

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Bundesbericht Energieforschung 2015

Forschungsförderung für die Energiewende

Inhalt

1. Forschungsförderung für die Energiewende	2
1.1 Systemorientierte Forschungsansätze	3
1.2 Europäische und internationale Vernetzung	4
1.3 Nationale Vernetzung	4
2. Projektförderung	6
2.1 Energieumwandlung	6
2.1.1 Photovoltaik	6
2.1.2 Windenergie	7
2.1.3 Bioenergie	9
2.1.4 Tiefe Geothermie	10
2.1.5 Kraftwerkstechnologien	11
2.1.6 Brennstoffzellen und Wasserstoff	12
2.1.7 Solarthermische Kraftwerke	13
2.1.8 Wasserkraft und Meeresenergie	14
2.2 Energieverteilung und Energienutzung	15
2.2.1 Speicher	15
2.2.2 Netze	17
2.2.3 Energieeffizienz in Gebäuden, Quartieren und Städten und Niedertemperatur-Solarthermie	19
2.2.4 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	21
2.3 Übergreifende Energieforschung	22
2.3.1 Querschnittsforschung und Systemanalyse	22
2.3.2 Begleitforschung und Evaluation der Projektförderung	24
2.3.3 Informationsverbreitung	25
2.4 Materialforschung für die Energiewende	26
2.5 Gesellschaftsverträgliche Transformation des Energiesystems	27
2.6 Fusionsforschung	28
2.7 Nukleare Sicherheitsforschung	28
2.7.1 Reaktorsicherheitsforschung	29
2.7.2 Endlager- und Entsorgungsforschung	30
2.7.3 Strahlenforschung	31
3. Institutionelle Energieforschung	32
4. Weitere Förderaktivitäten	34
4.1 Forschungsförderung der Bundesländer	34
4.2 Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union	36
4.2.1 Neues Forschungsrahmenprogramm Horizon 2020	36
4.2.2 Abschluss des 7. EU-Forschungsrahmenprogramms	37
5. Tabellen	39
5.1 Fördermittel für Energieforschung der Bundesregierung	39
5.2 Fördermittel für Energieforschung der Bundesländer	44

1. Forschungsförderung für die Energiewende

Die Bundesrepublik Deutschland richtet ihre Energieversorgung im Rahmen der Energiewende neu aus. Dahinter stehen die Ziele, bis 2050 durch eine verbesserte Energieeffizienz den Primärenergieverbrauch zu halbieren und den Anteil erneuerbarer Energie am Bruttoendenergieverbrauch auf 60 Prozent zu steigern. Dies erfordert den Aufbau eines neuartigen, hochkomplexen und intelligenten Versorgungssystems, welches eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung sicherstellt.

Die Energiewende kann nicht ohne umfangreiche technologische Innovationen an nahezu allen Teilkomponenten und systemübergreifenden Aspekten realisiert werden, ihr Erfolg hängt aber auch von einer wirtschaftlichen Umsetzung ab. Die Energieforschung trägt zu beiden Zielen bei und ist somit ein wichtiges strategisches Element für eine zukunftsorientierte Energiepolitik. Daher fördert die Bundesregierung umfangreich Forschung und Entwicklung in Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen.

Weiterentwicklung des 6. Energieforschungsprogramms

Mit der Ausrichtung der Energiepolitik auf die Energiewende ergeben sich neue Prämissen für die grundlagen- und anwendungsorientierte Forschungspolitik. Diesen begegnet die Bundesregierung mit ihrem Energieforschungsprogramm. Es schreibt die Grundlinien und Schwerpunkte der Förderpolitik der Bundesregierung im Bereich innovativer Energietechnologien fest und schafft die Voraussetzungen für den umweltschonenden, sicheren und kostengünstigen Umbau der Energieversorgung in Deutschland. Dabei setzt die Bundesregierung mit ihrer langfristig orientierten Förderpolitik gezielt auf Technologien, die zu einer erfolgreichen Umsetzung der Energiewende beitragen. Mit vielfältigen Maßnahmen wie detaillierten Förderbekanntmachungen, gesellschaftlichen Dialogprozessen und einer verstärkten Vernetzung der Forschung wird das aktuelle 6. Energieforschungsprogramm kontinuierlich weiterentwickelt.

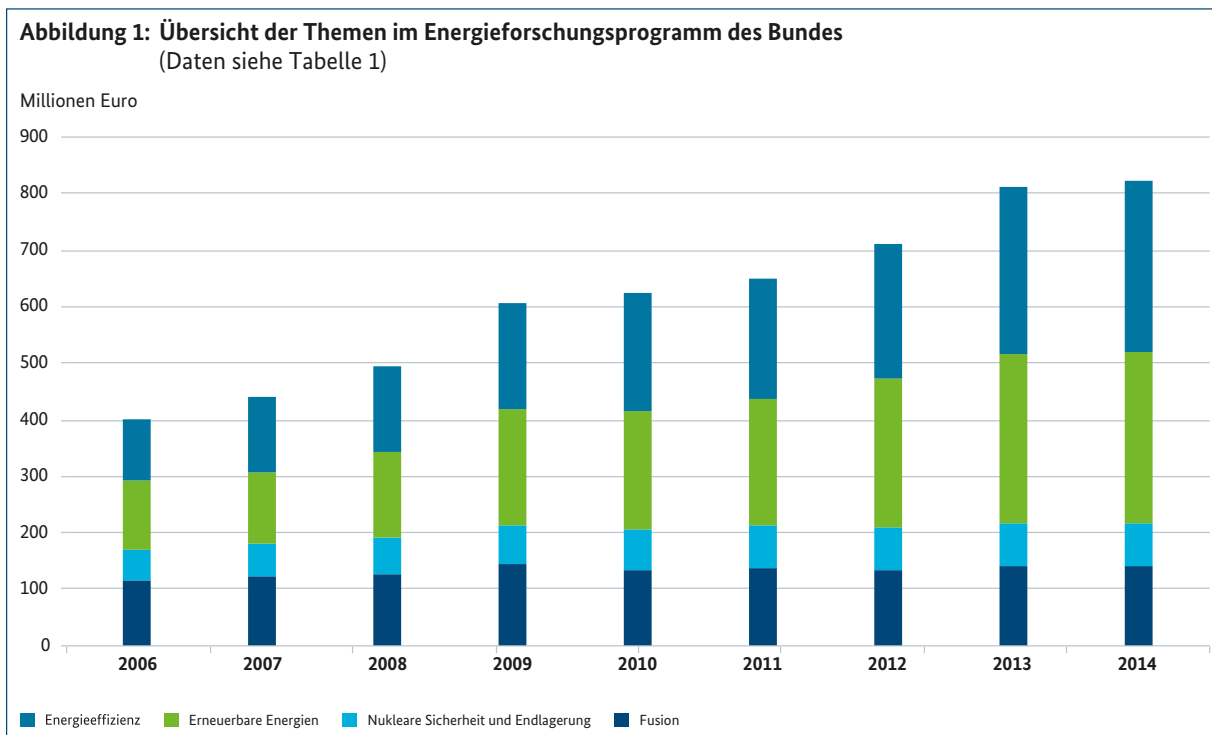
Struktur und beteiligte Ressorts

Seit dem Neuzuschnitt der Zuständigkeiten der Ressorts nach der Bundestagswahl 2013 liegt die Verantwortung für die Umsetzung des 6. Energieforschungsprogramms beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Dem BMWi obliegen in diesem Zusammenhang die programmatische Ausrichtung und die systemorientierte Weiterentwicklung sowie die Koordination des Energieforschungsprogramms.

Die Organisation der Forschungsförderung im Energieforschungsprogramm gliedert sich wie folgt: Die Förderung der energietechnologischen Grundlagenforschung erfolgt durch das BMBF und schafft die Voraussetzung für die Entwicklung neuer Innovationen und die Verbesserung bestehender Verfahren. Zudem ist das BMBF für die institutionelle Förderung der Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren (HGF), mit Ausnahme des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt (DLR), sowie die Förderung der Fraunhofer Gesellschaft, der Max-Planck-Gesellschaft und der Leibniz-Gemeinschaft zuständig. Die Forschungsförderung des BMWi und BMEL unterstützt anwendungsorientierte Forschung, Entwicklung und Demonstration mit dem Ziel, die Basis zu schaffen für künftige marktreife Lösungen und Produkte. Konkret ist das BMWi betraut mit der anwendungsorientierten Projektförderung auf den Gebieten Energieeffizienz, erneuerbare Energien und nukleare Sicherheits- und Entsorgungsforschung sowie für die institutionelle Förderung des Bereichs Energie des DLR in der Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren. Das BMEL ist für die Förderung der Bioenergieforschung zuständig.

Aktivitäten der Bundesregierung außerhalb des Energieforschungsprogramms

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) führt im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) die Forschungsaktivitäten des BMWi komplementär fort: Das BMVI fördert auf diesem Gebiet marktvorbereitende Aktivitäten in Form von Demonstrationsprojekten, Feldtests und Infrastrukturmaßnahmen.



Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) ergänzt die Energieforschung der Bundesregierung durch Förderprogramme in seiner Zuständigkeit für Fragen des Klima- und Naturschutzes, der Quartiers- und Stadtentwicklung, der Bauforschung sowie in den Bereichen Strahlenschutz, Reaktorsicherheit und nukleare Ver- und Entsorgung.

Mittelenwicklung

Die im Energieforschungsprogramm der Bundesregierung eingesetzten Mittel lagen im Berichtsjahr 2014 bei über 819 Millionen Euro (vgl. Übersicht in Abb. 1). Damit konnte die positive Tendenz aus den Vorjahren weiter fortgesetzt werden. Mehr als 73 Prozent fließen in die zentralen Themen Energieeffizienz und erneuerbare Energien.

Die Projektförderung ist ein wirkungsvolles Instrument zur staatlichen Unterstützung der privaten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Durch seine Flexibilität ist es besonders geeignet zur konsequenten Ausrichtung der Forschungsförderung auf die Ziele der Energiewende und kommt daher verstärkt zum Einsatz. So wurde der Anteil

der Projektförderung am Energieforschungsprogramm stetig erhöht und hat im Jahr 2014 mit 515 Millionen Euro einen Anteil von 63 Prozent erreicht (gegenüber noch 57 Prozent im Jahr 2011).

1.1 Systemorientierte Forschungsansätze

Die Bundesregierung setzt bei der Energieforschungsförderung auf einen systemischen Ansatz. Dieser ist demnach auch ein zentrales Element des 6. Energieforschungsprogramms. Dieses schafft die Grundlage für ressortübergreifende Forschungsinitiativen und damit die Basis für verstärkte systemorientierte Forschungsansätze. Hierzu zählen beispielsweise die „Förderinitiative Energiespeicher“ (Start 2011) und die „Förderinitiative zukunftsfähige Stromnetze“ (Start 2012). Beide Initiativen wurden gemeinsam durch die am Energieforschungsprogramm beteiligten Ressorts ins Leben gerufen: das BMWi, das BMBF und bis 2013 auch das BMU, welches bis zum Neuzuschnitt der Ministerien im Nachgang der jüngsten Bundestagswahl für die anwendungsorientierte Forschungsförderung zu erneuerbaren Energien zuständig war.

Diese Art der strategischen Förderung von Forschung und Entwicklung ermöglicht wertvolle Synergieeffekte und kann die Entwicklung von Innovationen entlang der Wertschöpfungskette des jeweiligen Themengebietes beschleunigen und zielgerichteter gestalten. Zudem erhöht die Zusammenarbeit die Effizienz in der Koordination und Umsetzung der politischen Maßnahmen.

1.2 Europäische und internationale Vernetzung

Erfolgreiche Energieforschungsförderung erfordert die Betrachtung der Technologieentwicklungen aus einer globalen Perspektive. Mit der Vernetzung der europäischen Forschungsarbeiten und einer verstärkten internationalen Kooperation auf dem Gebiet der Energieforschung trägt die Bundesregierung diesem Gedanken Rechnung.

Horizon 2020

Anfang 2014 startete das Programm Horizon 2020 der Europäischen Union zur europäischen Forschungsförderung. Dieses deckt die gesamte Innovationskette von der Grundlagenforschung bis zur Vorbereitung marktfähiger Produkte und Dienstleistungen ab und löste das bisher geltende „7. Rahmenprogramm für Forschung und Innovation“ (FP7) ab. Die nichtnukleare Energieforschung fällt in den Schwerpunkt „Gesellschaftliche Herausforderungen“ und wird dabei unter dem Themenpunkt „Sichere, saubere und effiziente Energieversorgung“ behandelt. Neben der klassischen EU-Verbundforschung erfolgt im Rahmen von Horizon 2020 auch die Förderung öffentlich-privater Partnerschaften. Alle Maßnahmen des Programms im Bereich Energie erfolgen in enger Abstimmung mit den Zielen und der Strategie des SET-Plans (siehe nächster Abschnitt). Für die Förderaktivitäten stehen von 2014 bis 2020 insgesamt rund 77 Milliarden Euro Fördermittel bereit.

SET-Plan: Europäischer Strategieplan für Energietechnologie

Der Übergang zu einer modernen, CO₂-armen und sicheren Energieversorgung in Europa muss durch Forschungsoperationen mit europäischen Partnern vorangetrieben werden. Der SET-Plan (Strategic Energy Technology Plan; Europäischer Strategieplan für Energietechnologie) ist ein wichtiges Instrument der Energiepolitik der Europäischen Union und dient einer effizienten und zielgerichteten Energieforschung im europäischen Mehrebenensystem. Er soll in die Förderstrategien der Mitgliedsstaaten eng eingebunden werden und so die Forschungsförderung koordiniert umsetzen. Dies soll Doppelungen vermeiden und Innovationsprozesse beschleunigen. Auf diese Weise lassen sich die wirtschaftlichen Potenziale, die aus erfolgreicher Forschung und Entwicklung erwachsen, rascher in die Praxis transferieren.

Die Umsetzung des SET-Plans erfolgt unter anderem im Rahmen des „Berliner Modells“, einem Vorschlag der Bundesregierung. Dieses sieht eine möglichst unbürokratische und effiziente Forschungsförderung auf multinationaler Ebene und eine enge Kooperation der EU mit den nationalen Förderprogrammen und -organisationen vor. Erste Projekte nach diesem Modell sind in Initiativen mit Finnland (Energieeffizienz in der Industrie) und mit Österreich/Schweiz (Gebäude und Städte) bereits gestartet. Künftig soll diese Form der Förderung weiter ausgebaut werden.

Internationale Kooperation

Im Dezember 2014 hat das 5. Forum zur Deutsch-Französischen Forschungskooperation stattgefunden. Hierbei wurde die Energieforschung als einer der drei Schwerpunkte der deutsch-französischen Zusammenarbeit in den kommenden Jahren identifiziert. In diesem Kontext wurde zudem ein von deutschen und französischen Wissenschaftlern entwickeltes Papier vorgestellt, das gemeinsam Prioritäten in der Energieforschung darstellt.

Im Rahmen der Initiative „Förderung der Intensivierung der Zusammenarbeit mit Griechenland: Förderung deutsch-griechischer Forschungsprojekte“ starteten zum Jahresbeginn 2014 acht Kooperationsvorhaben aus dem Bereich der Energieforschung. Die Forschungsthemen umfassen die Photovoltaik, die Erzeugung solarer Brennstoffe, die Kraftwerkstechnik, Speichertechnologien, biobasierte Energieträger und die europäische Integration nationaler Energieversorgungsnetze.

Im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA) unterstützt Deutschland das Technologienetzwerk zum Auf- und Ausbau weltweiter Forschungskooperationen. Vier „Working Parties“ zu den Themen Energieeffizienz, erneuerbare Energien, fossile Energien und Kernfusion setzen in über 40 „Implementing Agreements“ fachliche Schwerpunkte über die gesamte Breite der Energiethemen um. An 28 dieser Technologie-Initiativen sind deutsche Institutionen derzeit aktiv beteiligt.

Auf außereuropäischer Ebene beschlossen Deutschland und China im Jahr 2014 die Intensivierung der gemeinsamen Nachwuchsförderung. Entlang der Themenfelder „Energiesysteme“ und „Rauchgas-Emissionen“ sollen mit Hilfe von Workshops zusätzliche Forschungskooperationen angestoßen werden. Die interdisziplinären und systemischen Ansätze stehen dabei im Vordergrund.

1.3 Nationale Vernetzung

Im Rahmen der Forschungsförderung auf Bundesebene wirken am Energieforschungsprogramm – wie dargestellt –

das BMWi, das BMBF und das BMEL mit. Die Definition der Eckpunkte der Bundesförderung und die Organisation der Zusammenarbeit erfolgt über die Koordinierungsplattform Energieforschung unter der Leitung des BMWi als zuständiges Ressort für den Informationsaustausch im Rahmen des Energieforschungsprogramms. Darüberhinaus besteht auf thematisch verwandten Gebieten eine ressortübergreifende Zusammenarbeit und Abstimmung mit dem BMUB und dem BMVI im Rahmen ihrer Zuständigkeiten.

Netzwerke als wirkungsvolles Instrument der Forschungspolitik

Der Leitlinie der systemorientierten Forschungsförderung folgend, initiierte das BMWi im vergangenen Jahr das Forschungsnetzwerk „Energie in Gebäuden und Quartieren“. Damit schuf das Ministerium eine transparente Schnittstelle zwischen Forschung, Praxis und Politik. Das Netzwerk bündelt strukturell die Förderthemen Energieeffiziente Stadt (EnEff:Stadt), Energieoptimiertes Bauen (EnOB) und Niedertemperatur-Solarthermie und vernetzt die Akteure in diesen Bereichen. Eine zentrale Aufgabe des Netzwerks ist die Vorbereitung einer Förderinitiative „Solares Bauen/ Energieeffiziente Stadt“, welche 2016 erscheinen soll. Für diese Förderinitiative ist eine ressortübergreifende Zusammenarbeit zwischen BMWi, BMBF und BMUB geplant. Das Forschungsnetzwerk wurde im Oktober 2014 gegründet und wird durch den Projektträger Jülich im Auftrag des BMWi koordiniert.

Weitere Forschungsnetzwerke sind im BMWi bereits im Aufbau und sollen einerseits die Akteure des Forschungsfeldes Systemanalyse und andererseits des Themengebietes Stromnetze zusammenführen.

Strategische Forschungsagenda

Das BMBF hat im Jahr 2013 einen breit angelegten gesellschaftlichen Dialogprozess im Rahmen des Forschungsforums Energiewende gestartet, in dem Stakeholder der Energiewende aus Wissenschaft, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Politik eine „Strategische Forschungsagenda Energiewende (SFA)“ erarbeiten. Die SFA benennt Forschungsthemen und -bedarfe, die Schlüsselfragen der Energiewende adressieren und für die mittel- und langfristige Transformation des Energiesystems entscheidend sind. Im Oktober 2014 wurden die vorläufigen Ergebnisse des Prozesses auf einem Agendakongress mit Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Politik diskutiert und weiterentwickelt. Im laufenden Prozess entwickelten die Akteure die Idee sogenannter „Kopernikusprojekte“. Hierbei geht es darum, Themen und Ergebnisse der Grund-

lagenforschung zusammen mit der Industrie zielgerichtet und passgenau in die großtechnische Anwendung zu bringen und wirtschaftlich umzusetzen. Für diese Großforschungsprojekte ist eine Laufzeit von bis zu zehn Jahren vorgesehen.

In der Eigenverantwortung der Wissenschaft hat sich der Koordinierungskreis Forschung gegründet. Dieser Kreis versammelt Vertreter der außeruniversitären Forschungseinrichtungen und der Hochschulen. In diesen Institutionen wird über die Koordinierung der Forschung entschieden und es werden konkrete Projekte umgesetzt.

Die Forschungsagenda fließt in die Weiterentwicklung des Energieforschungsprogramms ein.

Kooperation mit den Bundesländern

Die Bundesländer sind, neben dem Bund und der EU-Kommission, ebenfalls stark in der öffentlichen Förderung der Energieforschung involviert. Dies erfolgt über Förderprogramme, welche auf die individuellen Gegebenheiten und Bedürfnisse der einzelnen Länder hin ausgerichtet sind. Insgesamt lag in den zentralen Themen Energieeffizienz und erneuerbare Energien (nichtnukleare Energieforschung) im Jahr 2013 der Mittelansatz der Bundesländer bei 312 Millionen Euro. Diese haben damit über 34 Prozent der von der öffentlichen Hand für diese Themen bereitgestellten Forschungsmittel aufgewendet (siehe Kapitel 4.1 Bundesländer). Damit leisten die Landesregierungen einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der Energietechnologien im Sinne der Energiewende und folgen dem Mehrebenen-Prinzip der Europäischen Union, wonach Innovationsförderung in den Mitgliedsstaaten über alle staatlichen Ebenen erfolgen soll, um eine möglichst zielgerichtete und praxisnahe Unterstützung ermöglichen zu können.

Um den Austausch über aktuelle Entwicklungen und Schwerpunkte zu begünstigen, organisiert das BMWi ein jährliches Bund-Länder-Gespräch Energieforschung.

Weitere Vernetzungsaktivitäten

Hinzu kommt das Forschungsforum Energiewende, welches der Abstimmung zwischen Bund, Ländern, Wirtschaft und Wissenschaft sowie der Gesellschaft dient. Dieser regelmäßige Austausch auf nationaler und internationaler Ebene stellt den Bezug zur Praxis her und ermöglicht das Berücksichtigen aktueller Entwicklungen in der politischen Planung. Über das Informationssystem Energieforschung werden darüber hinaus die institutionelle Forschungsförderung und die Projektförderung vorgestellt.

2. Projektförderung

2.1 Energieumwandlung

2.1.1 Photovoltaik

Nach wie vor ist essenziell, die Kosten für Photovoltaikkraftwerke kontinuierlich zu reduzieren. Im Zusammenspiel von flächenbezogenen und leistungsabhängigen Kosten führt kein Weg an Solarmodulen mit hohem Wirkungsgrad vorbei – sie sollen also so viel Strom wie möglich aus dem vorhandenen Sonnenlicht gewinnen. Die Forschungsförderung des BMWi trägt dazu bei, dass Anlagenbau, Photovoltaikindustrie und Forschungsinstitute entsprechende innovative, konkurrenzfähige Konzepte entwickeln und in die Fertigung überführen. Parallel dazu soll eine hochwertige Vorlaufforschung dazu beitragen, dass die ausgezeichneten deutschen Forschungseinrichtungen auch mittelfristig der Industrie Ideen anbieten können, die die Phase des „proof-of-concepts“ bereits erfolgreich durchlaufen haben. Die Schwerpunkte der Förderung des BMWi liegen insbesondere bei den Technologien zum kristallinen Silizium, zur CIGS-Dünnschichttechnologie (CIGS steht für die verwendeten Elemente Kupfer, Indium, Gallium, Schwefel und Selen), der konzentrierenden Photovoltaik und der Systemtechnik. Dies schließt auch die Beteiligung am europäischen Solar ERA-Net (European Research Area) ein.

Verbundvorhaben zwischen Forschungseinrichtungen und Industrie, unter Führung Letzterer, wurden bei der Projektförderung favorisiert. Ein wesentliches Instrument für diese Konstellation war die Innovationsallianz Photovoltaik. Sie wurde im Jahr 2010 von BMBF und BMWi (bzw. seinerzeit BMU) mit einem Fördervolumen von 100 Millionen Euro aufgesetzt. Ziel war die Stärkung der Photovoltaik-Industrie durch Verbundprojekte mit starker Industriebeteiligung, deren Ergebnisse möglichst rasch zu neuen Verfahren und verbesserten Produkten sowie zu forschungsnahen Investitionen in Deutschland führen sollten.

Auf der Abschlusskonferenz im Oktober 2014 trafen sich die Vertreter der Projekte, um sich über Ergebnisse und erreichte Meilensteine ihrer Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auszutauschen. In Projekten zur Silizium-Wafer-Technologie wurde beispielsweise eine Qualitätsbewertung für die Ausgangswafer entwickelt. Zudem untersuchten die Partner neuartige Zellkonzepte und die mechanische Stabilität von Zellen im Modul. Darüber hinaus wurden hochinnovative Ansätze der Grundlagenforschung verfolgt, wie beispielsweise im Projekt Sissy. Hier wurde ein weltweit einzigartiges Photovoltaik-Labor mit direkter Anbindung an den Elektronenspeicherring BESSY II aufgebaut, das

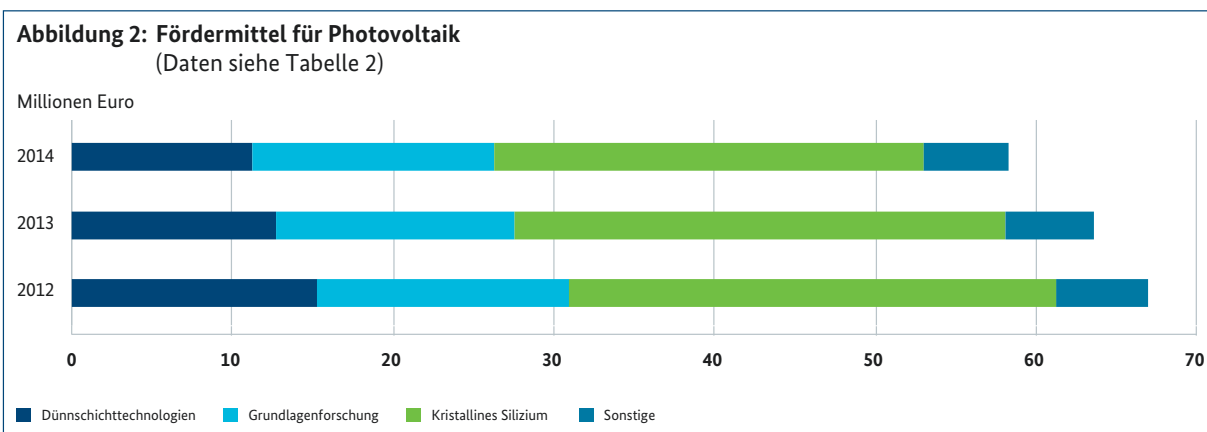
Untersuchungen an Dünnschichtsystemen mit unterschiedlicher Tiefenempfindlichkeit ermöglichen wird.

Die Strategie industriegeführter Verbundprojekte wurde im Mai 2013 mit einem gemeinsamen Förderaufruf von BMU (Umsetzung in der Folge beim BMWi) und BMBF zu „Forschung und Entwicklung für Photovoltaik“ fortgesetzt. Erste Projekte starteten 2014. Insgesamt werden aus den eingereichten Projektvorschlägen Vorhaben mit einem Fördervolumen von bis zu 50 Millionen Euro bewilligt. Es werden produktionsnahe Innovationen in der Modultechnik und im Anlagenbau sowie auch systemtechnische Ansätze gefördert, um Geschäftsmodelle mit Wertschöpfungsketten am Standort Deutschland voranzutreiben.

Ein innerhalb der Initiative durch das BMWi gefördertes Projekt ist zum Beispiel PV-Diesel. Darin wird die Photovoltaik als kostengünstige und zuverlässige Alternative betrachtet, um in sogenannten Inselnetzsystemen die dort bisher üblichen Dieselmotoren zum Großteil zu ersetzen. Inselnetzsysteme sind vom Verbundnetz unabhängige, sich selbst versorgende Stromsysteme. Die Systemtechnik soll bei den Arbeiten im Vordergrund stehen. Unter anderem entwickeln die Projektpartner einen speziell für den Einsatz in PV-Diesel-Inselnetzsystemen angepassten, spannungsgeführten Batteriewechselrichter der Megawattklasse, der mit unterschiedlichen Batterietechnologien kombiniert werden kann.

Ein weiteres Beispiel ist das Projekt LAURA. Die Verbundpartner entwickeln sowohl hocheffiziente Module als auch kostengünstige Batteriespeicher sowie intelligente Energiemanagementsysteme, um insgesamt die Stromgestehungskosten für kristalline Silizium-Module erheblich zu senken. Unter anderem arbeiten die Wissenschaftler an innovativen Modulkonzepten mit geringen elektrischen und optischen Verlusten sowie verbesserter Qualität. Die Solarzellen darin sollen auf neue Weise verschaltet werden. Das Licht soll zudem besser eingekoppelt sowie innerhalb des Moduls gefangen werden.

Im Bereich Photovoltaik (BMWi und BMBF) flossen im Jahr 2014 rund 58,3 Millionen Euro in 334 laufende Vorhaben (siehe Abb. 2). 2014 wurden insgesamt 104 neue Forschungsprojekte mit einem Fördermittelansatz von 73,2 Millionen Euro bewilligt. In diesen Zahlen sind die Vorhaben der gemeinsamen BMBF- und BMWi-Initiative „Forschung und Entwicklung für Photovoltaik“ mit enthalten.



Hochaktuell und aussichtsreich ist die Entwicklung von Perowskit-Solarzellen. In der BMBF-Förderbekanntmachung „Materialforschung für die Energiewende“ wurde ein Schwerpunkt auf dieses Forschungsfeld gelegt. Mit Perowskit konnten in jüngster Zeit Laborsolarzellen mit Wirkungsgraden bis zu 20 Prozent demonstriert werden. In Zukunft sollte es möglich sein, ganze Module auf der Basis von Perowskiten mit den kostengünstigen Verfahren der organischen Photovoltaik (OPV) herzustellen. Die dafür benötigte Grundlagenforschung umfasst die Material-Lebensdauer, den Ersatz von Schwermetallen sowie die weitere Zellentwicklung.

Maßnahmen außerhalb des Energieforschungsprogramms

Mit Förderaktivitäten des BMBF zur organischen Photovoltaik wird der Brückenschlag zwischen Wissenschaft und Wirtschaft auf diesem jungen Teilgebiet der organischen Elektronik angestrebt. Hauptziele sind die Steigerung der Lebensdauer durch eine günstige, flexible Verkapselung der Zellen, die die Degradation durch Sauerstoff und Wasser verhindern soll, die Steigerung des Wirkungsgrades durch neue Zellkonzepte und Absorbermaterialien sowie das Etablieren von reproduzierbaren Rolle-zu-Rolle-Druckprozessen für die Modulherstellung. Erste Erfolge haben sich eingestellt. Beispielsweise konnte durch die Initiative bereits eine Weltrekordeffizienz für OPV-Laborzellen von 12,0 Prozent erreicht werden. Weiteres Ziel ist, diese Wirkungsgrade langfristig auf Module zu übertragen.

Die BMBF-Förderinitiative „Organische Elektronik, insbesondere Organische Leuchtdioden und Organische Photovoltaik“ soll Synergien von Industrie und Wissenschaft nutzen, um eine spätere Verwertung dieser Technologien

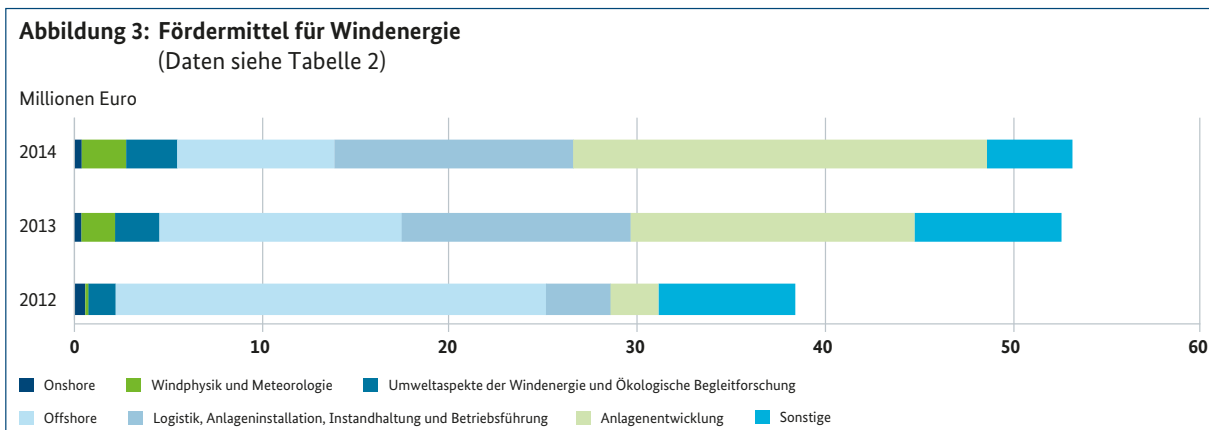
zu ermöglichen. Beispielsweise wird im Vorhaben EXPOPV die Integration von organischen Solarmodulen in den deutschen EXPO-Pavillon auf der Weltausstellung 2015 in Mailand vorbereitet. Auf diese Weise soll die Sichtbarkeit dieser Technologie weiter erhöht werden.

2.1.2 Windenergie

Die Nutzung der Windenergie kann in Deutschland den größten und wirtschaftlichsten Beitrag zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien liefern. Die Forschungsförderung zielt deshalb insbesondere darauf ab, einen Beitrag zur Kostensenkung zu leisten. Auch Ertragssteigerungen sowie ein zuverlässiger Betrieb der Windenergieanlagen (WEA) sind entscheidend, um die spezifischen Kosten zu senken.

Insgesamt hat das BMWi im Bereich Windenergie 63 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 38,5 Millionen Euro neu bewilligt (2013: 37,3 Millionen Euro). Auch bereits laufende Forschungsvorhaben wurden auf dem hohen Niveau der Vorjahre mit einem Mittelabfluss von rund 53 Millionen Euro (2013: 52,6 Millionen Euro) aus dem Bundeshaushalt und dem Energie- und Klimafonds (EKF) gefördert (vgl. Abb. 3).

Die Onshore-Windenergie weist bereits einen hohen Reifegrad auf. So erreichen die Anlagen eine technische Verfügbarkeit von über 95 Prozent. Eine wesentliche Herausforderung bei der Weiterentwicklung der Anlagen sind die technischen Auswirkungen der immer größeren Rotordurchmesser in Kombination mit relativ kleinen Maschinen und großen Nabenhöhen. Hier konnte 2014 das Testzentrum Tragstrukturen Hannover eröffnet werden, das



mit geeigneten Großversuchsgeräten und Laboren Beiträge im Gründungsbereich liefern soll. In Kombination mit den kurz vor der Fertigstellung stehenden Gondelprüfständen in Aachen (Center for Wind Power Drives - CWD) und Bremerhaven (Dynamic Nacelle Testing Laboratory – DyNaLab) sowie den vorhandenen Kapazitäten zur Rotorblattprüfung können wesentliche Analyse- und Entwicklungsschritte unter kontrollierten Bedingungen im Zeitraffer durchgeführt werden.

Im Bereich Offshore konnten dank der intensiven Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten der letzten Jahre effektive Schallschutzmaßnahmen bei der Installation von OWEA-Fundamenten bis 25 Meter Wassertiefe entwickelt werden. Techniken wie der Große Blasenschleier, der Einsatz von Hüllrohren oder des sogenannten Hydroschalldämpfers ermöglichen die Einhaltung des durch den Gesetzgeber definierten Grenzwerts der Schallemission, zum Beispiel im Windpark Butendiek. Da diese innovativen Techniken die Störfläche für Meeressäuger um bis zu 90 Prozent verringern, tragen sie maßgeblich zum Artenschutz in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone bei. Gleichzeitig werden weiterhin intensive Forschungstätigkeiten im Bereich neuartiger, schallarmer Gründungstechniken, wie beispielsweise Saugeimergründungen (Suction Buckets) oder dem Einvibrieren von Pfählen, initiiert, um den umweltverträglichen und kosteneffizienten Ausbau der Offshore-Windenergie zu unterstützen.

Aufgrund des weiteren Leistungswachstums von Windenergieanlagen rücken unter Kostenaspekten zunehmend Gewicht und Größe der Maschinen in den Vordergrund der Forschungsförderung, da die Installationskosten von WEA einen signifikanten Anteil der Gesamtkosten einer Anlage ausmachen. Neue, massenreduzierte und ressourceneffiziente Antriebsstrangkonzeppte werden daher unter anderem in den Vorhaben Magnetring II und Nabengenerator untersucht. Im Vorhaben Magnetring II wird ein getriebeloser Ringgenerator großen Umfangs und einer Leistung von 10 Megawatt entwickelt, der deutliche Massenvorteile gegenüber bestehenden Anlagenkonzepten aufweisen soll. Im Projekt Nabengenerator werden ein weiterentwickelter

Triebstrang und ein innovatives Rotorkonzept für direktgetriebene Windturbinen im Bereich von 3 bis 6 Megawatt entwickelt. Dank extremen Leichtbaus und Modularisierung sollen so logistische Probleme minimiert werden.

Um die Energieerzeugung aus Windenergie besser vorher-sagbar zu machen und zu verstetigen, sind außerdem ein verbessertes Verständnis und eine verbesserte Nutzung der Ressource Wind notwendig. Hier werden zum einen Verfahren zur Prognose der Winderträge in komplexem Gelände, wie gebirgigem Terrain oder Waldgebieten, optimiert und zum anderen Simulationsmodelle von Windlasten zur Auslegung von WEA weiterentwickelt. Zudem werden neuartige Regelungskonzepte von Einzelanlagen und Windparks erforscht, um den Energieertrag zu optimieren.

Verfahren für ein intelligentes, prädiktives Zustands- und Lastmonitoring sollen gemeinsam mit geeigneten Techniken und Regelansätzen Schäden und Extremlastzustände vermeiden. So kann die Zuverlässigkeit von WEA weiter erhöht werden. Die gleiche Zielsetzung wird durch die Nutzung neuartiger Gondelprüfstände avisiert, mit deren Hilfe Antriebsstränge von WEA realistischen, beschleunigten Lasttests unterworfen werden können. Im Vorhaben FVA-Gondel werden hierzu am Triebstrang einer WEA vielfältige Lastzustände untersucht, um Modelle zur Entwicklung von Windenergieanlagen gezielt verbessern zu können und Schädigungsmechanismen von WEA oder deren Komponenten zu verstehen.

Von großer Bedeutung für den weiteren Ausbau der Windenergie ist auch die Integration des erzeugten Stroms in die öffentlichen Versorgungsnetze. Forschungsrelevant sind daher auch Fragen der Netzanbindung von Offshore-Windparks, des Last- und Erzeugungsmanagements, windenergiespezifische Aspekte der Speicherung sowie die Verbesserung von Windprognosen.

Im Onshore-Bereich ist das Thema Akzeptanz besonders wichtig, gerade angesichts des ambitionierten Ausbaupfads und der Größe moderner WEA für Binnenstandorte.

Offshore wiederum stehen die weitere, signifikante Kostensenkung bei Installation, Logistik, Betrieb und Wartung sowie das Verständnis und die Minimierung ökologischer Auswirkungen im Fokus. Sowohl unter Kosten- als auch ökologischen Gesichtspunkten bieten hier neuartige, schallarme Gründungskonzepte wie Saugemeergründungen oder Schwerkraftfundamente Potenzial (siehe oben). Ein weiterer signifikanter Kostentreiber im Bereich Offshore sind die hohen Kosten für Betriebsführung und Wartung von Windparks, da diese auf hoher See nur mit hohem Aufwand und in beschränkten Zeitfenstern erreichbar sind. Professionelle Softwarewerkzeuge zur kosten- und risikooptimierten Planung der Betriebsführung, welche vorhandenes Erfahrungswissen zusammenführen, sollen hier Abhilfe schaffen.

2.1.3 Bioenergie

Ein Beitrag des BMEL zur Projektförderung erneuerbarer Energien besteht in 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 zu Anbau und Züchtung, zur stofflichen Nutzung und zur Öffentlichkeitsarbeit bzw. Verbraucherinformation.

Der Teil der Projektförderung, der der Energieforschung zuzurechnen ist, umfasst daher nur einen Teil der Fördermaßnahmen aus dem genannten Förderprogramm. Seit dem Jahr 2000 berücksichtigt das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ 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 BMEL im Bereich Bioenergie ist übergeordnet in zwei Bereiche gegliedert, „Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen mit dem Schwerpunkt Anbau und Züchtung“ sowie „energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen“. Seit der letzten Überarbeitung des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“ im Jahr 2008 wurden für die Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe insgesamt 163 Millionen Euro verausgabt. Im Jahre 2014 lag im Bereich des BMEL das Volumen der Neubewilligungen bei 17,8 Millionen Euro.

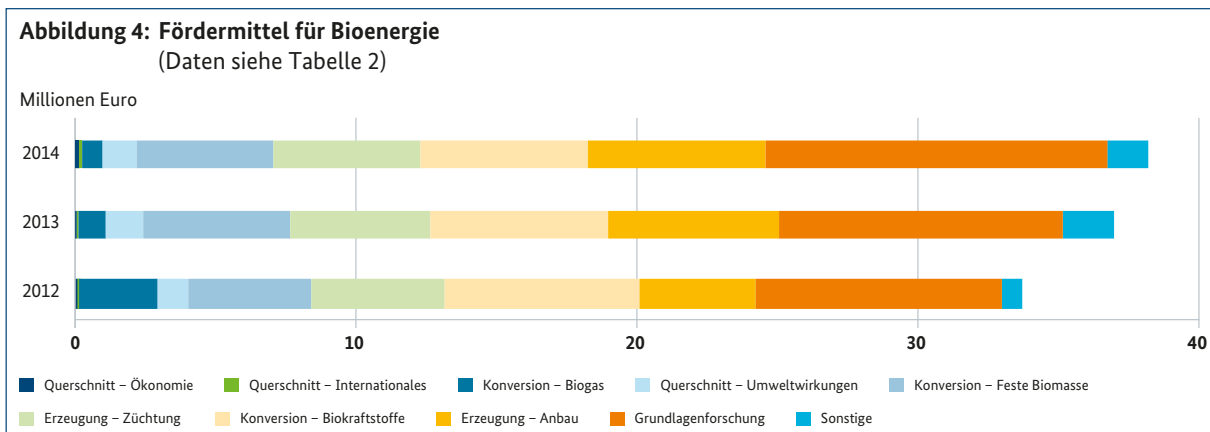
Die Förderung konzentrierte sich auf folgende Förderschwerpunkte:

- Biokraftstoffe aus Lignocellulose
- Biotechnologische Produktion flüssiger Kohlenwasserstoffe zur Nutzung als Biokraftstoff
- Mikrobiologische Prozesse in Biogasanlagen
- Aktuelle Züchtungsstrategien im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe/Energiepflanzen
- Energiepflanzenanbau
- Feste Bioenergieträger

Ergänzend werden aus dem Sondervermögen EKF Mittel für zusätzliche Fördermaßnahmen zur Verfügung gestellt. Mit Hilfe der zusätzlichen Mittel des EKF wurden im Jahre 2011 sechs Schwerpunkte ins Leben gerufen:

- Züchtung zur Anpassung von Energiepflanzen an den Klimawandel
- Integration von Bioenergie in zukünftige Energieversorgungssysteme
- Effizienzsteigerung für dezentrale Bioenergie-Nutzungskonzepte
- Entwicklung von Konversionsrouten zur Bereitstellung von Energieträgern aus nachwachsenden Rohstoffen mittels Algen
- Biokraftstoffe
- Untersuchungen zur Humus- und Nährstoffwirkung organischer Reststoffe aus Biomassekonversionsanlagen

Im Hinblick auf die Netzstabilisierung sowie die Bereitstellung von Kraftstoffen für Mobilität und von Ausgangsstoffen für die chemische Industrie wurde die Forschungsförderung im Bereich Bioenergie ab 2011 mit der BMBF-Förderinitiative „BioProFi – Bioenergie – Prozessorientiert Forschung und Innovation“ mit einem Gesamtvolumen von circa 35 Millionen Euro weitergeführt. Die Initiative legt ihre thematischen Schwerpunkte auf die optimierte Nutzung von Reststoffen und die verfahrenstechnische Weiterentwicklung von Biogasanlagen zur Optimierung der lastabhängigen Einspeisung ins Stromnetz. Hinsichtlich der begrenzten Verfügbarkeit von Biomasse werden zudem Verfahren untersucht, um die Biomasseerzeugung mit Algen industriell zu erschließen.



Elektro- und Wasserstoffantriebe stellen im Luftfahrtsektor mittelfristig keine Alternative zu konventionellen Antrieben dar. Für einen umweltfreundlichen Luftverkehr ist daher ein nachhaltiger Ersatz für konventionelles Kerosin strategisch unersetzlich. Eine aussichtsreiche Option bietet die Herstellung von Biokerosin auf Basis von Lipiden aus Mikroalgen, insbesondere da die Algenkultivierung nicht mit der Nahrungsmittelproduktion in Konkurrenz steht. Das BMBF hat daher im Jahr 2014 das Projekt OptimAL (Optimierte Algen für nachhaltige Luftfahrt) gestartet. Dieses zielt auf eine Optimierung der Produktivität und Lichtnutzung von Algen ab. OptimAL ergänzt das vom BMEL geförderte Projekt AUFWIND, das die Produktion von Algen und deren Umwandlung zu Biokerosin untersucht. Die Forschungsarbeiten finden vor allem im „Algen Science Center“ im Forschungszentrum Jülich statt, das im Jahr 2014 eröffnet wurde.

Im Jahr 2014 wurden durch das BMBF für die Förderung der Grundlagenforschung im Bereich der biobasierten Energieerzeugung rund 13,3 Millionen Euro aufgewendet, davon rund 12,2 Millionen Euro unter dem 6. Energieforschungsprogramm, und das Niveau des Vorjahres fortgesetzt (siehe Abb. 4).

2.1.4 Tiefe Geothermie

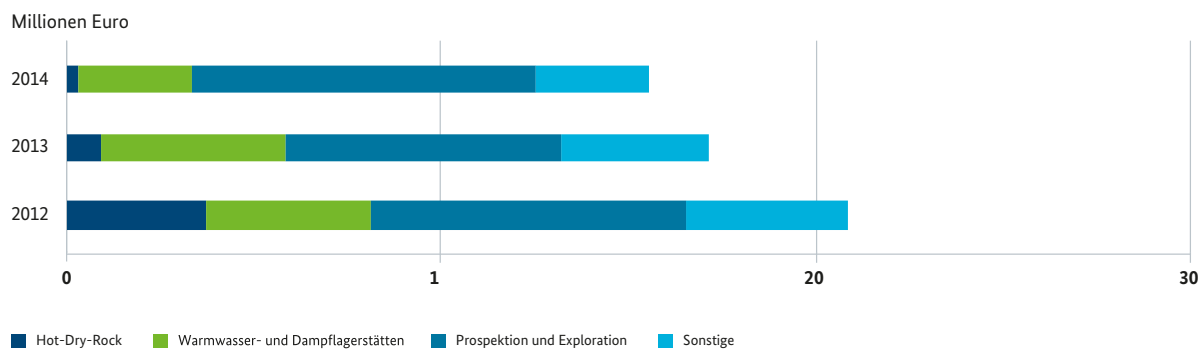
Das BMWi fördert Forschungsprojekte zur Tiefen Geothermie, bei der prinzipiell Wärme aus geothermischen Reservoiren ab 400 Meter Tiefe entweder direkt als Wärme oder zur Stromproduktion verwendet wird. In der Regel wird bei der Tiefen Geothermie jedoch weit mehr als 400 Meter, meist sogar mehr als 1000 Meter tief in den Untergrund gebohrt. Von dort werden Thermalwässer mit mehr als 60 Grad Celsius an die Erdoberfläche gefördert. Um diese Technologie flächendeckend weiter in Richtung der Wirtschaftlichkeit zu führen, ist es notwendig, die anfallenden Kosten weiter zu reduzieren.

Zu diesem Zweck fördert das BMWi auch weiterhin Forschungsprojekte zu allen Stufen der geothermischen Wertschöpfung. So müssen etwa schon bei der Projektierung eines Geothermiekraftwerkes umfangreiche Berechnungen angestellt werden, um die anfallenden Investitionskosten möglichst genau abschätzen zu können. Möglichst genaue Messwerte und zuverlässige Modelle bei der Prospektion und Exploration des Zielgebiets tragen wesentlich dazu bei, ein künftiges Geothermiekraftwerk optimal zu platzieren und zu dimensionieren, damit die größtmöglichen Erträge in Bezug auf die Investitionskosten erzielt werden können. Außerdem gilt es, die Technologien für Tiefbohrungen, Reservoirerschließung und Kraftwerksbau zu optimieren, um etwa den Verschleiß der Geräte oder die Dauer der Arbeiten zu verringern. Insbesondere die Tiefbohrungen verursachen momentan den Hauptteil der Investitionskosten.

Um einen effizienten und möglichst wartungsarmen und somit zuverlässigen Betrieb einer Geothermie-Anlage sicherzustellen, sind ebenfalls weitere Entwicklungsarbeiten notwendig, wobei hier Fragen der Materialforschung sowie des Anlagenmonitorings im Vordergrund stehen. Im Zuge der öffentlichen Diskussion im Umfeld der Nutzung geothermischer Wärme verfügen zahlreiche erfolgreiche Forschungsvorhaben mittlerweile auch über Konzepte für eine verbesserte Öffentlichkeitsarbeit. Nicht zuletzt werden darüber hinaus Projekte gefördert, die die Grundlagen dafür schaffen, dass Geothermie auch in bisher wenig betrachteten Regionen genutzt werden kann.

Bei dem Verbundprojekt LaserJetDrilling entwickeln die Projektpartner zum Beispiel eine Alternative zu dem bisher größtenteils eingesetzten sogenannten „Rotary“-Bohrverfahren. Statt des üblichen mechanischen Zerkleinerns mit einem rotierenden Bohrmeißel soll bei dem alternativen Verfahren eine Kombination aus Wasser- und Laserstrahlbohren eingesetzt werden. Damit sollen erstmals tiefe Bohrungen verschleißfrei und schnell durchgeführt werden können.

Abbildung 5: Fördermittel für Tiefe Geothermie
(Daten siehe Tabelle 2)



Weitere durch das BMWi geförderte Projekte widmen sich der Verbesserung von Förderpumpen als einem wesentlichen Element im Betrieb einer geothermischen Anlage. In diesen Projekten soll die Zuverlässigkeit und Standfestigkeit dieser Tiefpumpen verbessert werden. Dabei werden kritische Komponenten neu entwickelt sowie deren Zuverlässigkeit in langdauernden Labortests nachgewiesen. Im Projekt „Tauchkreislumpumpe“ etwa liegt ein Schwerpunkt der Arbeiten darauf, einen speziell für die Geothermie angepassten Hochtemperatur-Pumpensensor zu entwickeln.

Im Bereich der Geothermieforschung hat das BMWi insgesamt 15 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 12,7 Millionen Euro bewilligt. Gleichzeitig flossen rund 15,6 Millionen Euro in 106 bereits laufende Forschungsvorhaben (vgl. Abb. 5).

2.1.5 Kraftwerkstechnologien

Themen wie Wirkungsgrad, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit standen lange Zeit im Vordergrund der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien. Im Zuge der Energiewende und des immer größeren Anteils an Beiträgen aus erneuerbaren Energiequellen an der Stromversorgung steigen aufgrund des volatilen Charakters dieser Beiträge die Anforderungen an die Stromversorgung aus fossil befeuerten Kraftwerken. Um die Versorgungssicherheit sowie Spannungs- und Frequenzstabilität sicherzustellen, muss die Residuallast zwischen Erzeugung aus erneuerbaren Energien und dem Verbrauch durch fossil betriebene Kraftwerke zeitgenau ausgeglichen werden. Damit verschieben sich die F&E-Themen in der Kraftwerkstechnik und bei den CCS-Technologien zunehmend mehr in Richtung Flexibilisierung von Prozessen und entsprechend geeigneten Komponenten.

Im Jahr 2014 betrug der Mittelabfluss zur Projektförderung der Kraftwerkstechnik und der CCS-Technologien insgesamt etwa 29,6 Millionen Euro für 266 laufende Vorhaben, darin enthalten sind 3,8 Millionen Euro für 33 laufende

Vorhaben der Grundlagenforschung. Es wurden 55 Neubeilligungen mit rund 23,8 Millionen Euro Fördermittelan-satz realisiert (siehe Abb. 6).

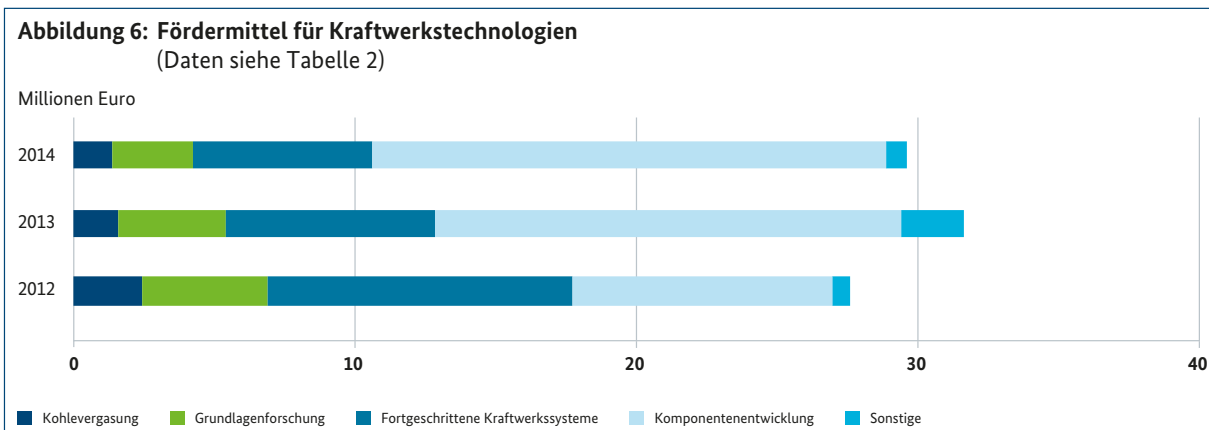
Im Jahr 2014 feierte die COORETEC-Initiative (CO₂-REDUKTIONS-TECHNOLOGIEN) des BMWi ihr zehnjähriges Bestehen. Initiiert und vorbereitet in den Jahren 2002 und 2003, wurden in ihrem Rahmen seit 2004 rund 540 Vorhaben mit einer Gesamtzuwendung von 271 Millionen Euro durchgeführt.

2014 konnte eine Reihe von großen Verbundforschungsvorhaben erfolgreich abgeschlossen werden. Beispielhaft sei hier der Verbund METPORE genannt. Die Vorhaben von METPORE I/II befassten sich mit metallgestützten Keramikmembranen für die Trennaufgaben Rauchgas/CO₂ und Luft/O₂. Es ist geplant, die Arbeiten in einem Anschlussprojekt mit dem neuen Fokus auf Polymermembranen weiterzuführen.

2014 konnte auch das Vorhaben Brenngas BGL der TU Bergakademie Freiberg gestartet werden. Dieses Vorhaben reiht sich in die Aktivitäten des BMWi in Richtung Polygeneration und Flexibilisierung von Kraftwerksprozessen ein.

Auf der internationalen Ebene wurde 2014 die Beteiligung Deutschlands im Themenfeld Kraftwerkstechnologien und CCS weitergeführt. Dies geschah durch die Beteiligung und Mitwirkung in der IEA Working Party on Fossil Fuels, im IEA-Implementing Agreement Clean Coal Centre (CCC), in den Gremien und Task Forces der Zero Emission Platform (ZEP) der Europäischen Kommission sowie bei Aktivitäten im Rahmen des SET-Planes und bilateraler Zusammenarbeit.

Besonders hervorzuheben ist die bilaterale norwegisch-deutsche Initiative, im Rahmen der SET-Plan-Aktivitäten ein „ERA-NET Cofund CSS“ Vorhaben bei der Europäischen Kommission zu beantragen. Unter maßgeblicher Beteiligung des BMWi haben sich hier neun EU Mitgliedsstaaten zusammengefunden, um gemeinsam einen entsprechen-



den Antrag bei der Kommission einzureichen. Deutschland hat zugesagt, sich an dieser Aktivität mit einem Zuwendungsvolumen von circa zwei Millionen Euro pro Jahr über drei bis fünf Jahre zu beteiligen.

Weitere Initiativen außerhalb des Energieforschungsprogramms

Das BMBF unterstützte im Rahmen des Sonderprogramms GEOTECHNOLOGIEN Forschungsarbeiten zur sicheren und dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid im geologischen Untergrund. Diese sollten grundlegende Fragestellungen für eine sichere Lagerung des Klimagases klären. Die Arbeiten der letzten Förderphase konzentrierten sich auf das Thema Langzeitsicherheit und die Entwicklung von Monitoringmethoden für die Betriebs- und Nachbetriebsphase eines CO₂-Speichers.

Im Jahr 2014 lief die letzte Phase des Sonderprogramms GEOTECHNOLOGIEN aus. Am 23. und 24. Juni 2014 fand das abschließende Statusseminar statt. Damit ist dieses Programm bis auf abschließende Arbeiten bei einigen wenigen Fördervorhaben finalisiert. Die Veröffentlichung des neuen Programms „Geoforschung für Nachhaltigkeit (GEO:N)“ ist für das Jahr 2015 geplant.

Für die Forschung zur geologischen CO₂-Speicherung stellte das BMBF im Jahr 2014 rund vier Millionen Euro im Rahmen des Energieforschungsprogramms an Fördermitteln zur Verfügung.

2.1.6 Brennstoffzellen und Wasserstoff

Die Ziele der Energiewende können nur erreicht werden, indem auch netzferne und mobile Energieanwendungen effizient und emissionsfrei arbeiten. Brennstoffzellen bieten hierzu optimale Voraussetzungen. In PKWs wandeln sie Wasserstoff mit hohen Wirkungsgraden in Energie für den Fahrantrieb um. In netzfernen Anlagen oder USV-Anlagen stellen sie Elektrizität geräuscharm und mit hoher Zuver-

lässigkeit zur Verfügung (USV – Unterbrechungsfreie Stromversorgung).

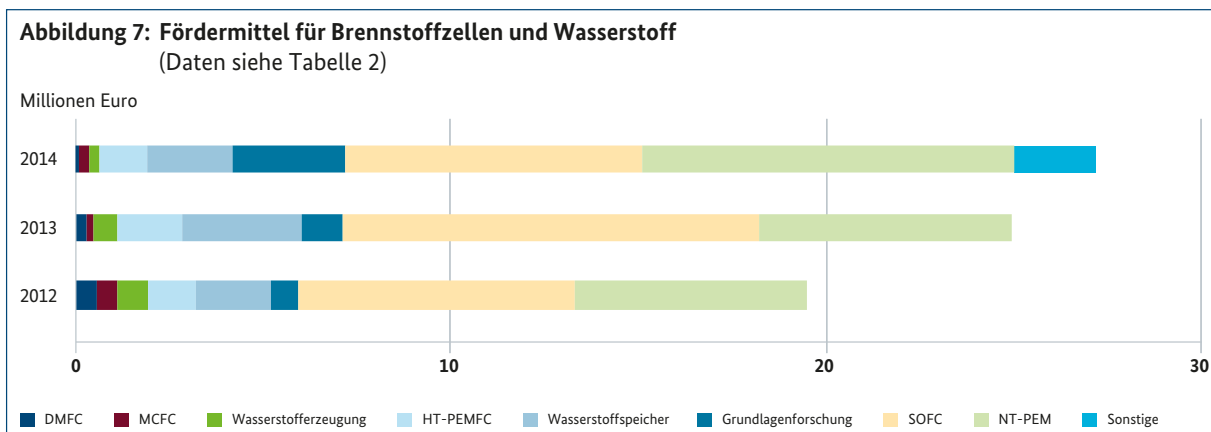
Eine besondere Rolle nimmt die Energieversorgung von Gebäuden mit Brennstoffzellen ein. Den Brennstoffzellen wird hier ein Reformier vorgeschaltet, damit sie mit Erdgas arbeiten können. Die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme erreicht so eine höhere Effizienz als bei der getrennten Erzeugung von Strom in Kraftwerken und Wärme in Heizkesseln.

Wird der Wasserstoff mit Hilfe von Elektrolyseuren aus Strom in Zeiten hoher Einspeisung durch erneuerbare Energien gewonnen, stellen Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien außerdem eine Brücke zwischen der Elektrizitätswirtschaft und dem Verkehrssektor dar.

BMWi und BMBF unterstützen die Entwicklung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien seit mehr als zehn Jahren. Im Jahr 2014 summiert sich die Förderung der Projekte auf rund 27,2 Millionen Euro bei 117 laufenden Vorhaben. 29 Projekte mit einer Gesamtförderung von insgesamt 23,7 Millionen Euro wurden neu angestoßen (vgl. Abb. 7).

Damit leisten die beiden Ressorts wesentliche Beiträge zum Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie NIP. Die Entwicklungen in der PEM-, MCFC- und SOFC-Technologie werden gleichberechtigt unterstützt. Diese strategische Ausrichtung wird auch an der folgenden Auswahl bedeutsamer Projekte sichtbar:

- Die Kostensenkung von PEM-Brennstoffzellen erfordert eine Optimierung sämtlicher Komponenten. Die kostenreduzierte Fertigung metallischer Bipolarplatten ist Ziel der Verbünde Low-Cost-BiP (Klebefügen zur Vermeidung des Laserschweißens) und PRECOAT (Korrosionsfeste Beschichtung der Bleche vor der Umformung). Im Projekt EXTRAMEA besteht die Herausforderung darin, den Platingehalt der Membran-Elektroden-Einheiten zu reduzieren und gleichzeitig hohe Werte für die Lebensdauer beizubehalten.



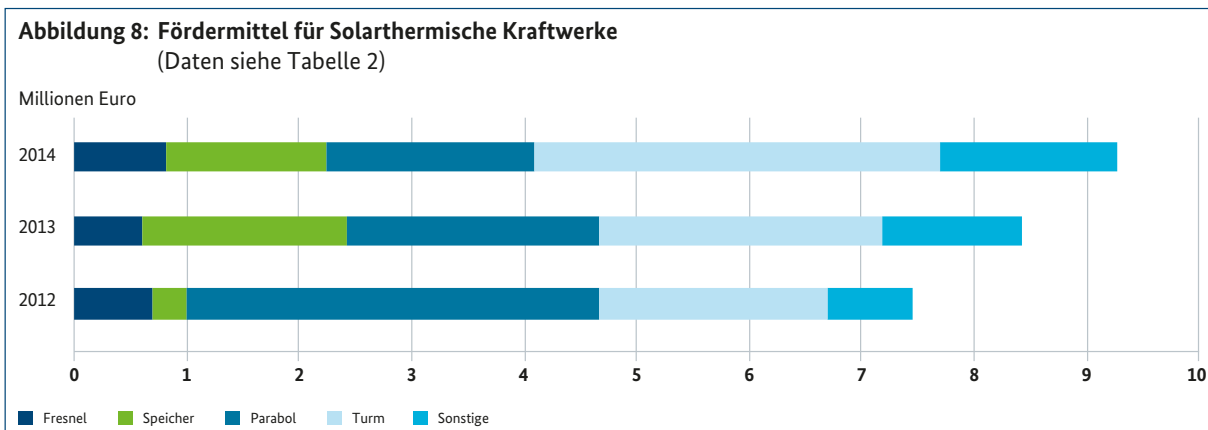
- Besondere Effizienzpotenziale bietet die Verwendung von Hochtemperaturbrennstoffzellen zur Kraft-Wärme-Kopplung. SOFC-Brennstoffzellenheizgeräte mit circa 1 Kilowatt elektrischer Leistung richten sich an Hausbesitzer, die auch Strom erzeugen möchten. Im deutsch-schweizer Verbund THERMELIN wird für diese Kundengruppe ein Gerät mit einem elektrischen Wirkungsgrad über 50 Prozent entwickelt.
- Im Verbund MCFC-NEXT werden Erkenntnisse und Methoden aus der SOFC-Entwicklung auf eine neue Generation kostenreduzierter Schmelzkarbonat (MCFC-) Brennstoffzellen übertragen. Damit werden Standorte mit einem elektrischen Leistungsbedarf von einigen hundert Kilowatt für Brennstoffzellenanbieter erschließbar. Im Projekt Large-Scale SOFC wird durch die wärme- und strömungstechnisch optimierte Verschaltung einzelner Module der Leistungsbereich einiger 10 Kilowatt erschlossen.
- Die Technologie von Hochtemperaturbrennstoffzellen kann auch zur Entwicklung von Elektrolyseuren verwendet werden. Hierzu arbeiten im Verbundprojekt FOSUS Hersteller und Anwender von SOFC-Brennstoffzellen und Elektrolyseuren eng zusammen.
- Das 2012 erfolgreich abgeschlossene Verbundvorhaben „Deutsch-Kanadische Brennstoffzellenkooperation“ wird seit 2013 als weiter ausgebauter „German-Canadian Co-operation on Kinetics and mass transport Optimization in PEM fuel cells“ (GECKO) fortgeführt. Es strebt die Optimierung von Komponenten in Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen für mobile Anwendungen an. Übergeordnetes Ziel ist die Minimierung verkehrsbedingter CO₂-Emissionen. Das deutsche Konsortium und die kanadischen Partner sind weltweit führende Einrichtungen auf dem Gebiet der Brennstoffzellentechnologie und verfolgen im Projekt komplementäre Ansätze. Im Jahr 2014 wurde das Vorhaben von deutscher Seite mit rund 1,4 Millionen Euro gefördert.

2.1.7 Solarthermische Kraftwerke

In Deutschland produzierte Komponenten solarthermischer Kraftwerke nehmen hinsichtlich Leistung und Qualität eine herausragende Stellung ein. Durch die Forschungsförderung des BMWi soll die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen weiter gesteigert werden, indem alle Kraftwerkskomponenten standardisiert und qualifiziert werden. Ebenso Forschungsgegenstand ist die Entwicklung angepasster Speichertechnologien. Ein wesentlicher Vorteil der solarthermischen Kraftwerke besteht nämlich darin, dass die mit dieser Technologie erzeugte Wärme in thermischen Speichern für eine bedarfsgerechte Stromproduktion bereitgehalten werden kann.

Die Parabolrinnentechnologie mit Thermoöl als Wärmeträgermedium kann als Stand der Technik bei den solarthermischen Kraftwerken betrachtet werden. Hierbei wird die Sonne durch parabolförmig gebogene Spiegel auf ein Rohr, den sogenannten Receiver, konzentriert, in dem das Wärmeträgermedium zirkuliert und somit erhitzt wird. Die Fresnel-Technologie funktioniert ähnlich, nutzt aber segmentierte, ebene Spiegelreihen. Zu Turmkraftwerken liegen noch deutlich weniger Erfahrungen vor. Hierbei wird das Sonnenlicht durch mehrere aufgeständerte, großflächige Spiegel auf einen Receiver am oberen Ende eines Turms konzentriert.

Die Einführung von Salzschnmelzen als Wärmeträgermedium steht bei allen drei unterschiedlichen Technologievarianten im Fokus der Forschungsförderung, weil sich damit höhere Systemwirkungsgrade und folglich niedrigere Stromkosten realisieren lassen. Für Parabolrinnen- und Fresnel-Systeme sollen neue Demonstrationsanlagen bzw. Testplattformen die Entwicklung vorantreiben. Für Turmkraftwerke sollen wegen der geringeren Erfahrungen zunächst Konzepte für den Einsatz von Salzschnmelzen erarbeitet werden.



Innerhalb des Verbundprojekts HPMS zum Beispiel sollen sämtliche Potenziale zur Kostensenkung ausgelotet werden, die sich bei solaren Turmkraftwerken mit geschmolzenen Salzen als Wärmeträgermedium anbieten. Insbesondere die Receiver-Technologie als auch der solare Hochtemperatur-Kreislauf sollen hierfür untersucht werden. Unter anderem wird geprüft, ob sich sogenannte Cavity-Receiver, bei denen die Sonnenstrahlen in einem windgeschützten Hohlraum auf die wärmeabsorbierende Materialoberfläche treffen, besser eignen als die bisher üblichen, windempfindlichen Receiver.

Das Projekt namens MHLS schafft die benötigten Grundlagen für weitere Forschungsaktivitäten. Hierbei wird ein modularer Hochleistungsstrahler am Standort Jülich des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) aufgebaut. Mit rund 80 elektrisch betriebenen Xenon-Kurzbogenlampen, deren Licht dem natürlichen Sonnenlicht sehr ähnlich ist, soll eine Strahlungsleistung bis zu 200 Kilowatt erreicht werden. Mit den hierdurch ermöglichten Tests kann die Entwicklung neuer Solartechniken beschleunigt werden.

Alle Fragestellungen können auch im Rahmen des europäischen Solar ERA-NET (European Research Area) bearbeitet werden.

Im Jahr 2014 hat das BMWi 22 neue Projekte mit einem Fördermittelansatz von 7,4 Millionen Euro im Bereich der Forschungsförderung zu solarthermischen Kraftwerken bewilligt. Derweil flossen rund 9,3 Millionen Euro in 77 laufende Projekte (vgl. Abb. 8).

2.1.8 Wasserkraft und Meeresenergie

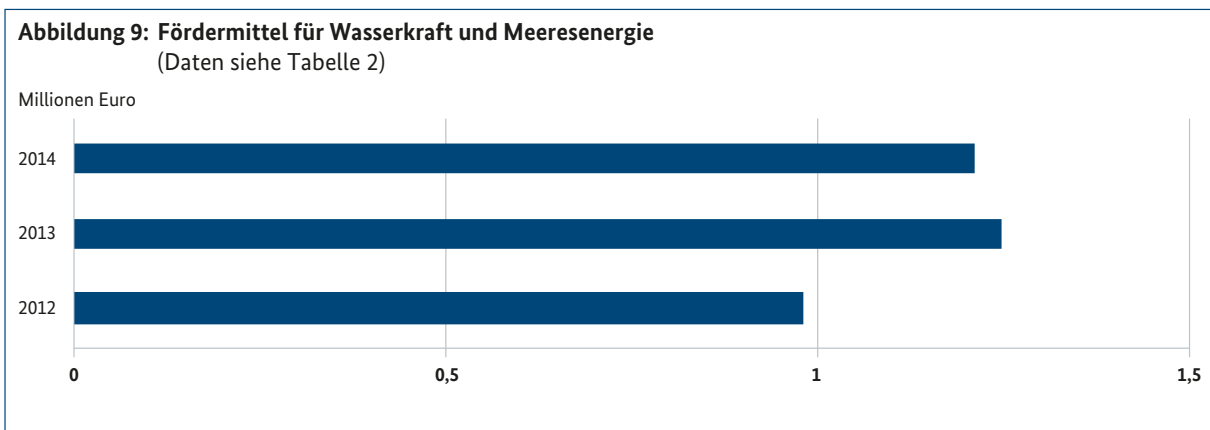
Die Technik im Bereich der Wasserkraft, bei der die Fließbewegung des Wassers genutzt wird, ist weitgehend ausgereift. Das BMWi fördert hierbei weiterhin Projekte, durch die die ökologische Verträglichkeit der Anlagen verbessert wird. Anlagen, durch die Meeresenergie nutzbar gemacht

werden kann, befinden sich dagegen weltweit noch im Demonstrationsstadium. Hierin liegt jedoch ein hohes Potenzial. Um dieses zukünftig stärker zu nutzen, wird sich das BMWi in diesem Bereich künftig weiterhin engagieren. Das Ziel besteht in entsprechenden Vorhaben mit Demonstrationscharakter.

Wellenenergie etwa, die im Wesentlichen dadurch entsteht, dass Wind auf die Wasseroberfläche einwirkt, kann vielerorts und mit vergleichsweise kleinen Anlagen gewonnen werden. Daher könnten solche Anlagen in der Zukunft womöglich auch in einen Offshore-Windpark integriert werden, wodurch das angeschlossene Stromnetz gleichmäßiger ausgelastet werden könnte. Die Wellenenergie kann zum Beispiel über Schwimmkörper aufgenommen werden. Diese bewegen sich zusammen mit den Wellen und treiben über Gelenke, Seile oder hydraulische Zwischenstufen einen Generator an.

In dem durch das BMWi geförderten Forschungsprojekt NEMOS entwickeln die Projektpartner ein Gesamtsystem einer Wellenenergieanlage, das den bisher von derartigen Anlagen erreichten Wirkungsgrad von etwa 35 Prozent auf über 65 Prozent steigern kann. Das Konzept basiert auf einer Seilkinematik aus hochfesten Kunststoffseilen. Dadurch wird die Anlage entsprechend der Wellenrichtung ausgerichtet, zudem werden ihre Bewegungen an die aktuelle Wellenhöhe und -länge angepasst.

Im Bereich der Wasserkraft und Meeresenergie hat das BMWi im Jahr 2014 insgesamt sechs Projekte mit einem Fördervolumen von rund zwei Millionen Euro neu bewilligt. Gleichzeitig flossen rund 1,2 Millionen Euro in insgesamt 15 bereits laufende Forschungsvorhaben (vgl. Abb. 9).



2.2 Energieverteilung und Energienutzung

2.2.1 Speicher

Eine konsequente Ausrichtung der Energieversorgung auf die Energiewende erfordert Energiespeicher. Sie bieten mehrere Vorteile: So ist die Abregelung von Solar- oder Windkraftanlagen in Zeiten eines sehr hohen Sonnen- und Windangebots bei gleichzeitig niedrigem Strombedarf nicht mehr nötig. Außerdem entlasten sie die Stromnetze auf Transportnetz- und Verteilnetzebene zu Zeiten höchster Einspeisung. Netzdienstleistungen, wie zum Beispiel die Frequenzhaltung, die viele Speichertechnologien erbringen können, können die Energieversorgung stabilisieren. So kann der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung über das Jahr betrachtet steigen.

Speicher für thermische Energie können dazu beitragen, den Primärenergieverbrauch und die damit verbundenen CO₂-Emissionen aus der Wärmeerzeugung in Gebäuden und Städten zu senken. Beispielsweise wird Abwärme aus Industriebetrieben, die ansonsten ungenutzt bleibt, durch thermische Speicher örtlich und zeitlich versetzt für die Wärmeversorgung nutzbar.

Die kommerzielle Nutzung vieler neuer Speichertechnologien hat bereits begonnen. Ende 2014 haben 15.000 Haushalte ihren Bedarf auch in den Abendstunden mit Strom aus ihren Solaranlagen gedeckt. Hierzu bieten verschiedene Hersteller PV-Heimspeicher an. Außerdem werden mittlerweile 24.000 Elektrofahrzeuge in Deutschland mit Batterien angetrieben und fahren im Idealfall CO₂-frei. In Schwerin ging das weltweit erste kommerzielle Batteriekraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 5 Megawatt in Betrieb. Dies entlastet das lokale Netz erheblich.

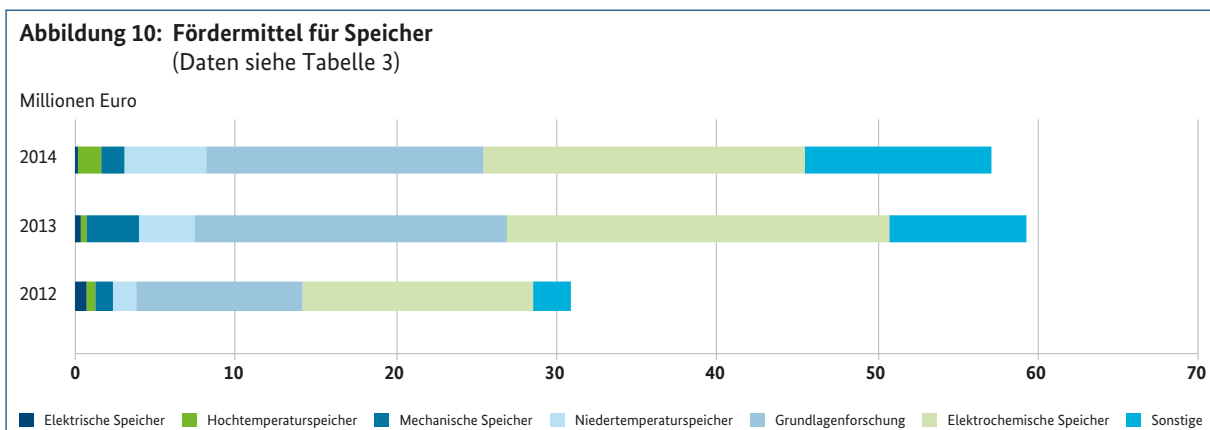
Vor einer weiteren Verbreitung von Speichertechnologien bei Netzbetreibern, Privathaushalten, Industriebetrieben oder anderen Anwendern sind umfangreiche Forschung und Entwicklung notwendig. Hauptziel sind Kostensenkungen durch neue technologische Ansätze, neue Werkstoffe,

neue Konstruktions-, Auslegungs- und Betriebskonzepte. Einige Fälle erfordern innovative Gesamtkonzepte. Zum Beispiel lassen sich in der Stadtplanung neue Gebäude in Siedlungen bündeln, die auf einen gemeinsamen Wärme- oder Stromspeicher zugreifen. Da viele Technologien für einzelne Wohngebäude zu groß sind, werden sie erst durch den Einsatz in Siedlungen, in Industriebetrieben oder Gewerbegebieten attraktiv.

Mit der Förderinitiative Energiespeicher wird das Ziel der Kostensenkung in der Speicherentwicklung konsequent verfolgt. Die Mittel hierfür stammen überwiegend aus dem Energie- und Klimafonds. Insgesamt werden in den beteiligten Ressorts (BMW i und BMBF) 283 Projekte mit einer Gesamtförderung von 190 Millionen Euro gefördert. Im Jahr 2014 wurden Fördermittel in Höhe von rund 57 Millionen Euro ausgezahlt (vgl. Abb. 10). 67 Projekte wurden neu angestoßen.

Um die Vorhaben thematisch zu bündeln, entstanden die beiden Leuchttürme „Wind-Wasserstoff-Kopplung“ und „Batterien in Verteilnetzen“. Im Leuchtturm „Wind-Wasserstoff-Kopplung“ wurde im Mai 2014 der Grundstein für eine 6-Megawatt-Anlage zur Elektrolyse von Wasserstoff in Mainz gelegt. Das Projekt umfasst neben der Entwicklung und Erprobung eines PEM-Elektrolyseurs und des bisher größten nachgeschalteten ionischen Verdichters die Erprobung unterschiedlicher Nutzungspfade für Wasserstoff als Kraftstoff für die chemische Industrie oder zur Einspeisung in eine Ferngasleitung.

Batterien lassen sich an einem Standort im Megawatt-Maßstab bündeln und können als Kraftwerk dienen. Diesen Ansatz wählt das Projekt M5BAT in Aachen. Durch die Kombination einer Hochtemperaturbatterie, zweier Bleibatterietechnologien und zweier Lithium-Ionen-Batterien erreicht der Betreiber eine Leistung von 5 Megawatt und kann so am Markt für Sekundärregelenergie teilnehmen. Oder man wählt einen verteilten Ansatz, wie im Projekt „Smart Region Pellworm“. Hier werden eine Lithium-Ionen-Batterie (Leistung 560 Kilowatt, Kapazität 560 Kilowatt-



stunden), eine Redox-Flow-Batterie (Leistung 200 Kilowatt, Kapazität 1.600 Kilowattstunden) sowie eine Vielzahl steuerbarer verteilter Stromverbraucher und -erzeuger (z.B. Nachtspeicher, Wärmepumpen) smart kombiniert.

Das BMBF unterstützt in diesem Rahmen die langfristige Forschung für Speicher von morgen. 2014 konnten hier weitere elf Projekte mit einem Mittelansatz von insgesamt 4,1 Millionen Euro bewilligt werden, sodass sich die Förderung des BMBF im Rahmen dieser Initiative auf mittlerweile 87 Vorhaben erstreckt. Aktuell werden erste technisch relevante Ergebnisse der Forschung erkennbar, zum Beispiel hinsichtlich der Realisierung einer alkalischen PEM-Elektrolyse oder in der Erforschung neuer Konzepte für Redox-Flow-Zellen. Auch Grundlagen für gänzlich neue Speichervarianten, wie etwa die Nutzung hochreaktiver Materialien als reversible Brennstoffe ohne CO₂-Emissionen, konnten erfolgreich erarbeitet werden.

Weitere Informationen zu den Projekten der Förderinitiative Energiespeicher bietet das Internetportal www.forschung-energiespeicher.info.

Eine Möglichkeit, Strom aus erneuerbaren Energien langfristig zu speichern, ist die Umwandlung in Methan. Hier ist der Speicherort bereits vorhanden, denn als Hauptbestandteil von Erdgas lässt sich Methan unbegrenzt in das Erdgasnetz einspeisen. Dieses vielversprechende Verfahren heißt Power-to-Gas. Um es für den industriellen Einsatz weiterzuentwickeln und die Verwendung des eingespeicherten Methans im Mobilitätssektor zu untersuchen, wird das Projekt WOMBAT gefördert. Dabei soll erstmals eine Power-to-Gas-Anlage mit einer Leistung von 6,3 Megawatt entstehen, die unter realen Bedingungen betrieben und optimiert werden soll.

Mobile Speicher, also Batterien für Elektrofahrzeuge, werden im Rahmen des Förderschwerpunkts „Energiewirtschaftliche Schlüsselemente der Elektromobilität“ des BMWi gefördert. Eine besondere Rolle spielt die Frage, welche Energie- und Leistungsdichten möglich sind und ob

eine Serienfertigung in Deutschland darstellbar ist. Ein Erfolg sind die Projekte Li-Fem und Li-NaS, nach denen Batteriezellen im Format PHEV2 (plug-in hybrid electric vehicle 2) von mehr als 170 Wh/kg technisch und wirtschaftlich realisierbar sind.

Insgesamt wurden für die Vorhaben im Bereich Elektromobilität 10,40 Millionen Euro verausgabt. Unter den elf Neubewilligungen mit einem Fördervolumen von 14,87 Millionen Euro ist das Projekt ELAAN besonders anschaulich: In einem Sonderfahrzeug für Schneeräumen und Kehren in Fußgängerzonen trägt eine optimierte Kombination aus Brennstoffzellen und Batterien dazu bei, dass jede einzelne Energiequelle vergleichsweise klein ausgelegt und der Gesamtaufwand reduziert werden kann.

Maßnahmen außerhalb des Energieforschungsprogramms

Die „Innovationsallianz LIB 2015“ wurde in den Jahren 2009 bis 2014 vom BMBF mit über 54 Millionen Euro gefördert. Weitere sechs Millionen Euro trug das BMWi für zwei Verbundvorhaben bei. Insgesamt wurde die Innovationsallianz durch die Bundesregierung mit 60 Millionen Euro gefördert. Die letzten Vorhaben endeten in 2014, sodass lediglich rund 0,6 Millionen Euro auf das Jahr 2014 entfielen. Nach der nun beendeten Laufzeit der Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Hinblick auf effiziente Lithium-Ionen-Batterien kann eine positive Bilanz gezogen werden. Es wurden neue Materialien für eine höhere Energie- und Leistungsdichte sowie eine verbesserte Sicherheit erarbeitet, die sich bei den beteiligten Unternehmen mittlerweile in der Umsetzung im Hinblick auf eine industrielle Fertigung befinden. An den beteiligten Forschungseinrichtungen konnte großes Know-how hinsichtlich Materialsynthese, Methodik und Materialverbesserung und Materialverarbeitung aufgebaut werden.

Aufgrund der ermutigenden Resultate hat das BMBF im Anschluss an die Innovationsallianz „LIB 2015“ im Sinne der Weiterentwicklung dieses Förderschwerpunktes

Anschlussinitiativen zur Batterieforschung gestartet und konsequent mit weiteren Fördermaßnahmen untermauert. Mit diesen Maßnahmen konnte die wissenschaftliche Basis in Deutschland zum Thema Batterie weiter aufgebaut und gestärkt werden. Im Bereich der Lithium-Ionen-Technologie ist die Forschung nun wieder international wettbewerbsfähig, der Technologietransfer zwischen Forschungseinrichtungen und der Industrie wurde und wird weiterhin intensiviert. Zukünftige Batterietechnologien (sogenannte Post-Lithium-Systeme) werden ebenfalls mit Mitteln des BMBF konsequent erforscht und auf dem Weg in eine industrielle Anwendung unterstützt. 2014 stellte das BMBF für diese Aktivitäten etwa 25,6 Millionen Euro zur Verfügung.

2.2.2 Netze

Die Stromnetze sind bisher für eine zentrale Versorgung der Verbraucher durch konventionelle Kraftwerke wie Kohle-, Gas- und Kernkraftwerke ausgelegt. Aufgrund des dezentralen Zubaus und der Einspeisung von Strom aus zeitlich fluktuierenden, erneuerbaren Energien wird vor allem das Stromnetz vor neue Herausforderungen gestellt, die es in seiner bisherigen Struktur und Ausprägung an seine technischen Grenzen führen. Das Netz muss daher weiter ausgebaut und ertüchtigt werden. Dieser Netzausbau bedarf vor allem neuer Innovationen. Es bedarf neuer Übertragungstechnologien, wie der Hochspannungsgleichstromübertragung. Darüber hinaus sind Informations- und Kommunikationstechnologien notwendig, die zu jeder Zeit im Netz die Balance zwischen Erzeugung und Verbrauch halten. Optimierte Übertragungs- und Verteiltechniken, intelligente Stromnetze, neue Konzepte zur Netzplanung und Betriebsführung sowie ein innovatives Lastmanagement sind erforderlich.

Viele dieser Technologien sind heute noch nicht verfügbar. Hier setzt die bereits 2013 gestartete ressortübergreifende Förderinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ an. Im Fokus der Forschungsförderung stehen die Themen intelligente Verteilnetze, Übertragungsnetze sowie Netzregelungsverfahren und Systemdienstleistungen. Mit der Initiative sollen die notwendigen technologischen Voraussetzungen und Innovationen für eine langfristig gesicherte, bezahlbare und umweltverträgliche Stromversorgung geschaffen werden. Ziel ist es, den Ausbau von Stromnetzinfrastrukturen und deren Ausrichtung auf die Einspeisung hoher Anteile erneuerbarer Energien in die Übertragungs- und Verteilnetze zu ermöglichen. Dies erfordert moderne Technologien und Konzepte.

Die Ressorts werden bis zu 150 Millionen Euro Fördermittel für die Initiative bereitstellen und damit laufende Förderaktivitäten in dem Bereich verstärken. Seit 2014 werden hier bereits 193 Vorhaben mit 86 Millionen Euro gefördert (vgl. Abb. 11). Davon fördert das BMWi 148 Vorhaben mit

67,1 Millionen Euro und das BMBF 45 Vorhaben mit 19,4 Millionen Euro. Thematisch gliedern sich die Projekte in die Bereiche: Netzbetriebsführung, Netzplanung sowie Komponenten und Betriebsmittel.

So verfolgt zum Beispiel der im Rahmen der Förderbekanntmachung gestartete Verbund „Das proaktive Verteilnetz“ das Ziel, über eine offene, diskriminierungsfreie, standardisierte und übertragbare Verteilnetz-Koordination verschiedene Akteure des Energiemarktes zusammenzubringen. Auf diese Weise soll die im Verteilnetz vorhandene Flexibilität bei hoher Betriebssicherheit und geringen Ausbaukosten optimal genutzt werden. Dafür wird ein Ampelphasenmodell für den Netzbetrieb so ausgestaltet, dass proaktiv ein Last-, Erzeugungs- und Informationsmanagement vorgenommen werden kann, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Herausforderungen auf Seiten des Verteilnetzes sind Themen des Forschungsprojekts „Smart Area Aachen“. Der Fokus liegt auf der Integration dezentral erzeugter regenerativer Energien in die kommunale Versorgungsstruktur bei gleichbleibend hoher Versorgungssicherheit. Hierfür entwickeln die Wissenschaftler neue Komponenten sowie Betriebs-, Instandhaltungs- und Netzplanungskonzepte für ein intelligentes Stromnetz und testen diese anschließend im 3.000 Kilometer langen Stromnetz der STAWAG in Aachen.

Im Bereich Netztechnologien haben einige in den Vorjahren geförderte Technologien die Marktreife erlangt. Ein Beispiel ist hier der regelbare Ortsnetztransformator, der innerhalb des Projekts „Aktives, intelligentes Niederspannungsnetz“ entwickelt wurde. Er ermöglicht es, die Spannung innerhalb eines Ortsnetzes unter anderem bei hoher Einspeisung aus PV-Anlagen stabil zu halten. Dies reduziert die Netzausbaukosten bei steigender dezentraler Einspeisung von Strom aus Erneuerbarer-Energien-Anlagen.

Des Weiteren wurden Fortschritte in der Kommunikation und der intelligenten Steuerung zwischen Erzeuger und Netzbetreiber erzielt. Hiermit können einzelne regenerative Erzeugungsanlagen zu einem Verbund zusammengeführt werden, die ein sogenanntes virtuelles Kraftwerk bilden, wie es etwa innerhalb des Projekts „RegenerativKraftwerk 2050“ untersucht wurde. Die Erzeugung und Bereitstellung von Strom aus erneuerbaren Energien ist in einem solchen regenerativen Kombikraftwerk weniger abhängig vom Wetter. Die für den Betrieb eines solchen Kraftwerks notwendige Technologie muss jedoch in vielen Teilen weiter verbessert werden, beispielsweise in der Kommunikationsgeschwindigkeit und -sicherheit.

Auch die Planungsinstrumente für Netzbetriebsführung und Netzaus- bzw. -umbau wurden weiter entwickelt. Diese Lösungen müssen jedoch in der Praxis noch weiter unter-

sucht werden, denn es eröffnen sich neue Optimierungsmöglichkeiten – je nach Betrachtungsweise zum Beispiel für eine maximale Einspeisung erneuerbarer Energien, für maximale ökonomische Einsparungen oder für eine maximale Flexibilität der Ausbauszenarien.

Ähnlich entwickelt der Verbund „Green Access“ Lösungskonzepte für eine intelligente Verteilnetzautomatisierung im Sinne eines „Plug & Automate“-Prinzips für einen vorausschauenden und sicheren Netzbetrieb. Dafür werden adaptive Überwachungs- und Regelungsalgorithmen, intelligente Leitsysteme sowie netzdienliche IKT-Infrastrukturen im Verteilnetz untersucht und weiterentwickelt, um Last- und Einspeiseveränderungen sowie variierende Netztopologien zu ermöglichen.

Im Projekt „Verteilnetz 2020“ forscht ein breit zusammengesetztes Konsortium aus Industrie und Wissenschaft unter Koordination der Technischen Universität München (TUM) und der Technischen Hochschule (TH) Nürnberg an der Verbesserung der Aufnahmefähigkeit und Sicherung der Netzqualität von Verteilnetzen. Hierfür wollen die Projektpartner verschiedenste, bislang nicht verfügbare Betriebsmittel entwickeln und in die Verteilnetze integrieren.

Im Projekt „Zukunftsfähige Netze für die Integration Regenerativer Energiesysteme“, kurz IREN2, untersucht ein Verbund aus Wissenschaft und Industrie Konzepte, mit denen die Integration von erneuerbaren Energien auf der Verteilnetzebene verbessert werden kann. Zum einen wollen die Projektpartner inselnetzfähige Microgrids zur Abkopplung bestimmter Netzregionen vorschlagen, die bei einem Fehlerfall in einer überlagerten Netzebene das Versorgungsgebiet weiterversorgen können. Zum anderen empfehlen sie das Konzept topologischer Kraftwerke. Topologische Kraftwerke sind Netzabschnitte, deren Erzeuger und Verbraucher gemeinsam wie ein konventionelles Kraftwerk gesteuert werden können. Als topologisches Kraftwerk kann ein solcher Netzabschnitt zur Systemstabilität beitragen und somit Aufgaben konventioneller Kraftwerke übernehmen.

Um einen Überblick über alle geförderten Vorhaben zu vermitteln, wurde parallel zu den ersten Bewilligungen die Webseite www.forschung-stromnetze.info aufgebaut und mit projektspezifischen Inhalten gefüllt. Für den Spätherbst 2015 ist ein erstes Statusseminar vorgesehen, das eine verbundübergreifende Vernetzung der beteiligten Institute und Unternehmen ermöglichen und so zusätzliche Synergien freisetzen soll.

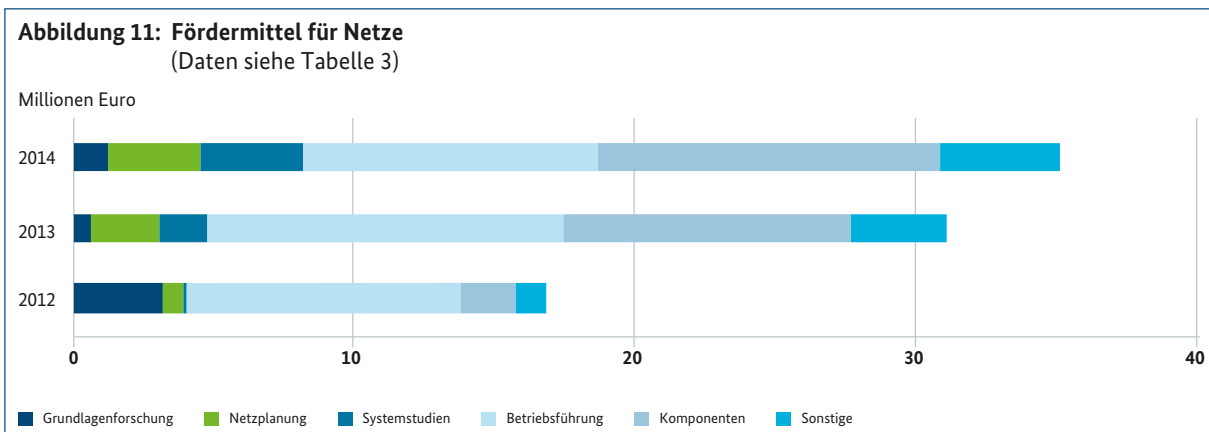
Das Investitionsvorhaben „Multi-Megawatt Labor“ des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) hat den Aufbau einer Laborausstattung für Forschungsvorhaben zur Entwicklung neuer leistungselektronischer Komponenten (zum Beispiel Wechselrichter) mit einer Leis-

tungsaufnahme von bis zu 10 Megawatt zum Ziel. Im Fokus stehen hierbei vor allem leistungselektronische Komponenten für den dynamischen Netzbetrieb und für die Einbindung von erneuerbaren Energien in das Stromnetz. Hierfür werden am Fraunhofer ISE drei Forschungslabore installiert: ein Hochspannungs-, ein Mittelspannungs- und ein Niederspannungslabor. Ergänzende Installationen zur breitbandigen Wandlung, Kontrolle und Messung hoher Ströme, Spannungen und Leistungen sowie zur Simulation entsprechender Erneuerbare-Energien-Kraftwerke ermöglichen künftig die Bearbeitung einer Reihe wichtiger Forschungsfragen zum Zusammenspiel zwischen Netzen und regenerativen Kraftwerken, zu Technologien für neue Generationen von Zentralwechselrichtern und zur Weiterentwicklung von Normen und Einspeiserichtlinien. Damit entsteht eine weltweit einzigartige Laborumgebung, die auch wichtige Teststände für Zertifizierungen zur Verfügung stellen kann. Ein erstes Teilvorhaben konnte 2014 mit der Installation und Abnahme eines 20kV-Laboranschlusses erfolgreich beendet werden. Die Arbeiten zur Fertigstellung des Gesamtvorhabens werden noch bis etwa Mitte 2016 andauern.

Der Mitteleinsatz der Bundesregierung zur Projektförderung von Forschung für Netztechnologien betrug im Jahr 2014 insgesamt rund 34,9 Millionen Euro. 202 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 100,3 Millionen Euro wurden neu bewilligt.

Maßnahmen außerhalb des Energieforschungsprogramms

Der Forschungscampus „FEN – Elektrische Netze der Zukunft“, der 2012 als eines von zehn Campusmodellen für eine Förderung durch das BMBF ausgewählt wurde, startete 2014 in die erste Hauptphase. In dem Forschungscampus arbeiten Wissenschaftler, Netzbetreiber, Anlagenhersteller und Hersteller von Leistungselektronik zusammen. Gemeinsam erforschen sie Gleichspannungsnetze in der Mittelspannungsebene. Gleichspannungsnetze versprechen im Vergleich zu herkömmlichen Drehstromnetzen eine Reihe technischer Vorteile hinsichtlich Effizienz und Flexibilität. So lassen sich beispielsweise bestehende Stromleitungen um den Faktor zwei bis drei höher ausnutzen und regenerative Energieerzeugungsanlagen einfacher in das Versorgungsnetz integrieren. Das FEN-Konsortium behandelt schwerpunktmäßig Fragen zu Modellierung und Konzeption, Anlagen und Netztechnik, Betriebsführung und Automatisierung sowie Risikoabschätzung und -bewertung. Eine herausragende Maßnahme ist der Aufbau und Betrieb eines Mittelspannungs-Gleichspannungs-Forschungsnetzes auf dem Campusgelände. Insgesamt wurden dem Forschungscampus FEN für die fünfjährige Laufzeit der ersten Hauptphase zehn Millionen Euro Fördermittel zur Verfügung gestellt. Insgesamt ist eine Förderung bis zum Jahr 2029 mit einer Gesamtfördersumme von 30 Millionen Euro möglich.



2.2.3 Energieeffizienz in Gebäuden, Quartieren und Städten und Niedertemperatur-Solarthermie

Drei Viertel der weltweiten Treibhausgasemissionen entfallen auf urbane Räume. In Gebäuden und Quartieren liegen daher mit Blick auf die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung die größten Potenziale für viele der notwendigen Verbesserungen der Energieeffizienz. Die Rahmenbedingungen dafür schaffen die kommunalen Verwaltungen, z. B. durch Bebauungspläne und Vorgaben für Versorgungsstrukturen. Kommunale und regionale Versorgungsgesellschaften haben zudem maßgeblichen Einfluss auf die Energieeffizienz städtischer Infrastruktur. Öffentliche und private Betreiber von Liegenschaften, wie Wohnungsbaugesellschaften, setzen die Planungen praktisch um und sind auf Innovationen aus Industrie und den Dienstleistungssektor angewiesen. Der Komplexität dieser Aufgabe trug das BMWi mit der Gründung des Forschungsnetzwerks Energie in Gebäuden und Quartieren Rechnung.

Mit den Förderschwerpunkten EnEff:Stadt und EnEff:Wärme setzt das BMWi die langjährige Forschungsförderung zu Energieeffizienz und zur Integration erneuerbarer Energien im kommunalen Bereich fort. Im Fokus stehen die Entwicklung und Erprobung integraler Planungshilfsmittel sowie innovative, auf Quartiersebene ausgerichtete Umsetzungsprojekte. Der Trend geht zu einer immer stärkeren Vernetzung von Gebäuden und den sie versorgenden Infrastrukturen. Neuartige Techniken zur Wärme- und Kälteerzeugung sowie -verteilung liefern dabei einen wichtigen Beitrag zur langfristigen Transformation städtischer Versorgungsstrukturen. Die wissenschaftliche Querauswertung der Vorhaben, der Informationsaustausch zwischen den Projekten sowie der Wissenstransfer in die kommunale Praxis erfolgen durch eine interdisziplinäre Begleitforschung. Auf internationaler Ebene werden die D-A-CH-Kooperation sowie die aktive Beteiligung am IEA-Programm District Heating and Cooling including Combined Heat and Power (DHC) fortgesetzt.

Im Jahr 2014 liefen 432 Vorhaben mit einem Zuwendungsvolumen von rund 60,5 Millionen Euro (siehe Abb. 12). Es wurden 98 Vorhaben mit einer Gesamtzuwendung von rund 47,2 Millionen Euro neu bewilligt.

Die Energieforschung zu Energieeffizienz in Gebäuden stand 2014 im Zeichen einer weiteren Intensivierung fachübergreifender Projekte. Dies zeigte sich in einer engeren Verknüpfung zu EnEff:Stadt, EnEff:Wärme und den Förderinitiativen Energiespeicher und Stromnetze. Dabei verringerte sich der Anteil der Demonstrationsvorhaben weiter, zugunsten von Forschung und Entwicklung. Auf internationaler Ebene setzte das BMWi die aktive Beteiligung an den IEA-Programmen Energy in Buildings and Communities (EBC) und Solar Heating & Cooling (SHC) fort.

Im Jahr 2014 reichte das Themenspektrum der durch das BMWi in diesem Bereich geförderten Vorhaben von Materialentwicklungen bei Gläsern und Beschichtungen transparenter Bauteile über die Entwicklung von Planungshilfsmitteln und zahlreiche Einzelprojekte bis zur energetischen Betriebsoptimierung (EnBop). Hervorzuheben ist die weitere Bündelung der Aktivitäten auf dem Gebiet der Planungshilfsmittel unter dem Schwerpunkt EnTool.

Moderne Heizungstechnik und erneuerbare Wärme sind ein wichtiger Schlüssel für die Energiewende im Gebäudebereich. Die anstehende Modernisierung der Heizungstechnik im Gebäudebestand bietet eine große Chance für die Integration von solarer Wärme. Klassische Anwendungsfelder der Solarthermie sind die Warmwasserbereitung und solare Heizungsunterstützung in Ein- und Mehrfamilienhäusern. Durch Forschung und Entwicklung sowie Lernkurveneffekte konnte hier ein hoher Reifegrad der Technologie erreicht werden.

Der Themenbereich Niedertemperatur-Solarthermie gliedert sich in die Gesamtstrategie des BMWi zur Forschung und Entwicklung zur Energieeffizienz in Gebäuden, Quartieren und Städten ein. Nach wie vor wichtig ist eine deutliche

Reduktion der Wärmekosten. Dazu müssen einzelne Komponenten des Solarsystems weiterentwickelt werden. Ausschlaggebend für Kostensenkungen auf Systemebene sind insbesondere eine durchschlagende Standardisierung, eine vereinfachte Installation sowie die Funktions- und Ertragsicherheit. So entwickeln Forscher und Komponentenhersteller im Projekt SpeedColl beschleunigte Alterungstests für Solarkollektoren und deren Komponenten. Hierfür ermitteln sie reale Belastungsdaten für Feuchte, UV-Strahlung, Temperatur- und Salzkonzentration. Auf deren Basis entstehen validierte Alterungstestverfahren, die Aussagen über die thermische Leistungsfähigkeit während der Lebensdauer der Kollektoren ermöglichen. Die Ergebnisse dienen außerdem als Grundlage für die Normungsarbeit.

Zudem wurden verstärkt Forschungsansätze zur Systemintegration gefördert. So führten Wissenschaftler im Vorhaben future:solar eine umfassende Systemanalyse zum technischen und wirtschaftlichen Potenzial der Solarthermie und der Photovoltaik für eine 50 und 100 Prozent solare Energieversorgung von Gebäuden und Stadtquartieren durch. Dabei betrachteten sie sowohl den Neubau als auch die Sanierung bzw. Modernisierung des Gebäudebestands. Neben der Solarthermie berücksichtigten sie weitere erneuerbare Energien und zukunftsfähige Technologien zur Wärme-, Strom- und Kälteerzeugung.

Im Fokus der Förderung standen zudem Konzepte für solare Plusenergiehäuser im Neubau und in der Bestandsmodernisierung bis hin zu Quartierslösungen und Plusenergiesiedlungen. Im Projekt EnWiSol wird die dezentrale Einbindung solarthermischer Anlagen in ein Wärmeversorgungskonzept, das auf einem Blockheizkraftwerk basiert, untersucht und realisiert. Der Betrieb der Wärmeversorgung wird auf die bestmögliche Interaktion mit dem Stromnetz, der Betrieb des Nahwärmenetzes hinsichtlich der Minimierung der Verteilverluste optimiert. Daraus wollen die Forscher allgemeingültige Regeln für die langfristige Perspektive von Solarthermie in urbanen Wohnquartieren ableiten.

Weitere wichtige künftige Wachstumsmärkte sind solare Nahwärme und solare Prozesswärme.

Einbindung in übergreifende Maßnahmen außerhalb des Energieforschungsprogramms

Der Wettbewerb „Energieeffiziente Stadt“ des BMBF hat das Ziel, Energieeffizienz in Städten und Kommunen zu steigern. Ausgerichtet ist die Ausschreibung an den Klimaschutzzielen der Bundesregierung und den jeweiligen kommunalen Strukturen und Funktionen. Die Zielsetzung des Wettbewerbs lautet:

- Entwicklung und Umsetzung zukunftsweisender Ideen
- Berücksichtigung des „Systems Stadt“ als Ganzes
- Innovationen mit Dienstleistungen erhalten eine Schlüsselrolle

Der Wettbewerb will Handlungswissen für die kommunale Praxis bereitstellen und Innovationen in Wirtschaft und Gesellschaft vorantreiben. Die Gewinner waren Delitzsch, Essen, Magdeburg, Stuttgart und Wolfhagen. Diese Kommunen werden bis 2017 gefördert, um ihre Ideen praktisch umzusetzen. Die Pilotprojekte sollen Vorbild und Impulsgeber für andere Städte sein. Im Jahre 2014 betrug die Fördersumme rund 4,44 Millionen Euro.

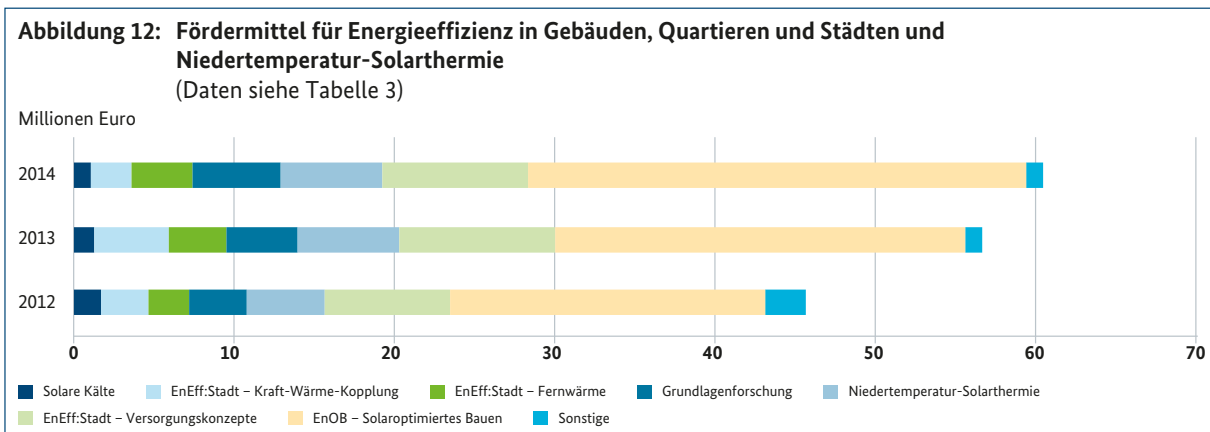
Zur Evaluation, welche Energieeffizienzmaßnahmen besonders wirksam sind und wie sie auf andere Orte übertragen werden können, fördert das BMBF eine Begleitforschung. Diese hat das Ziel, eine interdisziplinäre, umfassende Bewertung der städtischen Energieeffizienzmaßnahmen zu erhalten.

In der durch das BMBF geförderten **Nationalen Plattform Zukunftsstadt** (NPZ) erarbeiten Experten aus Kommunen, Wissenschaft und Wirtschaft eine übergreifende strategische Forschungsagenda mit dem Ziel einer CO₂-neutralen und klimaangepassten Stadt. Laufende Programme sollen besser aufeinander abgestimmt und Forschungsprojekte auf verschiedenen Ebenen miteinander vernetzt werden.

Die NPZ hat neun Strategische Leitthemen entwickelt:

- Sozio-kulturelle Qualität und urbane Gemeinschaften
- Städtisches Transformationsmanagement
- Stadt – Quartier – Gebäude
- Resilienz und Klimaanpassung
- Energie, Ressourcen und technische Infrastruktursysteme
- Mobilität und Warenströme in der Zukunftsstadt
- Schnittstellentechnologien für die Zukunftsstadt
- Stadtökonomie für die Zukunftsstadt
- Daten, Informationsgrundlagen und Wissensvermittlung

Die Expertinnen und Experten der Nationalen Plattform Zukunftsstadt haben ihre Ergebnisse auf einer nationalen Fachkonferenz am 30. September 2014 vorgestellt und diskutiert.



Am 19. Februar 2015 wurde die Forschungs- und Innovationsagenda (FINA) der Nationalen Plattform Zukunftsstadt vorgestellt und über deren Umsetzung diskutiert. Gleichzeitig markiert der Termin den Auftakt des Wissenschaftsjahrs 2015 – Zukunftsstadt.

Seit 2006 baut das Bundesbauministerium seine **Forschungsinitiative Zukunft Bau** kontinuierlich aus. Diese praxisangewandte Forschung basiert auf einer Kooperation zwischen Wissenschaft, Forschung, Politik und Bauwirtschaft und unterstützt die Umsetzung von Strategien und Konzepten für ein energieeffizientes und nachhaltiges Bauwesen.

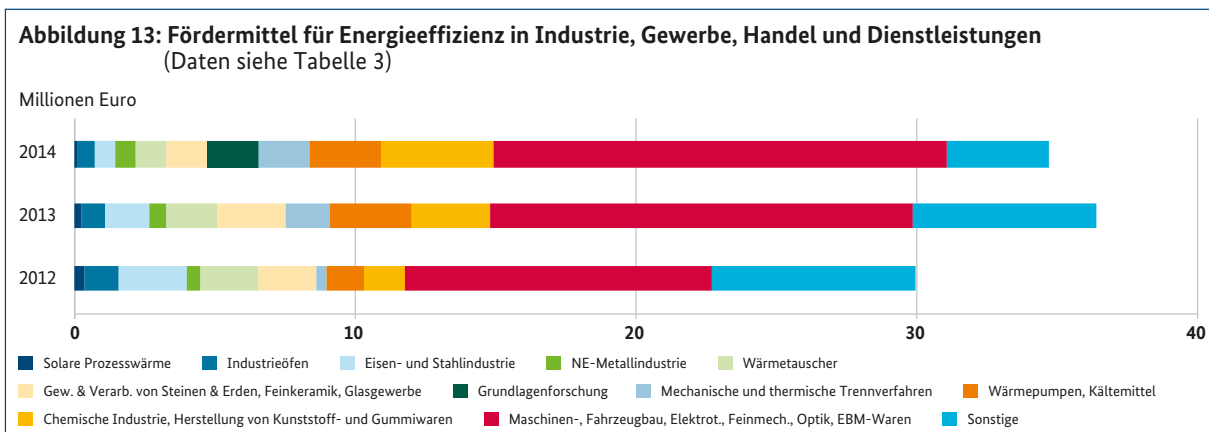
Insbesondere die Antragsforschung und die Modellprojekte „Effizienzhaus Plus“ sind wesentliche Umsetzungsinstrumente, um gemeinsam mit der Bauwirtschaft kleine und mittelständische Unternehmen bei innovativen Entwicklungen zu fördern und für Zukunftsfragen dringend benötigte Neuerungen kurzfristig marktfähig und breitenanwendbar zu machen. Als Gebäude, die in der Jahresbilanz mehr Energie erzeugen, als sie verbrauchen, nehmen die Modellvorhaben „Effizienzhaus Plus“ seit 2011 eine besondere Stellung bei der gezielten Förderung des energieeffizienten Bauens ein. Insgesamt beteiligten sich am neuen Netzwerk der „Effizienzhäuser Plus“ bereits 35 Gebäude, die wissenschaftlich begleitet werden. Mit der Veröffentlichung der „Richtlinie zur Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte – Förderzweig Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus Standard“ im Januar 2015 soll der Gebäudestandard „Effizienzhaus Plus“ auf Nichtwohngebäude übertragen werden. Im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau wurden im Jahr 2014 Mittel in Höhe von 3,0 Millionen Euro für 47 laufende Projekte ausgezahlt und neun Projekte mit einem Fördermittelansatz von 1,3 Millionen Euro neu bewilligt.

2.2.4 Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Bei der Forschung zu Energieeffizienz in der Industrie sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (EnEff IGHD) reicht die Projektförderung von der energetischen Optimierung einzelner Prozessschritte über die Entwicklung und Einführung neuer Technologien und Anlagenkomponenten bis zu komplexen Versorgungs- und Abwärme-Nutzungskonzepten. Hier sind stets energieintensive Branchen, Verfahren und Industrieprodukte im Mittelpunkt, bei denen sich durch die Projektfördermaßnahmen häufig große Energieeinsparungen erzielen lassen. Parallel dazu werden für einen breiteren, branchenübergreifenden Einsatz besondere Querschnittstechnologien, wie zum Beispiel Wärme- und Kältetechniken, Zerkleinerungs- und Trennverfahren sowie Mess-, Steuer- und Regelungstechniken, weiterentwickelt. Da in vielen Bereichen die physikalischen Grenzen der Energieeinsparung inzwischen in Sichtweite sind, wird darüber hinaus insbesondere die Entwicklung neuartiger Verfahrenstechniken gefördert.

Im Jahr 2014 betrug der Fördermitteleinsatz für Projekte zu Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen insgesamt etwa 34,7 Millionen Euro für 275 laufende Vorhaben (vgl. Abb. 13). Im Jahr 2014 wurden 84 Neubewilligungen mit einem Gesamtfördervolumen von 40,4 Millionen Euro realisiert.

Wesentliche Forschungsergebnisse aus den 2014 abgeschlossenen Entwicklungsvorhaben zu thermoelektrischen Materialien und deren Anwendungsmöglichkeiten (High-TEG und ThermoHeusler), zu energieeffizienten Lötprozessen (ThermoFlux), zum Hochgeschwindigkeitsschneiden für energieeffiziente 2D- und 3D-Strukturen aus hochfestem Stahl oder zum Einsatz von Sekundärenergieträgern in Kalkwerken (Ecoloop) wurden in einschlägigen nationalen und internationalen Veranstaltungen und Workshops öffentlich vorgestellt.



Besondere Highlights waren 2014 darüber hinaus die Inbetriebnahme des Hochtemperatursupraleitungskabels in der Essener Innenstadt durch RWE im Rahmen des Demonstrationsprojektes AmpaCity, das die Anwendbarkeit der HTSL-Leitertechnologie in der städtischen Stromversorgung demonstriert, wie auch die Grundsteinlegung zum in 2013 gestarteten Projekt „eta-Fabrik“ an der TU Darmstadt.

Darüber hinaus starteten im Themenschwerpunkt EnEff IGHD auch 2014 innovative und große Verbundprojekte. Dazu gehören insbesondere die Modularisierung und kontinuierliche Produktion von Polymerspezialitäten und Spezialchemikalien (ENPRO), die systematische Kopplung von Energieströmen zur Energieeffizienz im Maschinenbestand (SmartConsumer), die energie- und ressourceneffiziente Umformtechnik (GEARForm) sowie mehrere Vorhaben zu energieeffizienter Wassergewinnung, Wasserversorgung und technischen Entwässerungsprozessen.

Perspektivisch griff der Förderbereich 2014 zudem diverse Themen neu oder umfassender auf. Hierzu zählen die verbreiterte Nutzung von Membrantechniken in der industriellen Trenntechnik, die Miniaturisierung von prozessintegrierbarer Trenntechnik, die verbesserte industrielle Fertigung thermoelektrischer Materialien, eine intensivere energetische und stoffliche Verwendung von Reststoffen sowie energieeffiziente Logistik und Hochdruckprozesstechnik.

Auf internationaler Ebene beteiligte sich Deutschland im Themenfeld EnEff IGHD an den IEA-Implementing Agreements „Heat Pumps“ (HPP), „Industrial Energy-Related Technology and Systems“ (IETS) sowie „Energy Conservation through Energy Storage“ (ECES).

2.3 Übergreifende Energieforschung

2.3.1 Querschnittsforschung und Systemanalyse

Die Herausforderungen der Energiewende gehen über die isolierte Betrachtung einzelntechnologischer Entwicklungen hinaus und liegen aufgrund der zunehmend erforderlichen Flexibilisierung des Energiesystems vor allem in der Beantwortung systemübergreifender, ganzheitlicher Fragestellungen. Nicht zuletzt, da es für den geplanten grundlegenden Umbau des Energiesystems an Beispielen und Erfahrungen aus anderen Ländern mangelt. Die Systemanalyse und die Querschnittsforschung tragen dazu bei, diese Wissenslücke zu schließen.

Die Grundlage schuf das BMWi mit dem Förderschwerpunkt „En:SYS – Systemanalyse in der Energieforschung“, systemanalytischen Aspekten innerhalb der Förderschwerpunkte „Energiespeicher“ und „Stromnetze“ sowie der „Bekanntmachung zur Förderung von Untersuchungen zu übergreifenden Fragestellungen im Rahmen der Gesamtstrategie zum weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien“.

Zum Beispiel werden quantitative Modelle entwickelt und eingesetzt, die potenzielle Entwicklungen des Energiesystems simulieren und gesamtwirtschaftlich bewerten. Die Rolle politischer Rahmenbedingungen stellt einen weiteren Untersuchungsaspekt dar sowie die sich immer stärker verzahnenden Sektoren Strom, Wärme und Verkehr. Insgesamt muss berücksichtigt werden, dass die energiewirtschaftlichen Verflechtungen komplexer werden, dass die Anzahl an Marktteilnehmern und Akteuren wächst; allein dadurch, dass sich mit dem Ausbau der Photovoltaik, der Windkraft und der Biomasse der Anteil dezentraler Stromerzeugungsanlagen erhöht. Hinzu kommt das gesamte Spektrum der Energieeffizienz mit den dazugehörigen Maßnahmen vom Privathaushalt bis zur Großindustrie. Mit der Systemanalyse können die technologischen Entwicklungen im Zusammenspiel, wie auch die Konkurrenz verschiedener Techniken, simuliert werden. Diese sowie

die Ergebnisse der übergreifenden Fragestellungen schaffen die benötigten Grundlagen für Entscheidungsträger. So hat die Studie „Roadmap Speicher“ ergeben, dass der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien nicht auf den Ausbau von Speichern warten muss: Noch bis zu einem Erneuerbarer-Strom-Anteil von 60 Prozent reichen Lastmanagement oder der Austausch von Strom, entweder national oder europaweit, um die bei Wind- und Solarenergie schwankende Erzeugung auszugleichen.

Auch energiepolitische Entscheidungen, die weit in die Zukunft reichen, können untersucht und bewertet werden. So geht es im Forschungsprojekt „ReWal – Reservemärkte im Wandel“ um die zu erwartenden Entwicklungen bei der Strombereitstellung aus fluktuierenden Quellen und dem daraus resultierenden Bedarf an Reservekraftwerken. Darauf aufbauend werden Marktmechanismen abgeleitet, die eine kostengünstige Bereitstellung dieser Regenergie sicherstellen und die die Politik dabei unterstützen, zukünftige Rahmenbedingungen zu gestalten.

Im BMBF-Vorhaben „Energiesysteme der Zukunft“ verfolgen die deutschen Wissenschaftsakademien gemeinsam das Ziel, die in Deutschland vorhandene wissenschaftliche Expertise interdisziplinär zu bündeln und auf die zentralen Fragestellungen der Energiewende auszurichten. Neben Fragen der technologischen Machbarkeit werden auch ökonomische und rechtliche sowie solche der effizienten Ressourcennutzung und der gesellschaftlichen Akzeptanz adressiert. Aus einem systemweiten Blickwinkel werden verschiedene Varianten für das Energiesystem der Zukunft erarbeitet. Auf diese Weise wird ein Orientierungsrahmen gegeben, der Spielraum für unterschiedliche technologische und ökonomische Optionen zulässt. Das Vorhaben will Lösungswege zur Bewältigung der Energiewende aufzeigen und damit zur effizienten Umsetzung hin zu einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energieversorgung beitragen. Es liefert eine wissenschaftlich fundierte Basis für gesamtgesellschaftliche Diskussionen. Die Ergebnisse des Vorhabens der Wissenschaftsakademien dienen als wissenschaftliche Entscheidungsgrundlage (wissenschaftsbasierte Politikberatung) und fließen in die Dialogplattform Forschungsforum Energiewende ein.

Bei einem weiteren Ausbau der Windenergie und Photovoltaik wird es etwa immer öfter dazu kommen, dass mehr Strom vorhanden ist, als aktuell benötigt wird. Ob und in welchem Maße es sinnvoll wäre, diesen Strom mit der Wärme- und Kälteerzeugung zu koppeln, etwa durch elektrische Wärmepumpen und intelligente Klimaanlage, untersucht das Projekt PowerFlex-Heat-Cold. Hierbei wird der Wärme- und Kältesektor in die Modellierung des Strommarktes integriert, Wechselwirkungen werden detailliert erfasst.

Die Gestaltung des Stromnetzes an sich ist Thema des Projekts „Merit Order Netz-Ausbau 2030“. Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt auf Technologien und Maßnahmen, um Übertragungs- und Verteilnetze zu entlasten, vor allem im Hinblick auf das Einspeisen hoher Anteile erneuerbarer Energien. Die Wissenschaftler werden hierfür Typnetze klassifizieren und regionale Lastgänge ermitteln, welche dann als Ausgangspunkt für ein Netzebenen-übergreifendes Simulationsmodell dienen.

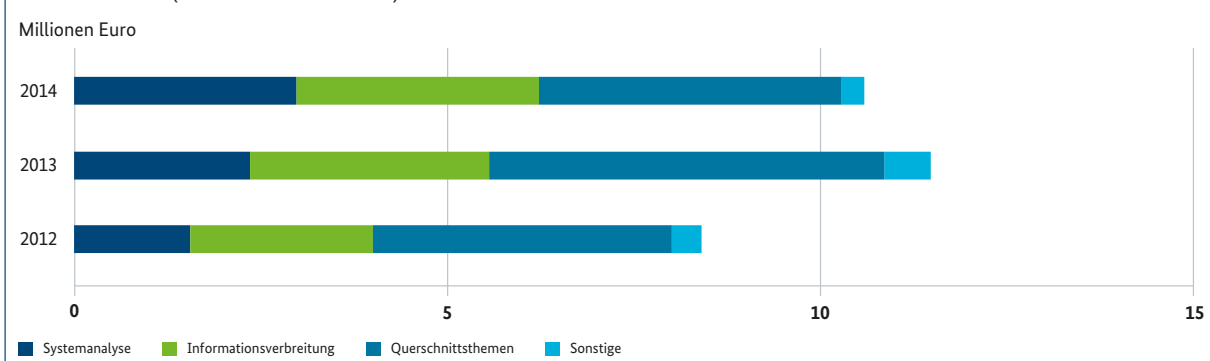
Mit dem Open-Source Simulationsprogramm GENESYS kann die volkswirtschaftlich optimale Verteilung und Dimensionierung von Stromerzeugungskapazitäten, Speichern und gesamteuropäischen Übertragungsnetzkapazitäten simultan berechnet werden. Im Nachfolgeprojekt GENESYS 2 erweitern die Forscher der RWTH Aachen das Simulationsprogramm nun. Der Fokus liegt dabei auf möglichen Transformationspfaden in den nächsten Jahrzehnten. Dazu entwickeln die Forscher sinnvolle Betriebskonzepte für einen parallelen Betrieb von konventionellen Kraftwerken und dem Zubau von erneuerbaren Energiequellen und Speichern.

Im Verbundvorhaben NSON analysieren und bewerten die Projektpartner unterschiedliche Markt- und Netzanbindungsvarianten eines „North Sea Offshore and Storage Network (NSON)“. Untersucht werden deren Auswirkungen auf das deutsche sowie das übergeordnete europäische Energieversorgungssystem. Mit Hilfe von energiewirtschaftlichen Simulationen, neuartigen mathematischen Optimierungsmodellen und -verfahren sowie Analysen des europäischen Energiesystems werden im Rahmen dieses Vorhabens die Machbarkeit und die energiewirtschaftlichen Implikationen verschiedener NSON-Konzepte untersucht und mit Partnern aus Norwegen und Großbritannien abgestimmt. So sollen die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Netzanbindungs- und Marktkonzepte eines NSON für einzelne Länder sowie auch für die Gesamtregion herausgearbeitet werden.

Als Startpunkt zu einem gemeinsamen, koordinierten Vorgehen im Bereich der Modellrechnungen und Simulationen in der Energieforschung fand ein Strategiegelgespräch des BMWi zum Thema „Systemanalyse in der Energieforschung“ statt. Das zwischenzeitlich gestartete Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse (vgl. Abschnitt 1.2) wird die Aktivitäten auf dem Gebiet der Systemanalyse koordinieren, um Synergien auszuschöpfen und eine gemeinsame Strategie zu entwickeln.

In den Forschungsbereich Systemanalyse, Systemmodellierung, Prognosen und übergreifende Fragestellungen flossen im Jahr 2014 insgesamt 10,8 Millionen Euro in 92 laufende Vorhaben (vgl. Abb. 14). Es wurden 26 Projekte mit einer Fördersumme von rund 8,2 Millionen Euro neu bewilligt.

Abbildung 14: Fördermittel für Querschnittsthemen und Systemanalyse
(Daten siehe Tabelle 4)



2.3.2 Begleitforschung und Evaluation der Projektförderung

Im Sinne einer effektiven und effizienten Energieforschung sind eine Begleitforschung einzelner Förderinitiativen sowie Evaluationen nützliche Instrumente, um die Vernetzung geförderter Einzelmaßnahmen zu unterstützen, Ergebnisse schneller in die Praxis umzusetzen und weitere Erkenntnisse für die Gestaltung künftiger Fördermaßnahmen zu generieren.

Evaluation des 5. Energieforschungsprogramms

Die Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien erhöht die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Sie stärkt deren Technologieführerschaft in besonders innovativen Technologiebereichen und verbessert damit die Attraktivität des Standorts Deutschlands für Investition und Produktion.

Zu diesem Ergebnis kommt die jüngst veröffentlichte Abschlussstudie zur Evaluation des 5. Energieforschungsprogramms. Vorgestellt wurden die Evaluationsergebnisse für den Bereich der erneuerbaren Energien, die seit Beginn der aktuellen Legislaturperiode in der Zuständigkeit des Bundeswirtschaftsministeriums liegen, jedoch im betrachteten Zeitraum noch vom ehemals zuständigen Bundesumweltministerium gefördert wurden. Das 5. Energieforschungsprogramm lief von 2005 bis 2011. Das Gesamtvolumen der Fördermittel für erneuerbare Energien betrug rund 710 Millionen Euro.

Die Ergebnisbewertung der Forschungsförderung zu erneuerbaren Energien haben die Prognos AG, die Deutsche WindGuard GmbH sowie das Leipziger Institut für Energie GmbH durchgeführt. Sie haben rund 900 Forschungsprojekte von 380 Institutionen und Unternehmen, die Zuwendungen empfangen haben, evaluiert. Dabei bewerteten sie die Erreichung technischer Zielsetzungen, den Ausbau der

Technologieführerschaft sowie die Stärkung der Exportchancen und der Wettbewerbsfähigkeit.

Die Abschlussstudie zeigt, dass das 5. Energieforschungsprogramm im Bereich erneuerbarer Energien inhaltlich flexibel und breit aufgestellt war. Diese thematische Offenheit habe das Programm reaktionsfähig für neue Entwicklungen und aktuelle Fragestellungen gemacht. Die Ergebnisse der Evaluierung belegen, dass die von der Bundesregierung gesetzten Ziele in der Forschungsförderung in den einzelnen Technologie- und Themenfeldern, wie zum Beispiel Photovoltaik, Windenergie, Geothermie oder regenerative Energieversorgungssysteme, erreicht werden konnten.

Begleitforschung in einzelnen Fachprogrammen

Für den Fachbereich, der sich mit rationeller Energienutzung für den Endverbrauch befasste, wurden Mitte der 90er Jahre Begleitforschungen für verschiedene Förderkonzepte ins Leben gerufen. Die Begleitforschungsteams zu den Konzepten „Energetische Verbesserung der Bausubstanz – EnSan“ und „Solaroptimiertes Bauen – SolarBau“ waren die Anfänge.

Bewährt hat sich dabei die Konzeption, dass ein Team wissenschaftlicher Institute die große Vielzahl und Heterogenität der Projekte durch Querschnittsuntersuchungen und Technologiebewertung einem Screening unterzieht. Dies gilt auch für die Förderschwerpunkte „Energieoptimiertes Bauen“ und „Energieeffiziente Stadt“ – um nur die zentralen zu nennen. Hier bietet sich durch die begleitenden Untersuchungen für den Fördergeber die Gelegenheit, seine programmatische Ausrichtung zeitnah nachzujustieren und darüber hinaus ein Team von Experten aus dem Kreis der Forschungs- und Entwicklungsvorhaben direkt zu spezifischen Fragestellungen befragen zu können.

Die Begleitforschungen übernehmen darüber hinaus in enger Abstimmung mit den Projektträgern eine zentrale Funktion für den Transfer der Forschungsergebnisse in die

Praxis. In Form von Buchveröffentlichungen und Konferenzen werden die Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung für die Fachöffentlichkeit aufbereitet.

Im Zusammenhang mit der erfolgten Neuausrichtung der Energieforschung im Jahr 2014 und der Gründung des Forschungsnetzwerkes Energie in Gebäuden und Quartieren wird die Rolle der Begleitforschung an die neuen Strukturen angepasst werden. Dabei wird eine Bündelung der Themen unter einer zentralen Begleitforschung, die ihre Erkenntnisse direkt in das Netzwerk einbringt, angestrebt und soll nach Ende der laufenden Begleitforschungsphase (Ende 2015) umgesetzt werden.

Den fünf Projekten der Gewinnerstädte des BMBF-Wettbewerbs „Energieeffiziente Stadt“ ist ebenfalls eine Begleitforschung angegliedert, die sich mit den Forschungsschwerpunkten ganzheitlicher systemanalytischer Bewertungen, integraler Planung sowie Modellbildung und -anwendung von Verwaltungsstrukturen beschäftigt. Zudem wurde hier eine Dienstleistungsbegleitforschung integriert, die unter anderem kommunale Fallanalysen durchführt und Instrumente zur Akzeptanz von Dienstleistungen entwickelt. Weitere Aktivitäten der Begleitforschung sind unter anderem Querschnittsanalysen sowie die Unterstützung der Übertragbarkeit der geförderten Konzepte auf andere Städte.

2.3.3 Informationsverbreitung

Zur Erhöhung der Transparenz in der Forschungsförderung und für den Nachweis einer effizienten Mittelverwendung, die im 6. Energieforschungsprogramm als eine Leitlinie formuliert sind, hat die Bundesregierung umfangreiche Maßnahmen der Informationsverbreitung auf den Weg gebracht.

BINE Informationsdienst

Der BINE Informationsdienst vermittelt die Ergebnisse der durch die Bundesregierung geförderten, anwendungsorientierten Energieforschung in den Fachgebieten Energieeffizienz und erneuerbare Energien. Damit trägt das Redaktionsteam maßgeblich zur Informationsverbreitung über die Aktivitäten der beteiligten Bundesministerien auf diesem Gebiet bei. Das Programm richtet sich an eine breite Zielgruppe: vom Fachpublikum, das sich mit Energieanwendung, -technik, -beratung oder -forschung befasst, bis hin zur interessierten Öffentlichkeit und Bildungseinrichtungen.

Das Angebot des BINE Informationsdienstes umfasst Publikationen wie Projektinfos, welche die neusten Ergebnisse aus Forschungs- und Demonstrationsvorhaben vorstellen,

Themeninfos, welche projektübergreifend die Ergebnisse aus Forschung und Praxis zusammenfassen und erläutern, sowie basisEnergie, eine Publikationsreihe, welche präzise und leicht verständlich etwa 20 Themen aus den Bereichen Energieeinsparung und erneuerbare Energien vorstellt. Hinzu kommen BINE Fachbücher zu verschiedenen Themen aus der Energietechnik.

Des Weiteren erteilt der BINE Informationsdienst individuell abrufbare Fachauskünfte und stellt mit der Datenbank „Förderkompass Energie“ umfassende Förderinformationen zu den Programmen von EU, Bund, Ländern, Kommunen und Energieversorgern bereit. Auf ausgewählten Statusseminaren, Fachmessen, Ausstellungen und Tagungen ist die Redaktion mit einem Informationsstand präsent.

Das Redaktionsteam betreut sieben Internetportale, welche die Energieforschung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms begleiten. Hierzu zählt die Webseite www.bine.info, welche allgemeine Informationen und Neuigkeiten aus Forschung, Forschungstechnik und -projekten vorstellt. Die dort dargestellten Themen werden zusätzlich über den BINE Newsletter verbreitet. Darüber hinaus konzipierte der BINE Informationsdienst für die Energieeffizienztechnologien Forschungsportale, betreut diese redaktionell und entwickelt dazu Logos. Zu den Portalen gehören www.enob.info, welches die Forschung zum energieoptimierten Bauen veranschaulicht, www.eneff-stadt.info, das sich mit der Forschung zu Energieeffizienz in Städten und Gemeinden befasst sowie www.eneff-waerme.info. Dieses behandelt die Forschung zur energieeffizienten Nah- und Wärmeversorgung. Hinzu kommen die Portale www.kraftwerkforschung.info zu neuen Kraftwerksgenerationen, www.eneff-industrie.de zur Forschung für eine energieeffiziente Industrie und www.forschung-energiespeicher.info, welches die Projekte der Förderinitiative Energiespeicher im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms vorstellt. Im Jahr 2014 konzipierte die Redaktion ein weiteres Portal. Dieses präsentiert die Vorhaben aus der Förderinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“. Die Webseite ist unter www.forschung-stromnetze.info verfügbar.

Zentrales Informationssystem EnArgus

Der Erfolg der Energiewende ist eng verknüpft mit der Akzeptanz durch alle Akteure aus Politik, Wirtschaft und Industrie, Forschung und Entwicklung sowie der Bürgerinnen und Bürger. Daher ist ein wichtiges Ziel des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung, die Transparenz staatlicher Förderpolitik gegenüber allen Anspruchsgruppen zu erhöhen und zugleich das Wissen über abgeschlossene Förderprojekte zu erhalten und unter Anwendung modernster Recherchemethoden zugänglich zu machen.

Mit dem vom BMWi geförderten Projekt EnArgus entsteht ein zentrales Informationssystem, welches der Politik, den Projektträgern und der interessierten Öffentlichkeit einen softwaregestützten, einheitlichen und zentralen Zugang zur Energieforschungslandschaft in Deutschland ermöglicht. Seit dem Frühjahr 2015 wird der interessierten Öffentlichkeit über die Webseite www.enargus.de ein erster Einblick in den öffentlichen Teil des Informationssystems gewährt.

Die erste Testphase gibt einen Überblick über circa 24.000 Vorhaben mit direktem Bezug zur Energieforschung. Dabei können zusätzlich weiterführende Informationen zu rund 800 Vorhaben des BMWi angezeigt werden. Weitere Detailinformationen werden schrittweise hinzugefügt. Ziel ist es, für alle Vorhaben ab 1976 die bereits in gedruckter Form veröffentlichten Detailinformationen auch elektronisch bereitzustellen. Mittels einer Volltextsuche über die öffentlichen Teile der bei der Technischen Informationsbibliothek Hannover (TIB) archivierten Schlussberichte werden die Projektdetails erschlossen und die Entwicklung der Energieforschung in Deutschland nachgewiesen. Unterstützt wird dies durch den Aufbau einer umfassenden Fachontologie im Bereich der Energiethemen, sodass eine vertiefte Kenntnis der Fachthemen nicht mehr notwendig ist, um weiterführende Informationen im Informationssystem erfolgreich zu recherchieren.

Landkarte der Energieforschung

Seit März 2013 ist im Rahmen des Internetauftritts des BMBF die Landkarte der Energieforschung nutzbar. Die Landkarte der Energieforschung schafft Transparenz über die Leistungen der Energieforschung und das Know-how der Forschungsorganisationen, Universitäten und Fachhochschulen in Deutschland. Eine Aktualisierung der Landkarte der Energieforschung ist 2015 vorgesehen.

2.4 Materialforschung für die Energiewende

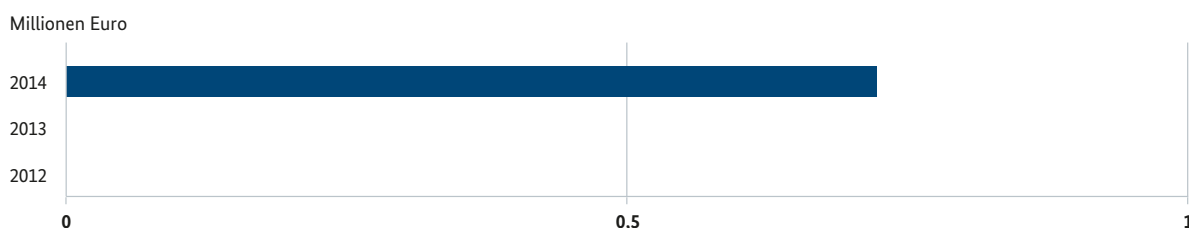
Ein großer Anteil der Forschungsfragestellungen für neue innovative Energietechnologien ist von der Entwicklung neuer Materialien abhängig. Um hier die notwendigen Durchbrüche zu ermöglichen, hat das BMBF 2013 die Initiative „Materialforschung für die Energiewende“ gestartet.

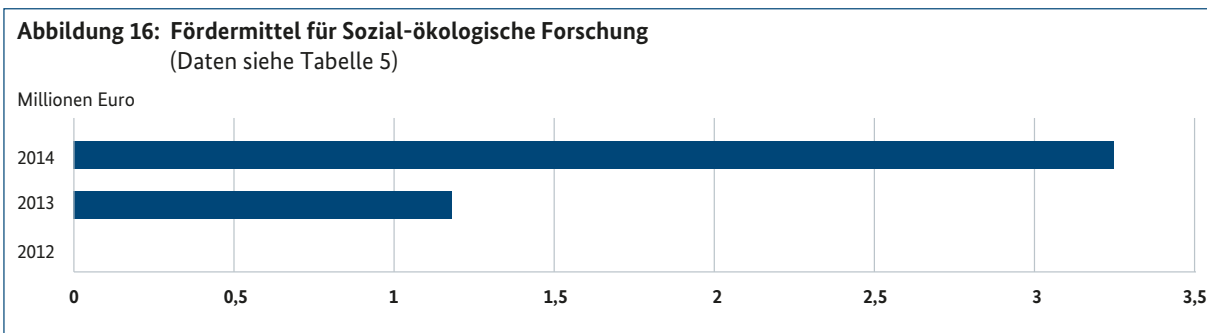
Anlagen zur Energieproduktion aus erneuerbaren Energiequellen benötigen verbesserte und an die Rahmenbedingungen angepasste Materialien. So führt etwa die größere Auslegung von Windkraftanlagen zu gesteigerten Materialbelastungen und Schädigungsmechanismen. Wirkungsgradsteigerungen in der Photovoltaik bedingen zu einem wesentlichen Teil Materialinnovationen. Neue Materialien bieten darüber hinaus die Chance für mehr Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit mit Blick auf den Gesamtlebenszyklus von Energieanlagen. Auch zur Beantwortung vieler zentraler Fragestellungen zur Optimierung und Etablierung von Energiespeichern sind innovative Materialien gefragt.

Darüber hinaus ergeben sich im Rahmen der Energiewende für konventionelle Kraftwerke neue Betriebsbedingungen, die erhöhte Anforderungen für die dort eingesetzten Werkstoffe bedeuten. Eine wesentliche Herausforderung ist der lastflexible Betrieb zum Ausgleich des rasch wachsenden, aber fluktuierenden Stromangebots aus regenerativen Quellen.

Diese Fragestellungen adressiert die BMBF-Initiative „Materialforschung für die Energiewende“. Erste innovative grundlagenorientierte Projekte der Initiative haben 2014 mit ihren Forschungsarbeiten begonnen, weitere werden in den Jahren 2015 und 2016 folgen. Die Forschungsthemen reichen von Fertigungsprozessen für innovative Hochtemperatur-Supraleitermaterialien für die Generatoren von hocheffizienten und kostengünstigen Windkraftanlagen über Untersuchungen zur Verwendung einer erst kürzlich identifizierten neuen Klasse von Absorbermaterialien in der Photovoltaik bis hin zur Erarbeitung eines großtechnisch realisierbaren Konzeptes zur Wasserstoffherzeugung mit Hilfe von photoelektrochemischen Tandemzellen. Weitere Projekte zielen auf die Verbesserung von Materialien für die Biogasaufbereitung und Komponenten in elektrochemischen Energiespeichern ab. Außerdem sollen Erkenntnis-

Abbildung 15: Fördermittel für Materialforschung
(Daten siehe Tabelle 5)





gewinne zu Degradationsprozessen in Kraftwerkskomponenten und Brennstoffzellen generiert werden.

Bislang wurden 45 Vorhaben mit einer Gesamtfördersumme von rund 25,3 Millionen Euro bewilligt. Im Jahr 2014 wurden davon rund 0,7 Millionen Euro aufgewendet (siehe Abb. 15).

2.5 Gesellschaftsverträgliche Transformation des Energiesystems

Durch die Energiewende ergeben sich weitreichende Konsequenzen für das Energiesystem sowie für Wirtschaft und Gesellschaft insgesamt. Die Energiepolitik zielt künftig darauf ab, Energie an den momentanen Bedarf angepasst zur Verfügung zu stellen und durch eine deutliche Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Energieversorgung möglichst umweltfreundlich zu erzeugen. Daher ist unter anderem notwendig, die Versorgungsnetze auszubauen, neue Techniken der Energiebereitstellung und -speicherung zu etablieren sowie Bedarf und Erzeugung regional und zeitlich so abzustimmen, dass die Versorgung gesichert bleibt. Bei der Umsetzung dieses Paradigmenwechsels sind gesellschaftliche Aspekte von großer Bedeutung. Die Gestaltung der Energiewende gelingt nur, wenn sie die Bedürfnisse und Erwartungen der Bevölkerung, von Industrie, Handel und Kommunen – auch hinsichtlich der Fragen von Beteiligung und Gerechtigkeit – angemessen reflektiert sowie marktwirtschaftliche Erfordernisse berücksichtigt.

Mit der Förderinitiative „Umwelt- und gesellschaftsverträgliche Transformation des Energiesystems“ wird dieses aktuelle gesellschaftliche Problemfeld aufgegriffen. Drei Forschungsschwerpunkte stehen dabei im Mittelpunkt:

- Darstellung und Bewertung von Entwicklungsoptionen des Energiesystems einschließlich ökonomischer Szenarien
- Analyse von gesellschaftlichen Voraussetzungen für die Akzeptanz der Transformation und die aktive Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern

- Governance von Transformationsprozessen einschließlich ökonomischer Instrumente

In 33 Forschungsprojekten im Gesamtvolumen von rund 30 Millionen Euro fördert das BMBF Vorhaben, die konkrete Lösungsvorschläge erarbeiten sollen. Die Projekte haben sich zu fünf Themenclustern zusammengefasst:

- Bürger, Geschäftsmodelle & Co.
- Entwicklungsoptionen
- Gebäude und Siedlungen
- Governance
- Partizipationsstrategien

Im März 2014 fand die Auftaktkonferenz zu dieser Fördermaßnahme in Berlin statt, auf der die Initiative und die einzelnen zur Förderung ausgewählten Projekte vorgestellt wurden. Alle Projekte erarbeiten Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft und Bürger. Im Sinne einer transdisziplinären Forschung arbeiten die Wissenschaftler dabei von Beginn an mit Praxisakteuren zusammen (z. B. Kommunalverwaltungen, Stadtwerke oder Unternehmen). Dabei werden sie von einer Wissenschaftlichen Koordination unterstützt.

Ziel der Wissenschaftlichen Koordination ist es unter anderem, den Transfer der Projektergebnisse in die gesellschaftliche Praxis zu beschleunigen. Ein Instrument dafür sind Webseiten, die über die einzelnen Vorhaben der Initiative informieren und seit 2014 unter www.transformation-des-energiesystems.de öffentlich zugänglich sind.

Die im Jahr 2014 ausgezahlte Fördersumme betrug rund 8,6 Millionen Euro, davon rund 3,2 Millionen Euro im Rahmen des Energieforschungsprogramms (vgl. Abb. 16).

2.6 Fusionsforschung

Angesichts der in den nächsten Jahrzehnten global rasant ansteigenden Energienachfrage und der Notwendigkeit, CO₂-Emissionen zu reduzieren, ist es aus Sicht der Bundesregierung erforderlich, alle in Frage kommenden Konzepte für eine zukünftige Energieversorgung zu untersuchen und der Gesellschaft möglichst viele Optionen offenzuhalten. Die Bundesregierung unterstützt deshalb weiterhin den Bau des International Thermonuclear Experimental Reactor ITER in Cadarache (Südfrankreich). Er soll zeigen, ob mit dem gewählten Verfahren und den eingesetzten Technologien ein Fusionskraftwerk grundsätzlich realisiert werden kann. EURATOM repräsentiert als einer der sieben Partner (Europa, Japan, USA, Russland, China, Südkorea und Indien) inzwischen 29 europäische Staaten und vertritt Europa im ITER-Rat.

Die Förderung der Kernfusion in Deutschland erfolgt primär im Rahmen der Programmorientierten Förderung 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. Daneben hat das BMBF ein zeitlich befristetes Projektförderprogramm mit dem Fokus auf Verbundprojekte zwischen Forschungseinrichtungen und Industrie aufgelegt. Dieses Programm läuft 2017 aus (vgl. Abb. 17).

Deutschland verfügt im Bereich Kernfusion im internationalen Vergleich über ein herausragendes wissenschaftliches Know-how. Mit den Großgeräten wie dem Tokamak ASDEX Upgrade und dem seit Mai 2014 in der Betriebsvorbereitung stehenden Stellarator Wendelstein 7-X (beide am IPP) sowie dem Hochtemperatur-Helium-Kreislauf (HELOKA) und der Testeinrichtung für supraleitende Komponenten (TOSKA) (beide am KIT) steht eine einmalige Infrastruktur zur Verfügung. Das IPP selbst zählt weltweit zu den führenden Instituten. Es koordiniert das von 29 nationalen Fusionszentren aus 26 Ländern der Europäischen Union sowie der Schweiz gegründete Konsortium EUROfusion, das die neue zentrale Struktur der europäischen Fusionsforschung darstellt.

Deutsche Industrieunternehmen profitieren von der Zusammenarbeit mit den Forschungszentren und Universitäten und stärken ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit im Hinblick auf technologisch höchst anspruchsvolle Arbeiten und Lieferungen für den ITER. Zum Beispiel warben deutsche Firmen und Forschungseinrichtungen bis Ende 2014 Aufträge in Höhe von über 400 Millionen Euro ein.

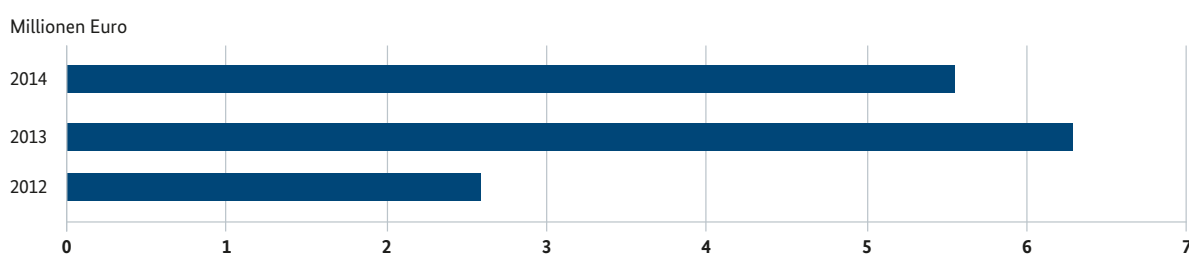
2.7 Nukleare Sicherheitsforschung

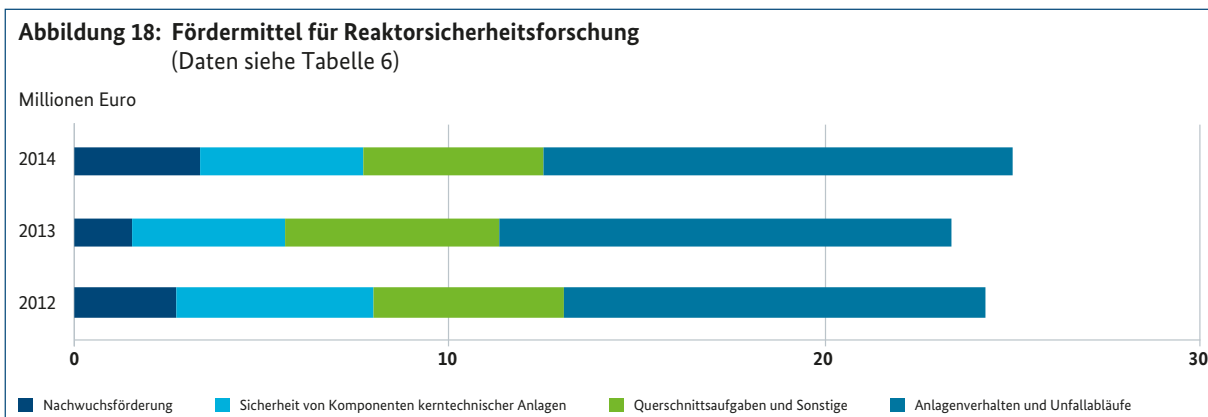
Für den Betrieb, die Stilllegung und die Entsorgung von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren, ebenso wie für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, gelten höchste Sicherheitsanforderungen. Das Atomgesetz fordert daher in §7d, dass der „fortschreitende Stand von Wissenschaft und Technik“ maßgeblich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

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

Als Beitrag zu Kompetenzerhalt und Kompetenzerweiterung flankiert das BMBF die Forschungsförderung des BMWi mit den Bereichen nukleare Sicherheits- und Entsorgungsforschung und darüber hinaus Strahlenforschung, mit dem Ziel der Förderung des wissenschaftlichen Nach-

Abbildung 17: Fördermittel für projektbezogene Fusionsforschung
(Daten siehe Tabelle 5)





wuchses. Basierend auf den Zielen des BMBF-Förderkonzeptes „Grundlagenforschung Energie 2020+“ aus dem Jahr 2008 treiben diese Aktivitäten die Vernetzung von Wissenschaft und Industrie voran und bringen energiebezogene Grundlagenforschung mit anwendungsorientierten Arbeiten zusammen.

2.7.1 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, auch unter Ausstiegsbedingungen das Sicherheitskonzept deutscher Kernkraftwerke abzusichern und durch internationale Kooperationen Beiträge zur stetigen Weiterentwicklung der Sicherheitsstandards kerntechnischer Anlagen weltweit zu leisten.

Die Projektförderung im Bereich Reaktorsicherheitsforschung erfolgt federführend durch das BMWi.

Im Themenbereich Anlagenverhalten und Unfallabläufe wurde 2014 eine Reihe von Vorhaben gefördert, die sich mit Untersuchungen zum Verlauf schwerer Störfälle befassen. So wurde zur Bearbeitung sicherheitsrelevanter Fragestellungen im Zusammenhang mit Wasserstofffreisetzungen das Vorhaben H2REKO neu gestartet. Im Falle eines Unfalls können große Mengen an Wasserstoff entstehen. Um mögliche Wasserstoffexplosionen zu verhindern, werden passive autokatalytische Rekombinatoren (REKOs) eingesetzt, die den Wasserstoff durch katalytische Oxidation zu Wasser abbauen. H2REKO untersucht experimentell das Startverhalten von REKOs und setzt damit die Arbeiten des erfolgreich abgeschlossenen Vorhabens „Betriebsverhalten REKO“ fort. Auch Arbeiten zur Weiterentwicklung und Validierung von Rechencodes, mit deren Hilfe Stör- und Unfallabläufe simuliert werden können, wurden fortgeführt. So beispielsweise zur Kühlbarkeit von Schmelze im Falle einer Kernzerstörung (Code MEWA) oder zu Vorgängen im Sicherheitsbehälter von Kernkraftwerken (Code COCOSYS).

Für den Themenbereich Sicherheit von Komponenten kerntechnischer Anlagen wurden 2014 unter anderem Vorhaben initiiert, die sich mit auslegungsüberschreitenden Belastungen auseinandersetzen. So zielt das Vorhaben „Grenzdehnungskonzept“ auf die Quantifizierung der Grenztragfähigkeit mechanischer Komponenten bei multiplen Störfallbelastungen ab. Ein Beispiel für eine solche Belastung ist ein starkes Erdbeben mit einer Vielzahl von Nachbeben, wie es auch in Fukushima aufgetreten ist. Darüber hinaus können Auswirkungen von Erdbeben auf das gekoppelte System Bauwerk – Dübel – Rohrleitung nun mit Hilfe eines 2014 in Betrieb genommenen Versuchsstandes untersucht werden.

International beteiligt sich Deutschland im Rahmen der projektgeförderten Reaktorsicherheitsforschung des BMWi an multilateralen Forschungsprojekten unter der Schirmherrschaft der OECD/NEA. Diese gemeinsamen Projekte ermöglichen eine effiziente Nutzung der international verfügbaren experimentellen und finanziellen Ressourcen. Deutschland beteiligt sich zurzeit an zwölf internationalen Projekten der OECD und richtet selbst zwei Projekte aus. Im Jahr 2014 wurde die Teilnahme am neuen ATLAS-Projekt realisiert, das an der gleichnamigen südkoreanischen Versuchsanlage durchgeführt wird. In ATLAS sollen Phänomene mit hoher sicherheitstechnischer Bedeutung für den Ablauf thermohydraulischer Transienten im Falle von Störfällen und auslegungsüberschreitenden Störfällen untersucht werden.

Der Mittelabfluss der projektgeförderten Reaktorsicherheitsforschung des BMWi betrug im Jahr 2014 insgesamt 21,7 Millionen Euro für 118 laufende Vorhaben (vgl. Abb. 18). Neu bewilligt wurden 35 Vorhaben mit einem Fördermittelansatz von 21,9 Millionen Euro.

Das BMBF flankiert die Forschungsförderung des BMWi mit Projekten zur Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlern, in denen entsprechend den Förderschwerpunkten des BMWi wissenschaftliche Grundlagen auf dem Gebiet Reaktorsicherheitsforschung vertieft werden.

In diesem Zusammenhang wurde 2014 das Projekt „Experimentelle Untersuchungen und theoretische Beschreibung der Schädigung metallischer Rohrleitungen bei turbulenter Durchströmung im Bereich hoher Drücke und hoher Temperaturen“ (UNSCHRO) mit einem Förderansatz von 1,3 Millionen Euro neu bewilligt. Um dieses Ziel zu erreichen und um Kompetenzen dauerhaft zu erhalten, müssen auch die Kenntnisse über Beanspruchungs- und Werkstoffzustände experimentell erweitert werden. Damit ist auch zukünftig eine verbesserte rechnerische Analyse und Bewertung kerntechnischer Komponenten und Systeme auch im Hinblick auf die Realisierung von Leckageüberwachungssystemen möglich.

Insgesamt förderte das BMBF 2014 58 Nachwuchswissenschaftler (Doktoranden, Postdoktoranden, Diplomanden, Masterstudenten). Das BMWi hat 170 wissenschaftliche Mitarbeiter gefördert.

Im Jahr 2014 wurden im Bereich Reaktorsicherheitsforschung Forschungsvorhaben mit einem Gesamtfördervolumen von 25,1 Millionen Euro unterstützt (vgl. Abb. 18). Davon stellte das BMWi 21,7 Millionen Euro und das BMBF 3,4 Millionen Euro bereit.

2.7.2 Endlager- und Entsorgungsforschung

Die Projektförderung im Bereich Entsorgungs-/Endlagerforschung erfolgt federführend durch das BMWi. Die Förderaktivitäten orientieren sich programmatisch an den regelmäßig fortgeschriebenen BMWi-Förderkonzepten zu den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle.

Gefördert werden anwendungsorientierte, standortunabhängige Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu allen in Deutschland relevanten Wirtsgesteinen (Steinsalz, Ton- und Kristallingestein), die zur Erweiterung der Kenntnisse, insbesondere in den Bereichen Endlagerkonzepte, Endlagertechnik, zum Sicherheitsnachweis und zur Kernmaterialüberwachung beitragen.

Mit der Änderung der gesetzlichen Rahmenbedingungen durch das Standortauswahlgesetz und dem damit verbundenen Neustart der Endlagersuche ergibt sich weiterer FuE-Bedarf. Dieser wird durch das seit Anfang des Jahres gültige Förderkonzept „Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (2015–2018)“ berücksichtigt und betrifft neue Aspekte, wie die Erarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen der Standortauswahl, die Untersuchung von Auswirkungen verlängerter Zwischenlagerzeiten auf Abfälle und Behälter sowie sozio-technische Fragestellungen.

Die Fördergrundlage für den Berichtszeitraum bildet das BMWi-Förderkonzept (2011 bis 2014). Die laufenden Projekte

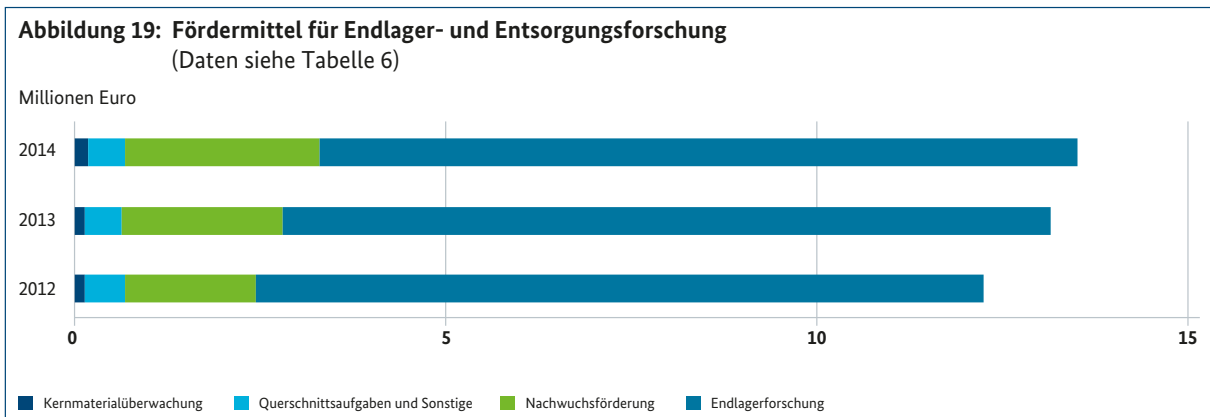
haben Bezug zu den Themenbereichen Endlagersystem, Systemverhalten und Systembeschreibung, zu Querschnittsthemen mit Bezug zur Endlagerung sowie zur Kernmaterialüberwachung. Einige Projekte werden in internationalen Kooperationen bearbeitet (7. EU-Forschungsrahmenprogramm, ausländische Untertagelabors).

Im Themenbereich Endlagersystem werden Vorhaben zur Bewertung von Endlagerkonzepten anhand von wissenschaftlich-technischen und sicherheitsanalytischen Aspekten durchgeführt. Im Jahr 2014 wurde hier ein Neuvorhaben mit rund 0,8 Millionen Euro bewilligt.

Der Themenbereich Systemverhalten und Systembeschreibung umfasst Untersuchungen zu Modellierungen des geomechanischen, geochemischen und thermo-hydrromechanischen Verhaltens der Wirtsgesteine sowie der darin ablaufenden Prozesse. Ferner befassen sich Projekte mit der Beschreibung und Simulation der möglichen Entwicklung eines Endlagersystems im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse. Im Jahr 2014 wurden hier zehn Neuvorhaben mit einem Fördermittelansatz von rund 4,8 Millionen Euro bewilligt.

Die BMWi-Projektförderung berücksichtigt auch den Themenbereich Kernmaterialüberwachung. Die besondere Problematik erfordert Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu konzeptionellen, technisch-methodischen und politisch-institutionellen Fragen. Aufgrund der globalen Bedeutung des Themas werden die Arbeiten in Forschungsnetzwerke eingebettet, die auch in multinationale Kooperationen (Euratom, IAEA) eingebunden sind. Im Jahr 2014 wurden keine Neuvorhaben bewilligt.

Die Themenbereiche der BMWi-Projektförderung zur Entsorgungs-/Endlagerforschung werden durch BMBF-geförderte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Nuklearen Sicherheitsforschung flankiert. Das Verbundvorhaben ThermAc befasst sich mit der Vervollständigung der thermodynamischen Datenbasis für Actinide, langlebige Spaltprodukte und Matrixelemente mit Relevanz für Langzeitsicherheitsanalysen zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle. Dem Themenbereich Endlagersystem ist aktuell ein Forschungsverbund zugeordnet (Conditioning), in dem die wissenschaftlichen Grundlagen für Aussagen zur Stabilität von keramischen Abfallformen für langlebige Radionuklide geschaffen werden sollen. Zum Themenbereich Systemverhalten und Systembeschreibung wurde 2014 ein Projekt gefördert (ImmoRad), welches sich mit der quantenchemischen Modellierung geochemischer Prozesse im Nahfeld eines Endlagers befasst. Die Untersuchung der Geochemie von Radionukliden erlaubt es, Aussagen zur Langzeitsicherheit eines Endlagers zu machen. Ein weiteres Verbundvorhaben (f-Kom) befasst sich mit Untersuchungen zum grundlegenden Verständnis der selektiven Komplexierung von Radionukliden. Diese Untersuchungen leisten



einen Beitrag zur Charakterisierung, Sortierung und Trennung radioaktiver Materialien. Die Forschungstätigkeiten flankieren damit den Themenbereich „Querschnittsthemen mit Bezug zur Endlagerung“ des BMWi.

Insgesamt förderte das BMBF 2014 im Bereich der Endlager- und Entsorgungsforschung 62 Nachwuchswissenschaftler (Doktoranden, Postdoktoranden, Diplomanden, Masterstudenten). Im Jahr 2014 wurden im Bereich Entsorgungsforschung Forschungsvorhaben mit einem Gesamtfördervolumen von rund 13 Millionen Euro unterstützt (siehe Abb. 19). Davon stellte das BMBF etwa 2,6 Millionen Euro.

2.7.3 Strahlenforschung

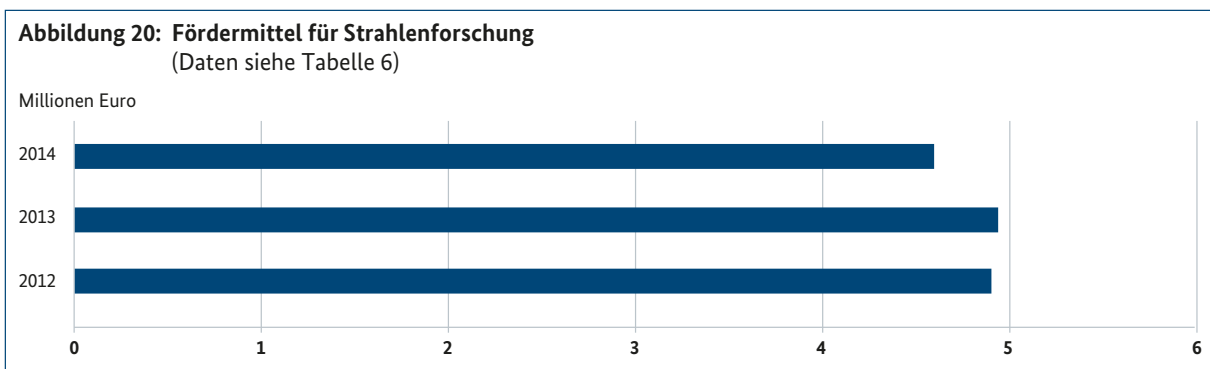
Ein Schwerpunkt der Förderung des BMBF in der Nuklearen Sicherheitsforschung ist der Bereich Strahlenforschung. Die Forschungsaktivitäten erfolgen hier in Abstimmung mit dem „Kompetenzverbund Strahlenforschung – KVVSF“, welcher 2007 als Zusammenschluss von Universitäten und Forschungseinrichtungen gegründet wurde, die in diesem Bereich tätig sind. Der Verbund will die wissenschaftliche Kompetenz in der Strahlenforschung fördern und erhalten. Die Förderung erfolgt in Abstimmung mit dem BMUB.

Im Bereich der Strahlenforschung wurden 2014 zu strahlenbiologischen, strahlenmedizinischen und radioökologischen Fragestellungen 60 Vorhaben durchgeführt sowie 18

Vorhaben mit einem Fördermittelansatz von rund zwölf Millionen Euro neu bewilligt. Schwerpunkt der neu bewilligten Vorhaben liegt auf der Untersuchung

- der Auswirkung der Strahlenexposition auf die Entwicklung des Gehirns und die damit verbundenen kognitiven Fähigkeiten des Fötus,
- der Korrelation von DNA-Doppelstrangbrüchen und individueller Strahlenempfindlichkeit; des Einflusses der Kernarchitektur auf die Reparatur von DNA-Schäden,
- der schädlichen Wirkung von UV und IR Kombinationsstrahlungen der Sonne für den Menschen,
- der funktionellen Charakteristika unterschiedlicher Organe und Normalgewebe (wie z. B. dem Herzen, der Haut und der Lunge) nach Bestrahlung mit niedrigen, mittleren und hohen Dosen.

Insgesamt förderte das BMBF 2014 im Bereich Strahlenforschung 190 Nachwuchswissenschaftler (Doktoranden, Postdoktoranden, Diplomanden, Masterstudenten). Im Jahr 2014 wurden im Bereich Strahlenforschung Forschungsvorhaben mit einem Gesamtfördervolumen von etwa 4,6 Millionen Euro unterstützt (vgl. Abb. 20).



3. Institutionelle Energieforschung

Die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) hat 2014 die im Jahr 2010 begonnene zweite Periode der Programmorientierten Förderung abgeschlossen. Im Rahmen von gemeinsamen Forschungsprogrammen zu den Themen „Rationelle Energieumwandlung und -nutzung“, „Erneuerbare Energien“, „Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung“, „Kernfusion“ und „Systemanalyse und Technikfolgenabschätzung“ konnten die am Forschungsbereich Energie beteiligten Großforschungszentren¹ wichtige wissenschaftliche Beiträge erbringen, die insbesondere für die Umsetzung der Energiewende bedeutsam sind. In den acht Großforschungszentren arbeiten rund 3.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Energiethemata. In Abb. 21 ist die Mittelverteilung auf die Forschungsprogramme für das Jahr 2014 dargestellt, die der Bund für den Forschungsbereich Energie im Rahmen der institutionellen Förderung bereitstellt. Der gezeigte Bundesbeitrag in Höhe von 90 Prozent der Kosten wird durch eine Förderung durch die jeweiligen Sitzländer der Forschungszentren in Höhe von zehn Prozent der Kosten ergänzt. Weitere Fördermittel werden über Projekte von unterschiedlichen Fördermittelgebern, wie beispielsweise Bundes- und Landesministerien, Industrie oder die Europäische Kommission, bereitgestellt.

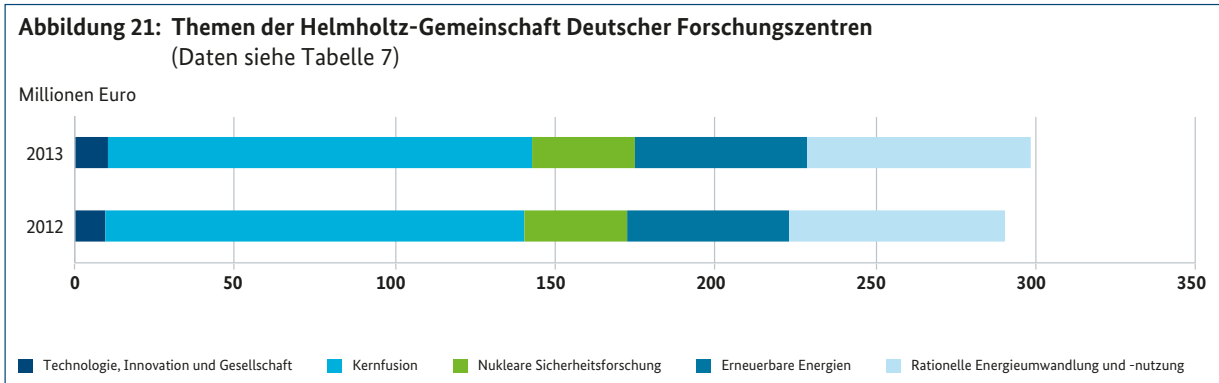
Hervorzuheben für das Jahr 2014 ist der Beschluss des HGF-Senats zur Einrichtung einer neuen Forschungsinfrastruktur mit dem Namen „Energy Lab 2.0“. Ziel ist es, das Zusammenspiel wichtiger Komponenten künftiger Energiesysteme zu erforschen. Dafür wird eine Forschungsplattform am Karlsruhe Institut für Technologie (KIT) aufgebaut, die elektrische, thermische und chemische Energieströme sowie Informations- und Kommunikationstechnologien miteinander verknüpfen kann. Neben dem KIT beteiligen sich auch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und das Forschungszentrum Jülich (FZJ) an der Plattform. Die Gesamtinvestitionen in Höhe von 22 Millionen Euro werden durch die HGF aus Mitteln für strategische Ausbauminvestitionen (15 Millionen Euro) finanziert. Zusatzfinanzierungen sind vom BMWi (2,5 Millionen Euro), dem BMBF (1,5 Millionen Euro) sowie dem Land Baden-Württemberg (drei Millionen Euro) in Aussicht gestellt.

Ebenfalls im letzten Jahr wurde der vom Land Baden-Württemberg finanzierte Neubau für das Helmholtz-Institut Ulm fertiggestellt. Das Gebäude mit modernster Laborinfrastruktur bietet auf 2400 Quadratmetern optimale Möglichkeiten, um die Forschungsarbeiten des im Jahr 2011 gegründeten Helmholtz-Instituts Ulm voranzutreiben. Schwerpunkte des Instituts liegen im Bereich der Batterieforschung und decken insbesondere elektrochemische Grundlagenforschung, Materialforschung, die Theorie und Modellierung elektrochemischer Prozesse sowie übergreifende Systembetrachtungen, wie beispielsweise Batteriemangement und Materialverfügbarkeit, ab. Neben der Universität Ulm sind das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) beteiligt.

Im Juni 2014 wurde ein weiteres Helmholtz-Institut zur Batterieforschung in Münster gegründet, das die Arbeiten in Ulm ergänzt. Schwerpunkte des neuen Instituts, an dem neben der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster und der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule in Aachen (RWTH) das Forschungszentrum Jülich (FZJ) beteiligt ist, werden elektrochemische Energiespeichersysteme mit der Fokussierung auf Elektrolyte und deren ionisches Verhalten sein. Die Arbeiten in den Helmholtz-Instituten in Ulm und Münster sollen maßgeblich zur Stärkung der Batterieforschung in enger Zusammenarbeit von HGF-Forschungszentren mit universitären Partnern beitragen.

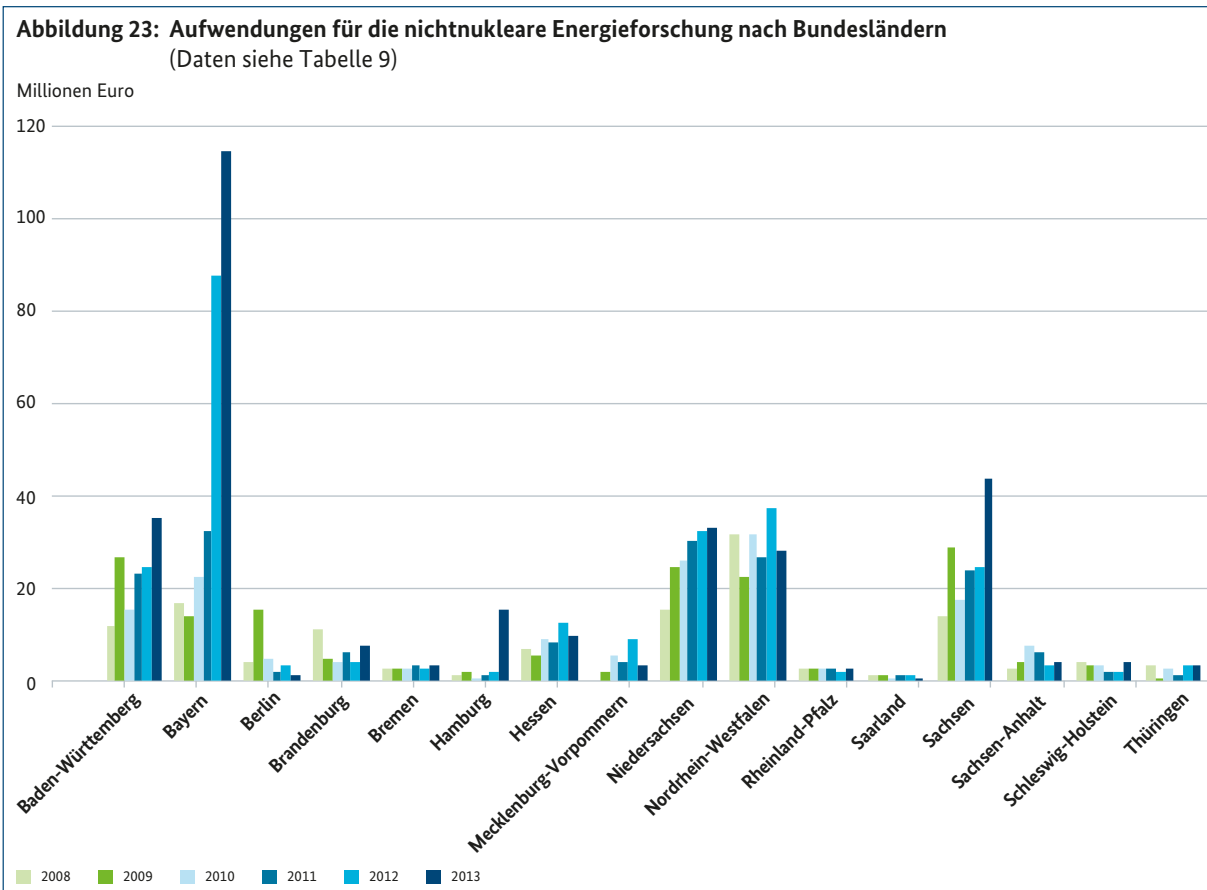
Einen breiten Raum haben 2014 die umfangreichen Evaluierungen der neuen Forschungsprogramme des Forschungsbereichs Energie der HGF eingenommen. Der HGF-Senat hat im Herbst 2014 auf Basis der Evaluierungsergebnisse Finanzierungsempfehlungen für die Anfang 2015 beginnende dritte Periode der Programmorientierten Förderung verabschiedet. Die Evaluierungen wurden durch ein international besetztes Gutachtergremium auf der Basis der forschungspolitischen Vorgaben der Zuwendungsgeber durchgeführt. Ab 2015 wird der Forschungsbereich Energie in den folgenden Programmen zusammenarbeiten:

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



- Energieeffizienz, Materialien und Ressourcen
- Erneuerbare Energien
- Speicher und vernetzte Infrastrukturen
- Zukünftige Informationstechnologien (gemeinsames Programm mit dem Forschungsbereich Schlüsseltechnologien)
- Technologie, Innovation und Gesellschaft (gemeinsames Programm mit dem Forschungsbereich Schlüsseltechnologien)
- Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung
- Kernfusion

Mit den Forschungsprogrammen wurden neben den etablierten Themen auch neue Forschungsaspekte in die Programmatik der HGF aufgenommen, die in den kommenden Jahren intensiv beforscht werden sollen. Dazu zählen beispielsweise Netztechnologien, Windenergie, energieeffiziente Prozesse in der Industrie, Ressourcen oder neue stromsparende Technologien im Informations- und Kommunikationsbereich. Insgesamt wurden die Forschungsprogramme als wissenschaftlich „exzellent“ bewertet. Die Empfehlungen der Gutachter werden in den kommenden fünf Jahren umgesetzt.



Die Forschungsfelder Energiespeicher (25,9 Millionen Euro) und Stromnetze/Netztechnologien (4,6 Millionen Euro) bilden die wesentlichen Schlüsseltechnologien im Energiewendeprozess, da der avisierte Zuwachs des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung den Einsatz unterschiedlicher Energiespeicher erfordert und gleichzeitig die Bereitstellung zuverlässiger Stromnetze voraussetzt. Als Bundesland mit hohem Kernenergieanteil am Stromverbrauch verfolgt Bayern eine Neuausrichtung der Forschungsschwerpunkte und ist sowohl im Bereich der Energiespeicher mit einem Fördervolumen von 15,9 Millionen Euro als auch bei Forschungsaktivitäten zu Stromnetzen (1,9 Millionen Euro) führend.

Die Transformation des Energieversorgungssystems stellt hinsichtlich Netzstabilisierung und Flexibilisierungsoptionen auch neue Anforderungen an die konventionelle Kraftwerkstechnik. Von Seiten der Bundesländer wird diese Technologie mit insgesamt 7,1 Millionen Euro erforscht, wobei Nordrhein-Westfalen mit 3,9 Millionen Euro den größten Beitrag leistet.

Die Flexibilisierung des Energiesystems erfordert zunehmend die Beantwortung ganzheitlicher, technologieübergreifender Fragestellungen und ist ein essenzieller Forschungsfokus des Bereiches Energiesysteme/Modellierung (4,5 Millionen Euro).

Der Umfang der Forschungsförderung der Brennstoffzellen/Wasserstoff-Technologie ist mit 12,3 Millionen Euro im Vergleich zu den Vorjahren wieder deutlich angestiegen.

Dem Punkt „Energieforschung allgemein“ werden jene Aufwendungen zugeordnet, welche von Seiten der Landesministerien nicht weiter differenziert bzw. nicht einzeltechnologisch erfasst werden können.

Die energiepolitischen Vorgaben der Bundesländer reihen sich grundsätzlich in das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung und die darin postulierten Ziele ein. Aufgrund unterschiedlicher geographischer, ökonomischer und politischer Rahmenbedingungen sind zwischen den Bundesländern Unterschiede in der energietechnologiespe-

zifischen Akzentuierung zu beobachten. Grund dafür ist allen voran die Realisierung regionaler Standortvorteile zur nachhaltigen Stärkung ansässiger Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Fördervolumina von Sachsen (44,1 Millionen Euro), Baden-Württemberg (35,6 Millionen Euro), Niedersachsen (33 Millionen Euro), Nordrhein-Westfalen (28,5 Millionen Euro), allen voran jedoch die finanziellen Anstrengungen Bayerns (114,8 Millionen Euro), heben sich deutlich von den restlichen Bundesländern ab. Dennoch ist auch die Energieforschungsförderung in Hamburg (15,8 Millionen Euro), Hessen (9,6 Millionen Euro) und Brandenburg (7,9 Millionen Euro) äußerst bemerkenswert. Die finanziellen Anstrengungen der weiteren Bundesländer bewegen sich zwischen 0,8 und 4,3 Millionen Euro (vgl. Abb. 23).

Im Jahre 2013 trugen die Bundesländer mit einem Volumen von fast 312 Millionen Euro mehr als ein Drittel der gesamtstaatlichen Forschungsförderung im Bereich der nichtnuklearen Energietechnologien. Damit bilden sie eine tragende Säule im Energiewendeprozess und liefern einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der damit verbundenen energiepolitischen Zielvorgaben.

Der ausführliche Bericht „Förderung der nichtnuklearen Energieforschung durch die Bundesländer im Jahre 2013“ kann über die Website des Projektträgers Jülich (unter www.ptj.de/geschaeftsfelder/energie/laenderbericht-energie) abgerufen werden.

4.2 Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union

Die Europäische Union hat sich das Ziel gesetzt, bis 2030 die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 um mindestens 40 Prozent zu reduzieren und den Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch um mindestens 27 Prozent zu erhöhen. Zudem soll sich die Energieeffizienz um mindestens 27 Prozent steigern. Bis 2050 sollen die Treibhausgasemissionen um weitere 80 bis 95 Prozent sinken. Diese große gesamtgesellschaftliche Herausforderung des Übergangs zu einem zuverlässigen, nachhaltigen, bezahlbaren und wettbewerbsfähigen Energiesystem erfordert Forschung und Innovationen für eine erfolgreiche Umsetzung. Ein wichtiges Instrument hierfür ist die Forschungsförderung durch die öffentliche Hand auf nationaler und europäischer Ebene.

4.2.1 Neues Forschungsrahmenprogramm Horizon 2020

Im Januar 2014 wurde das 7. EU-Forschungsrahmenprogramm (FP7) durch ein neues Rahmenprogramm für Forschung und Innovation mit dem Namen „Horizon 2020“

abgelöst. Horizon 2020 führt Aktivitäten im Bereich von Forschung, Entwicklung und Demonstration aus FP7 mit den innovationsrelevanten Teilen aus dem bisherigen Rahmenprogramm für Innovation und Wettbewerbsfähigkeit (CIP) erstmals in einem gemeinsamen Rahmenprogramm zusammen. Zahlreiche Neuerungen in den Förderverfahren, wie beispielsweise eine schnellere Bewilligung der Förderung, einheitliche Förderquoten und Beteiligungsregeln, sollen Forschung und Innovation in der Europäischen Union noch attraktiver gestalten. Insgesamt steht hierfür ein Fördermittelrahmen von rund 80 Milliarden Euro zur Verfügung.

Das Programm ist in drei Schwerpunkte unterteilt: „Wissenschaftsexzellenz“, „Führende Rolle in der Industrie“ und „Gesellschaftliche Herausforderungen“. Die nichtnukleare Energieforschung steht unter der Überschrift „Sichere, saubere und effiziente Energie“ und ist dem Schwerpunkt „Gesellschaftliche Herausforderungen“ zugeordnet. Die Förderung umfasst Forschung, Entwicklung und Innovation sowie flankierende, marktvorbereitende Maßnahmen für Produkte und Dienstleistungen. Im Fokus stehen Projekte, welche die Abhängigkeit von fossilen Energiequellen zu wirtschaftlich darstellbaren Konditionen reduzieren helfen. Das Budget für dieses Themenfeld umfasst Fördermittel in Höhe von 5,9 Milliarden Euro für den Zeitraum von 2014 bis 2020.

Um den Wandel zu einem neuen und wettbewerbsfähigen Energiesystem zu vollziehen, sind im Programm sieben spezifische Ziele und Forschungsfelder im Energiebereich genannt:

1. Reduzierung des Energieverbrauchs durch nachhaltige und intelligente Nutzung bei Konsumenten und Produzenten
2. Weiterentwicklung der Stromversorgung durch erneuerbare Energien inklusive Heizen/Kühlen
3. Flexibilisierung des Energiesystems durch verbesserte Speichertechnologien
4. Alternative Brennstoffe
5. Dekarbonisierung bei der Nutzung fossiler Brennstoffe
6. Ein modernes paneuropäisches Elektrizitätsnetz
7. Energie-, Verkehrs- und Kommunikationslösungen für intelligente Städte und Kommunen

Wichtig für die strategische Ausrichtung sind die Arbeiten zum Europäischen Strategieplan für Energietechnologien (SET-Plan), in dem ein integrierter Ansatz in der Förderung verfolgt wird.

Die ersten Arbeitsprogramme von Horizon 2020 für das Themenfeld „Sichere, saubere und effiziente Energie“ greifen die Schwerpunktbereiche „Energieeffizienz“, „CO₂-arme Energie“ und „Intelligente Städte und Gemeinschaften“ auf. Die Beratung zu den Fördermöglichkeiten in der Energieforschung im Rahmen von Horizon 2020 erfolgt in Deutschland über die Nationale Kontaktstelle Energie (NKS-E) im Auftrag des BMWi.

4.2.2 Abschluss des 7. EU-Forschungsrahmenprogramms

Ziel und Umfang der EU-Forschungsförderung

Die mehrjährigen Rahmenprogramme für Forschung und technologische Entwicklung der Europäischen Kommission, die seit 1984 regelmäßig aufgelegt werden, gehören zu den wichtigsten Instrumenten, die zur Verwirklichung des Europäischen Forschungsraumes beigetragen haben. Die Förderung der europäischen Energieforschung verfolgt in diesem Rahmen das Ziel, das aktuelle europäische Energiesystem in ein nachhaltigeres und wettbewerbsfähiges System zu überführen, welches gleichzeitig eine sichere Energieversorgung in Europa gewährleistet. Der SET-Plan

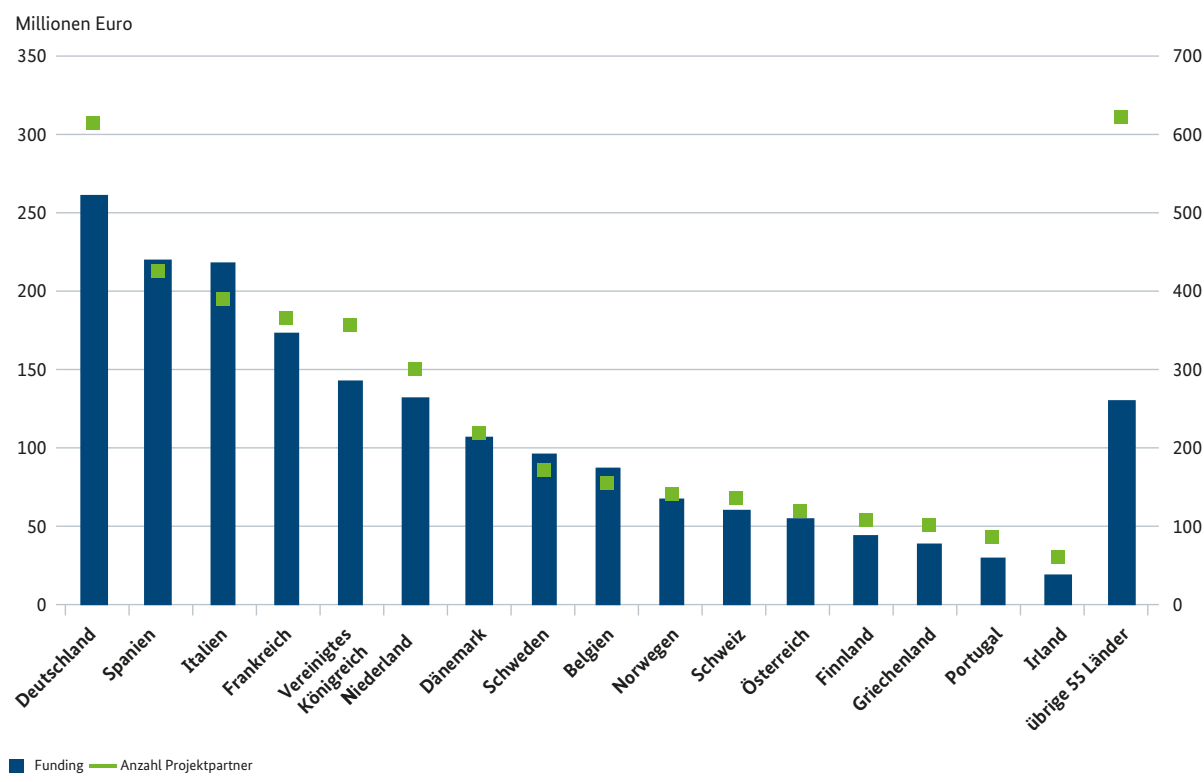
ergänzt dieses Vorhaben, indem er den beschleunigten Ausbau und die Verbreitung kostengünstiger und kohlenstoffemissionsarmer Technologien in den Vordergrund stellt.

Im 7. EU-Forschungsrahmenprogramm (FP7; Laufzeit 2007–2013) war im Bereich der nichtnuklearen Energieforschung (Thema 5 im Spezifischen Programm „Kooperation“) die Förderung von Forschung, technologischer Entwicklung sowie Erstdemonstration vorgesehen. Für entsprechende Energieforschungsvorhaben standen während der gesamten Laufzeit des FP7 rund 2,3 Milliarden Euro zur Verfügung.

Erfolgreiche Beteiligung deutscher Antragsteller im Energiebereich

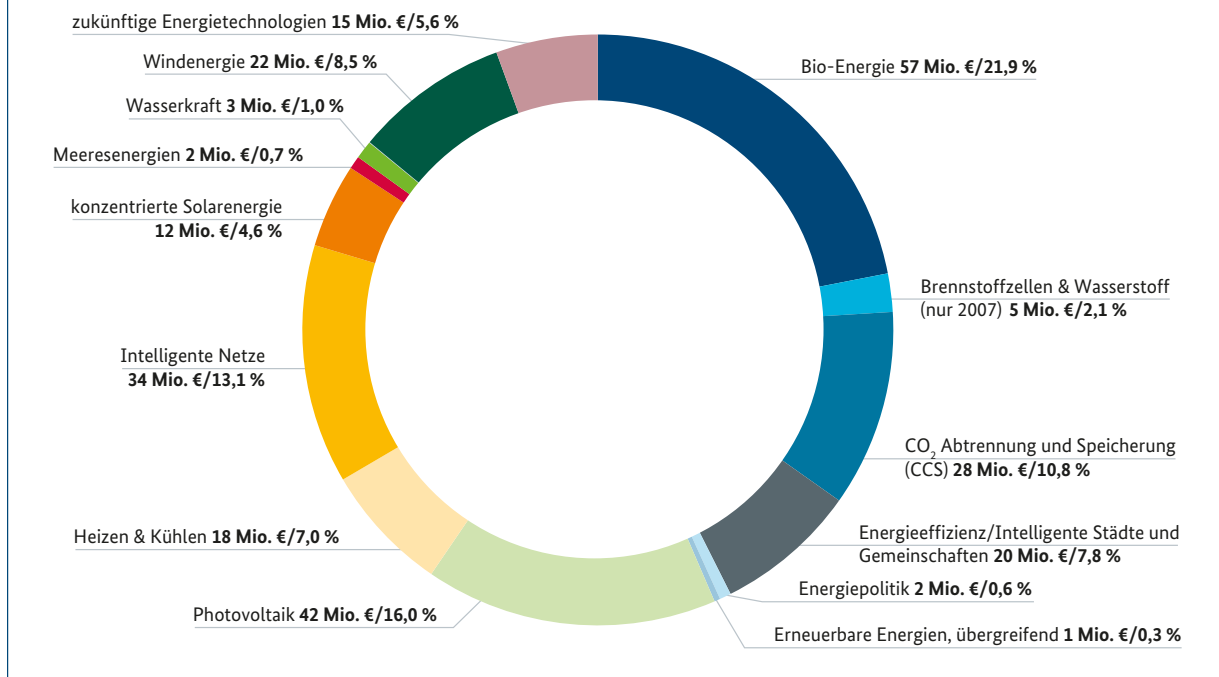
Aus Deutschland haben sich im betrachteten Zeitraum 611 Zuwendungsempfänger (siehe Abb. 24), das sind 25 Prozent aller Antragsteller aus Deutschland, erfolgreich an den Aufrufen zum Thema Energie beteiligt. Etwa 14 Prozent der Fördermittel gingen an Zuwendungsempfänger aus Deutschland. Deutschland nimmt damit eine Spitzenposition ein, gefolgt von Spanien (zwölf Prozent), Italien (zwölf Prozent) und Frankreich (neun Prozent).

Abbildung 24: Länderverteilung der Fördermittel und der Zuwendungsempfänger im Bereich der Energieforschung im 7. Forschungsrahmenprogramm
(Angaben der Europäischen Kommission für die direkte Projektförderung²)



2 Die Daten sind nicht im Tabellenanhang aufgeführt. Die Daten werden regelmäßig in den einschlägigen Publikationen der Europäischen Kommission veröffentlicht.

Abbildung 25: Verteilung von Fördermitteln im FP7 an Zuwendungsempfänger aus Deutschland nach Themenbereichen (2007–2013)



Zuwendungsempfänger aus Deutschland sind an mehr als 73 Prozent aller bewilligten Projekte mit mindestens einem Partner beteiligt. Dabei kooperieren sie besonders häufig mit Partnern aus den Ländern Frankreich, Großbritannien, Spanien, Italien und Niederlande. Etwa 15 Prozent aller Projekte werden von Zuwendungsempfängern aus Deutschland koordiniert.

Eine Analyse der Zuwendungsempfänger aus Deutschland zeigt, dass bezogen auf deren Anzahl etwa 50 Prozent aus Forschungsinstituten und Hochschulen stammen. Rund 42 Prozent kommen aus Unternehmen, von denen wiederum 36 Prozent kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zuzuordnen sind.

Schwerpunkte der Energieforschung

In Abb. 25 ist die Verteilung von Fördermitteln an Zuwendungsempfänger aus Deutschland nach unterschiedlichen Themenbereichen über die Gesamtlaufzeit des FP7 dargestellt. Die Zahlen zeigen eine deutliche Fokussierung auf Themen aus dem Bereich erneuerbare Energien. Die Förderthemen Wasserstoff und Brennstoffzellen sind in der Abbildung nicht aufgeführt, da sie im Rahmen der gemeinsamen Technologieinitiative für Brennstoffzellen und Wasserstoff – einer Öffentlich-Privaten Partnerschaft (ÖPP) – gefördert wurde. Darüber hinaus gibt es weitere energierelevante Förderthemen, die aus anderen Bereichen des FP7 gefördert wurden. Das betrifft beispielsweise den Gebäudesektor, den Bereich der Materialforschung oder Produktionstechnologien.

5. Tabellen

5.1 Fördermittel für Energieforschung der Bundesregierung

Die folgenden Tabellen für die Bundesförderung stellen die in den jeweiligen Haushaltsjahren für die einzelnen Förderbereiche abgeflossenen Mittel dar. Die Daten wurden im Januar 2015 erhoben. Geringfügige Abweichungen zu früheren Berichten können sich durch nachträgliche Korrekturen infolge von Rückzahlungen ergeben.

Zusätzlich dargestellt wird für das Berichtsjahr 2014 die Anzahl der laufenden (inkl. der noch nicht abgeschlossenen) Projekte, die Anzahl der neu bewilligten Projekte sowie die dadurch festgelegte Fördersumme, die sich während der typischerweise mehrjährigen Projektlaufzeit auf die Folgejahre verteilt.

Tabelle 1: Übersicht der Themen im 6. Energieforschungsprogramm des Bundes

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. Euro								
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Energieeffizienz	110,34	133,95	151,55	189,31	206,13	215,14	239,06	296,64	300,80
Erneuerbare Energien	120,23	126,47	152,86	202,01	210,61	221,91	258,85	298,10	303,30
Nukleare Sicherheit und Endlagerung	54,33	57,58	62,59	70,41	71,93	73,03	74,74	75,62	76,95
Fusion	114,41	121,52	125,58	142,65	131,03	137,44	133,10	138,72	138,14
Insgesamt	399,31	439,52	492,58	604,37	619,71	647,52	705,75	809,09	819,20

Tabelle 2: Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Energieumwandlung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. Euro			Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. Euro
	2012	2013	2014	laufend in 2014	neu bewilligt in 2014	neu bewilligt in 2014
Photovoltaik (inkl. andere Programme)	67,08 (85,69)	63,59 (81,16)	58,34 (64,92)	334	104	73,24
Kristallines Silizium	30,40	30,51	26,72	130	50	40,12
Dünnschichttechnologien		12,69	11,31	82	21	12,99
Grundlagenforschung (inkl. andere Programme)	15,62 (34,23)	14,87 (32,44)	15,00 (21,59)	74	14	6,33
Sonstige	5,73	5,53	5,31	48	19	13,80
Windenergie	38,42	52,57	53,06	242	63	38,51
Anlagenentwicklung	2,62	15,07	21,93	60	19	17,88
Onshore	0,62	0,51	0,50	5	1	0,91
Offshore	3,34	12,23	12,72	40	11	6,66
Windphysik und Meteorologie	0,12	1,73	2,33	12	2	0,84
Logistik, Anlageninstallation, Instandhaltung und Betriebsführung	23,00	12,88	8,39	59	19	7,37
Umweltaspekte der Windenergie und Ökologische Begleitforschung	1,43	2,33	2,64	20	6	2,74
Sonstige	7,29	7,82	4,54	46	5	2,12

Tabelle 2: Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Energieumwandlung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. Euro			Anzahl Projekte		Fördersumme
	2012	2013	2014	laufend in 2014	neu bewilligt in 2014	in Mio. Euro neu bewilligt in 2014
Bioenergie³ (inkl. andere Programme)	33,51 (41,23)	36,70 (42,78)	37,94 (39,08)	465	78	17,97
Erzeugung – Anbau	6,91	6,31	5,98	51	2	0,84
Erzeugung – Züchtung	4,43	5,25	4,77	92	10	2,55
Konversion – Biogas	4,61	4,87	5,27	115	37	7,95
Konversion – Biokraftstoffe	4,11	6,12	6,19	69	13	3,56
Konversion – Feste Biomasse	2,78	0,94	0,73	21	10	2,08
Querschnitt – Umweltwirkungen	1,03	1,33	1,26	13	2	0,28
Querschnitt – Internationales	0,01	0,02	0,05	2	2	0,22
Querschnitt – Ökonomie	–	–	0,06	1	1	0,36
Grundlagenforschung (inkl. andere Programme)	8,81 (16,53)	9,99 (16,06)	12,16 (13,30)	79	1	0,14
Sonstige	0,83	1,87	1,48	22	–	–
Tiefe Geothermie	20,82	17,10	15,55	106	15	12,65
Prospektion und Exploration	8,39	7,28	9,13	66	10	5,26
Warmwasser- und Dampflagerstätten	4,36	4,97	3,03	13	4	6,96
Hot-Dry-Rock	3,69	0,91	0,33	2	–	–
Sonstige	4,37	3,94	3,05	25	1	0,43
Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien (inkl. andere Programme)	27,54 (28,58)	31,62 (35,09)	29,60 (30,96)	266	55	23,79
Fortgeschrittene Kraftwerkssysteme	10,76	7,45	6,36	42	4	2,92
Komponentenentwicklung	9,18	16,52	18,19	179	49	15,61
Kohlevergasung	2,39	1,54	1,46	5	2	5,26
Grundlagenforschung (inkl. andere Programme)	4,54 (5,58)	3,79 (7,27)	2,86 (4,22)	33	–	–
Sonstige	0,68	2,32	0,74	7	–	–
Brennstoffzellen und Wasserstoff	19,47	24,88	27,16	117	29	23,68
NT-PEM	6,15	6,68	9,92	53	10	4,81
HT-PEMFC	1,30	1,75	1,21	10	–	–
MCFC	0,55	0,14	0,30	2	2	5,01
SOFC	7,40	11,10	7,84	25	7	5,23
DMFC	0,56	0,34	0,06	–	–	–
Wasserstoffspeicher	1,98	3,16	2,25	12	–	–
Wasserstofferzeugung	0,83	0,63	0,30	1	–	–
Grundlagenforschung	0,71	1,08	3,04	5	1	2,19
Sonstige	–	–	2,23	9	9	6,45

³ Aufgrund eines Übertragungsfehlers war die Zuordnung im Bereich Konversion im Bundesbericht Energieforschung 2014 in einigen Zeilen vertauscht. Dies wurde korrigiert und führt zu Abweichungen in den Einzelsummen im Bereich Konversion. →

Tabelle 2: Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Energieumwandlung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. Euro			Anzahl Projekte		Fördersumme
	2012	2013	2014	laufend in 2014	neu bewilligt in 2014	in Mio. Euro neu bewilligt in 2014
Solarthermische Kraftwerke	7,45	8,41	9,25	77	22	7,44
Parabol	3,67	2,25	1,84	13	–	–
Turm	2,01	2,50	3,59	39	11	2,76
Fresnel	0,68	0,63	0,82	1	–	–
Speicher	0,30	1,79	1,41	6	–	–
Sonstige		1,24	1,59	18	11	4,68
Wasserkraft und Meeresenergie	0,98	1,25	1,21	15	6	2,02
Gesamt (inkl. andere Programme)	215,26 (242,63)	236,12 (263,24)	232,11 (241,19)	1622	372	199,31

Tabelle 3: Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Energieverteilung und Energienutzung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. Euro			Anzahl Projekte		Fördersumme
	2012	2013	2014	laufend in 2014	neu bewilligt in 2014	in Mio. Euro neu bewilligt in 2014
Energiespeicher (inkl. andere Programme)	31,02 (38,90)	59,30 (61,46)	56,99 (57,26)	328	67	39,14
Elektrochemische Speicher	14,48	23,87	19,86	87	7	13,68
Hochtemperaturspeicher	0,47	0,47	1,52	21	–	–
Mechanische Speicher	1,19	3,26	1,53	13	4	2,18
Elektrische Speicher	0,74	0,28	0,05	13	18	8,08
Niedertemperaturspeicher	1,53	3,37	5,13	44	6	2,17
Grundlagenforschung (inkl. andere Programme)	10,20 (18,08)	19,37 (21,53)	17,21 (17,48)	88	10	3,75
Sonstige	2,41	8,67	11,70	62	22	9,28
Netze	16,74	30,95	34,88	333	202	100,29
Komponenten	1,93	10,15	12,12	75	23	16,46
Netzplanung	0,78	2,51	3,24	34	18	6,80
Betriebsführung	9,74	12,62	10,40	116	105	46,38
Systemstudien	0,06	1,68	3,60	25	–	–
Grundlagenforschung	3,06	0,49	1,26	48	50	29,26
Sonstige	1,17	3,50	4,26	35	6	1,40
Energieeffizienz in Gebäuden und Städten	45,81 (47,74)	56,76 (58,94)	60,55 (63,53)	432	98	47,19
EnOB – Solaroptimiertes Bauen	19,65	25,50	30,95	223	55	23,70
EnEff:Stadt – Versorgungskonzepte	7,85	9,69	9,28	62	21	14,23
EnEff:Stadt – Fernwärme	2,50	3,53	3,75	27	7	2,76
EnEff:Stadt – Kraft-Wärme-Kopplung	2,93	4,61	2,65	17	–	–
Niedertemperatur-Solarthermie	4,90	6,47	6,36	68	15	6,50

Tabelle 3: Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Energieverteilung und Energienutzung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. Euro			Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. Euro
	2012	2013	2014	laufend in 2014	neu bewilligt in 2014	neu bewilligt in 2014
Solare Kälte	1,73	1,21	1,02	9	–	–
Grundlagenforschung	3,63	4,49	5,36	20	–	–
(Forschungsinitiative Zukunft Bau)	(1,93)	(2,18)	(2,98)	(47)	(9)	(1,28)
Sonstige	2,62	1,25	1,19	6	–	–
Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und bei Dienstleistungen	30,01	36,38	34,70	275	84	40,36
Maschinen-, Fahrzeugbau, Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik, EBM-Waren	10,90	14,97	16,07	81	14	12,51
Eisen- und Stahlindustrie	2,42	1,54	0,69	15	3	0,84
Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden, Feinkeramik, Glasgewerbe	2,05	2,41	1,45	5	–	–
Wärmepumpen, Kältemittel	1,28	2,99	2,58	19	5	2,66
Industrieöfen	1,19	0,83	0,67	11	–	–
Mechanische und thermische Trennverfahren	0,39	1,57	1,79	14	5	2,66
Chemische Industrie, Herstellung von Kunststoff- und Gummiwaren	1,52	2,79	4,05	47	28	7,55
NE-Metallindustrie	0,44	0,56	0,72	10	–	–
Wärmetauscher	2,11	1,82	1,13	12	2	2,11
Solare Prozesswärme	0,35	0,25	0,10	1	–	–
Grundlagenforschung	–	–	1,76	1	1	1,76
Sonstige	7,35	6,64	3,68	59	26	10,28
Gesamt	123,57	183,39	187,11	1368	451	226,98
(inkl. andere Programme)	(133,38)	(187,72)	(190,36)			

Tabelle 4: Mittelabfluss in der übergreifenden Projektförderung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. Euro			Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. Euro
	2012	2013	2014	laufend in 2014	neu bewilligt in 2014	neu bewilligt in 2014
Querschnittsthemen und Systemanalyse	8,60	11,70	10,82	92	26	8,15
Systemanalyse	1,57	2,38	3,03	27	15	5,59
Informationsverbreitung	2,49	3,27	3,33	10	–	–
Querschnittsthemen	4,10	5,38	4,13	52	11	2,56
Sonstige	0,44	0,66	0,33	3	–	–
Gesamt	8,60	11,70	10,82	92	26	8,15

Tabelle 5 – Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Grundlagenforschung des BMBF

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. Euro			Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. Euro
	2012	2013	2014	laufend in 2014	neu bewilligt in 2014	neu bewilligt in 2014
Sozial-ökologische Forschung (inkl. andere Programme)	–	1,18 (3,08)	3,25 (8,58)	35	–	–
Energiematerialien	–	–	0,72	45	45	25,34
Projektbezogene Fusionsforschung	2,58	6,29	5,55	13	1	0,20
Sonstige Projektförderung des BMBF (inkl. andere Programme)	7,11 (7,11)	2,35 (3,23)	3,93 (3,93)	18	1	2,90
Gesamt (inkl. andere Programme)	9,69 (9,69)	9,82 (12,61)	13,45 (18,79)	111	47	28,44

Tabelle 6 – Mittelabfluss der Projektförderung im Bereich Nukleare Sicherheitsforschung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. Euro			Anzahl Projekte		Fördersumme in Mio. Euro
	2012	2013	2014	laufend in 2014	neu bewilligt in 2014	neu bewilligt in 2014
Endlager- und Entsorgungsforschung	12,30	13,23	13,58	98	17	10,39
Endlagerforschung	9,84	10,39	10,25	77	11	5,59
Kernmaterialüberwachung	0,54	0,53	0,53	1	1	1,61
Partitioning und Transmutation	0,18	0,15	0,19	1	–	–
Nachwuchsförderung	1,74	2,17	2,61	19	5	3,20
Reaktorsicherheitsforschung	24,38	23,43	25,10	140	37	23,18
Sicherheit von Komponenten kern- technischer Anlagen	5,28	4,01	4,38	38	15	7,50
Anlagenverhalten und Unfallabläufe	11,25	12,09	12,51	58	16	8,76
Querschnittsaufgaben und Sonstige	5,08	5,72	4,81	22	4	5,59
Nachwuchsförderung	2,77	1,62	3,39	22	2	1,33
Strahlenforschung – Nachwuchsförderung	4,91	4,95	4,61	60	18	11,94
Gesamt	41,59	41,61	43,29	298	72	45,52

Tabelle 7 – Mittelabfluss in der Institutionellen Energieforschung

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. Euro	
	2012	2013
Rationelle Energieumwandlung und -nutzung	67,34	70,34
Erneuerbare Energien	50,75	53,74
Nukleare Sicherheitsforschung	31,64	32,22
Kernfusion	130,52	132,43
Technologie, Innovation und Gesellschaft	9,92	10,05
Insgesamt	290,17	298,78

5.2 Fördermittel für Energieforschung der Bundesländer

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

für Regionale Entwicklung (EFRE) wird nur der Eigenanteil der Länder berücksichtigt. Zahlen für 2014 liegen noch nicht vor.

Tabelle 8: Mittelabfluss der Bundesländer nach Themen

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

⁴ Ab 2013 fachliche Aufteilung in drei Themenbereiche.

Tabelle 9 – Aufwendungen der Bundesländer für nichtnukleare Energieforschung

Bundesland	Mittelabfluss in Mio. Euro					
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Baden-Württemberg	11,54	26,83	15,10	23,12	24,77	35,55
Bayern	16,67	14,14	22,64	32,28	88,13	114,82
Berlin	3,87	15,53	4,73	2,10	3,03	0,88
Brandenburg	11,34	4,65	4,37	5,81	4,03	7,86
Bremen	2,71	2,42	2,78	3,61	2,71	3,46
Hamburg	1,15	1,56	0,61	1,27	2,01	15,76
Hessen	7,02	5,77	9,10	8,12	12,57	9,63
Mecklenburg-Vorpommern	–	1,64	5,68	3,99	8,76	3,22
Niedersachsen	15,74	24,60	26,36	30,53	32,82	33,00
Nordrhein-Westfalen	31,52	22,68	31,80	26,55	37,27	28,52
Rheinland-Pfalz	2,43	2,76	2,40	2,79	2,10	2,43
Saarland	0,95	1,17	0,51	1,12	0,87	0,75
Sachsen	14,18	29,26	17,42	23,60	24,88	44,06
Sachsen-Anhalt	2,51	3,83	7,81	6,04	3,43	4,11
Schleswig-Holstein	4,12	3,54	3,10	2,08	1,83	4,28
Thüringen	3,10	0,78	2,68	1,36	3,55	3,40
Insgesamt	128,87	161,14	157,11	174,39	252,78	311,74

