22	1,63	1,39	1,07	1,19

noch Tabelle 3

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Mechanische und thermische Trennverfahren	0,24	0,43	0,32	0,48	0,26	0,32	0,39
Sonstige	0,83	0,76	2,22	4,18	5,51	8,55	11,33
<b>Energiespeicher für stationäre und mobile Anwendungen</b>	<b>2,52</b>	<b>2,32</b>	<b>2,18</b>	<b>7,64</b>	<b>23,06</b>	<b>22,84</b>	<b>17,82</b>
Elektro-Chemische Speicher	-	0,39	0,50	4,59	13,12	12,80	14,52
Thermische Speicher	1,82	1,61	1,37	2,39	1,83	2,09	1,99
Sonstige	0,70	0,32	0,31	0,66	8,11	7,95	1,30
<b>Netze für die Stromversorgung der Zukunft</b>	-	-	-	0,68	5,21	5,78	2,30
<b>Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien</b>	<b>12,89</b>	<b>20,22</b>	<b>30,55</b>	<b>27,75</b>	<b>21,73</b>	<b>21,22</b>	<b>23,00</b>
Fortgeschrittene Kraftwerkssysteme	3,14	2,58	4,47	6,68	7,90	8,11	10,76
Komponentenentwicklung	4,37	8,96	18,81	9,90	7,83	7,60	9,18
Kohlevergasung	1,27	1,84	2,13	3,71	2,86	4,32	2,39
Sonstige	4,11	6,84	5,14	7,46	3,15	1,19	0,68
<b>Brennstoffzellen und Wasserstoff</b>	<b>23,36</b>	<b>28,13</b>	<b>22,67</b>	<b>23,87</b>	<b>23,05</b>	<b>21,32</b>	<b>18,37</b>
NT-PEM	5,65	8,21	6,46	5,40	5,54	5,29	6,72
SOFC	8,03	7,83	7,56	10,48	9,63	10,32	6,67
Wasserstoffspeicher	-	-	0,22	1,09	2,03	1,72	1,40
HT-PEM	2,51	3,84	2,28	1,05	0,90	1,33	1,30
Wasserstofferzeugung	1,40	0,71	0,73	0,56	0,49	1,29	1,17
DMFC	0,98	0,51	0,41	0,37	0,87	1,16	0,56
MCFC	3,70	6,35	4,72	4,92	3,58	0,22	0,55
Sonstige	1,09	0,69	0,30	-	-	-	-
<b>Systemanalyse und Informationsverbreitung</b>	<b>2,28</b>	<b>2,40</b>	<b>3,48</b>	<b>4,37</b>	<b>4,68</b>	<b>4,32</b>	<b>4,54</b>
<b>Insgesamt</b>	<b>61,99</b>	<b>77,57</b>	<b>91,70</b>	<b>104,68</b>	<b>130,34</b>	<b>129,17</b>	<b>129,92</b>

## 4.3 Mittelabfluss im Bereich Erneuerbare Energien

Tabelle 4

## Themen gefördert vom BMU

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Windenergie</b>	<b>9,60</b>	<b>15,60</b>	<b>29,90</b>	<b>28,30</b>	<b>36,73</b>	<b>43,91</b>	<b>38,45</b>
Technik und Schallschutz	3,80	6,40	15,60	7,70	16,05	20,83	24,65
Offshore-Testfeld	-	1,20	7,90	12,30	15,32	17,50	7,20
Plattformen, Bau und Betrieb	2,10	4,80	5,10	6,40	2,56	2,98	4,50
Ökologische Begleitforschung	3,70	3,20	1,30	1,90	2,80	2,61	2,11
<b>Photovoltaik</b>	<b>34,10</b>	<b>30,50</b>	<b>39,30</b>	<b>32,30</b>	<b>38,10</b>	<b>38,10</b>	<b>50,40</b>
Kristallines Silizium	15,10	18,40	21,90	16,80	22,30	21,40	29,20
Dünnschichttechnologien	18,70	11,50	14,10	11,40	11,60	13,80	16,70
Sonstige	0,30	0,60	3,30	4,10	4,20	2,90	4,50
<b>SystEEM</b>	-	-	<b>0,82</b>	<b>10,87</b>	<b>11,33</b>	<b>12,82</b>	<b>15,06</b>
Smart Grids	-	-	0,18	4,43	4,97	4,55	3,94
Netztechnik	-	-	-	0,18	0,42	1,88	3,87
Energiespeicher	-	-	0,16	1,13	1,25	2,75	2,84
Kombikraftwerke	-	-	-	-	0,15	0,96	1,40
Systemdienstleistungen	-	-	-	-	-	-	0,87
Prognosen	-	-	-	-	-	0,06	0,34
Sonstige	-	-	0,48	5,14	4,54	2,62	1,80
<b>Tiefe Geothermie</b>	<b>14,00</b>	<b>14,40</b>	<b>7,40</b>	<b>13,80</b>	<b>10,00</b>	<b>11,60</b>	<b>20,90</b>
Prospektion und Exploration	1,40	0,60	0,20	1,40	0,40	1,40	8,40
Warmwasser- und Dampflagerstätten	11,50	11,80	6,20	11,80	7,40	5,20	4,40
Hot-Dry-Rock	1,00	1,90	1,00	0,10	1,30	2,00	3,40
Sonstige	0,10	0,10	-	0,50	0,90	3,00	4,70
<b>Niedertemperatur-Solarthermie</b>	<b>6,61</b>	<b>5,68</b>	<b>5,74</b>	<b>6,31</b>	<b>8,37</b>	<b>6,45</b>	<b>7,97</b>
Kollektorentwicklung	2,24	0,92	0,99	1,01	1,04	1,50	2,49
Solare Kälte	0,16	0,27	0,21	0,28	0,91	1,36	1,73
Solares Heizen	0,20	0,06	0,90	1,35	1,10	1,10	1,58
Begleitforschung	1,20	1,45	1,38	0,99	1,43	1,14	1,14
Speicher	0,21	0,26	0,26	0,27	0,20	0,30	0,49
Pilot-/Demovorhaben	2,60	2,54	1,85	2,28	3,44	0,93	0,33
Solare Prozesswärme	-	0,18	0,15	0,14	0,25	0,12	0,21

noch Tabelle 4

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Solarthermische Kraftwerke</b>	<b>5,91</b>	<b>5,94</b>	<b>7,08</b>	<b>7,07</b>	<b>5,84</b>	<b>6,06</b>	<b>7,57</b>
Parabol	2,45	2,05	1,38	0,77	1,77	2,72	3,71
Turm	1,33	1,71	2,87	2,46	1,15	1,57	1,68
Fresnel	0,89	0,76	0,24	0,12	0,47	0,47	0,68
Speicher	0,58	0,91	1,01	1,69	1,04	0,71	0,65
Sonstige	0,64	0,51	1,58	2,03	1,42	0,59	0,85
<b>Querschnittsfragen</b>	<b>1,37</b>	<b>1,93</b>	<b>2,87</b>	<b>2,70</b>	<b>2,43</b>	<b>2,63</b>	<b>3,40</b>
<b>Insgesamt</b>	<b>71,59</b>	<b>74,04</b>	<b>93,11</b>	<b>101,36</b>	<b>112,80</b>	<b>121,58</b>	<b>143,75</b>

Tabelle 5

## Themen gefördert vom BMELV

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Erzeugung</b>	<b>1,37</b>	<b>1,93</b>	<b>2,87</b>	<b>2,70</b>	<b>2,43</b>	<b>2,63</b>	<b>3,40</b>
Anbau	1,84	2,24	3,13	3,52	4,73	5,52	6,91
Züchtung	0,39	1,17	1,43	2,20	2,25	3,22	4,43
<b>Konversion</b>	<b>1,37</b>	<b>1,93</b>	<b>2,87</b>	<b>2,70</b>	<b>2,43</b>	<b>2,63</b>	<b>3,40</b>
Biogas	2,73	3,11	3,70	2,90	2,99	2,74	4,61
Biokraftstoffe	2,72	1,02	2,47	4,71	6,41	6,78	4,11
Feste Biomasse	1,31	1,70	5,50	9,14	6,39	3,41	2,78
<b>Querschnitt</b>	<b>1,37</b>	<b>1,93</b>	<b>2,87</b>	<b>2,70</b>	<b>2,43</b>	<b>2,63</b>	<b>3,40</b>
Umweltwirkungen	0,07	0,07	0,01	-	0,03	0,20	1,03
Internationales	-	0,09	-	-	-	0,05	0,01
Ökonomie	0,08	0,02	0,03	0,02	-	-	-
Sonstige	0,79	0,96	0,98	0,69	0,35	0,31	0,83
<b>Insgesamt</b>	<b>1,37</b>	<b>1,93</b>	<b>2,87</b>	<b>2,70</b>	<b>2,43</b>	<b>2,63</b>	<b>3,40</b>



## 4.4 Mittelabfluss im Bereich Grundlagenforschung Energietechnologien

Tabelle 6

## Themen gefördert vom BMBF

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Effiziente Energienutzung</b>	<b>5,01</b>	<b>4,88</b>	<b>6,32</b>	<b>8,30</b>	<b>8,19</b>	<b>8,76</b>	<b>9,07</b>
(inkl. andere Programme <sup>9</sup> )	(7,32)	(6,47)	(9,42)	(12,65)	(12,97)	(12,96)	(10,11)
Carbon Capture and Storage (CCS)	-	-	2,84	4,29	4,75	4,24	4,54
<i>(in anderen Programmen)<sup>9</sup></i>	<i>2,31</i>	<i>1,59</i>	<i>3,10</i>	<i>4,35</i>	<i>4,78</i>	<i>4,20</i>	<i>1,04</i>
Energieeffiziente Stadt	-	-	-	1,99	1,03	2,81	3,63
Brennstoffzellen und Wasserstoffherzeugung	2,40	3,07	2,81	2,02	2,28	1,16	0,71
Sonstige	2,61	1,81	0,66	0,00	0,12	0,55	0,19
<b>Speichertechnologien</b>	<b>0,61</b>	<b>0,96</b>	<b>0,90</b>	<b>3,37</b>	<b>3,00</b>	<b>3,03</b>	<b>10,20</b>
(inkl. andere Programme <sup>9</sup> )	(0,61)	(0,96)	(0,90)	(11,43)	(17,21)	(13,35)	(18,08)
Speicherinitiative	-	-	-	-	-	-	8,77
<i>Innovationsallianz LIB 2015 (anwendungsorientiert)<sup>9</sup></i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>8,06</i>	<i>14,21</i>	<i>10,32</i>	<i>7,88</i>
Innovationsallianz LIB 2015 (Grundlagenforschung)	-	-	0,23	2,85	2,54	3,03	1,43
Sonstige	0,61	0,96	0,67	0,53	0,46	-	-
<b>Photovoltaik</b>	<b>1,09</b>	<b>2,23</b>	<b>10,60</b>	<b>16,68</b>	<b>10,85</b>	<b>12,88</b>	<b>15,62</b>
(inkl. andere Programme <sup>9</sup> )	(1,09)	(2,23)	(11,15)	(32,20)	(31,24)	(33,18)	(34,23)
Innovationsallianz PV (Grundlagenforschung)	-	-	-	-	-	4,99	8,39
<i>Spitzencluster Solarvalley<sup>9</sup></i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>2,76</i>	<i>6,24</i>	<i>9,74</i>	<i>7,72</i>
<i>Innovationsallianz PV (anwendungsorientiert)<sup>9</sup></i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>1,08</i>	<i>6,37</i>
<i>Innovationsallianz OPV (anwendungsorientiert)<sup>9</sup></i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>0,55</i>	<i>12,75</i>	<i>14,14</i>	<i>9,49</i>	<i>4,52</i>
Innovationsallianz OPV (Grundlagenforschung)	-	-	2,06	5,95	3,74	1,88	3,45
Sonstige	1,09	2,23	8,54	10,74	7,11	6,02	3,77
<b>Bioenergie</b>	<b>1,24</b>	<b>1,44</b>	<b>0,09</b>	<b>4,51</b>	<b>5,62</b>	<b>5,94</b>	<b>8,81</b>
(inkl. andere Programme <sup>9</sup> )	(1,24)	(1,44)	(0,09)	(8,77)	(13,25)	(13,86)	(15,35)
Bioenergie Grundlagenforschung	1,24	1,44	0,09	4,51	5,62	5,94	8,81
<i>Systembiologie Energiepflanzen<sup>9</sup></i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>4,26</i>	<i>7,62</i>	<i>7,91</i>	<i>6,55</i>

noch Tabelle 6

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Stromnetze</b>	-	-	-	-	-	-	<b>3,06</b>
<b>Fusion</b>	-	-	<b>2,54</b>	<b>11,00</b>	<b>8,34</b>	<b>11,17</b>	<b>2,58</b>
<b>Querschnitt und Sonstige</b>	<b>3,79</b>	<b>1,79</b>	<b>5,18</b>	<b>0,83</b>	<b>0,72</b>	<b>0,00</b>	<b>7,11</b>
<b>Insgesamt</b> (inkl. andere Programme <sup>9</sup> )	<b>11,74</b> (14,05)	<b>11,30</b> (12,89)	<b>25,64</b> (29,29)	<b>44,69</b> (76,87)	<b>36,72</b> (83,71)	<b>41,79</b> (84,52)	<b>56,44</b> (90,52)

<sup>9</sup> Mittel für „andere Programme“ sind außerhalb des Energieforschungsprogramms budgetiert.

#### 4.5 Mittelabfluss im Bereich Nukleare Sicherheitsforschung

Tabelle 7

##### Themen gefördert vom BMWi

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Sicherheit von Komponenten kerntechnischer Anlagen</b>	<b>2,87</b>	<b>3,05</b>	<b>3,67</b>	<b>3,74</b>	<b>4,74</b>	<b>4,85</b>	<b>5,17</b>
Ermittlung von Bauteilbeanspruchungen	0,25	0,79	0,81	0,81	1,13	1,28	1,93
Bruchmechanikuntersuchungen	0,70	0,73	0,87	0,71	1,49	1,51	1,07
Integrität baulicher Strukturen	0,40	0,34	0,20	0,51	0,50	0,35	0,97
Zerstörungsfreie Prüfverfahren	0,66	0,61	0,86	1,13	1,38	1,52	0,82
Beanspruchbarkeit von Werkstoffen	0,87	0,58	0,94	0,59	0,24	0,20	0,38
<b>Anlagenverhalten und Unfallabläufe</b>	<b>10,19</b>	<b>10,99</b>	<b>11,91</b>	<b>13,65</b>	<b>13,15</b>	<b>12,48</b>	<b>12,21</b>
Unfallabläufe im Sicherheitsbehälter	4,28	4,38	5,24	5,58	5,58	5,60	5,84
Kern- und Brennstoffverhalten	2,87	3,36	2,90	3,11	3,06	3,09	3,00
Thermohydraulisches Anlagenverhalten	2,55	2,23	2,45	3,66	3,21	2,69	2,36
Probabilistische Sicherheitsanalyse	0,49	1,02	1,32	1,31	1,31	1,11	1,00
<b>Mensch-Maschine-Wechselwirkung</b>	<b>1,13</b>	<b>1,25</b>	<b>1,00</b>	<b>0,94</b>	<b>0,66</b>	<b>1,22</b>	<b>1,36</b>
Mensch-Maschine-Schnittstelle	0,47	0,78	0,83	0,68	0,41	0,86	0,91
Sicherheitskultur	0,03	0,02	0,04	0,09	0,10	0,07	-
Moderne Leittechnik	0,63	0,45	0,14	0,17	0,15	0,29	0,45
<b>Endlager- und Entsorgungsforschung</b>	<b>9,35</b>	<b>10,56</b>	<b>11,73</b>	<b>11,97</b>	<b>12,40</b>	<b>12,27</b>	<b>12,52</b>
Endlagerforschung	7,23	8,26	9,06	9,64	10,05	9,56	9,84
Kernmaterialüberwachung	0,23	0,25	0,17	0,19	0,24	0,15	0,18
Querschnittsthemen und Sonstige	1,89	2,05	2,50	2,14	2,11	2,56	2,50
<b>Insgesamt</b>	<b>23,55</b>	<b>25,84</b>	<b>28,31</b>	<b>30,31</b>	<b>30,95</b>	<b>30,82</b>	<b>31,26</b>

Tabelle 8

**Themen gefördert vom BMBF**

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Nukleare Sicherheits- und Entsorgungsforschung</b>	-	-	-	<b>8,81</b>	<b>9,06</b>	<b>9,42</b>	<b>9,43</b>
Strahlenforschung	-	-	-	5,82	5,85	5,52	4,91
Reaktorsicherheitsforschung	-	-	-	1,82	1,98	2,62	2,77
Entsorgungsforschung	-	-	-	1,17	1,23	1,28	1,74
<b>Insgesamt</b>	-	-	-	<b>8,81</b>	<b>9,06</b>	<b>9,42</b>	<b>9,43</b>

**4.6 Mittelabfluss im Bereich Institutionelle Energieforschung**

Tabelle 9

**Themen der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren  
gefördert vom BMWi und vom BMBF**

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. €						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Rationelle Energieumwandlung und -nutzung	38,45	46,97	43,25	57,82	54,66	62,62	67,34
Erneuerbare Energien	23,90	29,55	27,05	47,46	46,67	47,89	50,75
Kerntechnische Sicherheit und Entsorgung	28,21	29,48	31,26	30,98	29,90	30,48	31,64
Technologie, Innovation und Gesellschaft	-	-	-	10,08	8,57	9,64	9,92
Fusionsforschung	114,41	121,52	123,04	131,65	122,69	126,26	130,52
<b>Insgesamt</b>	<b>204,97</b>	<b>227,51</b>	<b>224,60</b>	<b>277,98</b>	<b>262,48</b>	<b>276,90</b>	<b>290,17</b>

