



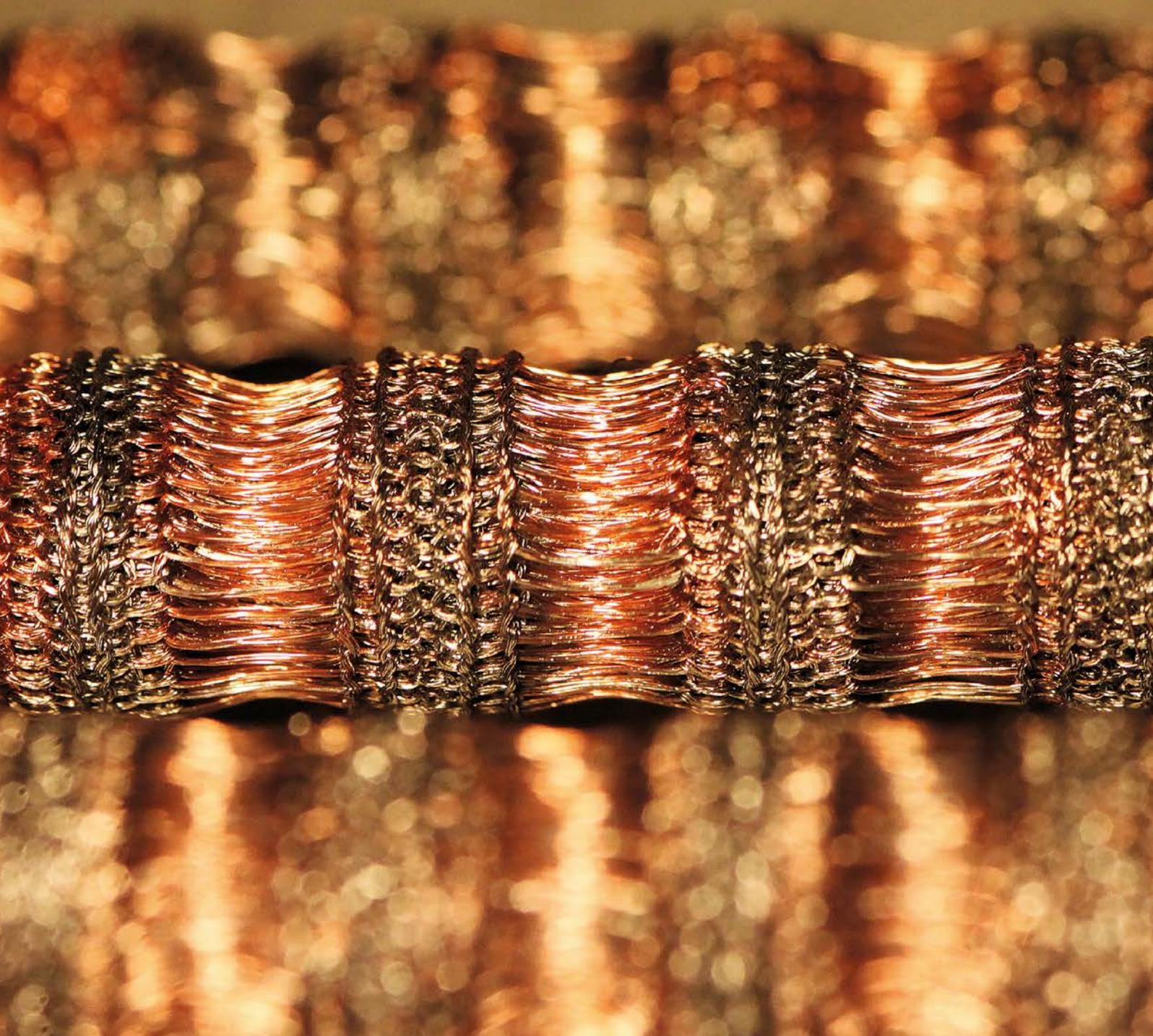
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Energie **wende**
Umschalten auf Zukunft

Energiewende – ein gutes Stück Arbeit

Innovation durch Forschung

*Erneuerbare Energien und Energieeffizienz:
Projekte und Ergebnisse der Forschungsförderung 2017*



Impressum

Herausgeber

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

Stand

Februar 2018

Druck

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

Gestaltung

PRpetuum GmbH, 80801 München

Bildnachweis

Adwen GmbH / S. 23
ASTOC/MESS / S. 98
BASF – The Chemical Company / S. 121
Joachim Berns / S. 88

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi
BMWi / S. 80–81, 124, 137
Maria Parussel / S. 13, 38–39, 85, 89, 114–116, 117,
Holger Vonderlind / BMWi / S. 8, 14–15, 17, 21, 26–27, 29, 44–45, 49, 59,
69, 72, 122–123, 134–135

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) / S. 43
CWD RWTH Aachen / S. 22
DaiLion, Battery Lab Factory, Braunschweig, 2017 / S. 119
Dr. Schneider Unternehmensgruppe / S. 68
DLR / S. 36
DLR/Thomas Ernsting / S. 61
ElringKlinger AG / S. 69
Firma Petra Hegi GmbH im Unterauftrag der Hydroisotop GmbH / S. 45
Forschungszentrum Küste, Hannover / S. 20
Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen
SCAI / S. 129
Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosystem (Aktorpanel) /
Technische Universität Chemnitz (Rotorblätter) / S. 21
Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme
IMS / S. 113
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE / Titel, S. 90, 103, 128, 134
Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM / S. 24
SCAI / S. 129
Harald Garrecht / S. 96
Helmut Gross / S. 23
Marcus Hauschild / DLR / S. 35
Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg / S. 100
Roland Horn / S. 74
Infineon Technologies AG / S. 120
innogy SE / S. 112

istock

B&M Noskowski / S. 104–105
49pauly / S. 46
sasaperic / S. 47

IZES gGmbH / S. 53

Karlsruher Institut für Technologie KIT, Elektronisches Institut / S. 76
Esther Sarah Klemm / S. 74
Leibniz Universität Hannover, Institut für Statistik und Dynamik / S. 25
Ralf-Uwe Limbach / Forschungszentrum Jülich GmbH / S. 10, 64, 97
Linde Group. Line Pilot Reformer (2015) / S. 113
Mainzer Stadtwerke AG / S. 78
MVV Netze GmbH / S. 86
Nordex Energy GmbH / S. 18–19

Projekträger Jülich PtJ
Mareike Lenzen / S. 70–71

PtJ / S. 136

Manuela Richter / S. 41
Ilse Trautwein / S. 11, 37
Dr. Lothar Wissing / S. 41
Privat / S. 84
Dr. Dieter Pudlo / Friedrich-Schiller-Universität Jena / S. 77
RCT Solutions und ISC Konstanz / S. 33
Ch. Schöner/Fraunhofer ISE / S. 34
SCHOTT AG / S. 110–111
SCHOTTEL HYDRO GmbH / S. 53
SINGULUS TECHNOLOGIES AG / S. 32
SWM / Marcus Schlaf / S. 42
SWM / S. 50

Technische Universität Clausthal / S. 44
Technische Universität Darmstadt / S. 108–109
Technische Universität Dresden / S. 99

Thinkstock

AwakenedEye / S. 52
Michael Blann / S. 132–133
chombosan / S. 127
Gyuzsko / S. 6–7
ivansmuk / S. 95
luchschchen / S. 62–63
Mustang_79 / S. 92–93
NicoElNino / S. 104
Marchcattle / S. 101
seewhatmitchsee / S. 130–131

Universität Kassel / S. 91
Universität Rostock, ITMZ 2017 / S. 58
VARTA Microbattery GmbH / S. 79
VON ARDENNE GmbH / S. 30–31
Christian Walter / S. 66
WISTA MANAGEMENT GmbH / S. 102
www.siemens.com/presse / S. 54–55, 56, 60, 87
ZSW – Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung,
Baden-Württemberg / S. 34, 118

Bestellmöglichkeit

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

Zentraler Bestellservice

Telefon: 030 18 272 2721
Bestellfax: 030 1810 272 2721

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

Das Titelbild zeigt ein Kupferrundrohr, auf dessen Oberfläche Strukturen aus Kupferdraht verlötet wurden. Die Oberfläche wird dadurch vergrößert – unter anderem wichtig für Wärmeübertrager, die in Wärmepumpen oder Kältemaschinen eingesetzt werden. Drahtbasierte Wärmeübertrager-Strukturen werden am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE gemeinsam mit Partnern untersucht und entwickelt.





Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Energiewende – ein gutes Stück Arbeit

Innovation durch Forschung

Erneuerbare Energien und Energieeffizienz:

Projekte und Ergebnisse der Forschungsförderung 2017



14
Windenergieanlagen tragen entscheidend zur „grünen“ Stromwende bei.



70
Speicherlösungen sind in allen Bereichen des Energiesystems gefragt.



80
Flexible Stromnetze sind wichtig für eine sichere Energieversorgung.



26
Photovoltaikanlagen und solarthermische Kraftwerke nutzen die Kraft der Sonne.



92
Gebäude und Quartiere haben Potenzial für eine energieeffiziente Versorgung.



38
Im Untergrund steckt das Potenzial für eine nachhaltige Wärmeversorgung.



104
Energieeffiziente Technologien stärken Deutschlands Position im Wettbewerb.



46
Wasserkraft und Biomasse sind verlässliche und planbare Lieferanten.



114
Batterien sind der Schlüssel zur Elektromobilität.



54
Konventionelle Kraftwerke wandeln sich zu flexiblen Dienstleistern.



122
Die Systemanalyse spielt mögliche Energieszenarien durch.



62
Brennstoffzellen und Wasserstoff reduzieren die Abhängigkeit vom Erdöl.

Inhalt

Vorwort	5
Forschung und Entwicklung für die Energiewende	6
Windenergie	14
Solarenergie	26
Geothermie	39
Biomassenutzung, Wasserkraft	47
Kraftwerkstechnik sowie CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung	55
Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien	62
Energiespeicher	70
Stromnetze und Netzintegration erneuerbarer Energien	80
Energieoptimierte Gebäude und Quartiere	92
Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	105
Elektromobilität	115
Energiesystemanalyse	122
Internationale Zusammenarbeit	131
Gewusst wie: Projektförderung in der Energieforschung	136
Statistischer Überblick	138
Wichtige Links	140

Vorwort



Die Energiewende im Stromsektor hat längst volle Fahrt aufgenommen. Um die Energiewende als Ganze zu einem Erfolgsmodell zu machen, müssen wir aber das gesamte Energiesystem umgestalten. Das heißt für uns: Wir müssen von der Stromwende zur Energiewende vorankommen. Das ist eine große Herausforderung. Sie bietet jedoch auch große Chancen. Wir sehen schon heute: Die zuverlässige, umweltfreundliche und bezahlbare Energieversorgung entwickelt sich zu einem Erfolgsmodell für die innovativen Unternehmen in unserem Land.

Die Energieforschung adressiert beide Pfeiler der Energiewende – den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien wie auch die Energieeffizienz. Denn klar ist: Ohne Energieeffizienz wird die Energiewende nicht gelingen. Das gilt für den Stromsektor, für die Industrie, den Verkehr und den Gebäudebereich. Die Wechselwirkungen zwischen den Sektoren sind genauso Untersuchungsgegenstand wie das Energiesystem als Ganzes.

Die heute erreichten Erfolge in der Energiewende – bei der Windkraft, bei der Photovoltaik, bei Biomasse und Geothermie – gehen auf Innovationen aus der Vergangenheit zurück. Damit ernten wir die Früchte der Ideen, die findige Forscher vor Jahren in Laboren und Entwicklungsabteilungen von Unternehmen hatten. Um auch zukünftig erfolgreich zu sein, muss dieser Innovationsprozess verstetigt werden. Mit der finanziellen Förderung aus dem Energieforschungsprogramm und der organisatorischen Unterstützung durch die Forschungsnetzwerke schafft die Bundesregierung ein Umfeld, in dem die vielfältigen Innovationen für das Energiesystem der Zukunft entstehen und weiterentwickelt werden können.

Die Forschungsförderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie ist technologieoffen gestaltet. Lesen Sie im Folgenden, wie sich neue Erkenntnisse bei der Gestaltung von Rotoren in Windenergieanlagen, bei der Fertigung von Photovoltaikzellen, bei der Verstromung von Wasserstoff in Brennstoffzellen oder bei der Gebäudetechnik zusammen mit vielen weiteren Facetten zu einem Mosaik zusammensetzen, in dem sich das Energiesystem der Zukunft abzeichnet.

Ich wünsche Ihnen eine interessante und informative Lektüre.

Peter Altmaier
Bundesminister für Wirtschaft und Energie



Forschung und Entwicklung für die Energiewende

Nachhaltig und sicher, bezahlbar und effizient: Das sind die Ziele der Energiewende. Deutschland hat beim Umbau des Energieversorgungssystems bereits viel erreicht. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie trägt dazu bei – mit einer anwendungsorientierten Forschungsförderung.





Windenergieanlagen auf dem freien Feld, klimaneutrale Gebäude und Elektrofahrzeuge in den Städten: Die Energiewende schon die Umwelt und schafft gleichzeitig neue Geschäftsfelder und Arbeitsplätze. Damit der Technologievorsprung auch international weiter ausgebaut wird, fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Forschungsprojekte von Hochschulen, wissenschaftlichen Institutionen und Unternehmen, die innovative Technologien und Konzepte für das Energiesystem entwickeln und auf den Markt bringen.

Deutschland verfolgt klare energiewirtschaftliche und klimapolitische Ziele. Im Jahr 2025 beispielsweise sollen 40 bis 45 Prozent des verbrauchten Stroms aus erneuerbaren Energiequellen stammen, die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 reduziert sein. Um diese Ziele zu erreichen, sind kontinuierlich technische Entwicklungen und gesellschaftliche Lösungen in vielen Bereichen gefragt. Windenergie- oder Photovoltaikanlagen müssen effizienter und leistungsstärker werden, Speicher und innovative Kraftstoffe wirtschaftlicher, um zur Markt-

Regenerative Energiequellen wie Wind oder Sonne tragen entscheidend zum Erfolg der Energiewende bei.

reife zu gelangen. Stromnetze müssen in ein intelligentes System eingebettet werden, das die notwendige Versorgungssicherheit auch in Extremsituationen gewährleistet. Auf der Verbrauchsseite muss die Energienutzung effizienter werden: Hierzu sind energieoptimierende bauliche Maßnahmen notwendig, um auch im Bestand noch mehr klimaneutrale Gebäude und Quartiere entstehen zu lassen, die umweltverträglich und effizient geheizt oder gekühlt werden. In Industrie und Gewerbe müssen bestehende Prozesse weiterentwickelt und neue Verfahren gefunden werden, um den Energieverbrauch ohne Kompromisse bei der Produktqualität dauerhaft zu senken.

Das BMWi unterstützt mit seiner strategischen und anwendungsorientierten Forschungsförderung innovative Projekte von Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen, die dazu beitragen, die klima- und energiepolitischen Ziele der Bundesregierung umzusetzen. Dazu müssen auch bereits vorhandene Technologien trotz der in den letzten Jahren erreichten Fortschritte durch Forschung und Entwicklung noch zukunftsfähiger und kostengünstiger werden. Die geförderten Forschungsvorhaben, von denen dieser Bericht exemplarisch eine Auswahl vorstellt, sind zeitlich befristet und inhaltlich klar umrissen. So kann immer wieder sichergestellt werden, dass die



Die angewandte nicht-nukleare Energieforschung im Jahr 2017

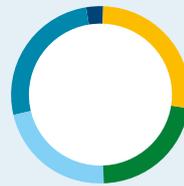


853
Verbundprojekte

Insgesamt
3.655
laufende
Forschungsprojekte



471,63
Millionen Euro Fördergelder
(Mittelabfluss)



Verteilung der Fördermittelempfänger 2017 in Prozent:

- Bildungseinrichtungen: 27
- Forschungseinrichtungen: 22
- Großunternehmen: 22
- KMU: 26
- Sonstige: 3

Die aktivsten Forschungsbereiche*

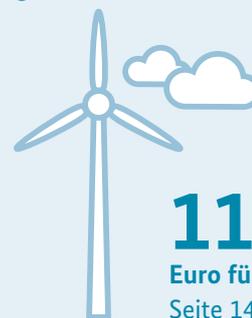
124,41 Millionen
Euro für Energieeffizienz-
Forschung bei Gebäuden
und Quartieren
Seite 92



129,81 Millionen
Euro für Photovoltaik
Seite 26



97,39 Millionen
Euro für Energieeffizienz-Forschung
in Industrie, Gewerbe, Handel
und bei Dienstleistungen
Seite 105



118,16 Millionen
Euro für Windenergie
Seite 14

* Gemessen an den Gesamtkosten der neu gestarteten Projekte

Forschungsförderung bedarfsgerecht erfolgt. Wichtig für den Erfolg der Energieforschung ist zudem der Transfer der Forschungsergebnisse in marktfähige Anwendungen. Dies ist nicht nur der Energiewende zuträglich, sondern hilft auch deutschen Unternehmen dabei, ihre führende Position auf vielen Gebieten der modernen Energietechnologie auszubauen und erfolgreich im internationalen Markt zu agieren.

Im Vergleich zum Vorjahr hat sich die Zahl der neu bewilligten Förderprojekte leicht verringert: von 996 neu bewilligten Projekten im Jahr 2016 mit einer Bewilligungssumme von rund 552 Millionen Euro auf 937 Projekte im Jahr 2017 mit einer Bewilligungssumme von rund 547,2 Millionen Euro. Dafür ist mit 471,6 Millionen Euro 2017 deutlich mehr Geld in laufende Projekte geflossen als im Jahr zuvor (2016: 374,7 Millionen Euro).



Stellte die Meilensteine der bisherigen Energieforschung vor:
Brigitte Zypries, ehemalige Bundesministerin für Wirtschaft und Energie.



Im Mai 2017 blickte die Bundesregierung in einem Festakt in Berlin auf vier Jahrzehnte erfolgreiche Energieforschung zurück.

40 Jahre Energieforschungsprogramme

Energieforschungsförderung hat in Deutschland eine vier Jahrzehnte währende Tradition. Im Mai 2017 blickte die Bundesregierung in einem Festakt in Berlin auf 40 Jahre erfolgreiche Energieforschung zurück. Vor dem Hintergrund der Ölpreiskrise war 1977 unter der Federführung des Bundesministeriums für Forschung und Technologie das 1. Energieforschungsprogramm „Energieforschung und Energietechnologien“ aufgelegt worden. Es stellte damals eine politische Trendwende dar: Bis dahin war die Förderpolitik des Bundes vor allem auf die Sicherung der Energieversorgung ausgerichtet. Mit dem neuen Programm hatte die Bundesrepublik Deutschland erstmals ein umfassendes Forschungsförderprogramm initiiert, das neben der Energieversorgung auch die Energieeffizienz zur politischen Leitlinie erhob. Mehrere Programme folgten. 2011 wurde das derzeit gültige 6. Energieforschungsprogramm verab-

In 40 Jahren Energieforschungsprogramm sind in den Bereichen Energieeffizienz und Erneuerbare Energien rund 17.300 Projekte mit etwa 12 Milliarden Euro gefördert worden.

schiedet. Es ist in seinen Inhalten stark durch den Beschluss zum Ausstieg aus der Kernenergie geprägt und forschungspolitisch an den Zielen der Energiewende ausgerichtet.

7. Energieforschungsprogramm in Vorbereitung

Neben dem Rückblick auf 40 Jahre Energieforschungsprogramm fand 2017 ein transparenter und breit angelegter Konsultationsprozess zum geplanten 7. Energieforschungsprogramm statt, den das BMWi koordiniert hat. Partizipation war bei dem im Dezember 2016 gestarteten Prozess ausdrücklich gewünscht: So nutzten zahlreiche Forschungsorganisationen, Verbände, Unternehmen und weitere Interessensvertreter die Gelegenheit, Positionspapiere einzureichen. Auch die Mitglieder der sieben Forschungsnetzwerke Energie des BMWi erarbeiteten Expertenempfehlungen, die mögliche Forschungsschwerpunkte aufzeigten (siehe auch „Im Fokus: Forschungsnetzwerke Energie“, Seite 11). Um spezifische regionale Besonderheiten im 7. Energieforschungsprogramm berücksichtigen zu können, sind zudem die Bundesländer eng in den Beteiligungsprozess eingebunden worden.

Drei wesentliche Trends – die Dekarbonisierung, Dezentralisierung und Digitalisierung – setzen sich fort. Sie werden die Entwicklung des Energiesektors und damit auch die Forschungsförderung in diesem Bereich in den kommenden Jahren mitbestimmen. Die Dekarbonisierung, das heißt die Abkehr von einer fossilen Energieversorgung, führt auch zu einer Dezentralisierung im Energiesystem: Statt weniger großer Kraftwerke speisen immer mehr kleine Energieerzeuger wie Windparks oder Photovoltaikanlagen in das Gesamtsystem ein, viele davon zudem unregelmäßig, da Wind und Sonne witterungsbedingt nicht immer zur Verfügung stehen. Die Herausforderungen an das Versorgungsnetz nehmen unter diesen Gegebenheiten zu. Die

Im Fokus: Forschungsnetzwerke Energie

Politik und Forschung im Dialog

Das BMWi hat seit 2014 sieben Forschungsnetzwerke zu energieforschungsrelevanten Themen initiiert. Die Netzwerke laden zum offenen Austausch zwischen allen wesentlichen Akteuren zu einem bestimmten Themenschwerpunkt der Energieforschung ein. Mittlerweile existieren Netzwerke zu erneuerbaren Energien, Stromnetzen, energieoptimierten Gebäuden und Quartieren, flexibler Energieumwandlung, Systemanalyse, Bioenergie und Energie in Industrie und Gewerbe. Sie dienen als Schnittstelle zwischen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Ihr Ziel ist es unter anderem, Forschungsschwerpunkte aufzuzeigen und passende Förderstrategien zu entwickeln.

Im Dezember 2016 hat das BMWi als federführendes Ministerium für die Energiewende den Konsultationsprozess für ein neues Energieforschungsprogramm gestartet. Hierfür haben die Mitglieder aller Forschungsnetzwerke konkrete Expertenempfehlungen erarbeitet, in welchen Bereichen aus ihrer Sicht künftig Forschungsbedarf besteht und welche Förderschwerpunkte sie als sinnvoll erachten.

Die Expertenempfehlungen aus den Forschungsnetzwerken sind am 28. November 2017 bei der Sitzung der Energie-



Die Forschungsnetzwerke des BMWi tragen maßgeblich dazu bei, alle wesentlichen Akteure der Energieforschung zu vernetzen.

wende-Plattform Forschung und Innovation an BMWi-Vertreter übergeben worden und fließen zusammen mit weiteren Stellungnahmen und Expertenempfehlungen in die Formulierung des neuen Energieforschungsprogramms ein.

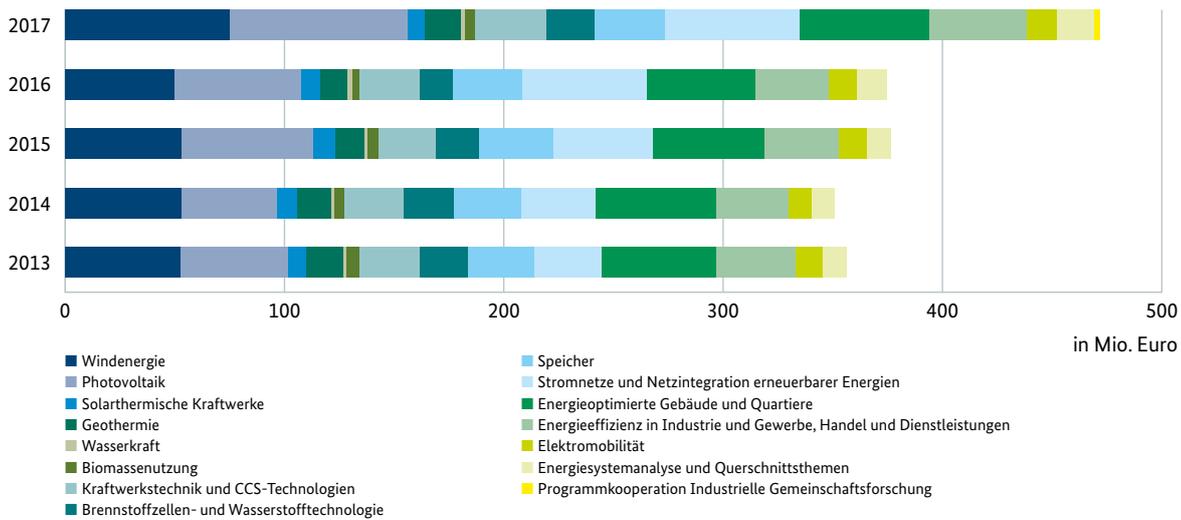
Digitalisierung schließlich ermöglicht neue Methoden der Forschung, aber auch neue Materialien, Fertigungsverfahren und Steuerungsansätze und damit neue Möglichkeiten der Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis. Damit wird die Digitalisierung das Erscheinungsbild des künftigen Energiesystems wesentlich prägen.

Fachleute sehen zudem in der Sektorkopplung eine entscheidende Stellschraube für den Umbau des Energiesystems. Die Verknüpfung der drei Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Verkehr bietet große Chancen: Elektroautos haben bislang die Aufgabe, Personen und Güter zu transportieren. Experten forschen nun daran, wie die Fahrzeugbatterien auch als mobile Speicher für erneuerbare Energien genutzt werden können. Ziel ist es, die Netze in Spitzenzeiten zu entlasten, indem sie überschüssigen Strom in den Batterien zwischenlagern. Viele weitere sektorenübergreifende Ideen und Geschäftsmodelle werden diskutiert und erforscht, etwa die Umwandlung von Wind- und Solarstrom in Wasserstoff und Methan (Power-to-Gas) oder in flüssige oder synthetische Kraftstoffe (Power-to-Liquids/Power-to-Fuel). Daher wird das nächste Energieforschungsprogramm auch einen Fokus auf Forschungsthemen legen, die sich explizit mit Fragen der Sektorkopplung beschäftigen.

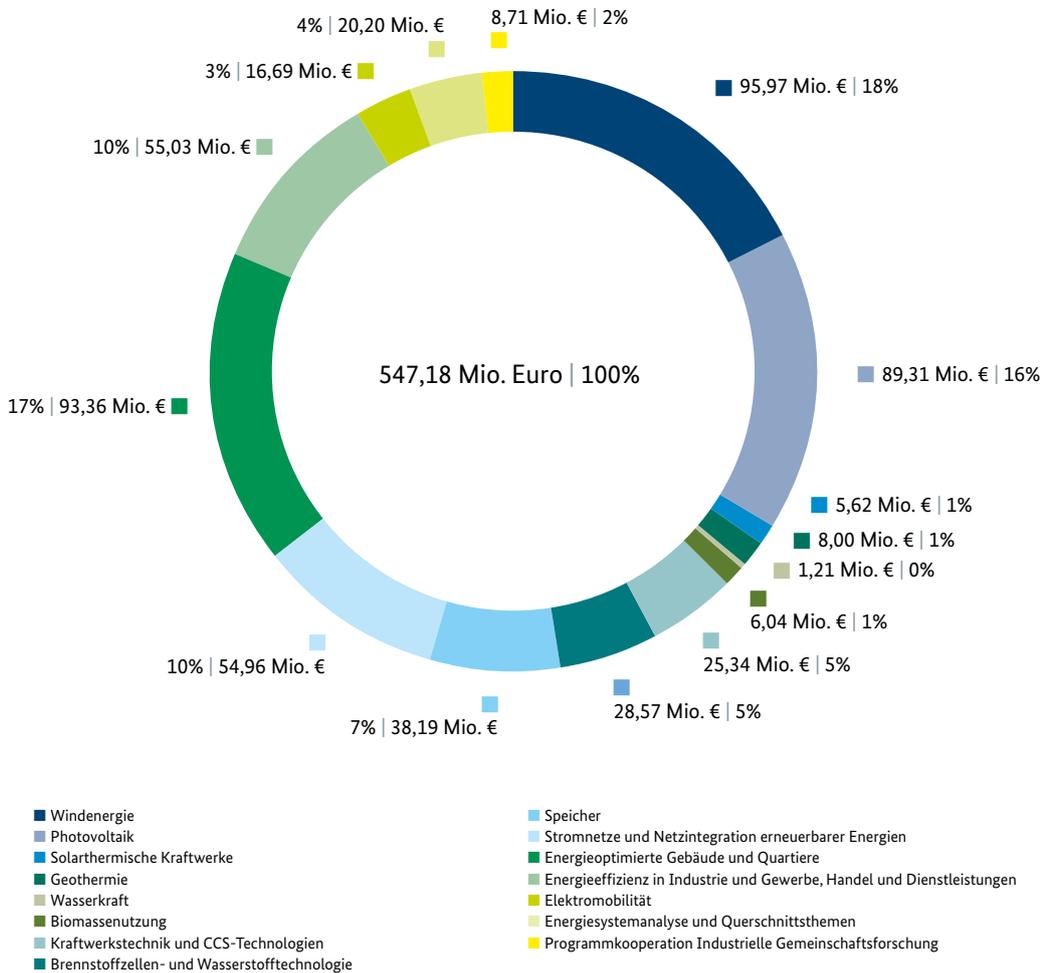
Erneuerbare Energiequellen produzieren Strom und Wärme

Die Energieversorgung in Deutschland wird immer „grüner“. So haben die erneuerbaren Energiequellen wie Wind, Biomasse und Sonne im Jahr 2017 bereits über 33 Prozent zur Bruttostromerzeugung (insgesamt in Deutschland erzeugte Strommenge) beigetragen. Geothermische oder Biomasse-Anlagen sollen zudem in den nächsten Jahren verstärkt Heizwärme für Gebäude oder ganze Siedlungen produzieren. Forschung und Entwicklung müssen die benötigten Lösungen liefern, um die Kosten nutzbarer Energie aus erneuerbaren Quellen weiter zu senken und somit deren Anteil am Energieversorgungssystem weiter auszubauen. Höhere und leistungsstärkere Windenergieanlagen beispielsweise stellen auch höhere Anforderungen an das verwendete Material und an die technischen Lösungen. Bei den Photovoltaikanlagen sind neue Zellkonzepte, die höhere Wirkungsgrade erzielen, ebenso Forschungsthema wie innovative Fertigungsprozesse. Neben Weiterentwicklungen der klassischen Anlagentechniken können digital gestützte Betriebskonzepte dazu beitragen, die Kosten zu reduzieren.

Mittelabfluss für laufende Projekte



Mittelvolumen für neu bewilligte Projekte 2017



Speicher und Stromnetze ermöglichen eine sichere Versorgung

Die Speichertechnologie ist einer der Schlüssel, um fluktuierende erneuerbare Energiequellen bedarfsgerecht nutzbar zu machen. Erforscht werden elektrische Speicher ebenso wie thermische und stoffliche Speicher. Stoffliche Speicher könnten künftig etwa zum Vorhalten großer Wasserstoffmengen zum Einsatz kommen, die durch Elektrolyseverfahren aus Windstrom gewonnen werden.

Die Stromnetze müssen mithilfe innovativer Techniken und Betriebskonzepte an die veränderten Anforderungen durch die Energiewende angepasst werden. Vom BMWi geförderte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten tragen dazu bei, die fluktuierende Stromeinspeisung aus immer mehr dezentralen Anlagen automatisiert zu managen. Hierdurch entsteht in den Netzen ein erhöhter Steuer- und Regelungsbedarf. Digitale Lösungen können dazu beitragen, den komplexeren Betrieb intelligent zu steuern und damit das Netz stabil zu halten. So kann eine sichere und bedarfsgerechte Versorgung gewährleistet werden.

Energieeffizienz – eine Herausforderung in Gebäuden und Quartieren sowie im Industriesektor

Energiesparende Gebäude, integrative Energiekonzepte oder innovative, effiziente sowie wirtschaftliche Versorgungsstrukturen für Quartiere sind wichtige Bausteine, wenn es um den Erfolg der Energie- und Wärmewende geht.

Die industrielle Produktion ist der Motor der Wirtschaftskraft in Deutschland. Steigende Energiepreise und die geforderte Dekarbonisierung stellen Industrie und Gewerbe vor neue Herausforderungen. Die gesteigerten Ziele bieten aber auch Chancen, den technologischen Vorsprung durch neue und weiterentwickelte Verfahren und Produkte auch im internationalen Wettbewerb auszubauen.

Mobilität in Deutschland

Brennstoffzellen müssen langlebig und leistungsstark sein, um wirtschaftlich konkurrenzfähig zu sein. Nur dann können sie in der nachhaltigen Energieversorgung in Deutschland stationär und mobil eine Schlüsselrolle einnehmen. Für den Durchbruch der Elektromobilität gilt die Batterie als Schlüsselkomponente. Noch sind weitere Forschung und Entwicklung notwendig, um die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer der Batterien so weit zu steigern, dass das elektrische Fahren breite Marktsegmente erschließen kann.

Forschungspolitische Initiativen

Mit der Forschungsinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt wird die dritte der im 6. Energieforschungsprogramm angekündigten ressortübergreifenden Forschungsinitiativen abgeschlossen. Erste Leuchttürme wurden als Demonstrationsvorhaben gestartet. Themen wie Sektorkopplung und Digitalisierung gewinnen hier zunehmend an Bedeutung.

Im Rahmen einer Programmkooperation mit der Industriellen Gemeinschaftsforschung werden die Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) unterstützt, die im Bereich Energieforschung tätig sind.

Im Rahmen der Förderbekanntmachung „Energiewende im Verkehr“ wurden etwa 20 neue Forschungsvorhaben initiiert, die sich in der Forschung zu Energiespeichern mit dem Thema „Power-to-Fuel“ beschäftigen.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unterstützt die Forschung und Entwicklung von innovativen Techniken und Verfahren im Energiebereich durch zahlreiche Förderangebote.



Windenergie

Strom aus Windenergie wird immer günstiger. Größere Rotorblätter, leistungsfähigere Antriebe und digital gesteuerte Betriebsabläufe sorgen dafür, dass Windenergieanlagen weiterhin eine der tragenden Säulen der Energiewende darstellen.





Windenergieanlagen sind aus dem bundesdeutschen Landschaftsbild nicht mehr wegzudenken. Ob auf dem flachen Land, in Küstennähe oder an den Berghängen des Hunsrücks: Die Windräder sind der augenfällige Beweis dafür, dass die Energiewende in Deutschland in vollem Gang ist. Neben den zahlreichen Windenergieanlagen an Land entstehen immer mehr Windparks in der Nord- und Ostsee. Gemeinsam haben sie im Jahr 2017 mit über 16 Prozent Bruttostromerzeugung den größten Stromanteil aus erneuerbaren Energiequellen geliefert.

Moderne Windenergieanlagen wandeln effizient die Energie des Winds in elektrischen Strom um. Die Technik hat weiterhin das größte Ausbaupotenzial unter allen erneuerbaren Energien in Deutschland. Dies belegen auch die Zahlen der Deutschen Windguard: So haben im Jahr 2017 28.675 Windenergieanlagen an Land mit einer Gesamtleis-

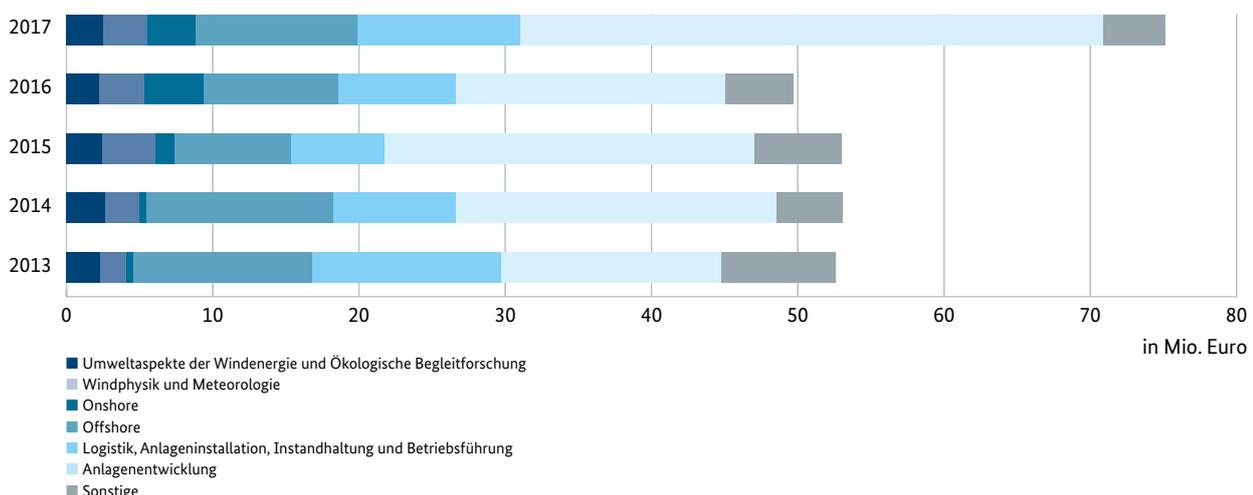
tung von 50.777 Megawatt insgesamt 106 Terawattstunden Strom erzeugt, also über 30 Prozent mehr als im Vorjahr (2016: 80 Terawattstunden). Die Zahlen umfassen auch das sogenannte Repowering: Dabei werden alte Anlagen durch neue, meist leistungsstärkere Anlagen ersetzt, um den Ertrag an dem jeweiligen Standort zu erhöhen.

Auch auf See wird immer mehr Windenergie in Windparks geerntet. Dazu tragen auch die 222 neuen Windräder bei, die 2017 ans Netz gegangen sind. Insgesamt speisen nun 1.169 Offshore-Windenergieanlagen mit einer Leistung von 5.387 Megawatt ins Netz ein. Damit ist 2017 das zweitstärkste Zubaujahr seit Beginn der Offshore-Entwicklung. Offshore-Windenergie ist besonders attraktiv, weil mit einer Anlage gleicher Leistung oft mehr als doppelt so hohe Erträge wie im Binnenland erzielt werden können. Allerdings sind bislang die Kosten der Stromproduktion auch deutlich höher, da die technischen und logistischen Anforderungen auf See sehr anspruchsvoll sind.

Erfreulicherweise sind die Stromerzeugungskosten aus der Windenergie 2017 aufgrund der technischen Weiterentwicklungen der Anlagen und Komponenten nochmals gesunken. Wie die Ergebnisse der ersten Ausschreibungsrunden für Windenergieanlagen in diesem Jahr gezeigt haben, gehen die beteiligten Energieunternehmen davon aus, dass eine weitere drastische Senkung der EEG-Zulage für Windenergieanlagen möglich ist: Wurde nach Angaben der Bundesnetzagentur in der ersten Ausschreibungsrunde für Windenergieanlagen an Land im Mai 2017 schon ein

Deutsche Maschinen- und Anlagebauer der Windindustrie sind weltweit Technologieführer.

Windenergie: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



durchschnittlicher Zuschlagswert von lediglich 5,71 Cent pro Kilowattstunde errechnet, sank dieser in der zweiten Runde im August 2017 auf 4,28 und in der dritten Runde im November 2017 auf 3,8 Cent pro Kilowattstunde. Die Ausschreibungsrunde für Windenergieanlagen auf See hatte bereits zuvor mit einem Paukenschlag geendet: Hier betrug der durchschnittliche Zuschlagswert für Anlagen, die in 2025 errichtet werden sollen, lediglich 0,44 Cent pro Kilowattstunde, da drei der vier zum Zug gekommenen Anbieter auf jegliche Zulage verzichteten. Die sinkenden Zuschläge können als Erfolg der Ausschreibungsmaßnahmen gewertet werden, mit der Strom aus Windenergie sukzessive wettbewerbsfähig werden soll.

Auch weltweit wird die Windenergie verstärkt genutzt – bei ebenfalls sinkenden Kosten. Laut dem REN21 Renewables Global Status Report (GSR) 2017 ist der Preisverfall unter anderem in Chile, Indien, Mexiko und Marokko zu beobachten. Rekord-Niedrigpreise bei der Offshore-Windenergie bringen die europäische Industrie nach Ansicht der internationalen Experten zudem näher an ihr Ziel, bis 2025 Strom aus Offshore-Anlagen billiger als in Kohlekraftwerken produzieren zu können. Die sinkenden Kosten erklären sich vor allem dadurch, dass durch immer größere Anlagen der Preis pro Kilowattstunde sinkt. Zudem profitieren die Offshore-Windenergie-Anbieter mit jedem weiteren Ausbau von Synergieeffekten: Mit immer mehr installierten Anlagen können beispielsweise Wartungsfahrten besser und günstiger organisiert werden. Zudem kann der Strom mehrerer Windparks für den Transport an Land auf Umspannplattformen gebündelt werden. An der weltweiten Marktentwicklung partizipieren auch die deutschen Hersteller und Zulieferer der Windindustrie. Der Exportanteil von Offshore-Windenergieanlagen, Netz- und Gründungstechnik liegt laut VDMA Power Systems bei etwa 50 Prozent, von Onshore-Windenergieanlagen zwischen 65 und 85 Prozent.

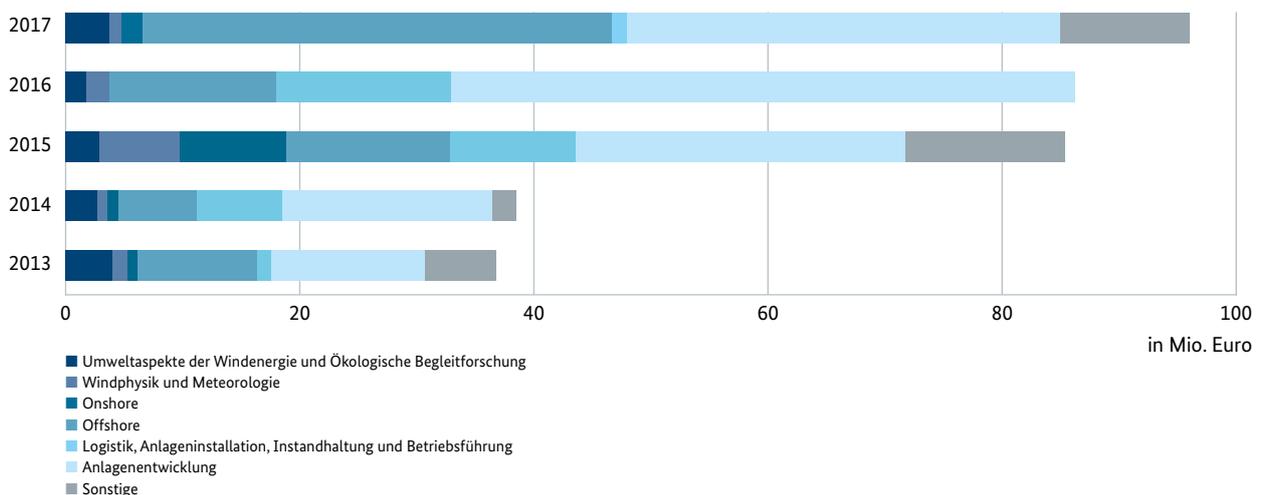


Im Jahr 2017 haben über 1.100 Offshore-Windenergieanlagen in der Nord- und Ostsee „grünen“ Strom in das deutsche Netz eingespeist.

Forschen, entwickeln und fördern

Immer größere Windenergieanlagen bringen immer höhere Leistungen – sind aber auch immer größeren mechanischen Belastungen ausgesetzt. Damit steigen bei der klassischen Anlagentechnik die Herausforderungen an die einzelnen Bauteile. Großkomponenten wie Rotorblätter und Triebstränge müssen den steigenden Anforderungen sowohl hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften als auch hinsichtlich ihrer Auslegung gerecht werden. Auch logistisch müssen neue Wege beschritten werden. Rotorblattlängen von 80 Metern und mehr lassen sich nur auf geraden Strecken mit Sonderfahrzeugen transportieren. Kurvenreiche Anfahrtstrecken in Mittelgebirgen erfordern neue Lösungen, wie beispielsweise zweigeteilte Blätter, die erst vor Ort miteinander verbunden werden (siehe auch „Im Gespräch: Geteilte Rotorblätter“, Seite 18/19). Bevor Windenergieanlagen in den Markt gelangen, müssen diese umfassend getestet werden. Das neue Testfeld Bremerhaven bietet hierfür eine ideale Infrastruktur (siehe auch „Highlight: Testfeld“, Seite 23).

Windenergie: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013



Für Windenergieanlagen, die auf See errichtet werden, kommen weitere Herausforderungen bei den Gründungsstrukturen hinzu. Starke Strömungen können beispielsweise den Boden trichterförmig rund um das Fundament einer Anlage auswaschen. Wie sich solche sogenannten Auskolkungen reduzieren lassen, untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Großen Wellenkanal des Forschungszentrums Küste, der zu den größten maritimen Testanlagen weltweit zählt (siehe auch „Highlight: Maritimer Testkanal“, Seite 20).

Neben der klassischen Anlagentechnik bietet insbesondere die rasant zunehmende Digitalisierung der Anlagenüberwachung die Chance, die Kosten weiter zu senken.

Verschleißprozesse von Bauteilen an Offshore-Windenergieanlagen lassen sich beispielsweise mittels Sensoren dokumentieren und in Leitstellen an Land am Computer verfolgen (siehe auch „Innovative Sensorsysteme“, Seite 22, und „Stillstand vermeiden“, Seite 24). Teure Stillstände der gesamten Anlage werden verhindert, wenn Servicekräfte rechtzeitig die notwendigen Wartungsarbeiten auf See erledigen. Generell gehören Forschungsfragen, die zu einem optimierten Anlagenbetrieb führen, zu den Kernthemen der derzeitigen Windenergie-Forschungsförderung.

Für den weiteren Ausbau der Windenergienutzung ist entscheidend, wie der erzeugte Strom in die öffentlichen Versorgungsnetze eingespeist oder bei temporären Produk-

Im Gespräch: Geteilte Rotorblätter

Rotorblätter aus dem Baukasten

Sie pausieren tagsüber auf Raststätten oder im freien Feld: Sonderfahrzeuge, die die riesigen Rotorblätter für neue Windenergieanlagen zumeist nachts zu ihrem Einsatzort transportieren. Doch die Fahrten abseits der Autobahnen sind häufig eine logistische Meisterleistung. Ampelanlagen und Leitplanken müssen in Ortschaften demontiert oder Kräne in engen Serpentinstraßen zum Umsetzen der Rotorblätter eingesetzt werden. Die Firma Nordex forscht daher – zusammen mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig und dem Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES in Bremerhaven – an zweigeteilten Rotorblättern, bei denen die Segmente erst am Einsatzort miteinander verbunden werden. Dr. Jochen Birkemeyer, Leiter Rotorblattentwicklung bei Nordex, stellt im Interview Einzelheiten des Projekts vor.

Herr Dr. Birkemeyer, Rotorblätter nach dem Steckprinzip – die Idee klingt einleuchtend. Ihr Mitbewerber Enercon setzt geteilte Rotorblätter bereits bei einigen Modellen in Serie ein. Was ist das Neue an Ihrem Konzept?

Wir entwickeln Rotorblätter, die geringe aerodynamische Lasten und geringe Gewichtskraftlasten generieren. Unter anderem setzen wir dazu Carbonfasern ein. Daher wollen wir auch eine besonders leichte Ausführung einer Verbindung entwickeln, die für unsere CFK-Bauweise geeignet ist. Zudem soll der Montageaufwand im Feld durch eine geringe Anzahl von Verschraubungselementen minimiert werden.

Welche technischen Herausforderungen müssen dabei gelöst werden?

Entscheidend für eine Verbindungsstelle in einem Rotorblatt ist ihre Zuverlässigkeit im Betrieb über 20 Jahre und mehr. Das Einhalten von engen Toleranzen an der Verbindungsstelle



Dr. Jochen Birkemeyer ist Leiter der Rotorblattentwicklung bei der Nordex Energy GmbH in Hamburg.

ist eine neue Herausforderung. Eine Schiefstellung des Tip-segments gegenüber dem Blattwurzelsegment würde beispielsweise zu einer massiven Unwucht im Rotor führen und könnte ein Totalversagen der Windenergieanlage bewirken. Reparaturen oder gar ein Austausch bedeuten im Allgemeinen aber sehr hohe Kosten und sind daher unbedingt zu vermeiden.

Gibt es weitere Zielvorgaben?

Über die technischen Herausforderungen hinaus ist es natürlich wichtig, dass das Design fertigungsgerecht und eine Wartung im Betrieb nicht erforderlich ist. Und last but not least: das Einhalten der Kostenziele, da eine Verbindungsstelle Mehrkosten für das Rotorblatt darstellt, die durch vereinfachten Transport oder Fertigung der Segmente kompensiert werden müssen.

Wie verändern sich die Kräfte am Rotorblatt durch die Zweiteilung?

tionsüberschüssen zwischengespeichert werden kann. Forschungsaktivitäten, die dazu beitragen, das Windpotenzial eines Standorts besser einschätzen zu können, garantieren zudem eine bessere Windernte – ebenso wie die Integration von innovativen Akteuren in die Rotorblätter (siehe auch „Akteuren optimieren Aerodynamik“, Seite 21). Nicht zuletzt tragen Forschungsprojekte, die analysieren, wie Schall entsteht und sich ausbreitet (siehe auch „Schallproblematik verringern“ auf Seite 25) oder welche Formen der Bürgerbeteiligung einen bestmöglichen Ausgleich der verschiedenen Interessen gewährleisten, zur Akzeptanz der Windenergie bei.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Windenergie hat das BMWi 2017 insgesamt 86 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 96 Millionen Euro bewilligt (2016: 93 Projekte für rund 86,2 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 75,1 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 49,7 Millionen Euro).



Zeitaufwändig und teuer: Der Transport von kompletten Rotorblättern auf Landstraßen ist logistisch anspruchsvoll.

An der Trennstelle des Rotorblatts werden Verschraubungselemente aus Stahl eingebracht, zudem ist eine Verstärkung der Faserverbundstruktur erforderlich. Dies führt zu einer Zusatzmasse im Bereich der Verbindungsstelle. Je weiter sich die Verbindungsstelle in Richtung Blattspitze befindet und je größer die lokale Zusatzmasse ist, umso größer ist das Wurzelbiegemoment an der Blattwurzel und damit die Belastung im Rotorblatt, in der Schraubverbindung zur Nabe und in der Nabe selbst. Zudem wird das Schwingungsverhalten des Rotorblattes an der Windenergieanlage beeinflusst, die Eigenfrequenz kann beispielsweise durch die Zusatzmasse deutlich reduziert werden.

Durch welche Tests wird sichergestellt, dass die Qualität der Rotorblätter den gesetzlichen Vorgaben entspricht?

Als Erstes stehen Materialtests zur Charakterisierung der Kennwerte der eingesetzten Faserverbundmaterialien auf dem

Plan. Danach folgen Komponententests der Verbindungsstelle und der Tragstruktur des Rotorblatts in einem skalierten Maßstab. Abschließend erfolgt ein sogenannter Full-scale-Test an einem Rotorblatt in der Größe von etwa 65 Metern, der alle statischen und dynamischen Lasten berücksichtigt, die ein Rotorblatt im Betrieb im Lebenszyklus erfährt.

Das Interview führte Ilse Trautwein, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi fördert Segmented Blade Technology, kurz SegBlaTe mit rund 3 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0324126A-C).

Highlight: Maritimer Testkanal

Wellenbrandung im Binnenland

Eine Sturmflut im Norden von Hannover: Der Wellenkanal des Forschungszentrums Küste gehört zu den größten maritimen Testanlagen der Welt. Dort werden im Forschungsvorhaben marTech Komponenten und Methoden für Deichbauten, Offshore-Windenergieanlagen oder Wellenkraftwerke getestet.

Monsterwellen galten lange Zeit als Seemannsgarn. 1995 wurde die Wissenschaft jedoch eines Besseren belehrt: Auf der norwegischen Ölbohrplattform Draupner wurde am Neujahrmorgen eine mehr als 26 Meter hohe Welle dokumentiert. Diese „New-Year’s-Wave“ kann künftig unter anderem im Großen Wellenkanal (GWK) zu Forschungszwecken im Maßstab 1:10 simuliert werden. Möglich wird dies durch die geplanten Um- und Erweiterungsbauten, die in dem 310 Meter langen Versuchsbecken vorgenommen werden. „Unsere neue Wellenmaschine erzeugt mit bis zu 2,70 Metern Höhe deutlich größere Wellen als bisher“, erläutert Projektleiter Prof. Torsten Schlurmann von der Leibniz Universität Hannover. „Außerdem wird ein neues System zur Strömungserzeugung eingebaut sowie eine 8-Meter-Vertiefung im Kanalboden in einem bestimmten Bodenabschnitt vorgenommen, in die Sand, Steine und andere Sedimente gefüllt werden können.“

Moderner Deichbau mit Kunststoffen

Die Erweiterungen sind nötig, damit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Leibniz Universität Hannover in **marTech – Erprobung und Entwicklung maritimer Technologien zur zuverlässigen Energieversorgung** gemeinsam mit ihren Kolleginnen und Kollegen der Technischen Universität Braunschweig verschiedene Bauteile und Verfahren gezielt erproben und weiterentwickeln können. Durch die Klima-

veränderungen steigen unter anderem der Meeresspiegel und damit auch die Belastungen und konstruktiven Anforderungen an den modernen Deichbau. Heutzutage werden vielerorts spezielle Kunststoffdichtungsbahnen integriert, die den Wellen und Strömungen standhalten und das Erdreich schützen. Die Folien sind einfach zu installieren, vielseitig anwendbar und kostengünstig. Neben dem Verstärken von Deichen kann das Material aber auch eingesetzt werden, um die Fundamente von Offshore-Windenergieanlagen zu schützen. Im Großen Wellenkanal sind dazu verschiedene Tests geplant.

Schutz gegen Auskolkungen

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt ist der Kolkschutz rund um die Fundamente von Windenergieanlagen. Starke Strömungen bedingen Auswaschungen des Sediments am Fuß der Anlagen – sogenannte Auskolkungen – und verändern das Gewässerbett auch im Umfeld der Strukturen. Dadurch kann die Standsicherheit der ganzen Windenergieanlage gefährdet sein. Das marTech-Forscherteam beabsichtigt daher, unterschiedliches Füllmaterial – etwa norwegischen Granit mit speziellen Verteilungen verschiedener Steingrößen – bei unterschiedlichen Wellenhöhen und Strömungen einzusetzen, um zu prüfen, ob sich dieses für den Einsatz auf See eignet. Außerdem forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Technikkomponenten für Meeresenergieanlagen, um deren Belastungen und Leistungsvermögen gezielter als bisher untersuchen zu können.

Das BMWi fördert marTech mit rund 35,2 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0324196A-B).



Im großen Wellenkanal in Hannover werden Bauteile getestet, die bei Offshore-Windenergieanlagen und im Deichbau zum Einsatz kommen.



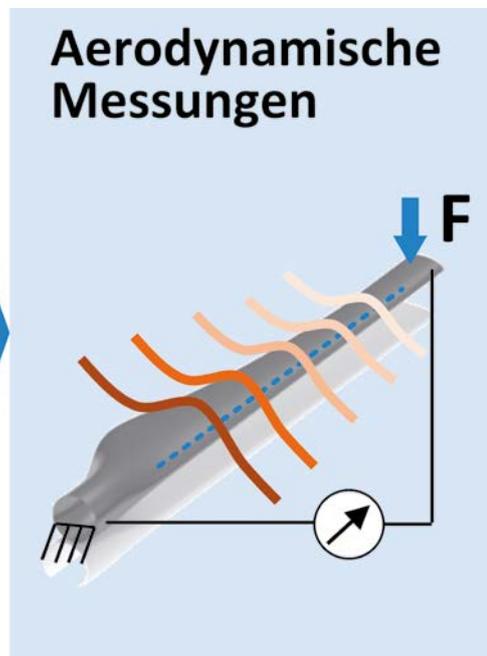
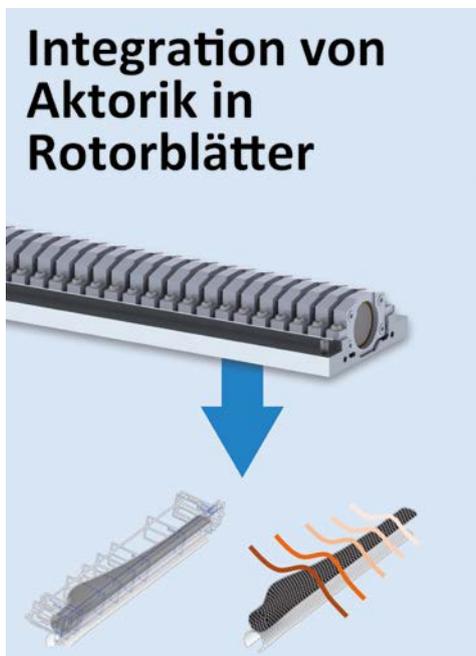
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an den Rotorblättern optimieren die Windausbeute.

Projekte

Aktoren optimieren Aerodynamik

Die Größe von Windenergieanlagen nimmt sowohl onshore als auch offshore stetig zu – und damit verbunden auch die Rotorblattlänge. Rotordurchmesser von über 120 Metern an Land und über 160 Metern auf See stellen jedoch eine große Herausforderung dar, da die Blätter aufgrund variierender Windstärken und Turbulenzen ständig wechselnden Bedingungen und Lasten ausgesetzt sind. Bisher wurden Ansätze verfolgt, diese Belastungen über die individuelle

Regelung der Pitchwinkel eines jeden einzelnen Rotorblatts (engl. „Individual Pitch Control“ (IPC)) auszugleichen. Diese Lösung hat sich jedoch bei den größenbedingten Herausforderungen mit dem Stand heutiger Technik nicht bewährt. Intelligente, in die Rotorblätter integrierte Elemente können auf Strömungsänderungen schnell reagieren und stellen somit eine interessante Alternative zur IPC dar. Zudem würden sie perspektivisch den Einsatz leichter und noch längerer Blätter ermöglichen.



In TOPWind werden Bauteile, die Luftströmungen erzeugen, in Rotorblätter integriert und deren Einfluss auf die Windernte durch aerodynamische Messungen untersucht.

Hier setzt das Projekt **TOPWind** unter Federführung des Fraunhofer-Instituts für Elektronische Nanosysteme ENAS an. Gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Industrie entwickeln und erproben Wissenschaftsteams, wie sich durch innovative, fluidische Aktoren die Aerodynamik des Rotorblattes beeinflussen lässt. Für die aktive fluidische Strömungsbeeinflussung kommen Aktoren zum Einsatz, die der Strömung an der Blattoberfläche durch gezieltes gepulstes Einblasen von Luft ein zusätzliches Moment beifügen und damit die Grenzschicht beeinflussen. So lassen sich die „Wind-Ernte“ verbessern und die Schallemissionen verringern. Allerdings fallen durch das Herstellen, Nutzen und die Instandhaltung der Aktoren auch zusätzliche Kosten im Anlagenbetrieb an. In TOPWind werden daher neben den technischen auch die ökonomischen Aspekte berücksichtigt, die durch die Integration von Aktoren entstehen.

Das BMWi fördert TOPWind mit rund 3,7 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0324176A-H).

Innovative Sensorsysteme

Wenn im Antriebsstrang von Windenergieanlagen mechanische Bauteile ausfallen, können sogenannte White Etching Cracks (WEC) die Ursache sein. Diese Werkstoffveränderungen an Lagerteilen führen häufig – insbesondere bei Offshore-Windparks – zu ausgesprochen kostenintensiven Stillständen der ganzen Anlage. Wartungskräfte müssen mit einem Spezialschiff zur Anlage fahren und Reparaturen ausführen oder mit einem Kran das defekte Getriebe gegen ein neues austauschen. Gleichzeitig ist der Stillstand mit großen Ertragseinbußen verbunden. Mit den derzeit verfügbaren Condition-Monitoring-Systemen lassen sich solche Ausfälle, insbesondere WEC, nicht feststellen. Im

Bei PRNOWIS entwickeln und testen Wissenschaftsteams intelligente Sensoren, die ausfallrelevante Prozesse im Antriebsstrang erkennen.



Projekt zur ganzheitlichen Nutzungs-Optimierung von Windenergieanlagen durch innovative Sensorsysteme, kurz **PRNOWIS**, forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daher an intelligenten Sensorsystemen, die ausfallrelevante Prozesse im Antriebsstrang erkennen und melden, sodass die Windenergieanlage rechtzeitig gewartet werden kann. An dem Forschungsvorhaben, das von Schaeffler Technologies koordiniert wird, sind die RWTH Aachen sowie die Unternehmen Qass, Qiagen Lake Constance und Hydac Electronic beteiligt.

Innerhalb des Projekts sollen mithilfe neuester Datenanalysetechnik relevante Parameter gefunden werden, die für das Entstehen von WEC verantwortlich sind. Experten analysieren dazu vorhandene Datenbestände. Die Informationen werden genutzt, um die neuen Sensorkonzepte auf einem Modellprüfstand zu kalibrieren. Im weiteren Projektverlauf ist geplant, die Mikrosensoren auf dem 4-Megawatt-System-Prüfstand des Center for Windpower Drives an der RWTH Aachen zu installieren, wo im laufenden Betrieb Daten erhoben und analysiert werden. Digitale Muster sollen so erkannt und mit der Anlagensteuerung gekoppelt werden. Ziel ist es, ein Condition-Monitoring-System zu entwickeln, welches Komponenten und Anlagenbetrieb in Echtzeit überwacht und somit eine vorausschauende Instandhaltung ermöglicht. Hierzu gehört auch eine Onlineüberwachung des Ölzustands sowie ein Schmierstoff-Identifizierungssystem, da bisherige Forschungsarbeiten zeigen, dass auch die eingesetzten Schmiermittel zu WEC beitragen können.

Das BMWi fördert PRNOWIS mit rund 1,9 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0324082A-F).

Highlight: Testfeld

Auf Herz und Nieren geprüft



Das neue Testfeld Bremerhaven mit der 8-Megawatt-Windenergieanlage der Firma Adwen dient als Forschungsplattform, die von Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen für Messungen und Tests genutzt werden kann.

Rotorblätter drehen sich auf dem ehemaligen Flughafen Luneort in Bremerhaven immer noch. Allerdings nicht an einem Flugzeug, sondern an der Windenergieanlage mit dem größten Rotordurchmesser weltweit: Die 8-Megawatt-Anlage der Firma Adwen ist das erste Testobjekt auf dem neuen Testfeld Bremerhaven, das vom Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES betrieben wird. Zusammen mit den Prüfständen des DyNaLab bietet die Forschungseinrichtung ab sofort die einmalige Möglichkeit, Testergebnisse aus der Halle mit Daten im realen Feldbetrieb abzugleichen.

Starke Winde bis hin zu Orkanböen, meterhohe Wellen und Salzwasser: Offshore-Anlagen sind extremen Witterungsbedingungen ausgesetzt. Bevor solche Windenergieanlagen auf See eingesetzt werden, müssen Prototypen auf Herz und Nieren geprüft werden. Dies geschieht derzeit mit der AD 8-180 der Firma Adwen. Der Prototyp mit einem Rotorblattdurchmesser von 180 Metern fungiert als Forschungsplattform, die herstellerübergreifend für Messungen und Tests genutzt werden kann.

Das **Testfeld Bremerhaven** ist messtechnisch mit dem im DyNaLab untergebrachten Groß-Prüfstand für Gondeln und dem sogenannten Netzemulator verbunden, der die Wirkung verschiedener Netzzustände nachbildet. Perspektivisch sollen der Windenergiebranche dadurch optimierte Testverfahren für alle Komponenten einer Windenergieanlage zur Verfügung gestellt werden – vom Rotor über den Triebstrang bis hin zur Tragstruktur und zum Netzanschluss. „Das Freifeld erlaubt uns, die Testergebnisse aus dem DyNaLab mit Betriebsdaten

im realen Feld abzugleichen und daraus Rückschlüsse zu ziehen“, erläutert Institutsleiter Prof. Andreas Reuter. „Auf diese Weise können wir die Modellierungsansätze und Testverfahren ständig weiterentwickeln und validieren.“ Neue Fault-Ride-Through-Tests etwa, bei denen der Prototyp mit dem bereits vorhandenen 44-MVA-Mittelspannungsnetzemulator gekoppelt wird, um zu überprüfen, wie die Windenergieanlage auf Netzfehler reagiert. Oder hochaufgelöste 3D-Windfeldmessungen, die bei der Planung künftiger Offshore-Windparks hilfreich sein können.

Darüber hinaus streben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an, die derzeit notwendigen Zertifizierungs-Testreihen für neue Windenergieanlagen im Freifeld durch zeit- und kostensparende Tests an Prüfständen zu ersetzen. „Die vom Gesetzgeber vorgegebenen Windverhältnisse für diese Tests sind leider nicht auf Bestellung zu bekommen, und der Zeitpunkt der Markteinführungen daher nur sehr grob planbar“, sagt Andreas Reuter. „Auf dem Prüfstand dagegen können wir die erforderlichen Bedingungen jederzeit herbeiführen und die Messungen somit sehr genau takten.“

Dazu muss jedoch sichergestellt werden, dass Messungen auf dem Prüfstand und im Freifeld zu äquivalenten Ergebnissen führen. Ein direkter Vergleich dieser Messungen ist nun an der AD 8-180 möglich, da deren Gondel zuvor auf dem Gondelprüfstand des DyNaLabs eingehend untersucht wurde und ab sofort für Messkampagnen im Freifeld bereitsteht.

Das BMWi fördert das Testfeld Bremerhaven mit rund 18,5 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0324148).



Beim Power Modul Monitoring analysieren die einzelnen Bauelemente einer Offshore-Windenergieanlage ihre Restlebensdauer selbstständig und melden diese der Leitstelle.

Stillstand vermeiden

Offshore-Windenergieanlagen sind extremen Belastungen ausgesetzt, zudem ist die Wartungslogistik der Anlagen sehr komplex und witterungsabhängig. Der Ausfall eines einzelnen Bauteils kann zu langen und damit kostenintensiven Stillständen führen. Daher wäre es von Vorteil, wenn die Komponenten selbstständig ihren aktuellen Betriebszustand erkennen und der Leitstelle an Land regelmäßig die zu erwartende Restlebensdauer mitteilen würden. So könnten Wartungsarbeiten vorausschauend eingeplant und rechtzeitig erledigt werden.

Insbesondere den Halbleiterkomponenten der Frequenzumrichter machen die Lastwechsel und Witterungsbedingungen auf hoher See zu schaffen. Im Forschungsvorhaben **AMWind – Autonomes Monitoring von Windkraftanlagen** arbeiten Experten der WindMW Service daher gemeinsam mit Kollegen des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, den Unternehmen Siemens, Infineon Technologies und der M&P Motion Control and Power Electronics sowie der Technischen Universität Berlin an einer neuen Generation intelligenter Leistungselektronik.

Um einen Ausfall des Umrichters vorhersagen zu können, müssen die elektronischen Komponenten umfassend untersucht und die zugrundeliegenden Alterungsmechanismen verstanden werden. Entscheidend ist es, Stressfaktoren – etwa für das Material – zu erkennen und Messgrößen zu definieren, die helfen, den aktuellen Zustand einzuschätzen. Auf Basis dieses Datenmaterials soll das System anschließend in der Lage sein, verlässliche Aussagen über die verbleibende Restlebensdauer des Umrichters und seiner Bauteile zu treffen. Untersucht werden die Mechanismen unter anderem anhand von Daten des Windparks „Meerwind Süd | Ost“, an welchem auch ein Praxistest geplant ist.

Der Windpark „Meerwind Süd | Ost“ liegt 23 Kilometer nördlich der Insel Helgoland in der Nordsee und wird von Helgoland aus gewartet. Der Windpark besteht aus insgesamt 80 Windenergieanlagen mit einer Leistung von je 3,6 Megawatt. Über eine Transformatorenplattform wird die Leistung von bis zu 288 Megawatt ins Netz eingespeist.

Das BMWi fördert AMWind mit rund 2,3 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0324066A-G).

Schallproblematik verringern

Die Planung und der Bau von Windenergieanlagen werden in vielen Kommunen kontrovers diskutiert. Viele Anwohner befürchten nicht nur Wertminderungen für ihr Eigenheim, sondern auch Schattenwürfe und Lärmbelästigungen. Im Forschungsvorhaben **WEA-Akzeptanz – Von der Schallquelle zur psychoakustischen Bewertung** entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Leibniz Universität Hannover gemeinsam mit ihrem Partner Senvion erstmals ein akustisches Gesamtmodell, das sowohl die Schallentstehung als auch seine Übertragungswege und die Wahrnehmung vor Ort integriert und bewertet. Welche Anlagen-Komponenten verursachen welche Geräusche? Inwiefern wird das Übertragen von Schall durch Bebauung, Topographie des Geländes und die Wetterlagen beeinflusst? Und wie wird welcher Lärm beim Empfänger wahrgenommen?

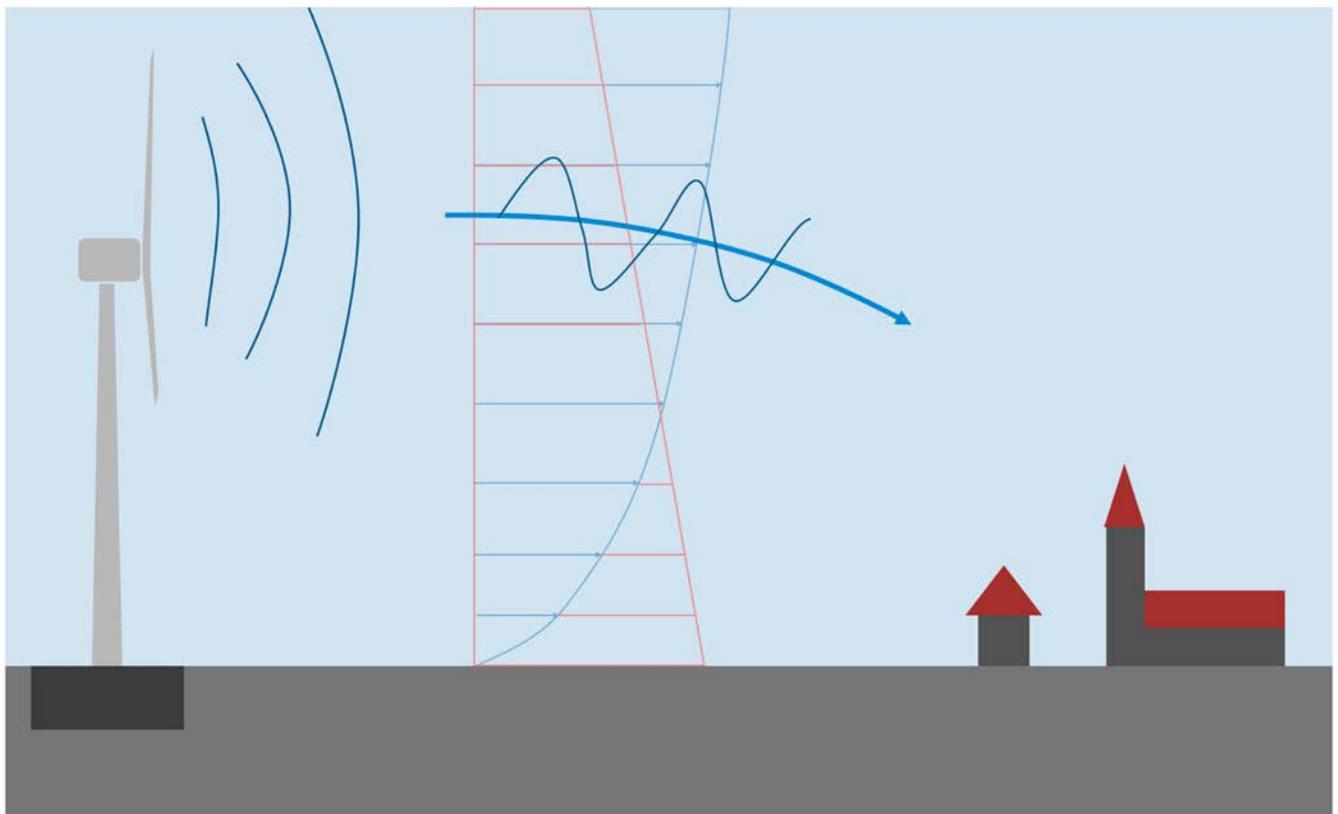
Neben umfangreichen Analysen zum Entstehen von Schall am Rotor, der Gondel und anderen Bauteilen von Wind-

energieanlagen liegt deshalb ein weiterer Schwerpunkt des Forschungsprojekts darin, die individuelle Wahrnehmung dieser Geräusche bei potenziell betroffenen Anwohnern zu beschreiben. Um valide Daten für das Gesamtmodell zu erhalten, wird Probanden im Soundlabor der Leibniz Universität Hannover über Kopfhörer der Betriebschall von Windenergieanlagen vorgespielt. Auf diesem Weg soll die Geräuschbelästigung, beispielsweise durch Intensitätsfluktuation, verringert werden. Abschließend diskutieren Experten geeignete Maßnahmen sowie mögliche Empfehlungen für zukünftige Modelle und technische Vorschriften zur Schallreduktion.

Ziel des WEA-Modells ist es, mithilfe von akustischen Simulationen künftig bereits in der Planungsphase von Windenergieanlagen möglichst präzise die Schallemissionen, die Schallausbreitung und -wahrnehmung prognostizieren zu können.

Das BMWi fördert WEA-Akzeptanz mit rund 4 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0324134A-B).

Forscher entwickeln innerhalb des Projekts WEA-Akzeptanz ein akustisches Gesamtmodell.



Schallentstehung

Schallausbreitung

Psychoakustische
Bewertung

Solarenergie

Photovoltaikanlagen und solarthermische Kraftwerke nutzen die Kraft der Sonne, um Energie zu gewinnen. Forschung und Entwicklung tragen weiter dazu bei, dass Strom immer günstiger produziert werden kann.



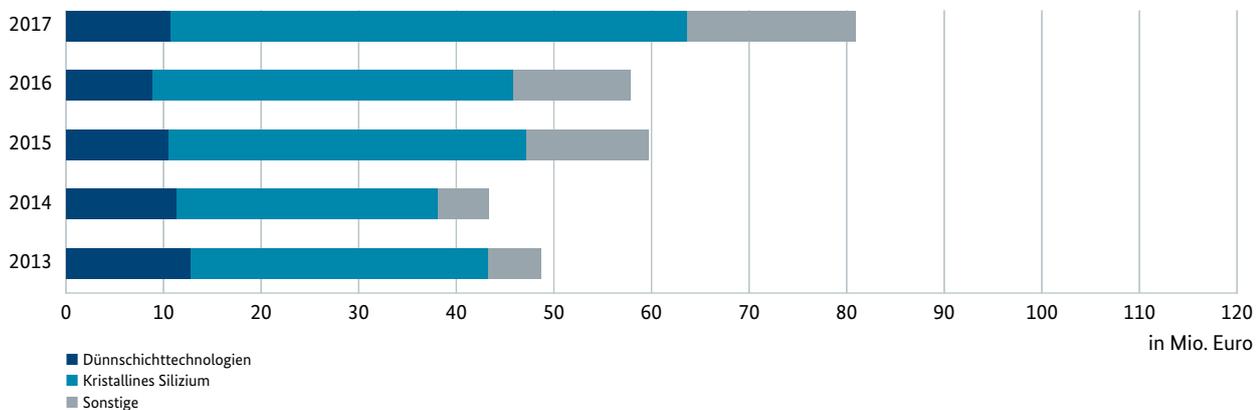
Während Photovoltaikanlagen Sonnenstrahlen in Solarzellen direkt in Strom umwandeln, nutzen solarthermische Kraftwerke konzentrierte Sonnenstrahlen, um die notwendige Wärme für die anschließende Stromproduktion zu erzeugen. Photovoltaik ist auf Freiflächen und auf Dächern beziehungsweise Fassaden überall in Deutschland zu finden, solarthermische Kraftwerke werden unter anderem in Saudi-Arabien, Marokko, China oder in Südeuropa betrieben – sie benötigen eine hohe direkte Sonneneinstrahlung. Beide Technologien sind Stützen für eine CO₂-arme Energiewirtschaft.

Leistung installiert, erneut ein massiver Anstieg im Vergleich zum Vorjahr (2016: 295 Gigawatt). In die Zukunft blickend erwartet die Internationale Energie Agentur (IEA) in ihrem Bericht „Renewables 2017“, dass zwischen 2017 und 2022 weltweit zusätzlich 438 Gigawatt Photovoltaik-Kapazität installiert werden. Bestimmend dabei sei insbesondere die Größe des chinesischen PV-Marktes. Daneben werde Indien zum neuen Wachstumsmarkt. Großprojekte haben nach der IEA-Studie einen Anteil von 59 Prozent am Ausbau, sie tragen damit maßgeblich zu dem Wachstum bei. Vorangetrieben werde der Ausbau durch kostensenkende Auktionssysteme und wettbewerbsfähige Ausschreibungen. Auch in Deutschland selbst zieht die Nachfrage nach Photovoltaik-Anlagen wieder an, im Jahr 2017 sind hierzulande 1.750 Megawatt neu installiert worden, rund 220 Megawatt mehr als im Jahr 2016.

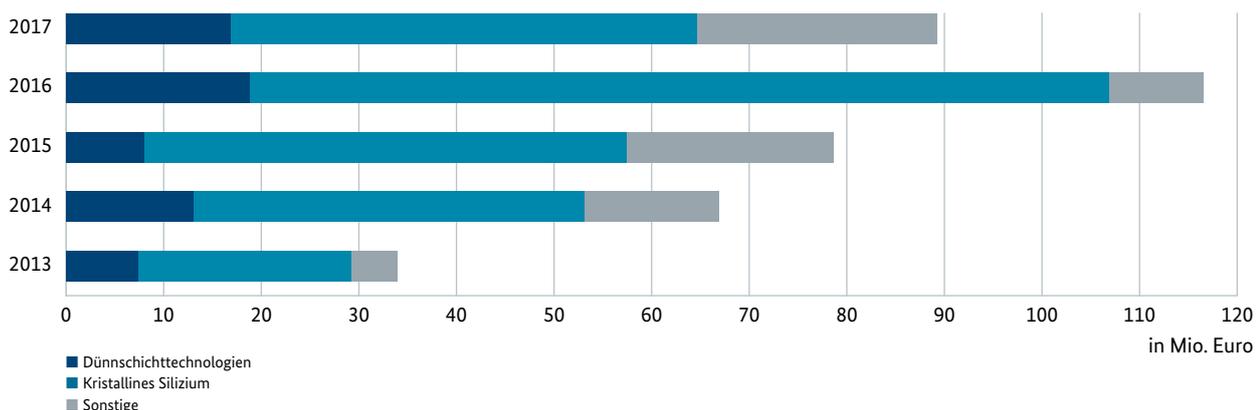
Die Photovoltaik ist weltweit auch im Jahr 2017 weiterhin sehr beliebt. Das belegt die Zahl der installierten Photovoltaikanlagen: Ende Dezember waren rund 400 Gigawatt

Für die deutschen Hersteller von Maschinen, Komponenten und Anlagen im Bereich der Photovoltaik ist 2017 ein ausnehmend gutes Jahr gewesen. Nachdem der Jahresstart

Solarenergie/Photovoltaik: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



Solarenergie/Photovoltaik: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013





Forschungsprojekte tragen dazu bei, effektivere Herstellungsprozesse zu etablieren.

Für die deutschen Photovoltaik-Hersteller von Maschinen, Komponenten und Anlagen ist 2017 ein ausnehmend gutes Jahr gewesen.

von kräftigen Investitionen geprägt war, hat sich der Markt für Solarequipment nach Angaben des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) gegen Jahresende beruhigt. Die Produktion sei jedoch weiterhin ausgelastet gewesen. In den Hauptmärkten deutscher Maschinenbauer, insbesondere in China und Taiwan, seien erheblich neue Produktionskapazitäten aufgebaut worden. Interesse bestehe nach Unternehmensangaben vor allem an Produktionstechnologien für effizientere Zellen und Dünnschichttechnologie, die deutsche Maschinenbauer dank fortschrittlicher Forschungs- und Entwicklungsarbeit anbieten können. Nach Statistiken des Projektträgers Jülich sind in Deutschland 34 forschungsaktive Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau für Photovoltaikanlagen tätig. Allerdings hat die Zell- und Modulproduktion innerhalb Deutschlands mit der Insolvenz von Solarworld einen Rückschlag erlitten. Mit dem Unternehmen ist der letzte große integrierte Photovoltaikhersteller weggebrochen. Mit der neu gegründeten SolarWorld Industries bleibt ein Teil der bisherigen Zell- und Modulfertigungskapazität erhalten.

Auch in Bezug auf die solarthermischen Kraftwerke sind deutsche Unternehmen mit ihrem Know-how bei der Projektplanung und -umsetzung auf dem Weltmarkt sehr aktiv. Derzeit sind weltweit mehr als 5 Gigawatt Leistung am Netz, Tendenz weiterhin steigend. Insbesondere in der MENA-Region, China und Südafrika werden zurzeit weitere Kraftwerke geplant beziehungsweise gebaut. Die Internationale Energieagentur (IEA) geht davon aus, dass bis zum Jahr

2050 rund 8 Prozent des Strombedarfs durch solarthermische Kraftwerke gedeckt sein werden. Deutschland eignet sich aufgrund seiner geographischen Lage selbst nicht als Standort, hierzulande gibt es zu wenig direkte Sonnenstrahlung. Der Fokus liegt daher auf dem Export.

Forschen, entwickeln und fördern

Um die Vorteile zu sichern, die Deutschland vorweisen kann – eine hohe Qualität der Produkte sowie technisch fortschrittliche und innovative Produktionsverfahren – fördert das BMWi Forschungsprojekte in den Bereichen Photovoltaik und solarthermische Kraftwerke.

Ein Hauptziel im Bereich Photovoltaik besteht nach wie vor darin, bei gleichbleibender beziehungsweise steigender Qualität Kosten zu senken. Forschungsprojekte sollen dazu beitragen, den Material- und Energieverbrauch zu senken, effektivere Herstellungsprozesse zu etablieren und den Wirkungsgrad der Zellen zu erhöhen, um Hochleistungsmodule und eine effiziente Systemtechnik bereitzustellen. Eine hohe Qualität ist darüber hinaus von besonderem Interesse mit Blick auf den steigenden Anteil der Solarenergie in den Stromnetzen. Eine zuverlässige Einschätzung der Modul- und Systemleistung ist hierbei unerlässlich. Um Stromnetze zu entlasten, liegt zudem der lokale Verbrauch des ebenfalls lokal erzeugten Stroms im Blick von Forschung und Entwicklung. Wird dieser optimiert, können Speicher eingespart werden, was wiederum die Gesamtkosten senkt.

Technologisch stehen Zellen auf Basis kristallinen Siliziums als Halbleiter weiterhin im Vordergrund. Der aktuelle Standard hierbei heißt PERC, kurz für „Passivated Emitter and Rear Contact“. Dabei werden Vorder- und Rückseite der Zellen besser vergütet, die Lichtausbeute im hinteren Teil der Zelle wird erhöht. Weiterentwicklungen dieser Technologie sind bereits in Sicht, in Form passivierter selektiver Kontakte (siehe auch „Highlight: Hocheffiziente Solarzellen“, Seite 32). Die industrielle Umsetzung neuartiger Zellkonzepte ist ein zentraler Bestandteil von Forschung und Entwicklung (siehe auch „Im Gespräch: Industrielle Vorlauforschung“, Seite 30). Die Anlagenbauer setzen zudem verstärkt

Im Gespräch: Industrielle Vorlaufforschung

Riskant und wertvoll zugleich



Kristin Lüdemann ist Vice President Crystalline Photovoltaics bei VON ARDENNE.

Ein möglichst einfacher und somit kostengünstiger industrieller Prozess, mit dem möglichst leistungsfähige Solarzellen in großer Stückzahl hergestellt werden können: Das ist Ziel des Projekts SELEKTIV, unter Koordination des Unternehmens VON ARDENNE – Entwickler und Fertiger von Anlagen für die industrielle Vakuumbeschichtung. Unter Laborbedingungen sind in den vergangenen Jahren bereits sehr leistungsfähige, sogenannte ladungsträgerselektive Kontakte entwickelt worden. Nun gilt es, diese auch industriell herzustellen. Das Unternehmen geht hierfür ein wirtschaftliches Risiko ein. Warum eine gründliche Vorlaufforschung wichtig ist und welche Schritte hierbei nötig sind, erklärt Kristin Lüdemann, Vice President Crystalline Photovoltaics bei VON ARDENNE im Interview.

auf innovative Fertigungsverfahren im Sinne von Industrie 4.0, um die Investitionskosten für mögliche Kunden herabzusetzen (siehe auch „Produktion unterschiedlicher Solarzellen auf einer Linie“, Seite 33).

Im Bereich der Dünnschichttechnologien werden ebenfalls Erfolge gemeldet: Auf der PVSEC 2017 präsentierten verschiedene Hersteller Verbesserungen der Wirkungsgrade ihrer CIGS-Module. Neben einer kostengünstigen Herstellung ist der Vorteil von Dünnschichttechnologien insbesondere die gute Integration in Gebäudefassaden (siehe auch „Fassaden für mehr Photovoltaik“, Seite 33). Weitere Ansätze, die Stromerzeugungskosten zu senken, finden sich etwa beim Wechselrichter (siehe auch „Wechselrichter der vierten Generation“, Seite 34).

Wenn man sich das bildlich vorstellt – Sie haben das Prinzip einer hocheffizienten Zelle, die im Labor erfolgreich hergestellt wurde. Nun müssen Sie dieses Prinzip an die Gegebenheiten der industriellen Produktion anpassen, für einen Durchsatz von 3.000 bis 4.000 Wafern pro Stunde. Wie gehen Sie an diese Problemstellung heran?

Im Vorfeld fahren wir abgleichende Versuchsreihen zusammen mit dem Labor beim Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, unserem Projektpartner bei SELEKTIV. Wir übertragen den Status quo, der am ISE im Labor erreicht wurde, zunächst auf prinzipiell industrietaugliche Lösungen, die wiederum bei uns im Labor stehen. Man würde hierbei versuchen, ein paar grundlegende Prinzipien auszuschließen und somit Eckpfeiler für die Umsetzbarkeit zu bestimmen. Der nächste Schritt wäre dann eine geeignete Demonstratoranlage. Mit dieser Anlage widmen wir uns sukzessive allen Einzellösungen.

Welchen Lösungsansatz verfolgen Sie bei SELEKTIV?

Selektive Kontakte bestehen aus mehreren Schichten, die, so der Fokus dieses Projekts, gegebenenfalls rein mithilfe des PVD-Verfahrens abgeschieden werden könnten. PVD steht kurz für Physical Vapor Deposition, es handelt sich also um rein physikalische Prozesse, wie zum Beispiel Sputtern oder Verdampfen. Selektive Kontakte könnten damit perspektivisch in einem einzigen, hochproduktiven Durchlaufsystem abgeschieden werden. Beim Sputtern schlägt man mit einer hohen elektrischen Leistung Teilchen aus einem Trägermaterial aus, welche sich auf dem Substrat absetzen. Eine Alternative dazu bietet das thermische Verdampfen, wobei Material erhitzt und verdampft wird. Dieser Dampf setzt sich an den Substraten wieder ab.

Und man schafft es, allein mit diesen physikalischen Verfahren die gewünschte Kontaktschicht hinzubekommen?

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Photovoltaik hat das BMWi 2017 insgesamt 103 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 89,3 Millionen Euro zur Verfügung gestellt (2016: 166 Projekte für rund 116,6 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 81 Millionen Euro in bereits laufende Vorhaben (2016: 57,8 Millionen Euro).

Auch bei den solarthermischen Kraftwerksprozessen sollen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten dazu beitragen, die Stromerzeugungskosten weiter zu senken. Diese sind – unter günstigen Einstrahlungs- und Finanzierungsbedingungen – in den vergangenen Jahren bereits von rund 30 Cent pro Kilowattstunde auf heute etwa 6 Cent pro Kilowattstunde gesunken. Werden solche Anlagen mit Photovoltaiksystemen kombiniert, kann Strom bereits heute zu

Das wäre unser Idealszenario, weil es von der anlagentechnischen Umsetzung betrachtet sehr charmant wäre. Wenn man stattdessen für die verschiedenen Schichten unterschiedliche Verfahren benötigen würde, dann hieße das unterschiedliche Anlagen. All das erhöht die Investitionskosten deutlich.

Was sind die Risiken bei einem solchen Projekt?

Das große wirtschaftliche Risiko liegt darin, dass das Konzept am Ende nicht marktfähig wird. Sprich, dass diese Solarzelle zwar wissenschaftlich eine schöne Idee, aber nicht in den großindustriellen Maßstab zu überführen ist. Genau das abzu prüfen ist Bestandteil des Projekts. Es kann immer passieren, dass etwas nicht so funktioniert wie erwartet. Dass im Industriemaßstab nicht die gewünschte Wirkungsgradsteigerung gezeigt werden kann, die man zuvor im Labormaßstab noch gut erreichen konnte, oder die Wirtschaftlichkeit des industriellen Prozesses nicht gegeben ist.

Warum gehen Sie solche Risiken ein?

Ziel ist es, die Nachhaltigkeit im Geschäft zu sichern. Es gibt heute einen Status quo, einen Stand der Technik, den wir als Anlagenbauer bedienen und für das aktuelle Geschäft adressieren. Dieses Geschäft ist jedoch meistens endlich, da unsere Kunden einem stetigen Kosten- und damit auch Innovations-

druck unterliegen – somit also auf Weiterentwicklung ihres Produktes oder der verwendeten Technologien und Anlagen angewiesen sind. Diesem Anspruch müssen wir als Anlagenbauer gerecht werden. Nur so können wir nachhaltig auch unser Geschäft weiterentwickeln, sichern und stabilisieren.

Welchen Stellenwert würden Sie also der industriellen Vorlauforschung einräumen?

Die industrielle Vorlauforschung im Allgemeinen ist sehr marktabhängig. In der PV-Branche erwarten Zellhersteller ein hohes Maß an Reife der angebotenen Anlagen nebst Prozessen, bevor Innovationen auch in Zellfertigungen Einzug halten. In diesem Markt ist der Stellenwert der industriellen Vorlauforschung deshalb sehr hoch. Aus diesem Grund sind wir hier aktiv. Dieser Aspekt ist für meinen ganz persönlichen Wirkungsbereich also von sehr hoher Bedeutung.

Das Interview führte Meike Bierther, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi fördert SELEKTIV – Selektive Kontaktsysteme für hocheffiziente Siliziumsolarzellen mit rund 3,2 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0324141A-B).

Das SCALA Lab X bei VON ARDENNE ist ein Labor- & Pilotfertigungssystem für die Abscheidung dünner Schichten, speziell für Applikationen innerhalb der kristallinen Silizium-Photovoltaik.



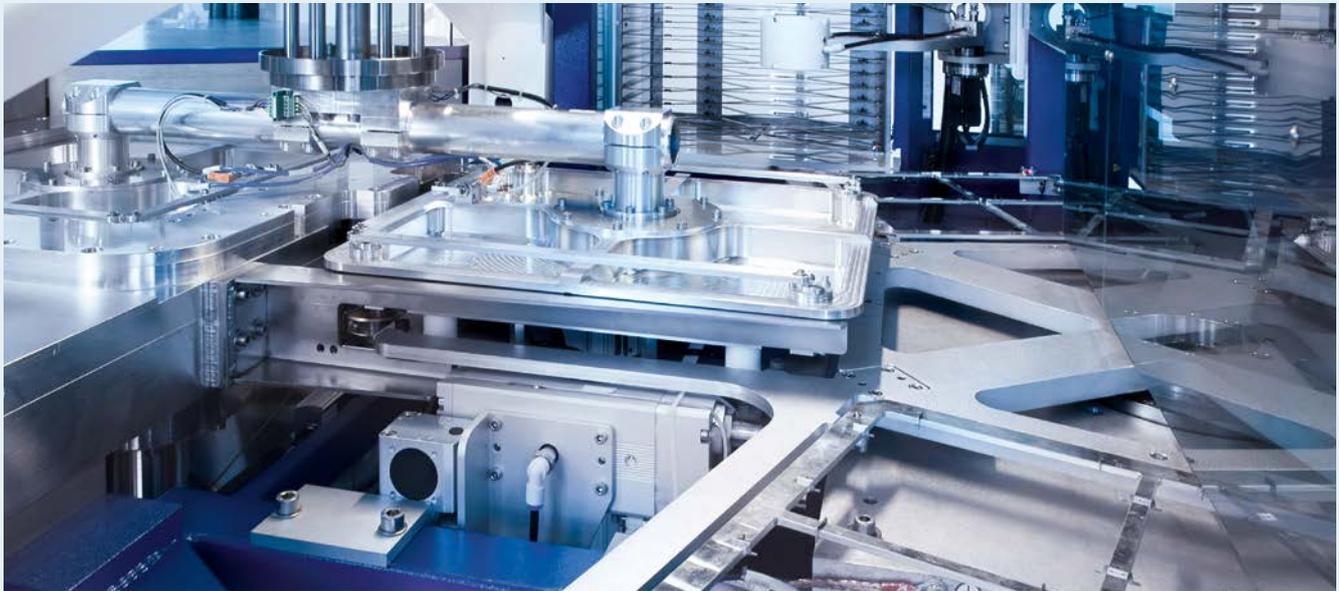
gleichen Preisen wie aus Gaskraftwerken angeboten werden. Ein wesentliches Forschungsgebiet im Zusammenhang mit der solarthermischen Kraftwerkstechnik ist die Entwicklung von Speichern, um auch nachts Strom ins Netz zu speisen. Daher arbeiten Hochschulen, wissenschaftliche Institutionen und Industrieunternehmen intensiv an technologieübergreifenden Konzepten und Pilotprojekten, um das Zusammenwirken unterschiedlicher Erneuerbare-Energien-Technologien mit Speichern weiterzuentwickeln (siehe auch „Mit flüssigem Salz Wärme speichern“, Seite 36). Innovative Digitalisierungskonzepte können darüber hinaus dazu beitragen, den Betriebsablauf mittels moderner Datenauswertung zu optimieren. Darüber hinaus forschen Wissenschaftsteams daran, Komponenten wie Spiegel, Receiver oder Speicher kontinuierlich zu verbessern. Mit dem For-

schungsvorhaben **Synlight** (siehe auch „Highlight: Simulation von Sonnenstrahlen“, Seite 35) wurde in diesem Jahr die größte künstliche Sonne der Welt in Jülich in Betrieb genommen. In der neuen Forschungsanlage können unter anderem Komponenten der solaren Turmtechnologie in großem Versuchsmaßstab getestet werden.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der solarthermischen Kraftwerke hat das BMWi 2017 insgesamt 21 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 5,6 Millionen Euro bewilligt (2016: 13 Projekte für rund 8,9 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 7,7 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 8,6 Millionen Euro).

Highlight: Hocheffiziente Solarzellen

Passivierte Kontakte fit für die Produktion



SINGULAR ist eine PECVD-Beschichtungsanlage, mit der unterschiedliche Passivierschichten bzw. Schichtstapel abgeschieden werden können.

In der nächsten Generation von kristallinen Solarzellen werden sogenannte passivierte Kontakte dazu beitragen, den Wirkungsgrad zu steigern. Noch ist die industrielle Produktion solcher Solarzellen allerdings zu teuer. Im Forschungsprojekt ProSelect – Produktionstechnologie für Hocheffizienzsolarzellen basierend auf selektiven Kontakten – erarbeiten die Projektpartner, darunter mehrere namhafte deutsche Unternehmen und Institute, unter Koordination von SINGULUS TECHNOLOGIES daher innovative Anlagen- und Prozesstechnologien.

Bei den aktuell gängigen, sogenannten PERC-Solarzellen geht vergleichsweise viel Strom verloren, wenn freie Ladungsträger an den Metallkontakten rekombinieren. Positive und negative Ladungen treffen dort aufeinander, ziehen sich gegenseitig an und stehen nicht mehr frei zur Verfügung, um als Strom abgeleitet zu werden. Daher werden seit einigen Jahren passivierte selektive Kontakte erforscht. Sie lassen nur eine Art Ladungsträger passieren. „Zudem besteht bei derartigen Zellen kein direkter Kontakt zwischen Siliziumbasis und Metallkontakt“, erklärt Dr. Anamaria Moldovan vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, das an **ProSelect** beteiligt ist. Dadurch rekombinieren die Ladungsträger kaum. „Dieses neue Zellformat besitzt großes Wachstumspotenzial. Verschiedene Kunden sind sehr interessiert, dafür in neue Maschinen zu investieren“, berichtet Dr. Torsten Dippell von SINGULUS TECHNOLOGIES.

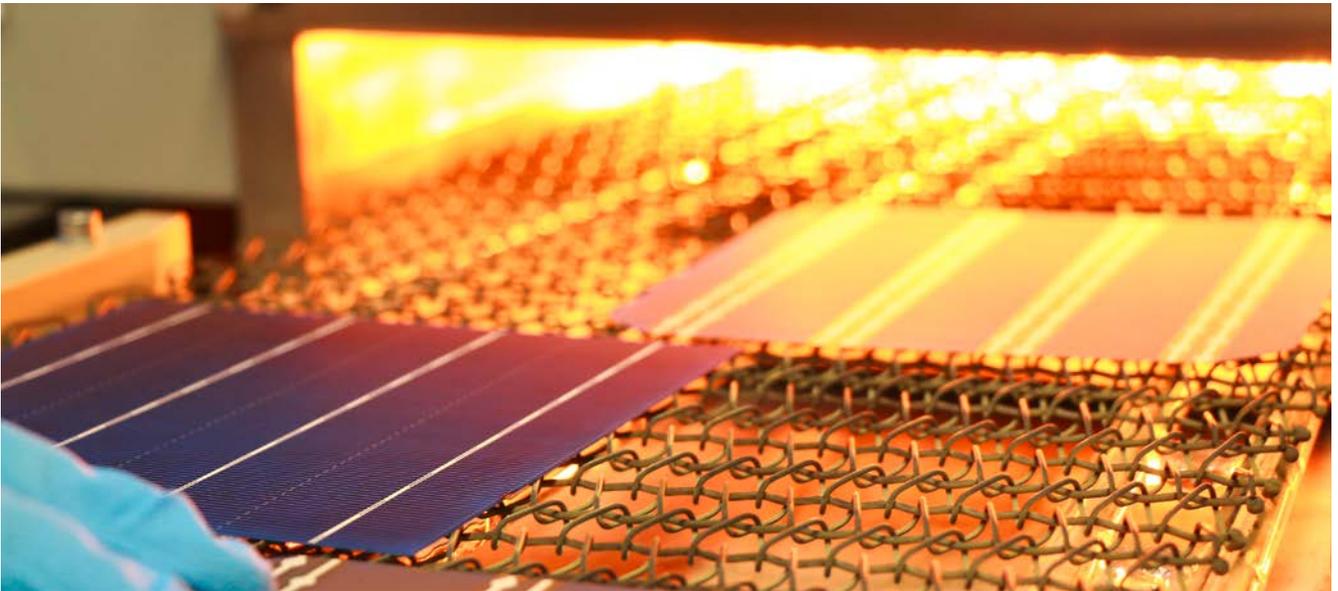
Es gibt mehrere vielversprechende Ansätze für Solarzellen mit passivierten selektiven Kontakten, die jedoch bislang vorwiegend im Labor- oder Pilotmaßstab hergestellt werden. Zum einen die klassische Silizium-Heterojunction-Solarzelle (SHJ),

die über 23 Prozent Wirkungsgrad in der Fertigung erreicht. Die Prozesse sind jedoch anspruchsvoll: „Obwohl die Zellen bereits kommerziell angeboten werden, ist die Produktion hinsichtlich Kosten, Maschinenverfügbarkeit und Produktivität noch zu optimieren“, so Dippell. Zum anderen gibt es Ansätze wie die TOPCon-Solarzelle (kurz für „Tunnel Oxide Passivated Contact“), die am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE entwickelt wurde. Mit diesem Konzept konnte ein Rekordwirkungsgrad von 25,8 Prozent erreicht werden – unter Laborbedingungen auf kleiner Zellfläche (4 Quadratzentimeter). Hochskaliert auf eine Zellfläche von 100 Quadratzentimetern waren es bereits 24,5 Prozent. Das Konzept verspricht somit auch für die industrielle Umsetzung ein hohes Potenzial.

Mit dem Projekt ProSelect widmen sich die Projektpartner dem Transfer der für passivierte selektive Kontaktsolarzellen relevanten Prozessschritte in den Produktionsmaßstab. Zu Beginn liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung kostengünstiger, industrietauglicher Produktionsprozesse einer klassischen SHJ-Zelle. Diese werden im weiteren Projektverlauf für das TOPCon-Konzept erweitert. Bis zum Projektende soll am Photovoltaik-Technologie-Evaluationscenter PV-TEC Select des Fraunhofer ISE ein Referenzprozess für TOPCon-Zellen auf Standardwafergröße zur Verfügung stehen. Die produzierten Solarzellen sollen Wirkungsgrade von über 23 Prozent erzielen. Neben SINGULUS arbeiten unter anderem Fraunhofer ISE, Helmholtz-Zentrum Berlin und ZS-Handling an dem Projekt.

Das BMWi fördert ProSelect mit rund 4 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0324189A-D).

Projekte



Multikristalline PERCT- zusammen mit ZEBRA-Solarzellen am Ausgang eines Feuerofens: Verschiedene Solarzellen in einer Fertigungslinie sind der Grundgedanke hinter dem Projekt FlexFab.

Produktion unterschiedlicher Solarzellen auf einer Linie

Flexibel von der Produktion eines Solarzellentyps auf ein anderes Konzept wechseln können – und das auf derselben Produktionslinie – das ist das Ziel des Projekts **FlexFab – Flexible Produktion von Solarzellen in zukünftigen PV-Fabriken**. Die Projektpartner RCT Solutions (Koordinator) und ISC Konstanz entwickeln ein Konzept für eine Linie, auf der mehrere, evolutionär aufeinander aufbauende Solarzellenkonzepte gefertigt werden können. Dadurch können neu entwickelte Konzepte in der Produktion getestet werden, ohne dass jeweils neue Linien gebaut oder neue Komponenten eingebaut werden müssen. Die Investition in eine neue Produktionslinie ist nicht länger an ein bestimmtes Zellkonzept gebunden. Damit entfällt eine große wirtschaftliche Hürde, neue Ansätze und Ideen in den Markt zu tragen.

Um unterschiedliche Produkte auf einer Linie fertigen zu können, setzt das FlexFab-Konzept unter anderem auf den Einsatz von Industrie-4.0-Technologien. Zum Beispiel wäre denkbar, dass die unterschiedlichen Wafer automatisiert ihren Weg durch die Fabrik finden. Als Basis für FlexFab dient eine Produktionslinie für Al-BSF-Zellen. Diese waren das Standard-Zellkonzept, bevor die PERC-Zelle den Markt erobert hat, weil sie eine bessere Performance bietet. Auf diese Basis kann der Investor stets zurückweichen – oder sie zur PERC-Linie umrüsten, das entsprechende Equipment ist enthalten. Die Projektpartner sehen in der flexib-

len Produktionslinie zudem eine Möglichkeit, ihre eigenen Zellkonzepte PERCT (RCT Solutions) und ZEBRA (ISC Konstanz) besser vermarkten zu können. Mit der neuen Linie haben sie die Möglichkeit, ihre Konzepte in eine realistische Produktionsumgebung zu transferieren, dort zu testen und zu optimieren, und schließlich mit der Pilotproduktion zu beginnen.

Das BMWi fördert FlexFab mit rund 1,9 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0324194A-B).

Fassaden für mehr Photovoltaik

Neben den etablierten Photovoltaikmodulen auf Hausdächern könnten Gebäudefassaden stärker als bisher für die photovoltaische Energieerzeugung genutzt werden. Dieses Ziel haben sich die Projektpartner des Projekts **CIGS-Fassade – Fassadenintegrierte Photovoltaik-Systeme in CIGS-Technologie** unter Koordination des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg (ZSW) gesetzt. Prinzipiell sehr gut für die Integration in Gebäudefassaden geeignet sind CIGS-Dünnschichtmodule. Diese sind wegen ihres homogenen Erscheinungsbildes und wegen ihrer hohen Leistungsdichte von Architekten und Bauherren gleichermaßen akzeptiert. Die Fassaden sind jedoch nur eingeschränkt zugänglich und häufiger verschattet als ein Dach. Daher müssen sowohl Photovoltaik-Elemente als auch systemtechnische Komponenten wie beispielsweise Wechselrichter spezielle Anforderungen an



Die Fassade des neuen Institutsgebäudes des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) ist mit CIGS-Modulen ausgestattet.

Sicherheit, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit erfüllen. Innerhalb des Projekts CIGS-Fassade möchten die Projektpartner sowohl fertigungstechnische als auch systemtechnische Herausforderungen lösen, um einen stärker wachsenden Markt für gebäudeintegrierte CIGS-Dünnschichtphotovoltaik zu schaffen. Das Moduldesign wird hinsichtlich Ertrag, Montagefreundlichkeit und Flexibilität der Modulgröße innerhalb des Gesamtsystems CIGS-Fassade optimiert.

Auch soll das Gesamtsystem Gebäude betrachtet werden. So ist es möglich, die Abwärme der Fassaden als Quelle für Wärmepumpen einzusetzen oder das Fassadensystem im Sommer zur natürlichen Belüftung zu nutzen. Verschiedene Gebäudetypen werden in die Betrachtungen miteinbezogen und sowohl hinsichtlich ihres elektrischen als auch ihres thermischen Energiebedarfs untersucht. Ein weiteres Ziel besteht darin, ein schattentolerantes Modul zu entwickeln, welches die an Gebäudefassaden vorherrschenden Einstrahlungsbedingungen besser nutzen kann als ein herkömmliches. Weitere Projektpartner sind die Hochschule für Technik Stuttgart sowie Manz CIGS Technology.

Das BMWi fördert CIGS-Fassade mit rund 1 Million Euro (Förderkennzeichen 0324156A-C).

Wechselrichter der vierten Generation

Nicht nur in Bezug auf CIGS-Fassaden bietet die Leistungselektronik einen wichtigen Ansatzpunkt, um Photovoltaik als Technologie weiterzuentwickeln, sondern auch in Bezug auf Silizium-Solarmodule. Ziel des Projekts **ModulWR_4 – Modulwechselrichter der vierten Generation** unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesys-

teme ISE ist es, eine neue Generation von Wechselrichtern für Solarmodule zu entwickeln. Anlagen bis zu einer Größe von maximal 16 Solarmodulen sollen demnach zukünftig auf modulintegrierte Elektronik zurückgreifen können. Durch verschiedene innovative Lösungsansätze sollen sowohl der Wirkungsgrad der integrierten Wechselrichter von bisher 93 bis 95 Prozent auf 96 Prozent gesteigert als auch die bisherigen Systemkosten auf unterhalb der üblichen 40 bis 50 Cent pro Watt reduziert werden.

Der neue Wechselrichter benötigt kein eigenes Gehäuse mehr. Stattdessen wird er so flach realisiert, dass er auf der Rückseite des Solarmoduls mit einlaminiert werden kann. Dadurch muss das Modul auch nicht mehr geerdet werden. Um den Wechselrichter ausreichend flach und leicht zu



Die Leistung des innerhalb des Projekts ModulWR_4 zu entwickelnden Wechselrichters wird auf Solarmodule mit 60 Einzelzellen ausgelegt, die Leistungselektronik wird in das Modul integriert.

konstruieren, werden bisher übliche Bauteile ersetzt oder weggelassen, der Aufbau wird neu überdacht. Unter anderem steht infrage, ob weiterhin ein Transformator eingesetzt werden soll. Die Projektpartner testen neuartige Halbleiter wie Siliziumkarbid oder Galliumnitrid und entwickeln ein neuartiges Passivkühlkonzept. Zunächst testen sie einzelne Elemente und deren Verknüpfung auf einer eigens entwickelten Testplattform, um diese Erfahrungen anschließend in den Aufbau eines Demonstrators einfließen zu lassen. Die neue Wechselrichtergeneration soll in der Lage sein, Blindleistung zu liefern und somit das Stromnetz zu stabilisieren. Zudem soll eine drahtlose Kommunikationsschnittstelle zur Verfügung stehen. Weitere Projektpartner sind AEconversion und die Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg.

Das BMWi fördert ModulWR_4 mit rund 970.000 Euro (Förderkennzeichen 0324136A-C).

Highlight: Simulation von Sonnenstrahlen

Die größte künstliche Sonne der Welt

Im nordrhein-westfälischen Jülich scheint die Sonne auf Knopfdruck: Im neuen Forschungsgebäude des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) simulieren 149 Hochleistungsstrahler Sonnenstrahlung, die eine mehr als 10.000-fache Intensität des natürlich einfallenden Sonnenlichts auf der Erde hat. Mit ihr entwickeln die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler neue Produktionsverfahren für solar erzeugte Treibstoffe, wie beispielsweise für Wasserstoff. Die „solaren“ Kraftstoffe sollen in Zukunft fossile Kraftstoffe wie Benzin oder Diesel ersetzen und damit den Ausstoß von klimaschädlichem Kohlendioxid in die Atmosphäre vermeiden.

Das Herzstück der Kunstsonne namens **Synlight®** besteht aus 149 Xenon-Kurzbogenlampen, die in ellipsoid-förmigen Reflektoren positioniert sind. Diese Module sind in einer 15 Meter hohen Stahlkonstruktion montiert. Jedes Modul lässt sich flexibel ausrichten, sodass das Licht – je nach Experiment – entweder auf einen Punkt oder auf eine größere Fläche strahlt. Im Fokus wird es bis zu 3.000 Grad Celsius heiß, sodass Experimente auch bei sehr hohen Temperaturen durchgeführt werden können.

Synlight kann für Forschungszwecke Temperaturen bis zu 3.000 Grad Celsius erzeugen.

Drei Kammern ermöglichen parallele Versuche

Synlight® hat drei Versuchskammern, um entweder mehrere Versuche gleichzeitig durchzuführen oder zeitsparend parallel Rüstarbeiten und Bestrahlungen für unterschiedliche Anwendungen zu ermöglichen. Zwei der drei Kammern eignen sich für spezielle solarchemische Anwendungen. Sie sind mit einer Abgasbehandlung ausgestattet, um Hochtemperaturverfahren zur Herstellung solarer Brennstoffe zu optimieren. Die neue Forschungsanlage wird auch für eine Vielzahl weiterer Entwicklungen zum Einsatz kommen. Hierzu zählen vor allem Komponenten und Prototypen der solaren Turmtechnologie, die in großem Versuchsmaßstab zwischen dem Labor und einer großtechnischen Anlage mit einer Strahlungsleistung von über 300 Kilowatt und Bestrahlungsstärken von mehr als 10 Megawatt pro Quadratmeter getestet werden können. „In Jülich lassen sich systematische Bestrahlungsexperimente unabhängig von meteorologischen Verhältnissen und unter exakt reproduzierbaren Bedingungen durchführen“, erläutert DLR-Abteilungsleiter Dr. Karl-Heinz Funken. Diesen Vorteil können sich auch Wissenschaftsteams aus der Luft- und Raumfahrt zunutze machen. Die Strahlungsintensität bietet die Möglichkeit, große Satellitenbauteile zu bestrahlen – etwa um ihr Alterungsverhalten im Weltraum quasi im Zeitraffer zu simulieren.

Das BMWi fördert Synlight mit rund 1,1 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0325455).



Mit flüssigem Salz Wärme speichern

Salzspeicher sind schon heute bei Solarkraftwerken in wärmeren Regionen der Erde im Einsatz. Die Wärmespeicher könnten aber auch bei konventionellen Kraftwerken nicht benötigten Strom zwischenspeichern und damit die Lastwechsel auffangen, die aufgrund der unterschiedlichen Einspeisungen aus erneuerbaren Energien entstehen. Weiterhin könnten diese Speicher die Effizienz in der energieintensiven Prozessindustrie verbessern.

In Köln untersuchen Forscher des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Forschungsverbund mit der Universität Stuttgart, wie die Technologie noch kostensparender genutzt werden kann. Im Fokus des Projekts **MS Store – Flüssigsalzspeicher-Testanlage und neue Fluide**

Im Forschungsverbundprojekt MS Store wird ein Eintank-Schichtspeicher getestet, der die Investitionskosten um bis zu 40 Prozent im Vergleich zu den derzeit verfügbaren Flüssigsalz-Systemen senken könnte.

steht die innovative Testanlage für Wärmespeicherung in Salzschnmelzen (TESIS). TESIS besteht aus zwei getrennten Anlagen, um die jeweiligen Fragestellungen gezielt zu untersuchen. Dies sind die Anlagenteile TESIS:store für die Speicherentwicklung und TESIS:com für Komponententests.

Der Anlagenteil TESIS:store arbeitet mit nur einem Speicher – entgegen der am Markt üblichen Zweitank-Speicherlösung. Von außen gleicht dieser Tank einem Silo, innen setzt sich unten das kalte, und im oberen Bereich das heiße Flüssigsalz ab. Um die Kosten weiter zu reduzieren, tauschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die vergleichsweise teure Salzschnmelze im Speichervolumen durch Gestein aus. „Salz ist ungefähr zehn Mal so teuer wie Naturstein“, berichtet Projektleiter Dr. Thomas Bauer. „Dies macht sich



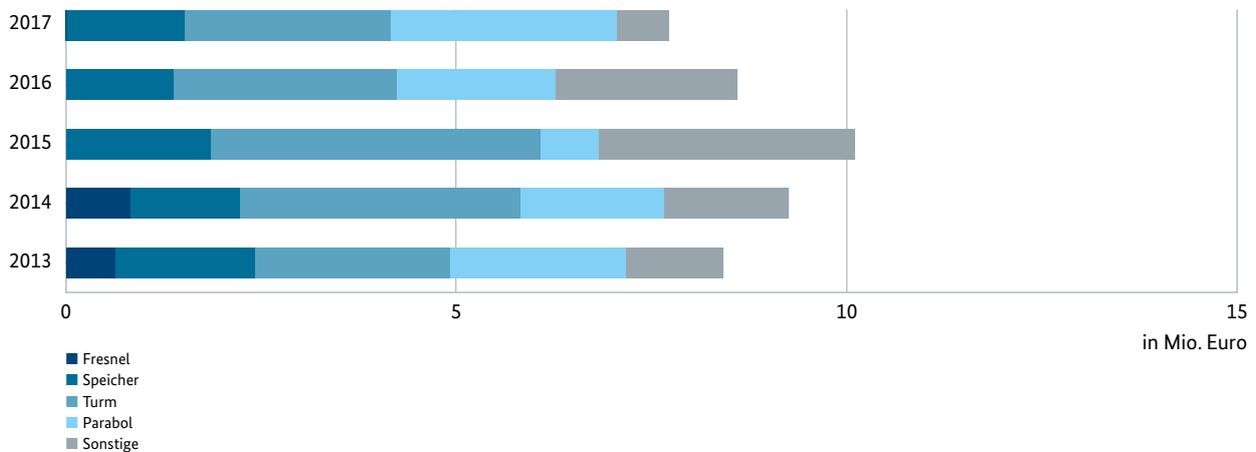
bei rund 30.000 Tonnen eingesetztem flüssigen Salz in einem Kraftwerk auf der Kostenseite schon bemerkbar.“ Doch rund um die Salzspeicher gibt es noch viel zu erforschen. Die Wärmeschichtung der Salze im Temperaturbereich zwischen 170 und 560 Grad Celsius ist beispielsweise noch zu wenig bekannt. Zudem wirken die heißen Salze korrosiv auf Pumpen und Ventile. Detaillierte Untersuchungen zu Wärme- und Stofftransport, Thermomechanik und Materialverträglichkeit stehen daher in Köln auf dem Versuchsplan. Darüber hinaus optimieren die Wissenschaftsteams im Projekt einzelne Komponenten und klären verfahrenstechnische Fragestellungen im Anlagenteil TESIS:com.

Das BMWi fördert MS Store mit rund 6,8 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0325497A-B).

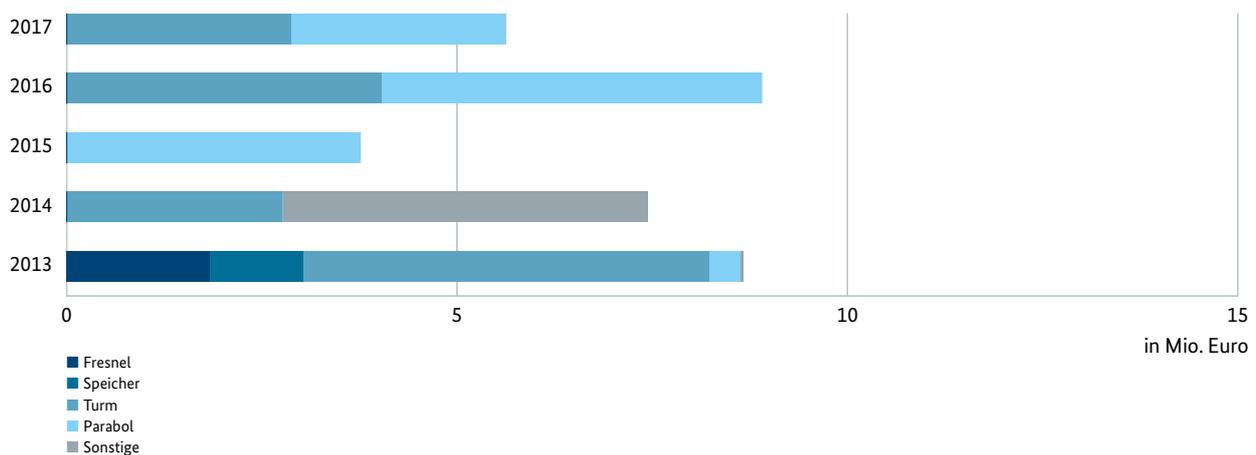
Forschung an solarthermischen Kraftwerkskomponenten trägt dazu bei, die Technik effizienter zu machen.



Solarenergie/Solarthermische Kraftwerke: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



Solarenergie/Solarthermische Kraftwerke: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013





Geothermie

Wärme aus dem Untergrund ist als Energiequelle ökologisch und ökonomisch attraktiv. Bei der benötigten Technologie ist der deutsche Anlagen- und Maschinenbau weltweit führend.



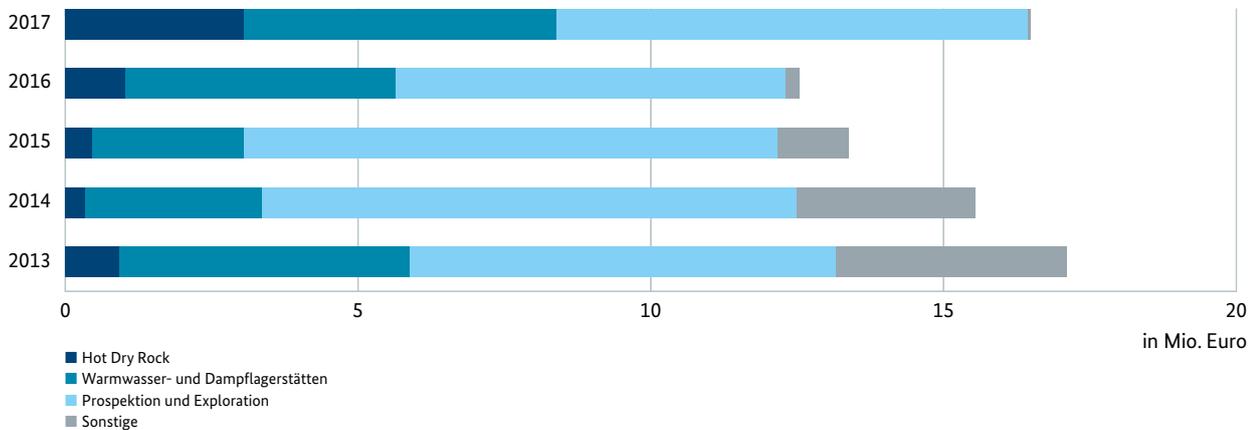
Geothermie ist schon längst kein Exot mehr unter den Energie-Technologien. Viele nutzen die Erdwärme in kleinem Rahmen, in Form von Wärmesonden mit geschlossenem Kreislauf und geringer Bohrtiefe, um Haushalte, Industrieunternehmen oder Stadtviertel zu versorgen. Die Forschung beschäftigt sich dagegen hauptsächlich mit offenen Systemen. Heißes Wasser wird dabei direkt aus dem tiefen Untergrund gefördert und für die Wärmegewinnung oder Stromerzeugung genutzt.

Im Februar 2017 waren nach Statistiken des Bundesverbands Geothermie (BVG) in Deutschland 33 regionale geothermische Heizwerke in Betrieb, Anzahl steigend. Die Stadtwerke München gehen hier ein Stück weiter und planen, zukünftig

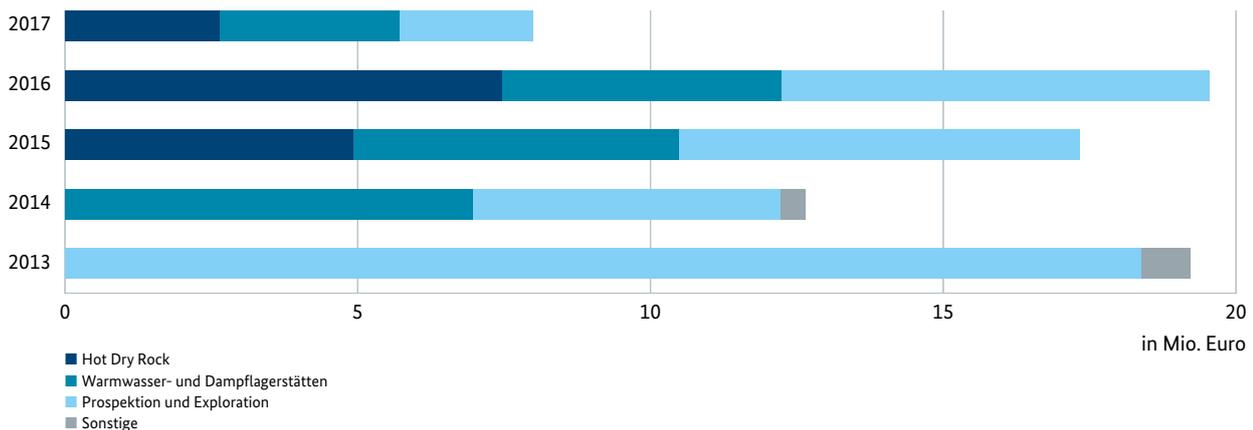
das komplette Stadtgebiet mit nachhaltiger Fernwärme zu versorgen, die zu wesentlichen Teilen aus Erdwärme stammt. Rund um München herrschen besonders günstige Voraussetzungen für ein entsprechendes Vorhaben. Die Region ist Teil des Bayerischen Molassebeckens. Dort befindet sich in nur 2 bis 3 Kilometern Tiefe ein Heißwasservorkommen mit Temperaturen von 80 bis über 140 Grad Celsius. Rund um München bauen die Stadtwerke München aktuell Geothermie-Anlagen, die Stück für Stück an das bestehende Fernwärmenetz angeschlossen werden. Das Vorhaben hat bereits internationale Aufmerksamkeit erlangt (siehe auch „Im Fokus: Internationale Aktivitäten“, Seite 41).

Prinzipiell lässt sich mit Erdwärme von ausreichend hoher Temperatur auch Strom erzeugen. Im Februar 2017 waren nach BVG-Statistik acht Geothermie-Kraftwerke in Deutschland am Netz, die Strom produzieren – zum Teil als kombiniertes Heizkraftwerk für Wärme und Strom. Mit einer

Geothermie: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



Geothermie: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013



Im Fokus: Internationale Aktivitäten

Netzwerken für den Erfolg

Wesentliche Aspekte internationaler Zusammenarbeit sind der Informationsaustausch sowie wissenschaftliche und wirtschaftliche Partnerschaften. Indem über den eigenen Tellerrand geschaut wird und Erfahrungen international ausgetauscht werden, verbreiten sich nutzbare und wertvolle Erkenntnisse. Zudem hilft es deutschen Unternehmen, ihr Know-how zu vermarkten – auch im Bereich Geothermie ein wichtiger Aspekt.

„Central and South America Workshop“ in Cuernavaca, Mexiko. 180 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Lateinamerika und den 13 Mitgliedsländern des IEA Geothermal TCP – dem Geothermie-Programm der Internationalen Energie Agentur (IEA) – verfolgen mit großem Interesse die Präsentationen internationaler Unternehmen. Es geht darum, wofür Geothermie bereits weltweit genutzt wird. Die gezeigten Anwendungsbeispiele reichen von Holz Trocknung und Fischzucht über Käseproduktion bis zur Schienenbeheizung. Das geht weit über die bekannten Beispiele wie Gebäudeheizungen hinaus. „Workshops sind das Mittel der Wahl, um mit Erfolgsgeschichten zu überzeugen und Zuhörer zu inspirieren, für ihre Länder eigene Lösungen zu finden“, sagt Dr. Lothar Wissing, Chairman des IEA Geothermal TCP im Auftrag des BMWi und Mitarbeiter des Projektträgers Jülich. „Wir gehen dahin, wo Know-how gebraucht wird – in Schwellenländer, Entwicklungsländer und Länder mit erkennbar hohem Interesse an Weiterentwicklungen. Dabei hat persönliches Networking einen hohen Stellenwert.“

Zur Geothermie ist Deutschland seit 20 Jahren in der IEA international engagiert und stellt seit 2016 den Chairman. Mit dem Workshop in Mexiko startete 2016 eine Reihe internationaler Workshops, ein zentrales Element des IEA Geothermal TCP. Auch deutsche, international gut aufgestellte Unternehmen und Institute sind hier stark präsent.

Eine Erfolgsgeschichte ist das BMWi-Fördervorhaben „GRAME“ der Stadtwerke München (SWM). „Der strategische Ansatz der SWM, eine weltbekannte Millionenstadt wie München bis 2040 geothermisch mit Wärme zu versorgen, zieht weltweit die Aufmerksamkeit auf den Technologiestandort Deutschland“, freut sich Lothar Wissing. „Nach langjähriger Forschungsförderung in einem schwierigen geologischen Umfeld, das viele spezielle Lösungen erforderte, sind wir technologisch spitze.“ Exportchancen liegen bei Bohranlagen, Tiefenpumpen, Hochtemperaturelektronik, Engineering sowie Prozess-Know-how – Angebote meist mittelständiger Unternehmen. Das BMWi ist zudem in der europäischen Cofund Action GEOTHERMICA aktiv, einem gemeinsamen Förderprogramm 14 europäischer Länder. „Erstmals tun sich hier alle großen Förderorganisationen Europas zusammen“, betont Programm-



Auf den Azoren herrschen gute Voraussetzungen für die Nutzung von Geothermie – eine interessante Anlaufstelle für die Mitglieder von Geothermica, die hier 2017 ihr Kick-off-Treffen hatten.



Besichtigungen der lokalen Geothermie-Projekte, wie hier in Mexiko, sind wichtiger Bestandteil internationaler IEA-Workshops.

Koordinator Dr. Guðni A. Jóhannesson aus Island den Neuheitsgrad der Kooperation. Das BMWi beteiligt sich an dem gemeinsamen Förderaufruf mit 4 Millionen Euro. Der Fokus der Ausschreibung liegt auf Demonstrationsprojekten. Zuvor innerhalb des europäischen ERA-NET Geothermie identifizierte Hemmnisse auf dem Weg zur Marktfähigkeit werden mit den ausgewählten Projekten gezielt angegangen.

Nationale Fördermittel werden durch einen Zuschuss (Cofund) der Europäischen Kommission ergänzt, sodass Projekte mit insgesamt rund 30 Millionen Euro gefördert werden. Dadurch kann gemeinsam an Forschungsprojekten gearbeitet werden, die nicht allein von den Fördergeldern der einzelnen Länder abhängen. „Die Projekte selbst stehen im Mittelpunkt“, erläutert Jóhannesson, „wir bringen europaweit Know-how zusammen, um die Geothermie als Technologie im Markt zu etablieren.“ Ende März sind die Entscheidungen gefallen: Deutschland ist an fünf Projekten mit insgesamt zehn Einzelanträgen unterschiedlicher Unternehmen und Institute beteiligt. Themen sind thermische Speicher, Bohrlochausbau sowie optimierte Betriebsabläufe. „Durch GEOTHERMICA entstehen konkrete geförderte Projekte“, so Jóhannesson. „Es ist ein starkes Bündnis für unser vorrangiges Ziel: die vorhandenen Geothermie-Ressourcen kostengünstig nutzen zu können und somit den Ausstoß von CO₂ zu reduzieren.“

Die Herausforderung besteht darin, mit kilometerlangem Bohrgestänge einen ganz bestimmten Zielbereich zu treffen.



Seit Herbst 2016 deckt die Geothermieanlage Freiham die Grundlast des Wärmebedarfs des neu entstehenden Stadtteils Freiham sowie benachbarter Gebiete im Münchner Westen.

installierten elektrischen Leistung von zusammengefasst 37 Megawatt fällt der Beitrag zur deutschen Stromversorgung jedoch gering aus. Die Betriebserfahrungen der Anlagen zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit einer reinen Stromproduktion aus Geothermie in Deutschland auch auf längere Sicht schwer zu erreichen ist. Ein Grund dafür sind die hohen und damit kostspieligen Bohrtiefen von bis zu 5 Kilometern, die notwendig sind, um Wasser mit ausreichend hoher Temperatur von 120 bis 150 Grad Celsius zu fördern.

Die direkte Nutzung geothermischer Wärme wird in Deutschland zunehmend zum vorrangigen Ziel und ist bereits jetzt wirtschaftlich. Um die für den Betrieb von Fernwärmenetzen benötigten 80 bis 100 Grad Celsius Wassertemperatur zu erreichen, muss nicht so tief gebohrt werden. In der Regel sind dafür Tiefen von 2,5 bis 3 Kilometern bereits ausreichend.

Die letzten 20 Jahre Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet haben dazu beigetragen, dass der deutsche Maschinen- und Anlagenbau im Bereich Geothermie technologisch weltweit führend ist. Daraus ergibt sich ein hohes Exportpotenzial, sowohl im Bereich der Wärmegewinnung als auch im Bereich der Stromproduktion.

Forschen, entwickeln und fördern

Die benötigte Technik sowie Verfahren für den Betrieb einer Geothermie-Anlage mit offenem Wasserkreislauf wurden aus der Kohlenwasserstoffindustrie adaptiert und eingesetzt. Wissenschafts- und Ingenieursteams an deutschen Hochschulen, Forschungsinstitutionen und in der Industrie haben diese innerhalb der vergangenen Jahre kontinuierlich an die Erfordernisse der Geothermie angepasst. Insbesondere im Bereich Anlagentechnik konnten sie bereits entscheidende technologische Fortschritte erzielen. Hervorheben lassen sich unter anderem Tiefenpumpen mit hoher Förderleistung. Auch konnten die Forschenden das Reservoir-, Prozess- und Risikomanagement deutlich verbessern.

Aktuelle Projekte beziehen sich auf alle Stufen des Baus einer Geothermie-Anlage: von der Exploration der Lagerstätte über die Bohrung bis zum Bau beziehungsweise dem anschließenden Betrieb der eigentlichen Anlagen. Bohrungen sind nach wie vor mit einem Erfolgsrisiko verbunden. Die Herausforderung besteht unter anderem darin, mit kilometerlangem Bohrgestänge einen ganz bestimmten Zielhorizont zu erreichen (siehe auch „Vor Ort auf Schwingungen reagieren“, Seite 44). Eine weitere Herausforderung: Das Thermalwasser enthält kleine Partikel, etwa Sand aus der Tiefe oder mineralische Ausfällungen, welche die Filter einer Geothermie-Anlage rasch zusetzen (siehe auch „Neues Filtersystem für weniger Verstopfungen“, Seite 45). In einem anderen Vorhaben testen Forschende in Niedersachsen, inwiefern ein künstlich geschaffener Riss im Untergrund als Wärmetauscher genutzt werden kann (siehe auch „Highlight: Künstliche Rissysteme“, Seite 43). Gemeinsames Ziel aller geförderten Forschungsprojekte ist es, die Kosten der Geothermie mithilfe innovativer Ansätze in allen Teilen der Wertschöpfungskette weiter zu senken und damit die Geothermie als eine nachhaltige und wirtschaftlich attraktive Alternative zur Wärmegewinnung in Deutschland zu nutzen.

Ein relativ neuer Forschungsansatz besteht darin, Geothermie vermehrt als Wärmespeicher einzusetzen, um Schwankungen in Wärmenetzen auszugleichen und somit den Wandel des Energiesystems zu unterstützen. Speicher im Erdboden – sowohl geschlossene als auch offene Systeme – könnten sowohl langfristig saisonal, als auch situativ, also bei kurzzeitigen Energieüberschüssen im Energiesystem, eingesetzt werden.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Geothermie hat das BMWi 2017 insgesamt 17 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 8 Millionen Euro bewilligt (2016: 22 Projekte für rund 19,6 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 16,5 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 12,5 Millionen Euro).

Highlight: Künstliche Rissysteme

Aufheizen, bitte!

Ein künstlich geschaffener Riss im Gestein, ein wenig mehr als dreieinhalb Kilometer unter der Erdoberfläche. Der Stein dort unten ist 140 Grad Celsius heiß. Die Idee: Wir pumpen kaltes Wasser in die Erde, leiten es durch den Riss und nutzen den Stein dabei als Wärmetauscher. Am Ende fördern wir heißes Wasser nach oben und nutzen es zum Heizen. Doch wie gelingt das – vor allem stetig und zuverlässig? Im Landkreis Uelzen in Niedersachsen nutzt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) die Bohrung Horstberg Z1, um dieser Frage auf den Grund zu gehen.

„Die Bohrung Horstberg ist weltweit eine der wenigen Geothermiebohrungen mit einem künstlichen Riss im Sedimentgestein“, sagt Dr. Torsten Tischner, Projektleiter des Forschungsprojekts **Horstberg** an der BGR. Der vertikale Riss liegt zwischen zwei Schichten des sogenannten mittleren Buntsandsteins zwischen circa 3.600 und 3.800 Metern Tiefe. Er ist innerhalb eines Vorgängerprojekts geschaffen worden, indem mehrere Tausend Kubikmeter Wasser in das Gestein gepresst worden sind. Es hat sich gezeigt, dass der geschaffene Riss auch nach Jahren auf einer Fläche von rund 10.000 Quadratmetern für Wasser durchlässig geblieben ist, obwohl sich die Rissflächen wieder nahezu geschlossen hatten.

Der Fokus der Forschungsarbeiten liegt auf einer erfolgreichen Wasserzirkulation mit konstantem Wasserdruck und ausgeglichener Wasserbilanz. Dabei steht das Thermalwasser hier grundsätzlich unter hohem Überdruck. Um es zu fördern, ist daher keine Pumpe notwendig. Stattdessen benötigen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Hochdruckpumpe, um das kalte Wasser bei der Injektion in die Bohrung hineinzupumpen. Es gelangt in die Region am unteren Ende des Risses und steigt dann durch das heiße Gestein nach oben. Am oberen Ende des Risses angelangt, wird es durch dieselbe Bohrung zurück an die Erdoberfläche geleitet, es ist also nur eine Bohrung notwendig. „Eine wichtige Fragestellung ist, ob das System thermisch nachhaltig ist beziehungsweise wie es dafür gestaltet sein muss“, so Torsten Tischner. „Wir möchten unter anderem herausbekommen, bei welcher Förderrate und mit welchem Druck wir es schaffen können, eine möglichst langfristige Wärmeabgewinnung zu gewährleisten.“

Reservoirmodell zeigt Erfolgchancen auf

Längerfristige Zirkulationstests sollen Klarheit bringen. Hierbei setzt die BGR auch verschiedene Tracer ein. Tracer sind Markierungsstoffe, die mit dem Wasser fließen, bei hohen Temperaturen stabil bleiben und möglichst nicht mit dem Gestein reagieren: „Als besonders vielversprechend erweisen sich hierfür Edelgase“, berichtet Vera Hehn, die zuständige Geochemikerin im Projekt, vom aktuellen Stand der Arbeiten. Am Ende entsteht ein Reservoirmodell, das die langfristige Nutzung solcher künstlicher Rissysteme simulieren kann. Auch lässt sich dieses dann flexibel erweitern – wie wäre es etwa, ein System mit mehreren Rissen zu schaffen? Wie stabil und nachhaltig wäre das? Am Ende liegt hier eine weitere Chance auf eine CO₂-freie Energieversorgung.

Das BMWi fördert Horstberg mit rund 3,8 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0325946).

Im Gasseparator wird das geförderte Formationsfluid entgast, sodass Gas- und Fluidproben getrennt gewonnen und auf ihre Zusammensetzung hin untersucht werden können.



Projekte

Vor Ort auf Schwingungen reagieren

Einen Zielhorizont in einigen tausend Metern Tiefe gezielt und sicher mit entsprechend langem Bohrgestänge zu erreichen, ist nach wie vor eine Herausforderung für die Nutzung der Geothermie. Ein Ansatzpunkt, die dadurch entstehenden hohen Kosten zu reduzieren, wäre eine bessere Kontrolle unerwünschter mehraxialer Schwingungen der Bohrausrüstung. Schwingungen treten insbesondere in den für Geothermienutzung relevanten Gesteinsschichten fast schon zwangsläufig auf, wenn der Bohrer durch die unregelmäßig aufgebauten Störungszonen im Gestein bohrt. Die Folgen sind zum Beispiel Stillstand, bis sich die Schwingungsintensität vermindert hat. Darüber hinaus können die Schwingungen zu Beschädigungen bis hin zu einem Ausfall der Bohrsysteme führen. Unerwünschte Schwingungen reduzieren auch den Bohrfortschritt zum Teil signifikant, da der Meißel zeitweise den Kontakt zum Gestein verliert. Zusammengekommen verkürzt das die Lebensdauer des Meißels, ein früherer Austausch wird nötig. Nicht zuletzt können Schwingungen dazu führen, dass der Zielhorizont verfehlt wird. Alle genannten Folgen verursachen hohe Kosten.

Innerhalb des Projekts **OBS – Optimierung des Bohrfortschritts für tiefe Geothermiebohrungen** am Drilling Simulator Celle der Technischen Universität Clausthal soll das Schwingungsverhalten von Bohrstrangkomponenten daher in einem ersten Schritt erstmals systematisch untersucht und analysiert werden. Hierfür entwickeln die Projektpartner ein geeignetes Laborverfahren, um unerwünschte Schwingungen im unteren Bereich einer Bohrung realitätsnah nachstellen zu können. Das Ziel sind detaillierte Kenntnisse über Art der Schwingung und Entstehungsursachen. Auf den Ergebnissen aufbauende Bohrsysteme könnten später



Das Wasser aus einer Förderbohrung wird durch Leitungen in ein Geothermieheizkraftwerk geleitet.

den Bohrprozess mithilfe einstellbarer Parameter so steuern, dass Schwingungen weitgehend vermieden werden, idealerweise direkt an der Bohrgarnitur selbst. Bisher kann lediglich, wenn überhaupt, durch veränderte Bohrparameter wie Bohrandruck und Drehzahl von über Tage aus auf auftretende Schwingungen reagiert werden. Projektpartner ist die Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig mit ihrem Institut für Dynamik und Schwingungen.

Das BMWi fördert OBS mit rund 3,8 Millionen Euro (Förderkennzeichen: 0325946).



Die Tests für das Projekt OBS werden mit einer waagrecht montierten Bohranlage durchgeführt. Der Antrieb (rot, mittig im Bild) treibt das Bohrgestänge an, das aus der Halle heraus auf das Gelände ragt.



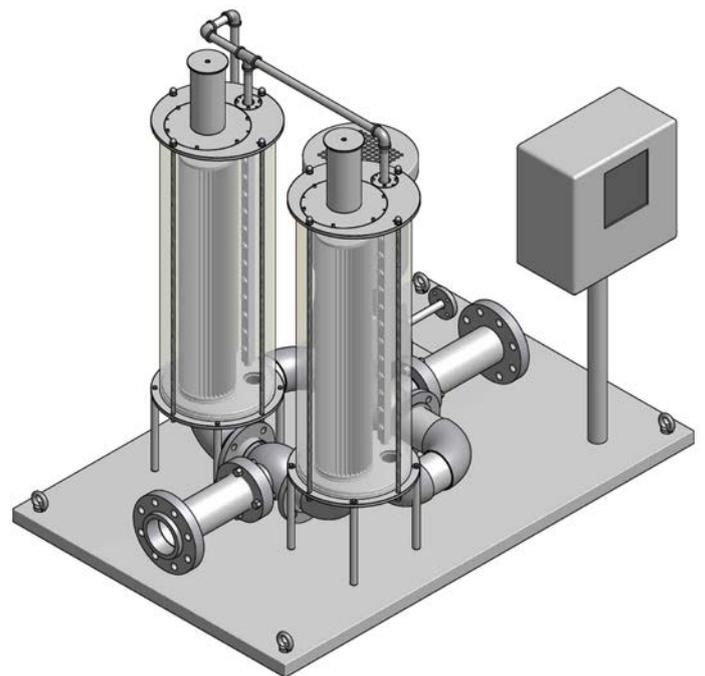
kerze von außen nach innen durchströmt wird. Setzt sich diese zu, wird sie mit eingebauten Wasserdüsen und einem Ultraschallreinigungssystem gereinigt, während der andere Filter den kontinuierlichen Betrieb aufrechterhält. Im Zuge der Reinigung lassen sich auch Verkrustungen von der Oberfläche entfernen. Das System, entwickelt von AFS Advanced Filter Solutions, wird bereits für Trink- und Prozesswasser eingesetzt. Innerhalb des Projekts passen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler es für die Bedingungen in Tiefengeothermie-Anlagen an. Neben reduzierten Stillstandzeiten ist die Reinigung ohne Chemikalien ein weiteres Hauptziel der Arbeiten. Projektpartner ist die Technische Universität München.

Das BMWi fördert HydroGeoFilt mit rund 430.000 Euro (Förderkennzeichen 0324118A-B).

Neues Filtersystem für weniger Verstopfungen

Den Stillstand einer geothermischen Anlage zu vermeiden ist auch das Ziel des Projekts **HydroGeoFilt – Entwicklung eines neuen Filtersystems für den Einsatz in tiefen geothermischen Anlagen** unter Koordination des Unternehmens Hydroisotop. Die Projektpartner entwickeln ein neuartiges, patentierbares Filtersystem, das Feststoffe aus dem Thermalwasser filtert und dabei wartungsarm, ressourceneffizient und kostengünstig funktionieren soll. Filter werden auch jetzt schon zwingend eingesetzt, um Wärmetauscher und Injektionsbohrung nicht zu verstopfen: Mit dem Thermalwasser gelangen Sande und Feinkiese aus dem Reservoir mit an die Oberfläche. Weitere Feststoffe sind Ausfällungen, die sich als Reaktion der Anlage auf chemische Inhaltsstoffe im Thermalwasser bilden.

Bei hohen Volumenströmen, wie sie auch im Bayerischen Molassebecken mit bis zu 150 Litern pro Sekunde üblich sind, setzen Anlagenbetreiber bisher auf KerzenmagazinfILTER. Regelmäßig, im Zeitraum weniger Tage, kommt es hier jedoch zu so hohen Ablagerungen, dass die Kerzen verblocken und eine Rückspülung für die Reinigung nicht mehr ausreichend ist. In der Folge müssen sie ausgebaut und mit säurehaltigen Spezialprodukten gereinigt werden – der Stillstand der Anlage ist die Folge. Das neue Filtersystem setzt auf eine automatische Filtereinheit mit zwei parallel angeordneten Filtereinheiten, bei der pro Filter eine Filter-



Das abgebildete Filtersystem wird im Projekt HydroGeoFilt für die herausfordernden Bedingungen wie hohe Temperaturen, Drücke und Salzgehalt, wie sie in einer Geothermieanlage herrschen, angepasst.



Biomassenutzung, Wasserkraft

Sie sind verlässliche und planbare Lieferanten: Strom aus Wasserkraft steht unabhängig von Sonnenschein und Windstärke zur Verfügung. Aus Biomasse lassen sich direkt genutzte Wärme und gut speicherbare Treib- und Brennstoffe erzeugen.

Bioenergie lässt sich vielseitig einsetzen und gut speichern. Deshalb wird sie in allen drei Nutzungsarten, also Wärme, Strom und Kraftstoffe, weiter ausgebaut. Unter den erneuerbaren Energiequellen ist sie mit Abstand der größte Wärmeerzeuger. Bei der Wasserkraft handelt es sich um eine Energiequelle, die an weitgehend allen geeigneten Standorten bereits zum Einsatz kommt. Mehr Leistung wird insbesondere durch Modernisierungsmaßnahmen an bestehenden Anlagen erzielt.

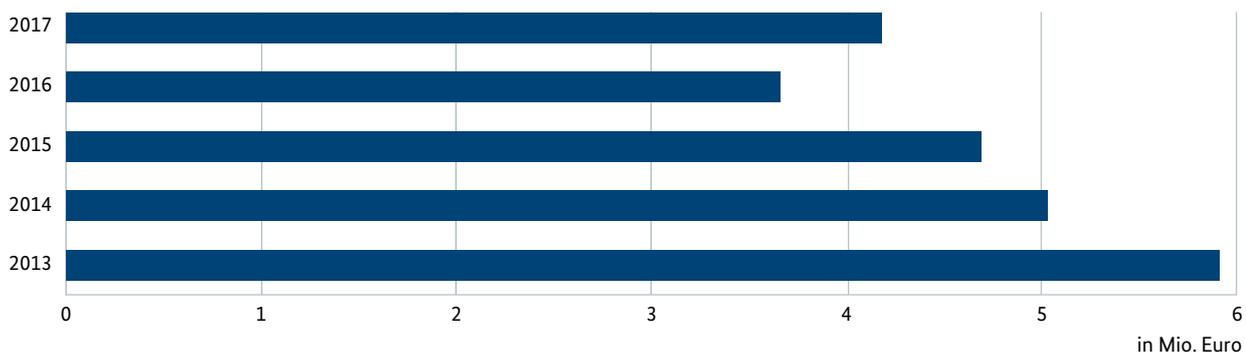
Biomassenutzung

Bioenergie deckt wachsende Anteile des Strom-, Wärme- und Kraftstoffverbrauchs und trägt so wesentlich zu einer klimafreundlichen Energieversorgung bei: Pflanzen etwa wandeln mit der Energie des Sonnenlichts den gasförmigen

Kohlenstoff aus der Luft in feste Biomasse um, die als Energieträger verwertet werden kann, beispielsweise in Form von Biogas oder Biokraftstoff. Bei der energetischen Nutzung von Biomasse wird nur die Menge an Kohlendioxid freigesetzt, die die Pflanze vorher selbst aufgenommen hat. Um die Verwertung von Biomasse weiter zu verbessern und den Beitrag zum Umweltschutz noch zu steigern, werden im BMWi-Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“ Projekte zur Effizienzsteigerung und Emissionsminderung gefördert. Im Projekt **IntEleKt** beispielsweise sollen zur Einhaltung von neuen Grenzwerten die Emissionen von Feuerungsanlagen verringert werden (siehe auch „Keinen Staub emittieren“, Seite 52).

Ein besonders großer Vorteil von Bioenergieanlagen ist, dass sie zeitlich und räumlich flexibel sind. Diese Fähigkeit ist schon heute wichtig und gewinnt in Zukunft weiter an Bedeutung, da die Stromernte aus Windkraft- und Solaranlagen witterungsbedingt schwankt. Darum ergänzen sich Bioenergieanlagen hervorragend mit anderen Erneuerbaren.

Biomassenutzung: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



Biomassenutzung: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013





Bioenergieanlagen sind zeitlich und räumlich flexibel: Im Zusammenspiel mit der witterungsbedingt schwankenden Stromernte aus Wind und Sonne ist dies ein großer Vorteil.

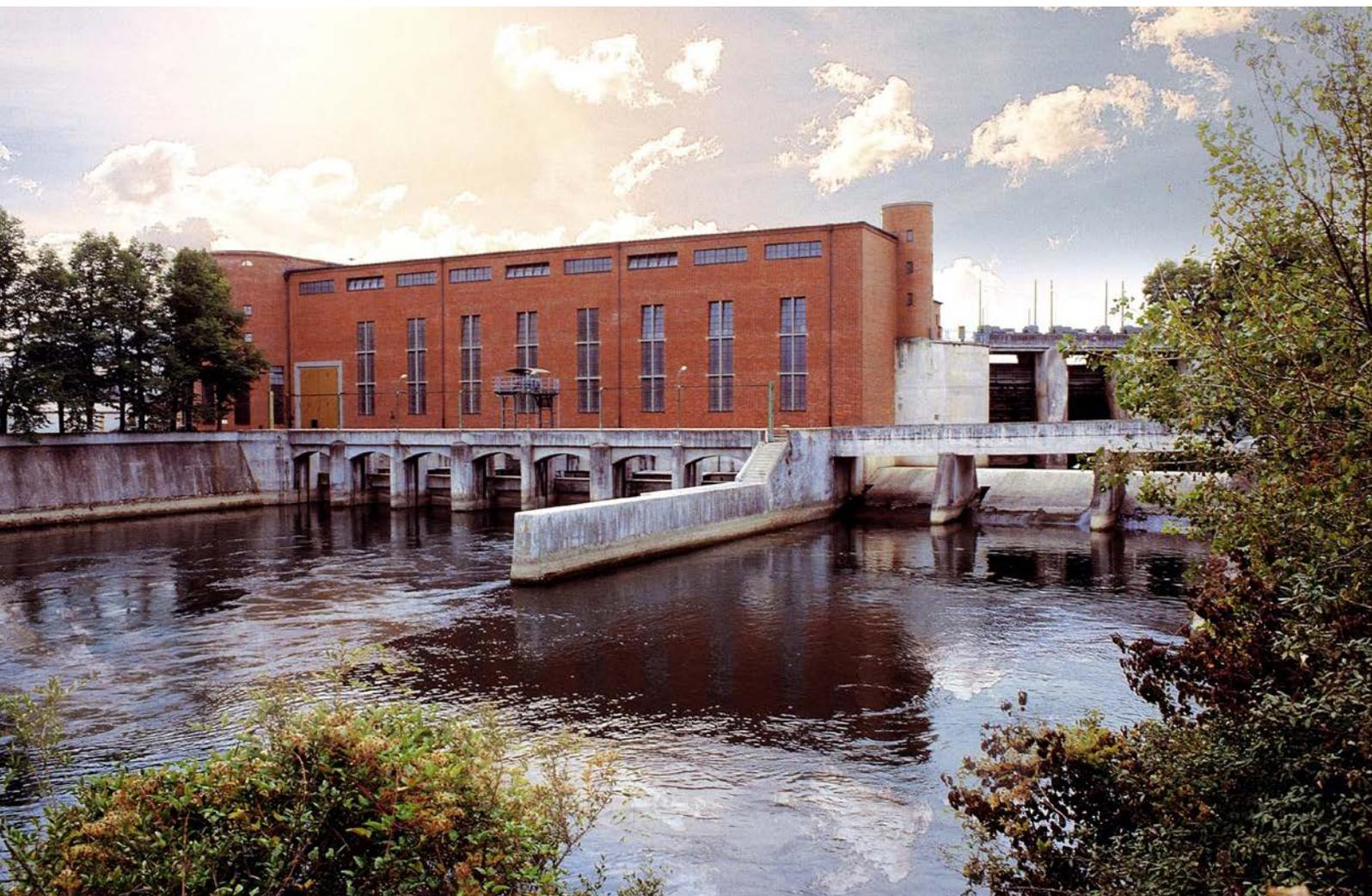
Zudem ist Bioenergie gut speicherbar. So könnte sie etwa nach der Aufbereitung zu Biomethan in das vorhandene Erdgasnetz eingespeist werden. Im Energiemix der Erneuerbaren spielt die Bioenergie vor allem im Wärme- und Verkehrssektor eine große Rolle. Der Anteil der Bioenergie am Endenergieverbrauch im Wärme- und Kältesektor in Deutschland betrug 2016 etwa 11,4 Prozent und somit 88 Prozent dessen, was alle Erneuerbaren in diesem Bereich bereitstellten. Bioenergie ist damit neben Solar- und Erdwärme der mit Abstand größte Wärme- beziehungsweise Kälteerzeuger unter den erneuerbaren Energiequellen. Im Verkehrssektor bieten Biokraftstoffe kurzfristig verfügbare Alternativen zu fossilen Energieträgern. Im Strombereich schließlich wurden im ersten Halbjahr 2017 aus Biomasse circa 24,4 Terawattstunden produziert. Das entspricht 23,4 Prozent des Bruttostromverbrauchs aller erneuerbaren Energien. Ein großer Vorteil der Bioenergie ist auch, dass diese für Systemdienstleistungen genutzt werden kann, wie beispielsweise zum Spannungserhalt im Stromnetz. Zudem kann die energetische Nutzung von biogenen Roh- und Reststoffen einen großen Beitrag zur Sektorkopplung leisten.

Forschen, entwickeln, fördern

Ende 2016 hat das BMWi das Programm zur Optimierung der Energetischen Biomassenutzung verlängert und fördert damit neue Projekte zur kosten- und energieeffizienten Nutzung von Biomasse in einem klimafreundlichen Strom- und Wärmemarkt. Die Bekanntmachung beschränkt sich

auf heimische Biomassen und fokussiert insbesondere auf hohe Nutzungspotenziale biogener Rest- und Abfallstoffe wie Landschaftspflegeholz, Siedlungs- und Produktionsabfälle, Waldrestholz, Gülle, Mist und Stroh. In diesem Sinne streben unter anderem die Forschenden im Vorhaben **Grün-OPTI** eine Optimierung der Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut in Deutschland an (siehe auch „Zweiter Frühling für Garten- und Parkabfälle“, Seite 52). Bei der Verwertung der Rest- und Abfallstoffe geht es vor allem um die Verbesserung der nachhaltigen energetischen Nutzung im gekoppelten Wärme- und Strombereich, denn die kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme/Kälte erlaubt eine hocheffiziente Nutzung des Energiegehalts von Biomasse. Und: Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen sind in einem großen Leistungsbereich verfügbar und vielfältig einsetzbar. Auch die weitere Flexibilisierung und Integration bioenergetischer Anwendungen in das Gesamtsystem sind zentrale Anliegen des BMWi-Förderprogramms. Das Ministerium will dabei gezielt den Übergang zum Markteintritt unterstützen und fördert daher vor allem praxisorientierte Lösungen mit Demonstrations- und Pilotcharakter sowie hoher Industriebeteiligung.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Biomassenutzung hat das BMWi 2017 insgesamt 43 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 6 Millionen Euro bewilligt (2016: 37 neue Projekte für rund 6 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 4,2 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 3,7 Millionen Euro).



Wasserkraft lässt sich – im Gegensatz zu anderen regenerativen Energiequellen wie etwa der Windenergie und Photovoltaik – verlässlich als Stromproduzent einplanen.

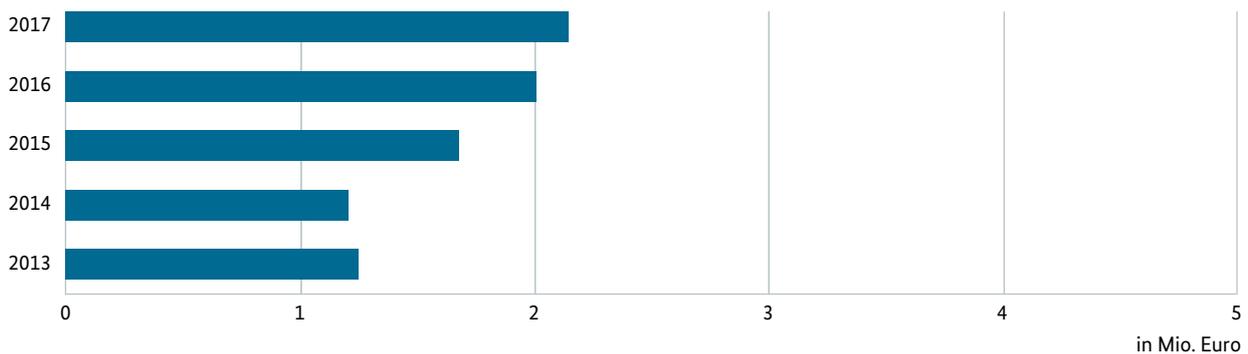
Wasserkraftwerke und Bioenergieanlagen können dynamisch auf die Nachfrage reagieren und bedarfsgerecht liefern.

Wasserkraft

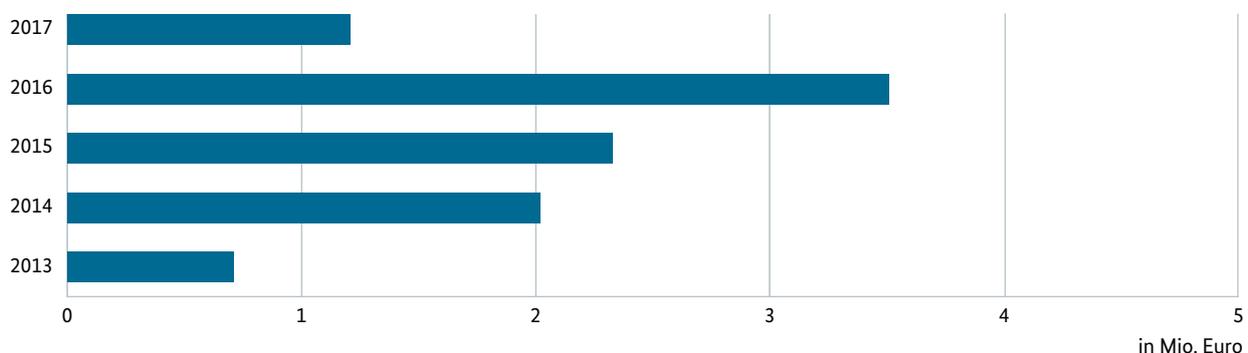
Um in Deutschland Strom aus Wasserkraft zu gewinnen, wird vor allem das fließende Wasser in Flüssen als Energiequelle genutzt. Die Technologie ist etabliert und kommt an vielen Standorten zum Einsatz. Rund 80 Prozent der Wasserkraftwerke sind hierzulande sogenannte Laufwasserkraftwerke. Diese nutzen das natürliche geographische Gefälle, um Strom zu gewinnen. Die überwiegende Mehrheit davon steht in Süddeutschland. Die restlichen 20 Prozent der Wasserkraftwerke sind Speicherkraftwerke, bei denen Wasser aus Stauseen zur Stromproduktion herangezogen wird.

Der Anteil des aus Wasserkraft erzeugten Stroms lag 2017 in Deutschland nur bei etwa 3 Prozent. Weltweit dagegen wird immer mehr Strom aus Wasserkraft erzeugt. China nimmt dabei in den vergangenen Jahren regelmäßig den Spitzenplatz ein, gefolgt von den USA, Brasilien und Kanada. Von den europäischen Ländern liegt Norwegen, das seinen Strom zu fast 100 Prozent aus Wasserkraft gewinnt, auf einem der ersten zehn Plätze. Neben der Wasserkraft im Binnenland lässt sich Strom perspektivisch

Wasserkraft: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



Wasserkraft: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013



auch aus Meeresenergie generieren. Die Meeresenergieanlagen befinden sich aber im Gegensatz zu der etablierten Kraftwerkstechnik noch in der Entwicklungs- beziehungsweise Erprobungsphase. Experten schätzen das weltweite Potenzial für diese innovative Technologie auf etwa 1.500 Terawattstunden pro Jahr.

Forschen, entwickeln, fördern

Der Vorteil von Wasserkraft gegenüber anderen regenerativen Energiequellen wie etwa der Windenergie und Photovoltaik besteht darin, dass die Stromproduktion verlässlich geplant werden kann. Neue Potenziale der Wasserkraft liegen momentan vor allem im Austausch beziehungsweise in der Modernisierung vorhandener Anlagen: Beim sogenannten Repowering werden bestehende Anlagen beispielsweise mit neuen, leistungsstärkeren Turbinen ausgestattet. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten können zudem perspektivisch dazu beitragen, dass Laufwasserräder auch bei geringen Gefällen von lediglich ein bis zwei Metern und mittleren Fließgeschwindigkeiten zum Einsatz

kommen. Damit ließen sich neue Standorte erschließen. Das BMWi fördert Projekte von Hochschulen, wissenschaftlichen Einrichtungen und Industrieunternehmen, die in diesem Bereich aktiv sind. Dabei müssen alle Umweltaspekte ausgewogen berücksichtigt werden.

Das künftige Potenzial maritimer Energiequellen für den deutschen Küstenbereich ist eher gering einzuschätzen. Nichtsdestotrotz fördert das BMWi Forschungsprojekte, die die dafür notwendige Anlagentechnik und ihre Komponenten optimieren und für den kommerziellen Einsatz weiterentwickeln. Im Forschungsvorhaben Tidal Power arbeiten Fachleute beispielsweise an einer Meeresenergieanlage mit einem innovativen Turbinensystem (siehe auch „Gezeitenkraftwerk mit neuem Konzept“, Seite 53).

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Wasserkraft hat das BMWi 2017 insgesamt 2 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 1,2 Millionen Euro bewilligt (2016: 4 Projekte für rund 3,5 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 2,2 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 2 Millionen Euro).

Projekte

Zweiter Frühling für Garten- und Parkabfälle

Die abfallrechtlichen Vorgaben in Deutschland sehen vor, dass Bioabfälle getrennt erfasst und verwertet werden müssen. Dazu zählen auch Garten- und Parkabfälle, sogenanntes Grüngut. Dies geschieht jedoch nur teilweise – vor allem bei sperrigem Grüngut, das nicht über die Biotonne entsorgt werden kann. Fast die Hälfte der jährlich in Deutschland anfallenden Grüngutmenge wird entweder direkt zur Eigenkompostierung oder als Ofenholz genutzt, über den Restmüll entsorgt oder durch Verbrennen sowie illegales Ablagern beseitigt. Damit geht viel Potenzial für eine

Im Projekt Grün-OPTI untersuchen Forscher gemeinsam mit Praxisbetrieben, wie Grüngut effizient und optimiert aufbereitet werden kann.



hochwertige stofflich-energetische Verwertung verloren, zumal Grüngut als Abfallstoff nicht mit Anbaubiomasse um Flächen konkurriert und die holzigen Anteile ein vergleichsweise leicht zu erschließendes Brennstoffpotenzial darstellen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Witzenhausen-Instituts für Abfall, Umwelt und Energie wollen das ändern. Im Projekt **Grün-OPTI** widmen sie sich einer optimierten Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut in Deutschland. Das Vorhaben will so das noch unzureichend ausgeschöpfte Potenzial dieser Ressource für einen hochwertigen Einsatz als Brennstoff (energetisch) und Kompost (stofflich) nutzen. Um dies zu erreichen, führt das Team zunächst eine umfassende Ist-Stand-Analyse und Bewertung der aktuellen Grünguterfassung in Deutschland durch. Zudem sollen Erfolgskriterien für optimierte Wertschöpfungsketten herausgearbeitet werden. Gemeinsam mit Praxisbetrieben wollen die Forscher relevante Faktoren für eine effiziente Aufbereitung von Grüngut erarbeiten, variieren und optimieren. Daraus sollen Handlungsempfehlungen für eine effiziente und ressourcenschonende stofflich-energetische Nutzung erarbeitet werden. Bei einer vollständigen Umsetzung dieser Form des Grünguteinsatzes könnten bei den derzeitigen Erfassungsleistungen von 4,7 Millionen Tonnen pro Jahr etwa 3,3 Millionen Tonnen CO₂ durch die Erzeugung von Kompost und regenerativer Energie eingespart werden.

Das BMWi fördert Grün-OPTI mit rund 150.000 Euro (Förderkennzeichen 03KB107).

Keinen Staub emittieren

Elektrofilter haben als sekundäre Staubabscheidetechnologie für Biomasse-betriebene Kleinfeuerungsanlagen in Wohngebäuden das Stadium der reinen Forschung und Entwicklung mittlerweile verlassen. Derzeit befinden sie sich an der Schwelle zur Markteinführung. In Einzelfällen sind sie sogar schon marktverfügbar.

Im Projekt **IntEleKt** entwickeln Forscherinnen und Forscher einen integrierten Elektrofilter in einem Kleinserientest weiter. An dem Vorhaben sind das Institut für Zukunfts-Energie- und Stoffstromsysteme (IZES) als Koordinator und der Heizungs- und Lüftungsanlagenhersteller Hoval beteiligt. Der elektrostatische Staubabscheider, der innerhalb des Vorhabens weiterentwickelt wird, unterscheidet sich von den bereits am Markt verfügbaren Lösungen durch einen einfachen, kostengünstigen und robusten Aufbau. Zudem



Im Projekt IntEleKt entwickeln Forscherinnen und Forscher einen integrierten Elektrofilter in einem Kleinserientest weiter.

lässt er sich direkt in viele handelsübliche Heizkessel integrieren. Innerhalb des Kleinserientests wollen die Verbundpartner nun die Rückmeldungen aus den Erfahrungen der Betreiber der Filtersysteme in die Weiterentwicklung einfließen lassen. Zusätzlich wollen sie in der zweiten Testphase weitere, insbesondere nationale Kesselhersteller in die Felderprobung miteinbeziehen. Das Vorhaben umfasst sowohl ökologische, ökonomische als auch technologische Gesichtspunkte, um die technische Marktreife des Filtersystems auf allen Ebenen voranzutreiben.

Das Ziel ist ein universell einsetzbares, kostengünstiges und sowohl technisch als auch wirtschaftlich marktreifes Filtersystem für Biomasseheizkessel, um die Staubgrenzwerte der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV sicher einhalten zu können.

Das BMWi fördert IntEleKt mit rund 450.000 Euro (Förderkennzeichen 03KB095A+B).

Gezeitenkraftwerk mit neuem Konzept

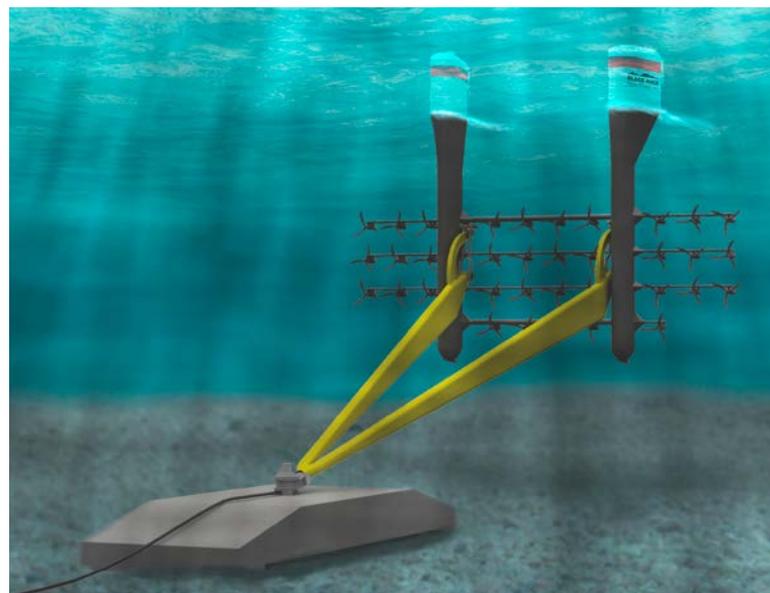
Gezeitenenergie hat gegenüber Wind- oder Solarenergie einen entscheidenden Vorteil: Sie lässt sich vorhersagen – etwa alle zwölf Stunden wechseln sich auf- und ablaufendes Wasser ab. Unter bestimmten topographischen Gegebenheiten kann diese Meeresströmung genutzt werden, um Energie zu gewinnen. Bisher ist dies jedoch Zukunftsmusik:

Aufgrund der hohen Investitionskosten wird noch kein kommerzielles Kraftwerk betrieben.

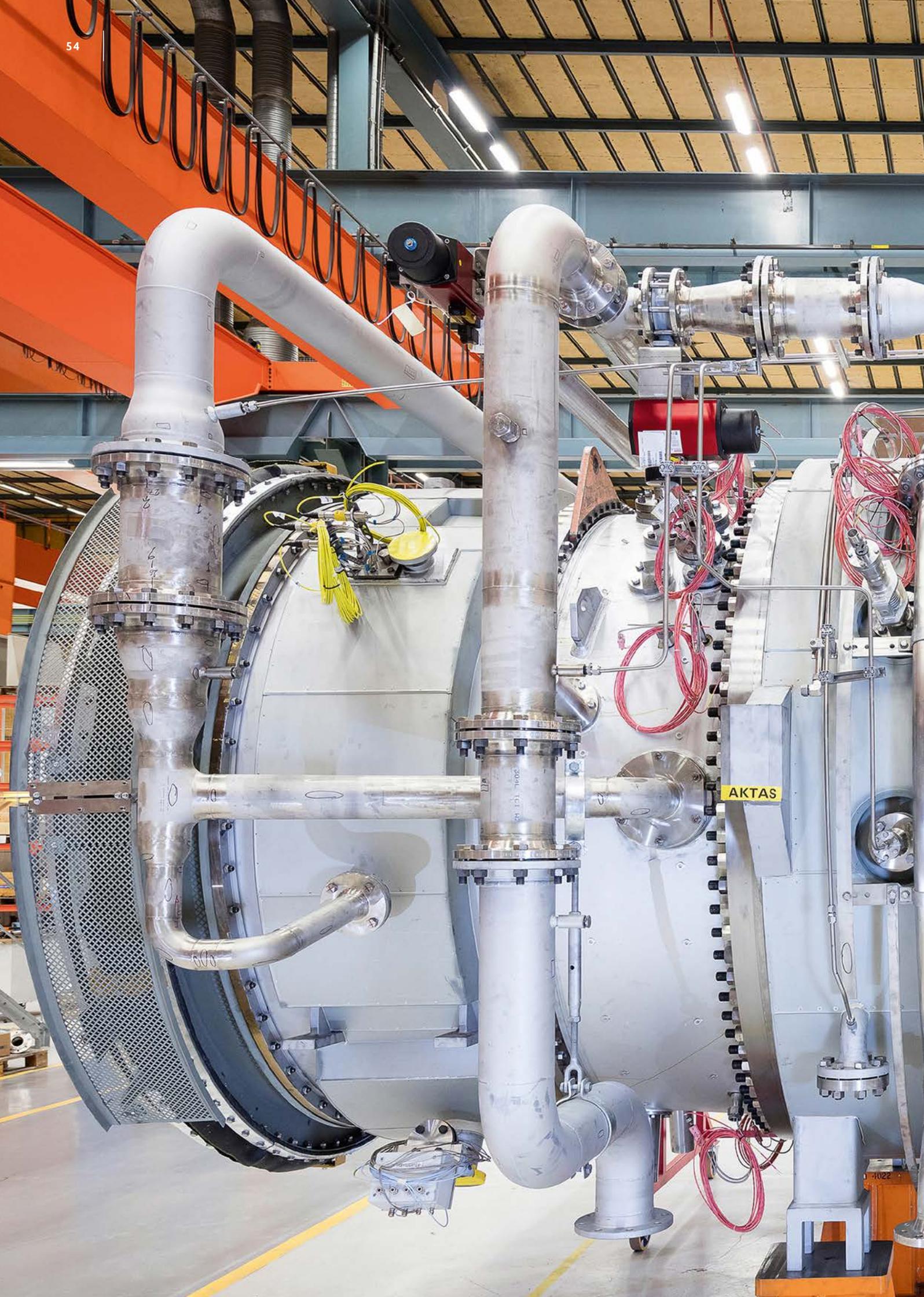
Im Forschungsvorhaben **Tidal Power – Entwicklung eines Plattformsystems zur kosteneffizienten Nutzung von Gezeitenströmungsenergie** arbeiten Fachleute an einer innovativen Meeresenergie-Anlage mit dem Ziel, sowohl die Investitions- als auch die Wartungskosten deutlich zu senken. Koordiniert wird das Verbundvorhaben von Experten von Schottel Hydro, die eng mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universität Siegen, der Hamburgischen Versuchsanstalt, der Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam und der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung zusammenarbeiten.

Im Gegensatz zu den meisten Forschungsgruppen setzen die Tidal-Power-Entwickler nicht auf eine fest am Meeresboden verankerte Turbine im Megawattbereich, sondern auf eine halbgetauchte, schwimmende Plattform. Diese sogenannte TRITON-Plattform wird lediglich mit einem Drehgelenk am Meeresboden befestigt, sodass sie sich selbstständig nach der Gezeitenströmung ausrichten kann. Zudem wird ein innovatives Turbinensystem umgesetzt: 40 kleine Turbinen sind an einer Fachwerkstruktur zwischen zwei vertikal aus dem Wasser ragenden Rümpfen installiert. Diese sind jederzeit für Wartungsarbeiten zugänglich, indem die Ballasttanks entleert werden, sodass die Plattform an die Wasseroberfläche kommt. Ziel des Verbundvorhabens ist es, die TRITON-Plattform und das Turbinenkonzept in einem Prototyp in der kanadischen Bay of Fundy im Feldversuch unter Realbedingungen zu testen.

Das BMWi fördert Tidal Power mit rund 2,3 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0325817A-E).



Die TRITON Plattform wird lediglich mit einem Drehgelenk am Meeresboden befestigt, sodass sie sich selbstständig nach der Gezeitenströmung ausrichten kann.



AKTAS

1022



Kraftwerkstechnik sowie CO₂-Abscheidung und -Speicherung

Konventionelle Kraftwerke haben Jahrzehnte im Dauerbetrieb gearbeitet. Heute sind sie als flexible Dienstleister gefragt, wenn witterungsbedingt weniger Strom aus Sonne oder Wind produziert werden kann. Das erfordert neue Anlagenkonzepte und Betriebsprozesse.



Die Forschung und (Weiter-)Entwicklung von Turbinen nimmt in der Kraftwerkstechnik einen hohen Stellenwert ein.

Die Aufgaben konventioneller Kraftwerke haben sich in Zeiten der Energiewende geändert. Um in sonnenarmen oder windschwachen Zeiten Versorgungslücken zu schließen, müssen sie häufiger an- und abgefahren oder in Teillast betrieben werden. Zudem sind innovative Lösungen gefragt, um die CO₂-Mengen, die bei der Stromerzeugung und in industriellen Produktionsprozessen entstehen, zu reduzieren, zu speichern oder energetisch sinnvoll zu Brennstoffen und Chemikalien umzuwandeln.

Auch wenn konventionelle Kraftwerke derzeit noch einen Großteil des Strombedarfs decken: Ihre Aufgaben innerhalb der Energiewende sind klar umrissen. Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, seine nationalen Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 Prozent und bis 2050 um 80 bis 95 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 zu reduzieren. Vor diesem Hintergrund werden bei den noch betriebenen Kraftwerken in erster Linie sogenannte Retrofit-Maßnahmen durchgeführt. Diese bereiten die bestehenden Anlagen auf ihre neue Aufgabe als flexible Stromlieferanten vor. Viele Umrüstungen tragen zudem dazu bei, die CO₂-Emissionen der Kraftwerke zu reduzieren. Darüber hinaus stehen konventionelle Kraftwerke auch weiter als Sicherheitsreserve des deutschen Stromnetzes zur Verfügung. Rund 2,7 Gigawatt Gesamtleistung hält die Bundesregierung noch über mehrere Jahre als Puffer bereit.

In den Kraftwerksprozess integrierte Speicher können dazu beitragen, den Betriebsablauf zu flexibilisieren.

Weltweit wird der Anteil des aus Kohle erzeugten Stroms rund um den Globus in den nächsten Jahren voraussichtlich weiter zunehmen. Allerdings langsamer als bisher: Laut dem World Energy Outlook 2017 der Internationalen Energieagentur (IEA) sind vom Jahr 2000 bis heute rund 900 Gigawatt Kohlekraftleistung installiert worden. Bis 2040 gehen die internationalen Experten lediglich von weiteren 400 Gigawatt aus. Effiziente und möglichst emissionsarme Kraftwerkstechnik wird dabei weiterhin gefragt sein. Mit Blick auf treibhausgasneutrale Energiesysteme rechnet die IEA insbesondere mit einem verstärkten Einsatz von Gaskraftwerken. Diese können auch mit aus erneuerbaren Energien gewonnenem Methan betrieben werden. Deutsche Anlagenbauer und Komponentenhersteller profitieren von der Auftragslage im Ausland. Laut der Konjunkturtrendumfrage 3/2017 des VDMA Fachverbands Power Systems finden sie insbesondere in Asien und Mittel- und Südamerika Absatzmärkte für ihre Produkte.

Forschen, entwickeln und fördern

Die Forschungsförderung des BMWi zielt darauf ab, die Kraftwerkstechnologie effizienter, sauberer und kostengünstiger zu machen. Um Betriebsprozesse und Bauteile auf den flexiblen Kraftwerksbetrieb anzupassen, sind weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig. So sind beispielsweise Werkstoffe in den Kesseln aufgrund der schnelleren und häufigeren Anfahrts- und Abfahrtsprozesse stärkeren Belastungen als im früheren Dauerbetrieb ausgesetzt. Um Schäden zu vermeiden, haben Forscherinnen und Forscher im Forschungsprojekt **THERRI** bestimmte Kraftwerkskomponenten untersucht, um notwendige Inspektionsintervalle errechnen zu können (siehe auch „Im Gespräch: Materialbelastungen“, Seite 58). Immer strengere Emissionsrichtlinien erfordern weitere Anpassungen, etwa bei der Wahl des Brennstoffs. Auch an alternativen Anfahr-brennstoffen, die das bisher verwendete Öl oder Gas ersetzen können, wird geforscht. Im Förderprojekt **FlexIgnite** arbeiten Experten an elektrischen Zündsystemen, die unter anderem mit Biomasse betrieben werden können (siehe

auch „Zündende Idee“, Seite 59). Für die neuen Herausforderungen in der Kraftwerkstechnik müssen zudem Gas- und Dampfturbinen optimiert und für Anwendungsfelder wie den Kombibetrieb in Gas- und Dampfkraftwerken oder in Kraft-Wärme-Kopplungskraftwerken weiterentwickelt werden.

Deutschland produziert an einigen Tagen im Jahr mehr Strom, als direkt benötigt wird. In den Kraftwerksbetrieb integrierte Speicher können dazu beitragen, den Betriebsablauf zu flexibilisieren. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vergleichen im Forschungsvorhaben FLEXI-TES unter anderem verschiedene thermische Speicher mit alternativen Speicherkonzepten (siehe auch „Highlight: Kraftwerksflexibilisierung“, Seite 61).

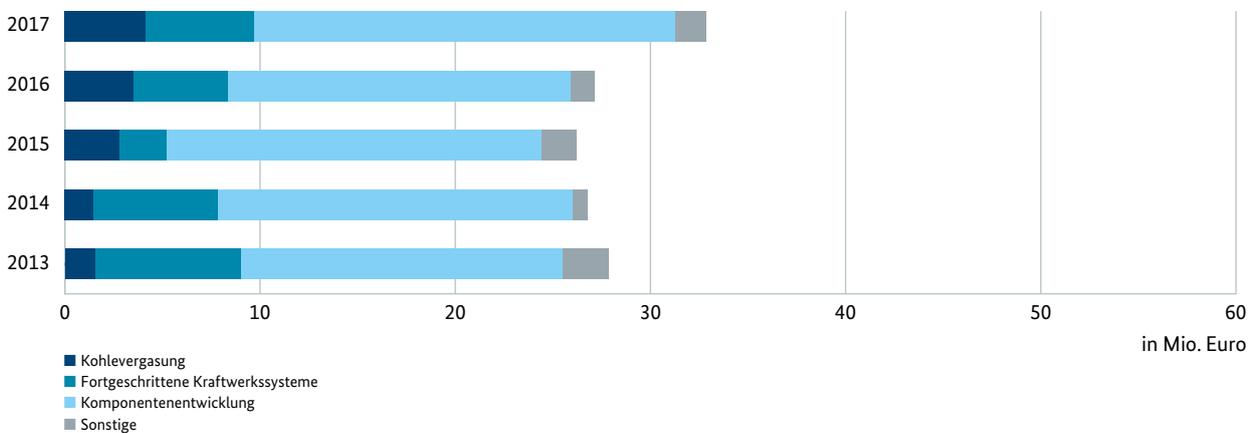
Um Speicher, Turbinen und andere Kraftwerksteile optimal miteinander zu vernetzen, nimmt die Digitalisierung in der Kraftwerkstechnik einen immer höheren Stellenwert ein. Dabei sind in der Praxis häufig unterschiedliche Softwaresysteme innerhalb eines Kraftwerks im Einsatz. Problematisch wird dies, wenn die dort hinterlegten Daten nicht

kompatibel und über unterschiedliche Schnittstellen verbunden sind. In UMEK arbeiten Experten daher an einem digitalen Kraftwerksmodell, in dem verschiedene Programme zusammengeführt werden können (siehe auch „Digital vernetzt im virtuellen Kraftwerk“, Seite 60).

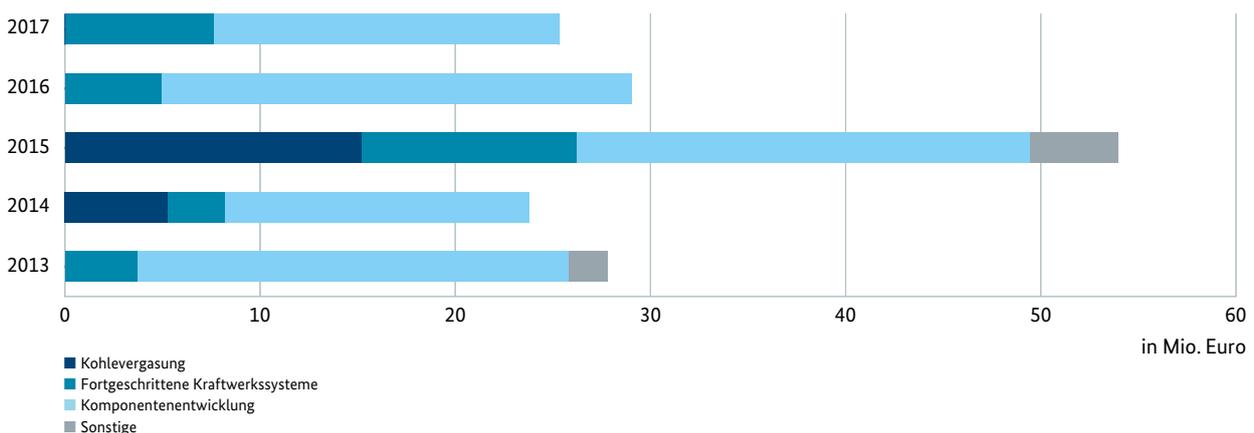
Die Reduktion von CO₂-Emissionen in die Atmosphäre ist ein weiteres, zentrales Anliegen der Energiepolitik. Daher fördert das BMWi innovative Forschungsvorhaben, die sich mit dem Abtrennen, Speichern und Nutzen von CO₂ beschäftigen. CO₂ kann zum Beispiel in Kühlaggregaten und Klimaanlagen eingesetzt oder durch Umwandlungsprozesse zu Treibstoffen oder Chemikalien weiterverarbeitet werden. Ziel ist es, auch hierfür wirtschaftliche Konzepte zu entwickeln.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich Kraftwerkstechnik sowie CO₂-Abscheidung und -Speicherung hat das BMWi 2017 insgesamt 51 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 25,3 Millionen Euro bewilligt (2016: 73 Projekte für rund 29 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 32,8 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 27,2 Millionen Euro).

Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013



Im Gespräch: Materialbelastungen

Riss-kanten Entwicklungen vorbeugen

Konventionellen Kraftwerken wird in Zeiten der Energiewende einiges abverlangt. Als flexible Unterstützer ergänzen sie die eingespeisten Energiemengen aus Wind und Sonne um konventionell erzeugten Strom aus Kohle und Gas. Dafür müssen sie häufiger und schnell hoch- und heruntergefahren werden sowie in unterschiedlichen Auslastungen betrieben werden. Ein absoluter Stress für die Kraftwerke, wie Frau Prof. Dr.-Ing. Manuela Sander von der Universität Rostock betont. Im Forschungsvorhaben THERRI hat sie zusammen mit verschiedenen Partnern untersucht, welche Materialbelastungen entstehen, welche Restlebensdauer sich daraus berechnen lässt und welche Inspektionsintervalle zu empfehlen sind, um Kraftwerke verlässlich, ökonomisch und sicher zu betreiben.

Frau Professor Sander, wie und wo macht sich Materialermüdung bei Kraftwerkskomponenten bemerkbar?

Materialermüdung in Bauteilen macht sich in Form von Rissen bemerkbar. Risse können durch die zyklische Belastung zunächst kontrolliert wachsen, bis eine bestimmte Belastungsgrenze des Materials erreicht ist. Dann breitet sich der Riss instabil aus, das heißt es kommt in der Regel zum Versagen des kompletten Bauteils. Die Flexibilisierung des Anlagenbetriebs führt nun bei bestimmten Bauteilen zu sehr hohen Beanspruchungen und somit zu einer schnelleren Rissbildung.

Welche Bauteile wurden innerhalb des THERRI-Vorhabens unter die Lupe genommen?

Im Rahmen von THERRI wurden dickwandige Bauteile untersucht, bei denen rechnerisch eine kritische Lebensdauer erreicht wird. Zu diesen Bauteilen zählen zum Beispiel die Hochdruckumleitstation, zahlreich verbaute Kugelformstücke sowie die Kesselumwälzpumpe, bei der es während der Laufzeit des Projekts zu einem erheblichen Schadensfall in einem Kraftwerk gekommen war.

Wie lassen sich Risse und ihre Entwicklung verlässlich berechnen?

Um das Risswachstum verlässlich zu berechnen, sind zunächst umfangreiche bruchmechanische Materialuntersuchungen unter praxisnahen Versuchsbedingungen durchzuführen. Zusammen mit der zu ermittelnden Belastung, die das Bauteil während des Betriebs erfährt, gehen die experimentell bestimmten Rissfortschrittsparameter dann in analytische oder komplexe numerische Rissfortschrittssimulationen ein. Ausgangspunkt einer solchen Simulation ist ein Anfangsriss, der mit Prüfverfahren, wie zum Beispiel der Ultraschallprüfung, mit Sicherheit entdeckt werden kann. Im Falle einer analytischen Lösung muss für die Simulation die Beanspruchung in Form der sogenannten Spannungsintensitätsfaktor-



Prof. Dr.-Ing. Manuela Sander leitet den Lehrstuhl für Strukturmechanik an der Universität Rostock.

lösung für die konkrete Problemstellung in einer Datenbank vorhanden sein. Dagegen wird bei numerischen Simulationen die Problemstellung konkret mittels mathematischer Methoden gelöst, sodass das dreidimensionale Risswachstum in beliebigen Bauteilen abbildbar wird. Dazu müssen jedoch entsprechende bruchmechanische Berechnungskonzepte und -modelle hinterlegt sein.

Welche Herausforderungen sind zu bewältigen, um die Restlebensdauer und damit die Inspektionsintervalle möglichst präzise zu bestimmen?

Eine Herausforderung bei der Bestimmung der Restlebensdauer besteht zum Beispiel darin, mittels geeigneter bruchmechanischer Modelle die Beanspruchung im konkreten Bauteil zu bestimmen. Ferner muss eine statistisch abgesicherte Materialdatenbasis zum Risswachstumsverhalten vorhanden sein. Ein wesentlicher Punkt, der die Restlebensdauer maßgeblich beeinflusst, ist zudem die Kenntnis der Nachweisgrenzen der Prüfmethoden sowie der Genauigkeit der Ristiefenbestimmung an realen Bauteilen.

Das Interview führte Ilse Trautwein, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi hat **THERRI – Ermittlung von Kennwerten zur Bewertung thermischen Ermüdungsrisswachstums in Kraftwerken** mit rund 1,8 Millionen Euro gefördert (Förderkennzeichen 03ET7024A-D).

Projekte

Zündende Idee

Konventionelle Kraftwerke müssen heutzutage flexibel betrieben und damit häufiger angefahren werden. Dies führt zu einem erhöhten Verbrauch an Anfahrstoffstoffen wie Öl oder Gas und damit zu erhöhten Kosten pro erzeugte Kilowattstunde. Im Forschungsvorhaben **FlexIgnite – Erhöhung der Flexibilität durch elektrische Zündung von Kraftwerksbrennern** forscht die Universität Stuttgart gemeinsam mit sieben Partnern aus Wissenschaft und Industrie an zwei elektrischen Zündsystemen, die mit festen Brennstoffen wie Stein- oder Braunkohle sowie mit Biomasse betrieben werden können. Beide Zündalternativen sollen unter anderem dazu beitragen, die Kosten in einem flexiblen Kraftwerksbetrieb weiter abzusenken, den minimalen Lastbetrieb bei Kohlefeuer sicher weiter abzusenken, die Kohleflammen im Zünd- und Teillastbetrieb zu stabilisieren und Emissionen zu reduzieren. Zudem könnten Kraftwerke mit diesen alternativen Anfahrssystemen unabhängig von Öl- oder Gasimporten betrieben werden.

Eine der beiden angedachten elektrisch ausgelösten Zündungen erfolgt mittels Plasmagas. Die Plasmatechnologie wird bereits in unterschiedlichen industriellen Prozessen

In FlexIgnite wird primär an alternativen elektrischen Zündtechnologien und -systemen geforscht, die eine höhere Flexibilität im Kraftwerksbetrieb (unter anderem mit Biomasse) ermöglichen.

eingesetzt, unter anderem in der Hochtemperaturvergasung von Biomasse oder zum Beseitigen von Sonderabfall. Die FlexIgnite-Forscherinnen und -Forscher planen im Rahmen des Projekts, einen neuen Plasmabrenner zu entwickeln. Dieser soll leicht in Kraftwerke zu integrieren und zudem betriebssicher und wartungsfreundlich sein. In Versuchen soll darüber hinaus getestet werden, unter welchen Randbedingungen unterschiedliche Brennstoffqualitäten sicher gezündet werden können. Ziel ist es, ein robustes und kostengünstiges Plasmasystem zur Zündung und Flammenstabilisierung für ein breites Brennstoffqualitätsband zu definieren.

Bei der zweiten Zündungsalternative sollen innovative beheizte Düsen das Zünden an heißen Oberflächen verbessern. Bei dieser Technik werden insbesondere die flüchtigen Elemente von Kohlenstaub in einem mehrstufigen Prozess entflammt. Anhand experimenteller Tests wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler definieren, wie die heiße Luft optimal einströmen und somit das gesamte Beheizungssystem im Kessel weiterentwickelt werden kann.

Das BMWi fördert FlexIgnite mit rund 1,3 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET7076A-E).





Innovative IT-Lösungen, die Planungs- und Arbeitsprozesse eines Kraftwerkbetriebs abbilden, stehen im Mittelpunkt des Forschungsprojekts UMEK.

Digital vernetzt im virtuellen Kraftwerk

Planungs- oder Arbeitsprozesse werden bisher in Kraftwerken mit sehr unterschiedlichen Systemen der Informationsverarbeitung abgebildet. Probleme sind daher vorprogrammiert: Softwaresysteme, und damit auch die dort hinterlegten Daten, sind oftmals nicht kompatibel und müssen deshalb über unterschiedliche Schnittstellen verbunden werden. Im Forschungsvorhaben **UMEK – Unterstützung von multidisziplinären Engineering-Prozessen im Kraftwerksbau** arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Duisburg-Essen gemeinsam mit ihren Industriepartnern Taprogge, CAD Schroer und keytech Software daran, bestehende „Wissens- und Lösunginseln“ zu verbinden. Sie entwickeln vor allem zwischen der Anlagenplanung, dem Gewerke-übergreifenden Basic- und Detail-Engineering, dem Kraftwerksbau und Kraftwerksbetrieb integrierende modellbasierte Ansätze und Methoden. Diese unterstützen softwareseitig beziehungsweise datentechnisch die Konstruktions-, Entwicklungs-, Planungs- und Instandhaltungsprozesse. Für ausgewählte Problembereiche – zum Beispiel für Kühlwassersysteme – werden Konzepte zum Aufbau wissensbasierter Anwendungslösungen entwickelt, informationstechnisch umgesetzt und erprobt.

Darüber hinaus arbeiten die Experten an Ansätzen zum Aufbau eines digitalen Modells für den Kraftwerksbau und den Kraftwerksbetrieb. Hier werden beispielhaft Informationstechniken eines Daten- und Prozessmanagements entwickelt und erprobt, durch die rechnergestützte Werkzeuge (sogenannte computer-aided engineering (CAE)-Tools) zur Planung, Klassifizierung, Anlagendokumentation und Baubegleitung von Kraftwerken oder Kraftwerkskomponenten mit Projektmanagement- beziehungsweise Terminplanungssystemen zusammengeführt werden können. Dafür wird ein Datenbankkonzept entwickelt, das auch einen reibungslosen Daten- und Informationsaustausch aller Projektbeteiligten ermöglicht. Ziel ist es, im digitalen Kraftwerksmodell die Planung, den Baufortschritt, den Betrieb, die Wartung und Instandhaltung sowie auch Projekt- und Betriebsrisiken zu simulieren und zu visualisieren.

Das BMWi fördert UMEK mit rund 1,5 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET7051A, G, H, I).

Highlight: Kraftwerksflexibilisierung

Fit für die Zukunft

Nicht nur in Deutschland, sondern weltweit steigt der Stromanteil aus Photovoltaik- und Windkraftanlagen. Dadurch ändert sich in vielen Ländern die Aufgabe konventioneller Kohle- und Gaskraftwerke. Statt im Grundlastbetrieb zu laufen, müssen sie vermehrt Versorgungslücken ausgleichen – beispielsweise, wenn die Sonne weniger scheint oder nur ein leichter Wind weht. Der flexible Betrieb ermöglicht die Integration von fluktuierenden erneuerbaren Energien. Thermische Speicher können helfen, die erzeugte Kraftwerksleistung effizienter und schneller zu regulieren. Bei sinkendem Bedarf wird ein Teil der Energie in Wärme zwischengespeichert und bei Bedarfsspitzen zusätzlich genutzt.

Im Forschungsvorhaben **FLEXI-TES – Kraftwerksflexibilisierung durch Thermische Energiespeicher** forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) gemeinsam mit verschiedenen Partnern aus der Industrie und dem Hochschulwesen daran, welche Wärmespeicher sich eignen, um den Betriebsablauf zu flexibilisieren. Dabei untersuchen sie insbesondere, wie mit technischen Innovationen die An- und Abfahrsgeschwindigkeiten optimiert oder die Mindestlast in bestehenden, aber auch in neuen Kohlekraftwerken abgesenkt werden könnte.

„In FLEXI-TES stehen verschiedene Speichertechnologien im Mittelpunkt und wie beziehungsweise wo sich diese am besten in den Kraftwerksbetrieb integrieren lassen“, erläutert DLR-Projektleiter Dr. Stefan Zunft. Dafür kommen insbesondere Feststoffspeicher und Phasenwechselspeicher in Betracht. Letztere sind Wärmespeicher, die die Wärmeenergie beim Ändern des Aggregatzustands von fest nach flüssig speichern. Technologieoffen werden Konzepte verglichen und bewertet sowie Leitkonzepte für die spätere Demonstration festgelegt und ausgearbeitet.

Um die bestmögliche Lösung für die thermischen Kraftwerke der Zukunft zu finden, werden sowohl die Auswirkungen auf einzelne Komponenten wie die Turbine und den Dampferzeuger überprüft als auch das Gesamtsystem „Kraftwerk“ eingehend betrachtet. Die Ergebnisse bei den Wärmespeichern werden in einem weiteren Schritt mit alternativen Speicherkonzepten verglichen – beispielsweise mit „Power-to-Methanol“-Konzepten oder dem Flüssigluftenergiespeicher (LAES). Darüber hinaus sollen innerhalb von FLEXI-TES thermodynamische Simulationsmodelle entwickelt sowie Materialtests und experimentelle Untersuchungen an Speichern vorgenommen werden.

Das BMWi fördert FLEXI-TES mit rund 2,4 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET7055A-G).

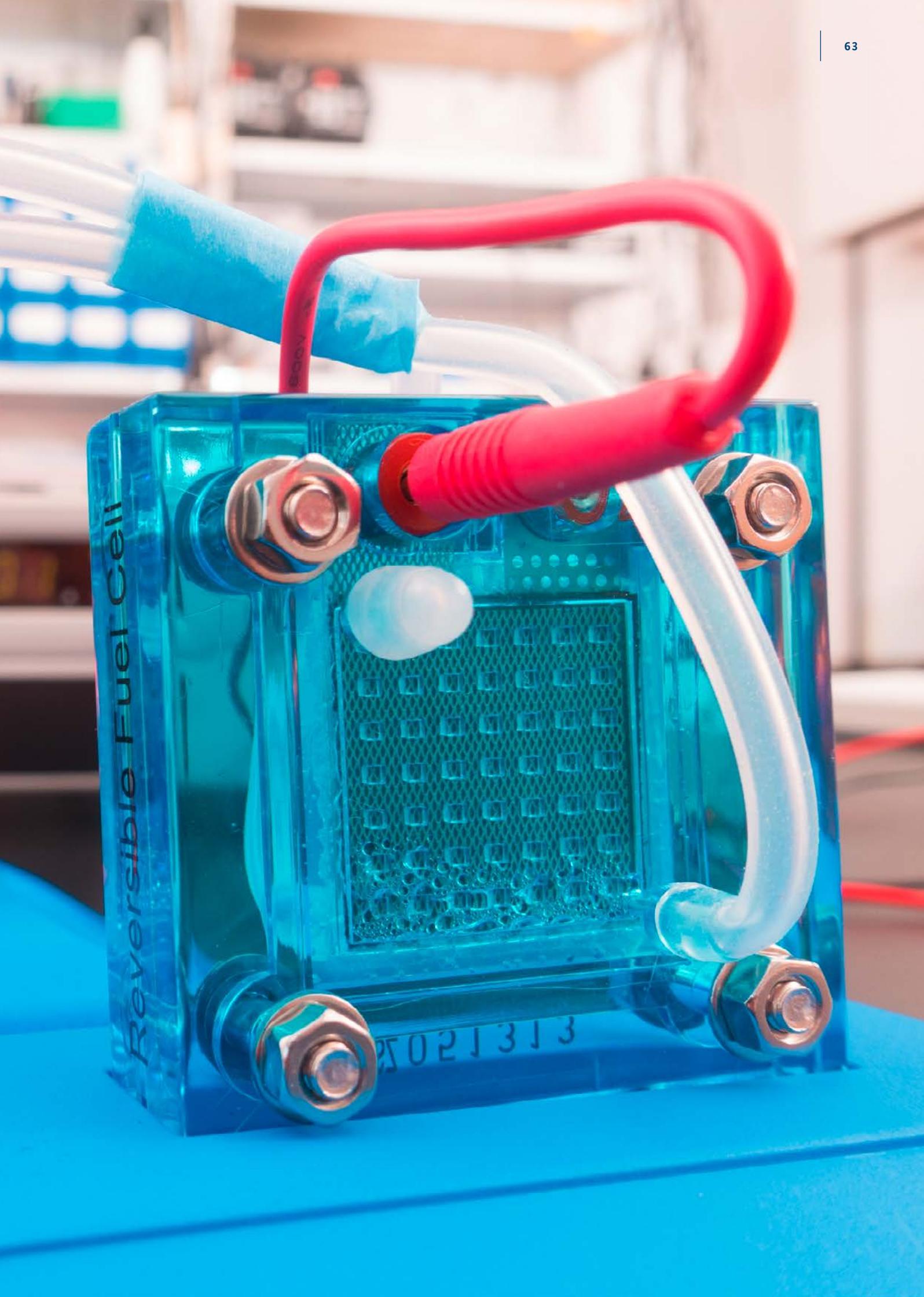


Im Projekt FLEXI-TES werden verschiedene Speichertechnologien getestet und untersucht, wie sich diese am besten in den Kraftwerksbetrieb integrieren lassen.

Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien

In einer Brennstoffzelle reagiert Wasserstoff mit Sauerstoff. Dabei entstehen Wasser, Strom und Wärme. Die effiziente Nutzung dieser elektrochemischen Reaktion bietet großes Potenzial für die Energieversorgung in stationären, mobilen oder netzfernen Anwendungen.





Reversible Fuel Cell

25021313

Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb sind bislang ein Nischenprodukt. Doch vieles weist darauf hin, dass sie in Zukunft neben den mit Batterie betriebenen Elektroautos eine entscheidende Rolle spielen werden. In stationären Anwendungen lassen sich mit der Brennstoffzelle durch ihren hohen Wirkungsgrad von 90 Prozent und mehr bei Kraft-Wärme-Kopplungs-Systemen Heiz- und Stromkosten einsparen. Brennstoffzellen haben das Potenzial, die hohe Abhängigkeit der Mobilität vom Erdöl zu reduzieren und regenerativ erzeugten Wasserstoff ins Energiesystem zu integrieren.

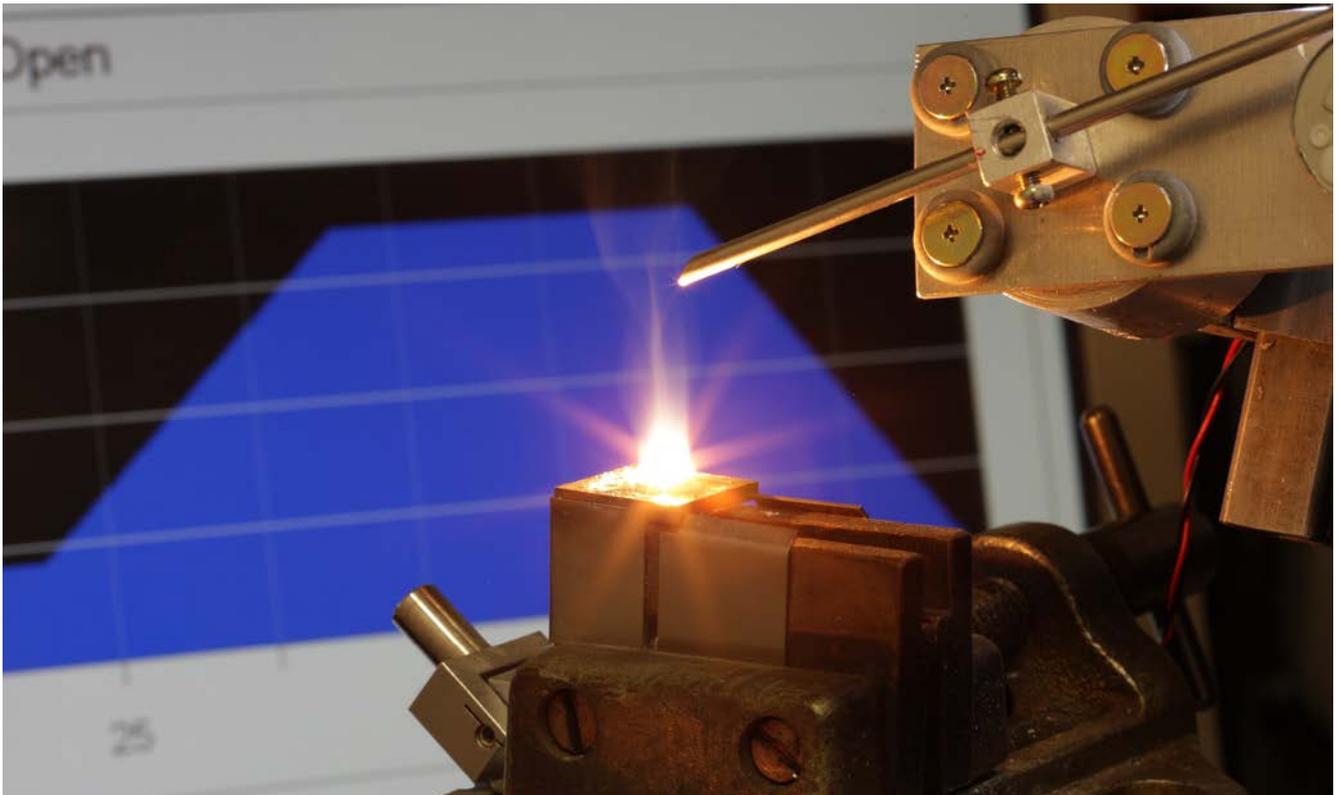
Brennstoffzellen wandeln chemische in elektrische Energie und können vielfältig eingesetzt werden: Die Möglichkeiten reichen von kombinierter Wärme- und Stromerzeugung im Haushalt über Antriebe von Autos, Bussen und Schiffen bis hin zur Stromversorgung abseits eines zuverlässigen Netzes. Sie arbeiten hocheffizient, lautlos und ohne Emissionen. Bei der in einer Brennstoffzelle stattfindenden elektrochemischen Reaktion handelt es sich um eine umgekehrte

Elektrolyse: Wasserstoff und Sauerstoff reagieren miteinander, elektrischer Strom und Wärme entstehen. Der Wasserstoff kann der Brennstoffzelle entweder in Reinform oder in gasförmiger Verbindung, zum Beispiel in Form von Methan, Propan, Erdgas oder Biogas, bereitgestellt werden.

Die Marktreife automobiler Brennstoffzellensysteme ist heute unbestritten. Sie sind alltagstauglich und stellen eine vielversprechende Option für den Mobilitätssektor dar: hohe Reichweite bei gleichzeitig kurzen Betankungszeiten und zugleich breite Einsatzmöglichkeiten. Als erster deutscher Hersteller hat Daimler 2017 ein Brennstoffzellenfahrzeug auf den Markt gebracht (siehe auch Kapitel Elektromobilität, Seite 115).

Stationäre Brennstoffzellen-Heizungen (BZH) zur Strom- und Wärmeerzeugung zeigen, wie die Zukunft der Energieversorgung im Haus aussehen kann. Dass die BZH mittlerweile marktreif sind und Hersteller Geräte entwickeln konnten, die sich in Feldtests als langlebig und als zuverlässig erwiesen haben, ist auch ein Erfolg des „Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ (NIP). Obwohl erste Brennstoffzellen-Heizgeräte und -Fahrzeuge kommerziell verfügbar sind, muss der

Eine Probe aus gläsernem Füge- und Dichtmaterial für Hochtemperatur-Brennstoffzellen wird mit einem unsichtbaren Laserstrahl geschmolzen.



Reifegrad dieser Technologie mit Forschung und Entwicklung noch weiter ausgebaut werden. Mit dem Technologieeinführungsprogramm des BMWi sollen die BZH nun am Markt etabliert werden. Die kleinen Kraftwerke können dezentral und bedarfsgerecht Wärme erzeugen sowie mit dem erzeugten Strom netzentlastend oder netzunabhängig eingesetzt werden. 2017 hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) die Förderung auf kleine und mittlere Unternehmen, Contractoren sowie Kommunen für Nichtwohngebäude ausgeweitet.

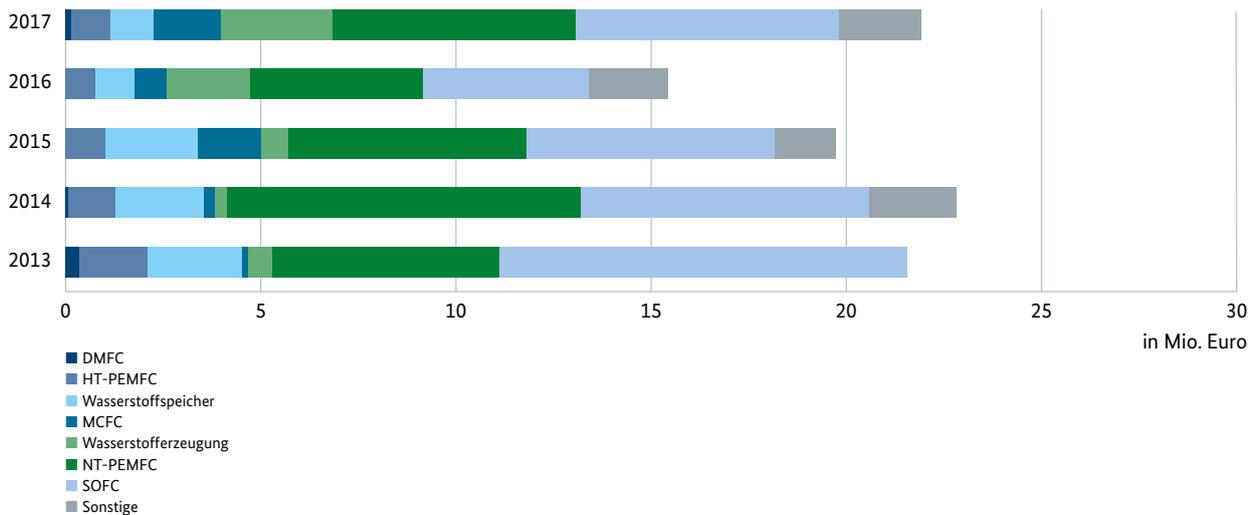
Fördern, forschen, entwickeln

Brennstoffzellen befinden sich an der Schwelle zur Markteinführung. Doch für eine breite Anwendung in Energiewirtschaft, Konsumgüter- sowie Nutzfahrzeugindustrie müssen sie noch langlebiger und kostengünstiger werden. Das BMWi fördert mit Forschung und Entwicklung die

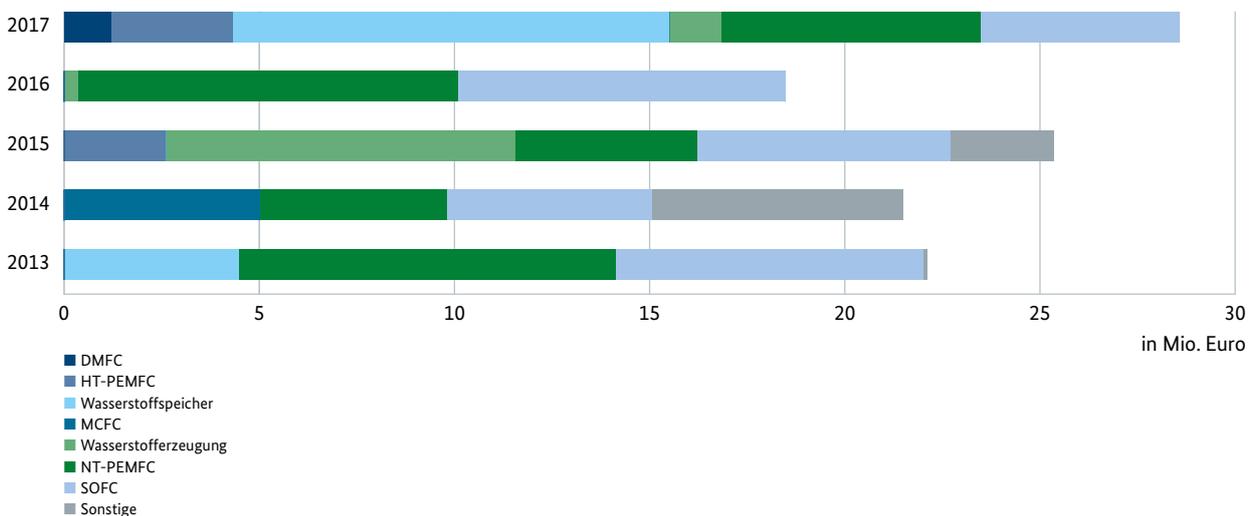
nächsten Generationen von Brennstoffzellen und will damit die Basis für eine international wettbewerbsfähige Brennstoffzellentechnologie in Deutschland schaffen. Kompakte, robuste, langlebige sowie kosten- und anwendungsgerechte Systeme sind das Ziel. Die Forschungsförderung des BMWi ist technologieoffen, sodass je nach Nutzungsprofil die technischen Vorteile der Festoxid-Technologie (SOFC), Polymer-Elektrolyt-Technologie (PEMFC) und anderer Typen zum Einsatz kommen können. Des Weiteren fördert das BMWi Vorhaben zu Wasserstofftechnologien, zur Integration von Brennstoffzellen in das Energieversorgungssystem sowie übergreifende Aktivitäten.

Beispiele für Materialanpassungen bis hin zu Neuentwicklungen sind die elektrochemisch aktiven Komponenten wie Membran, Elektrolyt, Katalysatorschichten oder poröse Lagen sowie Bipolar- und Separatorplatten bis hin zu Dichtungsmaterialien (siehe auch „Spritzgegossene Bipolarplatten für die Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzelle“, Seite 68,

Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013



Im Gespräch: Kostenoptimierte Brennstoffzellenstacks

„Wir konnten die Stack-Kosten pro Kilowattstunde um 40 Prozent reduzieren“



Christian Walter ist Senior Manager Stacks beim Unternehmen Sunfire.

Mit Elektrolyten und Elektroden ist die Zelle das Kernelement des Stacks und bestimmt derzeit einen Großteil der Stack-Kosten für Festoxidbrennstoffzellen (Solid oxide fuel cell, SOFC). Wie Fertigungs- und Materialkosten über ein optimiertes Stackdesign verringert werden können, darüber spricht Christian Walter, Senior Manager Stacks beim Unternehmen Sunfire, im Interview.

Was macht einen SOFC-Brennstoffzellen-Stack aktuell so teuer?

Wir haben die Kosten in den vergangenen Jahren schon stark gesenkt. Es reicht aber immer noch nicht aus, um mit etablierten Technologien konkurrenzfähig zu sein. Wir haben in der Fertigung derzeit noch niedrige Stückzahlen. Die Prozesse sind teilweise automatisiert, dennoch machen zahlreiche manuelle Prozessschritte das Produkt am Ende teuer. Auch sind manuelle Prozesse anfälliger für Fehler, sodass wir qualitätssichernde Schritte durchführen müssen. Die Stückzahl-erhöhung ist ein wesentlicher Punkt, um konkurrenzfähig zu werden.

und „Bipolarplatten – einfach kleben statt lasern“, Seite 67). Hinsichtlich der Zell-Stapel rückt das Prinzip „Design-to-Cost“ noch stärker in den Vordergrund: Neben den Material- und Produktionskosten müssen hier auch Aspekte wie Konditionierung, Lebensdauer, Effizienz und auch Entsorgung in den Lebenszykluskosten berücksichtigt werden. Im Forschungsvorhaben **Fosus** konnten die Kosten pro Kilowattstunde für den SOFC-Stack beispielsweise um rund 40 Prozent reduziert werden (siehe oben: Im Gespräch: „Kostenoptimierte Brennstoffzellenstacks“).

Die BMWi-Förderung von Forschung und Entwicklung der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien ist einge-

bunden in das „Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ (NIP). Mit dem Regierungsprogramm NIP2, das von 2016 bis 2026 läuft, baut die Bundesregierung auf der erreichten Technologiereife und Marktverfügbarkeit erster Gerätegenerationen auf. Für die anstehende Markteinführungsphase soll sichergestellt werden, dass die nationalen Aktivitäten von Wissenschaft, Industrie und der öffentlichen Hand weiterhin unter einem gemeinsamen programmatischen Dach stattfinden. Ziel ist, die Innovationen im Technologiefeld Wasserstoff und Brennstoffzellen, die noch keine Marktfähigkeit erreicht haben, weiterzuentwickeln, die entsprechenden Infrastrukturen aufzubauen und die Technologien, die an der Schwelle zum Markteintritt stehen, durch geeignete Instrumente und Maßnahmen beim Markteintritt zu unterstützen.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien hat das BMWi 2017 insgesamt 45 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 28,6 Millionen Euro bewilligt (2016: 28 Projekte für rund 18,5 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 21,9 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 15,4 Millionen Euro).

Kompakte, robuste, langlebige sowie kosten- und anwendungsgerechte Brennstoffzellensysteme sind das Ziel.

Welchen Beitrag kann Forschung und Entwicklung hier leisten?

Es gibt drei Parameter, um die Technologie zu verbessern und im Markt zu etablieren: Das sind die Kosten, die runter müssen. Dann haben wir die Leistungsfähigkeit, die erhöht, und den Degradationsgrad, der verringert werden muss. Ziel ist, das Verhältnis Euro pro Kilowattstunde über diese Parameter zu verbessern. Im Forschungsvorhaben **Fosus*** haben wir die Kosten pro Kilowattstunde für den SOFC-Stack um rund 40 Prozent reduzieren können.

Wie konnten Sie die Kosten für den Stack im Forschungsvorhaben Fosus reduzieren?

Eine Komponente war zum Beispiel das Material, das wir ausgetauscht haben. Derzeit zahlen wir für Stahl, der bei den metallischen Bipolarplatten der Stacks eingesetzt wird, rund 20 Euro pro Kilogramm. Der Stahl, den wir in Fosus genutzt haben, kostet rund 3 Euro pro Kilogramm. Weiter haben wir andere Elektroden auf der SOFC-Zelle nutzbar machen können. Sie sind leistungsfähiger und verbessern die Lebensdauer der Stacks. Durch das Kombinieren vieler einzelner Stacks in einem Gehäuse konnte in Fosus außerdem die elektrische Leistung hochskaliert werden.

Was bedeutet das genau?

Ein SOFC-System für höhere Leistung besteht aus mehreren Stacks und muss bei rund 850 Grad Celsius betrieben werden.

Es braucht hier eine Peripherie und thermische Isolation, damit die chemische Reaktion ablaufen kann. Das ist sehr aufwendig und komplex. Wenn einzelne Stacks hier miteinander kombiniert werden, braucht es, einfach ausgedrückt, weniger Komponenten und Materialien ringsherum und das reduziert dann die Kosten des Systems: In diesem konkreten Beispiel bedeutet das, es wird nur noch eine Hülle für die Isolation von 24 anstelle von 12 Hüllen für jeweils 2 Stacks benötigt. Damit können die Kosten des Systems deutlich reduziert werden.

Kann die Brennstoffzellentechnologie aus Ihrer Sicht ein wirtschaftlich konkurrenzfähiges Produkt werden?

Die Stacks sind noch verhältnismäßig teuer und damit aktuell nur in Nischenanwendungen konkurrenzfähig. Wir sind derzeit in einer Markteinführungsphase. Wir sehen aber ganz klar das Potenzial für den Einsatz im Massenmarkt und sind überzeugt, dass sich das Multitalent Brennstoffzelle in einer Vielfalt von Anwendungen durchsetzen wird.

Das Interview führte Annika Zeitler, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

*Das BMWi fördert Fosus mit rund 2,6 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET6037A-C).

Projekte

Bipolarplatten – einfach kleben statt lasern

Brennstoffzellenstacks aus geklebten Bipolarplatten sind potenziell genauso leistungsstark, effizient und haltbar wie herkömmlich produzierte. Inwieweit das Kleben metallischer Bipolarplatten für Proton-Austausch-Membran-Brennstoffzellen (PEM-Brennstoffzellen) eine technologische und wirtschaftliche Alternative zu Laserschweißverfahren ist, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsvorhaben **Low Cost BIP** erforscht: Wie können Kosten mit dem Einsatz optimierter Klebefügetechnologien reduziert werden? Hat das Kleben Auswirkungen auf die Lebensdauer der metallischen Bipolarplatten? Welche Potenziale gibt es beim Kleben, den Bauraum und das Gewicht der Platten zu reduzieren? In einer eigens für das Vorhaben entwickelten Test-Zelle für mobile Anwendungen haben Volkswagen, Gräbener Maschinenteknik und das Zentrum für Brennstoffzellentechnik (ZBT) geeignete leitfähige Klebstoffe sowie Applikationsverfahren erforscht

und analysiert. Das Forscherteam erwartet durch die Klebefügetechnologie in Kombination mit einem optimierten Bipolarplattendesign, die Produktionskosten der Bipolarplatten deutlich gegenüber der parallel im Projekt untersuchten Laserfügetechnik zu reduzieren. Künftig könnten mit Klebe- statt Laserverfahren kostengünstige, design- und lebensdaueroptimierte Bipolarplatten entstehen, deren Einsatz in automobilen Brennstoffzellensystemen den Markteintritt von Brennstoffzellenfahrzeugen beschleunigt.

Das BMWi fördert Low Cost BIP mit rund 1,5 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET6029A-F).

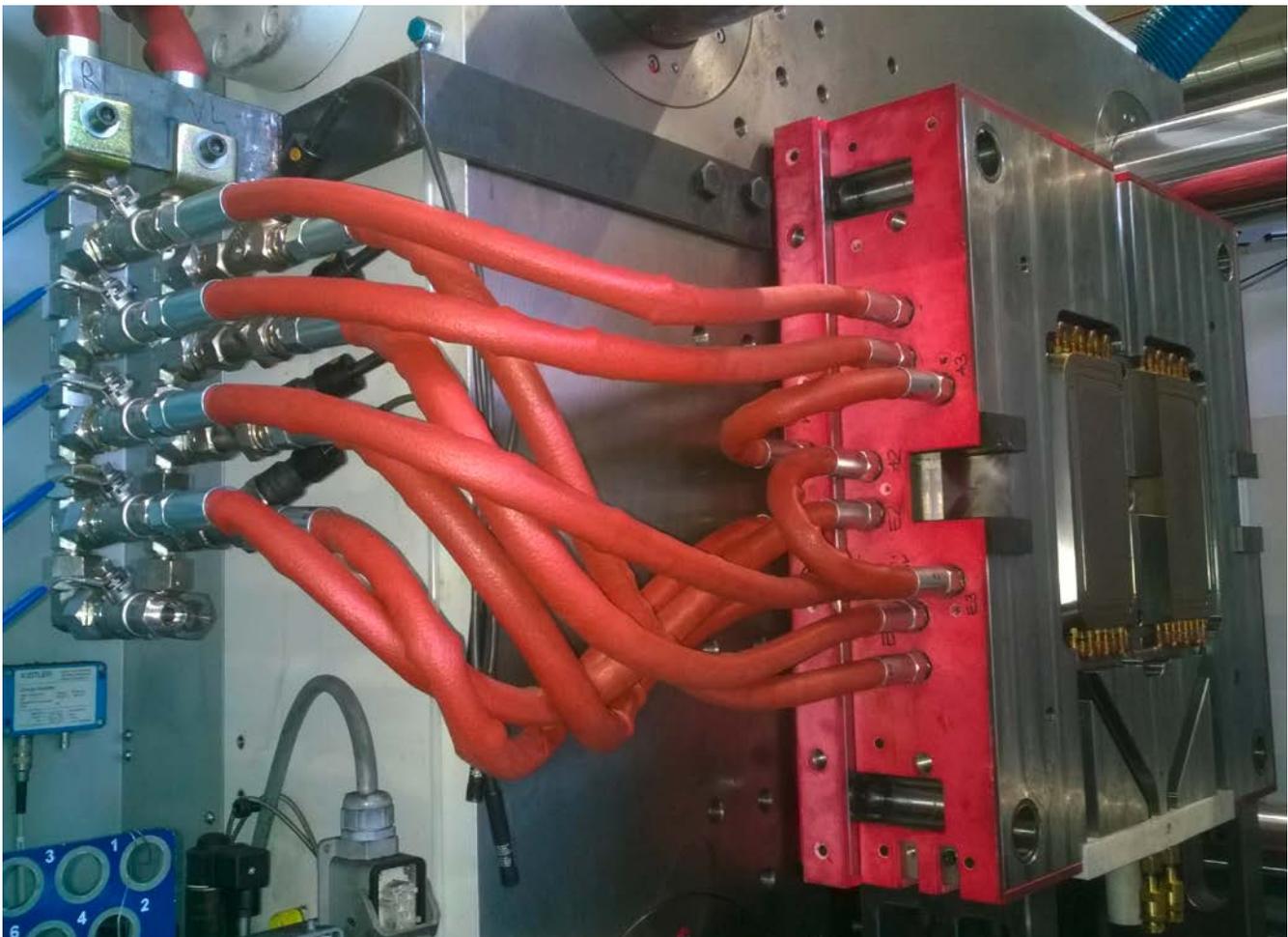
Spritzgegossene Bipolarplatten für die Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzelle

In einem Brennstoffzellen-Stack sind die einzelnen Zellen durch eine Bipolarplatte voneinander getrennt. Sie leitet den elektrischen Strom zur benachbarten Zelle, führt Brennstoffe und Kühlwasser zu sowie Wärme und Reaktionsprodukte ab. Forscherinnen und Forscher des Zentrums für Brennstoffzellentechnik (ZBT) wollen mit den Unternehmen Dr. Schneider Kunststoffwerke und der fischer eco solutions im Forschungsvorhaben **BigPPSBip** eine neuartige Bipolarplatte für die Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzelle auf Basis des chemisch sehr stabilen Werkstoffs Polyphenylensulfid (PPS) entwickeln.

Die PPS-Bipolarplatte soll dabei ungefähr dem Format eines Din-A5-Blattes entsprechen und inklusive all ihrer Strukturen in einem Arbeitsschritt gefertigt werden. Der Schlüssel zur erfolgreichen Umsetzung liegt im Zusammenspiel des

maßgeschneiderten Werkstoffs der Bipolarplatte auf Basis von PPS und des angepassten Spritzgießwerkzeugs, das speziell abgestuft temperiert sein soll. PPS-basierte Bipolarplatten für Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen mit einem schnellen induktiv-variothermen Spritzgießprozess haben großes Potenzial, die Kosten etablierter Heißpressprozesse zu unterbieten und somit auch neue Märkte zu erschließen. Ziel des Vorhabens ist, kostengünstige und chemisch stabile PPS-Platten verfügbar zu machen und einen Zulieferer am Standort Deutschland dauerhaft zu etablieren. Ihre Ergebnisse werden die Forscherinnen und Forscher wirtschaftlich-technisch bewerten und den konkurrierenden Verfahren gegenüberstellen.

Das BMWi fördert BigPPSBip mit rund 1,2 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET6068A-C).



Im Forschungsvorhaben BigPPSB wird ein dynamisch temperiertes Spritzgießwerkzeug zur Herstellung von PPS-Bipolarplatten eingesetzt.

Highlight: Energieeffiziente Brennstoffzellen-Heizgeräte

Thermelin: Effiziente Brennstoffzellen-Heizung sorgt für Strom und Wärme im Haus



SOFC-Brennstoffzellenstack: Im Forschungsvorhaben Thermelin hat ein Wissenschaftlerteam ein Mikro-Blockheizkraftwerk mit hohem elektrischen Wirkungsgrad entwickelt.

Brennstoffzellen-Heizgeräte wandeln Erdgas effizient und emissionsarm in Strom und Wärme um. Im Forschungsvorhaben Thermelin haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein Brennstoffzellen-Heizgerät für Einfamilienhäuser und kleine Mehrfamilienhäuser entwickelt, das Energie sparsam und rationell verwendet.

Klassische Brennstoffzellen werden mit Wasserstoff betrieben, der schwierig zu handhaben ist. Diese Fragen der aufwendigen Infrastruktur sind im Prinzip gelöst: Ein modernes Brennstoffzellen-Heizgerät (BZH) ist an die öffentliche Gasversorgung angeschlossen. Das Gas, das überwiegend aus Methan besteht, ist der Ausgangsstoff, um Wasserstoff zu erzeugen. Das funktioniert mithilfe eines Reformers, der in die stromerzeugenden Heizgeräte integriert ist und das Erdgas mit heißem Wasserdampf versetzt. Dieser Dampfreformer basiert auf einer zweistufigen Reaktion: Das Methan wird zuerst zu einem Gasgemisch aus Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff und dann zu Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff umgesetzt. Der Wasserstoff reagiert dann in der Brennstoffzelle mit Sauerstoff aus der Luft zu Wasser und es entstehen gleichzeitig Wärme und Strom.

Für die Hausenergieversorgung hat Viessmann zusammen mit Projektpartnern im Forschungsvorhaben **Thermelin** ein Mikro-Blockheizkraftwerk (Mikro-BHKW) auf Basis einer SOFC-Brennstoffzelle (Solid Oxide Fuel Cell) mit hohem elektrischen Wirkungsgrad von mindestens 50 Prozent entwickelt.

Anschließend ist der BZH-Demonstrator in einem Feldtest getestet worden. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben die vorhandene Mikro-BHKW-Technologie im Vorhaben weiterentwickelt und in das Brennstoffzellenmodul einen Dampfreformer integriert. Mit der internen Dampfreformierung oxidiert das Erdgas direkt. Damit ist die SOFC-Brennstoffzelle effizienter als andere Brennstoffzellensysteme mit vorgeschalteter Reformierung.

Weiter hat das Forscherteam zwei unterschiedliche Stack-Technologien im Brennstoffzellenmodul eingesetzt, ausgewertet und gegenübergestellt. Das entwickelte SOFC-basierte Mikro-BHKW ist modulationsfähig, sodass der Betrieb je nach Wärme- und Strombedarf optimiert werden kann.

Basis für Thermelin war die Brennstoffzelle als Effizienztechnologie. Somit unterstützt das Vorhaben die förderpolitischen Ziele des „Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ (NIP) und war darüber hinaus Teil des Strategieplans für Energietechnologie der Europäischen Union (Set-Plan: Strategic Energy Technology Plan).

Das BMWi hat Thermelin mit rund 2 Millionen Euro gefördert (Förderkennzeichen 03ET6034A-C).

Energiespeicher

Speicher umfassen ein breites Spektrum an Technologien und Anwendungen in allen Bereichen des Energiesystems. Entsprechend vielfältig sind die Entwicklungen für stationäre und mobile Lösungen in den unterschiedlichen Einsatzgebieten.





Im Energiesystem der Zukunft können Speicher eine zentrale Rolle spielen, wenn ein hoher Anteil erneuerbarer Energiequellen in die Energieversorgung integriert werden wird. Dann kann Überschussstrom aus Zeiten mit viel Wind und Sonne akkumuliert und später verwendet werden. Schon heute sind Speicher bedeutend, wenn Lösungen für Flexibilität im Energiesystem, für die Sektorkopplung und lokale Besonderheiten gefordert sind – etwa für Verteilnetzbetreiber, die zeitweilig bereits heute 80 Prozent erneuerbar erzeugten Stroms im Netz haben.



Heimspeicher für Photovoltaikanlagen unterstützen einen höheren Eigenverbrauch an erneuerbarer Energie.

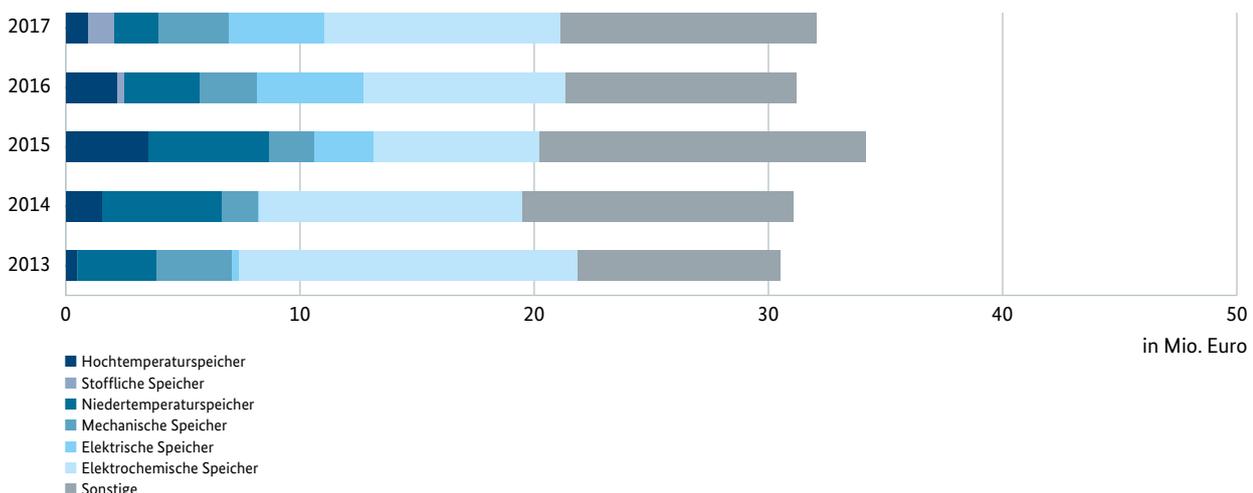
Mit Blick auf die internationale Marktentwicklung 2017 fällt insbesondere auf, dass Batterien immer weniger kosten. Das gilt sowohl für Lithium-Ionen-Batterien als auch für Redox-Flow-Systeme. Laut ForschungsVerbund Erneuerbare Energien wächst der weltweite Batteriemarkt derzeit um circa 8 Prozent pro Jahr und wird 2019 einen Wert von 120 Milliarden Euro erreicht haben. Elektrochemische Speicher wie Batterien zählen zu den strategisch wichtigen Förderbereichen der Bundesregierung in der Energieforschung. Das BMWi fördert Vorhaben für beide Batterietechnologien.

Da Lithium-Ionen-Batterien immer günstiger werden, reduzieren sich auch die Kosten von Heimspeichern für Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen). In Deutschland wurden 2017 laut EuPD Research 33.500 Heimspeicher neu installiert. Damit waren am Jahresende in Privathaushalten insgesamt

rund 87.000 Speicher mit einer Gesamtkapazität von rund 565 Megawattstunden in Betrieb, bei einer mittleren Kapazität von 6,5 Kilowattstunden. Der Markt wächst rasant – 2017 betrug das Wachstum im Vergleich zum Vorjahr nach Schätzungen der RWTH Aachen 42 Prozent. Die Forscherinnen und Forscher gehen davon aus, dass sich dieser Trend fortsetzen wird.

Derzeit treten immer mehr Anbieter für Heimspeichersysteme unter hohem Zeit- und Kostendruck in den Markt ein. Nicht alle Anbieter verfügen über umfangreiche Kenntnisse und Erfahrungen mit Lithium-Ionen-Zellen im Langzeitverhalten. Vor diesem Hintergrund sind die Verbundvorhaben **SafetyFirst** und **SPEISI** zu sehen. Dabei haben die Forscherinnen und Forscher sowohl Heimspeicher für

Energiespeicher: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



Privathaushalte als auch größere Anlagen im Blick. Ziel ist es, das Speichern von Strom aus PV-Anlagen mit Lithium-Ionen-Batterien noch sicherer und ökonomischer zu gestalten. Vor allem geht es darum, Brände und Explosionen in Batteriesystemen zu vermeiden. Aus SafetyFirst sollen zum Beispiel Empfehlungen für die Ausgestaltung sicherer Heimspeichersysteme hervorgehen (siehe auch „Highlight: Heimspeichersysteme“, Seite 76).

Auch in der Industrie nimmt die Nutzung elektrischer Speicher zu. Mehrere große Unternehmen der Energiewirtschaft haben bereits Speicher im Megawattbereich für die Nutzung am Regelleistungsmarkt in Betrieb genommen. Ein Beispiel ist die Essener STEAG. Der Großspeicher des Energieversorgers verfügt über 90 Megawatt Leistung auf Basis von Lithium-Ionen-Batterien. Im Bereich der Redox-Flow-Batterien laufen ebenfalls umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, an denen auch deutsche Hersteller beteiligt sind. Im Verbundvorhaben **S-FLOW** etwa sollen die Vorteile bestehender Lithium-Ionen-Technologie mit der Redox-Flow-Technik verknüpft werden (siehe auch „Energiewende im Flow“, Seite 79).

Zahlreiche Ergebnisse abgeschlossener Projekte sind bereits in Batterieprodukte eingeflossen, die jetzt kommerziell am Markt verfügbar sind. PV-Heimspeicher auf Basis von Redox-Flow-Batterien sind ein Beispiel für die erfolgreiche Zusammenarbeit von Forschung und Industrie und den gelungenen Transfer einer Technik in den Markt – eine Technik für Endkunden, die zu Beginn der „Forschungsinitiative Energiespeicher“ noch nicht verfügbar war.

Forschen, entwickeln und fördern

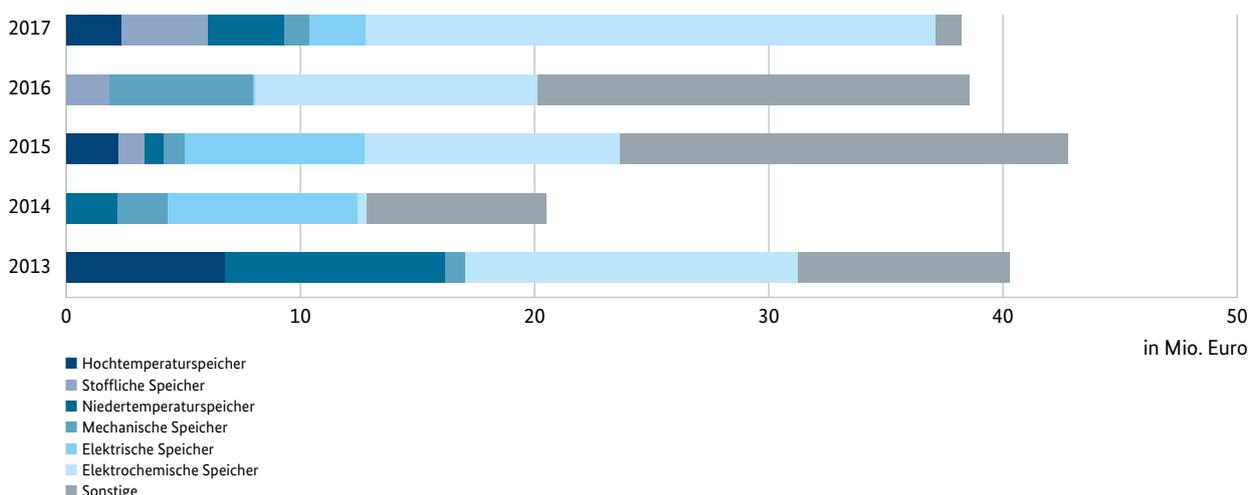
Energiespeicher umfassen ein breites Spektrum an Technologien und Anwendungen, es gibt nicht den einen Speichertyp für die Zukunft. Die technologischen Entwicklungen

Speicher ermöglichen Lösungen für Netzengpässe, für die E-Mobilität und die Sektorkopplung.

sind dementsprechend heterogen. Daher haben die Bundesministerien für Wirtschaft und Energie und für Bildung und Forschung wesentliche Anteile der Aktivitäten zur Entwicklung von stationären Energiespeichern im Rahmen der gemeinsam initiierten Forschungsinitiative Energiespeicher gefördert. Im Fokus standen dabei elektrische, stoffliche und thermische Speicher. Besonders erfolgversprechende Technologien werden im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms weiter gefördert. Darüber hinaus werden aus der Förderbekanntmachung „Energiewende im Verkehr“ vom Frühjahr 2017 zahlreiche Projekte mit Blick auf alternative Kraftstoffe an den Start gehen.

Ein großes Thema für das Energiesystem als Ganzes ist insbesondere die intelligente Kopplung der drei Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Verkehr: Wird der Strom zur Speicherung umgewandelt, zum Beispiel in stoffliche Energieträger wie Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffe, dann besteht neben der späteren Wiederverstromung auch die Möglich-

Energiespeicher: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013



Im Gespräch: Sektorkopplung

Integration erneuerbarer Energien durch das konvergente Nutzen von Strom- und Gasnetzen



Beschäftigen sich im Forschungsprojekt KonStGas damit, wie Strom- und Gasnetze für die Integration erneuerbarer Energien optimiert werden können: Gert Müller-Syring, Fachgebietsleiter Gasnetze/Gasanlagen (links), und der technische Projektleiter Jens Hüttenrauch, Teamleiter für Netzprojekte bei DBI Gas- und Umwelttechnik (rechts).

Durch das Erzeugen von Wasserstoff oder Methan aus erneuerbarem Strom stellen Power-to-Gas-Anlagen (PtG-Anlagen) sowohl eine Speicher- als auch eine Konversionstechnologie dar. Für beide Aspekte lässt sich die bestehende Gasinfrastruktur nutzen. Das Projekt **KonStGas** hat sich mit dieser Thematik beschäftigt. Gert Müller-Syring, Fachgebietsleiter Gasnetze/Gasanlagen, und der technische Projektleiter Jens Hüttenrauch, Teamleiter für Netzprojekte bei DBI Gas- und Umwelttechnik, geben im Interview Einblick in die Ergebnisse ihrer Untersuchung.

Was sind die Vorteile der Kopplung von Strom- und Gasnetzen für die Integration erneuerbarer Energien?

Müller-Syring: Die Sektorkopplung mittels Power-to-Gas-Anlagen wirkte sich in den beiden im Projekt betrachteten Szenarien (80 Prozent und 100 Prozent erneuerbare Energien am Bruttostromverbrauch im Jahr 2050) positiv auf den Umfang der Abregelung der erneuerbaren Energien aus und führte somit zu einer Substitution konventioneller Kraftwerke, was sich auch positiv auf die Emissionen des Gesamtsystems auswirkt. Die Power-to-Gas-Anlagen können, bei optimierter Allokation, im 100-Prozent-EE-Szenario die Netzüberlastung um 90 Prozent reduzieren und die Abregelung der erneuerbaren Energien halbieren.

keit zur Nutzung der Energie in anderen energiewirtschaftlichen Sektoren. Synthetisch hergestelltes Methan aus erneuerbaren Energien etwa kann in vorhandenen Gasnetzen gespeichert beziehungsweise transportiert und dann für den Wärmesektor genutzt werden. Die Sektorkopplung ermöglicht zudem prinzipiell eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz – ein übergeordnetes Ziel der Forschungsförderung des BMWi. Beispielhaft mit Blick auf die Sektorkopplung ist das Verbundvorhaben **KonStGas**. Die Verbundpartner untersuchen technische und volkswirtschaftliche Chancen, die sich aus der Kopplung von Strom- und Gasnetzen ergeben (siehe oben „Im Gespräch: Sektorkopplung“).

Beim Thema stoffliche Speicher geht es unter anderem um die Möglichkeit zur Speicherung großer Mengen an Wasserstoff. Dieser kann in Power-to-Gas-Anlagen mithilfe von Strom aus Erneuerbaren über Elektrolyseverfahren aus Wasser gewonnen werden. In den letzten Jahren hat das BMWi zahlreiche Elektrolyseprojekte gefördert und entsprechende Verfahren wurden entwickelt. Jetzt wird das Thema weitergedacht. Eine Lösung zur Speicherung von Wasserstoff bieten riesige Hohlräume in Salzkavernen. Noch wird dies in Deutschland nicht umgesetzt. Das BMWi fördert entsprechende Projekte und damit umfangreiche Vorlauftforschung für diese Technologie.

Wie wird das technisch umgesetzt?

Hüttenrauch: Die Umsetzung der Sektorkopplung erfolgte im Projekt durch den Einsatz von Power-to-Gas-Anlagen, die bei Netzüberlastungen oder im Falle der Abregelung erneuerbarer Energien Wasserstoff aus erneuerbarem Strom erzeugten. Insgesamt wurden im Jahr 2050 im 100-Prozent-EE-Szenario Power-to-Gas-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 38 GWel installiert, mit Schwerpunkt auf den Küstenregionen. Das erzeugte Gas wurde in die Gastransportnetze eingespeist.

Welche Empfehlungen leiten Sie für die Planung der Kopplung von Strom- und Gasnetzen ab?

Hüttenrauch: Die Auswertung der beiden im Projekt betrachteten Szenarien hat gezeigt, dass vor allem die Stromerzeugung, aber auch das Energiesystem als Ganzes, auf dem Weg zu einer großteiligen bis vollständigen Dekarbonisierung grundhaft umgestaltet werden muss. Neben Effizienzsteigerungen zur Senkung der Energienachfrage und dem Ausbau der erneuerbaren Energien, sowohl im Strom- als auch im Gassektor, sind auch auf Seiten der Strom- und Gasinfrastrukturen große Veränderungen notwendig. Parallel zum Aus- und Umbau der Netze steigt mit zunehmendem Anteil der erneuerbaren Energien auch der Bedarf an einer Kopplung der Sektoren mittels Power-to-Gas und anderen Kopplungselementen.

Müller-Syring: Bei der Planung der Strom- und Gasnetze sind bereits frühzeitig die zunehmende EE-Einspeisung, die Veränderungen des Kraftwerksparks und der Höhe und Struktur der Energienachfrage sowie die Potenziale zur Kopplung der Energieinfrastrukturen mit der Power-to-Gas-Technologie und weiterer Flexibilitätsoptionen auf nationaler und europäischer Ebene zu berücksichtigen. Die Basis für diese langfristige sektorenübergreifende Planung ist die zeitnahe Ermittlung von robusten sowie im Sinne der Klimaziele wirksamen und gesamtwirtschaftlich optimierten Transformationspfaden für das Energiesystem. Es ist unter anderem zu analysieren,

wie sich die Elektrifizierung und Dekarbonisierung weiterer Sektoren, zum Beispiel Mobilität und Wärme, und der Einsatz zusätzlicher Flexibilitäten, zum Beispiel der Ausbau von Grenzkuppelkapazitäten und von Strom- und Energiespeichern sowie der Einsatz von PtG in den Verteilnetzen, auf den nationalen Power-to-Gas-Bedarf auswirken. Wichtige Bestandteile der Analyse sind die Ermittlung von langfristig geeigneten Standorten für Power-to-Gas-Anlagen und die Bewertung der Wechselwirkungen zwischen der Entwicklung des Kraftwerksparks, der EE-Einspeisung, dem Ausbau von Speichern und den Strom- und Gasnetzen.

Wie wirkt sich die Sektorkopplung auf den Ausbau der Strom- und Gasnetze aus?

Müller-Syring: Power-to-Gas-Anlagen wirken, bei sinnvoller Allokation und netzdienlichem Einsatz, entlastend für das Stromnetz, was zur Verminderung des Bedarfs an Netzausbau führen kann. In den vorliegenden Ergebnissen wurden allerdings alle stromseitigen Ausbauoptionen aus dem Netzentwicklungsplan als notwendig erachtet, darüber hinaus notwendiger Netzausbau konnte nicht berücksichtigt werden. In den Gastransportnetzen ist, vor allem bei konzentrierter Allokation der Power-to-Gas-Anlagen, sowohl mit mindestens einer anteiligen Methanisierung des einzuspeisenden Gases und darüber hinaus auch mit Netzausbau in den betroffenen Regionen zu rechnen.

In den Gasverteilnetzen können Netzveränderungen notwendig sein, um die Kapazitäten für die Einspeisung von Gasen aus Power-to-Gas-Anlagen punktuell zu erhöhen. Dazu können Gas-Druckregelanlagen zusammengefasst werden, um die Auslastung und damit die Kapazität zu erhöhen. Dies kann zu Anpassungsbedarf bei der Verteilnetzstruktur führen.

Das Interview führte Mareike Lenzen, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Im Projekt **HyINTEGER** sollen in einer Wasserstoffatmosphäre mögliche Wechselwirkungen zwischen den natürlichen Komponenten von Untergrundspeichern, beispielsweise Gesteine oder Formationswässer, und den Materialien von Bohrungsinstallationen, etwa Stähle und Zemente, untersucht werden (siehe auch „Porentief! Wasserstoff in Porenspeichern“, Seite 77).

Künftig wird es in der Forschung zu Energiespeichern verstärkt auch um das Thema Power-to-Fuel gehen und damit um alternative Kraftstoffe für den Verkehrssektor: Im Rahmen der 2017 veröffentlichten Förderbekanntmachung „Energiewende im Verkehr“ starten ab 2018 etwa 20 neue Projekte. In jedem wird es um die Herstellung oder die

Nutzung innovativer Kraftstoffe gehen. Mit dabei sind unter anderem Methanol, Ethanol, OME, Kerosin, synthetisch hergestelltes Erdgas und Biogas mit Wasserstoffanteilen. Einige der alternativen Kraftstoffe funktionieren als Zuschlagstoff in heutigen Autos, LKW, Flugzeugen oder Schiffen, andere erfordern verbesserte Motoren.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Energiespeicher hat das BMWi 2017 insgesamt 94 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 38,2 Millionen Euro bewilligt (2016: 68 Projekte für rund 38,6 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 32,1 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 31,2 Millionen Euro).

Highlight: Heimspeichersysteme

Lithium-Ionen-Heimspeicher auf dem Prüfstand

Immer mehr Privathaushalte nutzen Heimspeicher, um Strom aus Photovoltaik-Anlagen zwischenspeichern. Kostengünstige Heimspeicher machen den Einsatz bei gleichzeitig sinkenden Stromerzeugungs- und steigenden Bezugskosten attraktiv. In diesen Stromspeichern werden zunehmend Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt. Sowohl für den Endkunden als auch den fachkundigen Installateur ist es schwierig bis unmöglich, Sicherheit und Qualität dieser Heimspeicher zuverlässig zu beurteilen, da bisherige Normen und Prüfvorschriften auf moderne Lithium-Ionen-Batterien nicht anwendbar sind. So waren in Labortests im Jahr 2014 an einigen in Deutschland vertriebenen Heimspeichern massive Sicherheitsmängel aufgefallen, woraufhin von Industrieverbänden unter Mitwirkung des KIT ein Sicherheitsleitfaden verabschiedet wurde, der Eigenschaften und Schutzvorkehrungen definiert, über die sichere Batteriesysteme mindestens verfügen müssen.

Im Projekt **SafetyFirst** untersuchen drei Verbundpartner, ob der neueste Stand der Speicher-Sicherheitsforschung in den in Deutschland vertriebenen Speichersystemen so berücksichtigt ist, wie in dem Leitfaden abgebildet. Das Projekt hat das Ziel, die Lücke der fehlenden Sicherheits- und Qualitätsmaßstäbe zu schließen. Dazu werden Sicherheit und Qualität sowie die Performance und die Netzdienlichkeit kommerziell erhältlicher Heimspeichersysteme analysiert und daraus Empfehlungen für Hersteller, Normengremien und Behörden abgeleitet. Koordinator ist das Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Die beiden weiteren Partner sind das Fraunhofer-

Institut für Solare Energiesysteme ISE und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW).

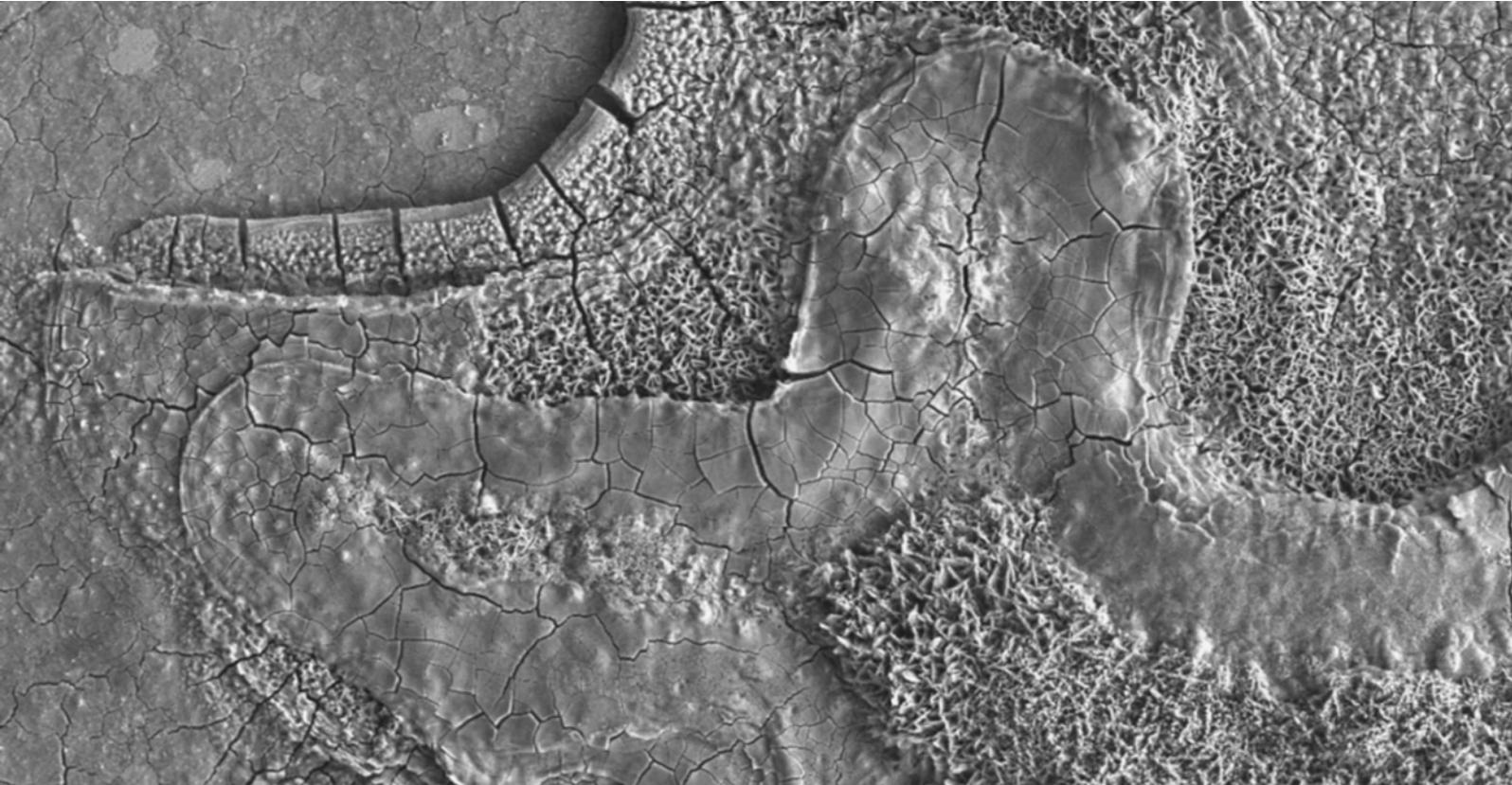
Für die Untersuchung werden mehr als zwanzig solcher Systeme Dauertests in Testständen unterzogen, die die tatsächliche Situation im privaten Haushalt nachstellen. Durch spezielle Belastungsprofile wird das Verhalten nicht nur im fabrikenen Zustand der Batterien untersucht, sondern auch Alterungszustände nachgestellt, wie sie nach einigen Jahren Betrieb auftreten. Bei diesen Tests werden Daten sowohl über die Sicherheitseigenschaften als auch über die sich verändernde Energieeffizienz und die zu erwartende Haltbarkeit der Speichersysteme gewonnen. Ergänzend zu den Untersuchungen an ganzen Heimspeichern werden einzelne ausgewählte Lithium-Ionen-Zellen am Fraunhofer ISE und am ZSW untersucht. Die bisher durchgeführten Untersuchungen im Bereich der Effizienz haben maßgeblich zur Entwicklung des Effizienzleitfadens für Heimspeichersysteme beigetragen, der erstmalig vergleichende Kriterien für die Performance von Heimspeichern zur Verfügung stellt. Dieser wurde im März 2017 in Deutschland veröffentlicht und soll zeitnah in weitere Länder übertragen werden. Ein weiterer Schwerpunkt des Vorhabens liegt auf dem Gewinnen von Daten und Informationen darüber, inwieweit sich kommerzielle Heimspeicher bereits heute netzdienlich verhalten, oder ob die Steuerung der Speicher die Netzgradienten und damit die Netzbelastung sogar vergrößern kann.

Das BMWi fördert das Projekt SafetyFirst mit rund 3,5 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET6055A-C).



Im Projekt SafetyFirst untersuchen drei Verbundpartner die Sicherheit und Netzdienlichkeit von elektrischen Heimspeichersystemen mit Lithium-Ionen-Batterien.

Projekte



Forscherteams untersuchen im Projekt HyINTEGER Optionen für das Speichern von Wasserstoff im Untergrund: Die Rasterelektronenmikroskopaufnahme zeigt, wie stark Rohre oder andere technische Komponenten untertage korrodieren können.

Porentief! Wasserstoff in Porenspeichern

Das elektrolytische Umwandeln elektrischer in chemische Energie und die längerfristige Speicherung des chemischen Energieträgers stellen ein vielversprechendes Verfahren dar, um Überkapazitäten aus erneuerbaren Energien für einen späteren Bedarf vorzuhalten und bereitzustellen. Durch das Verfahren wird Wasserstoff gewonnen, der in verschiedenen Medien, wie beispielsweise in geologischen Strukturen, potenziell speicherbar ist. So bieten im Untergrund gelegene, ausgeförderte Erdgaslagerstätten, saline Aquifere oder Salzkavernen die Möglichkeit, wasserstoffhaltiges Erdgas, Gasmischungen aus Wasserstoff und CO₂ sowie reinen Wasserstoff einzulagern.

Im Projekt **HyINTEGER** erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Optionen für das Speichern von Wasserstoff in Porenspeichern im Untergrund. Sie möchten mit diesem Ansatz einen Beitrag für die Flexibilisierung des Energiesystems leisten. Dabei wollen die Projektpartner insbesondere die möglichen Wechselwirkungen zwischen den natürlichen Komponenten (Gesteine, Formationswäs-

ser, Biozönosen) von Untergrundspeichern und den Materialien von Bohrungsinstallationen (Stähle, Zemente, Polymere) in einer Wasserstoffatmosphäre untersuchen. Auch Fragen der Stabilität und Dichtigkeit spielen eine zentrale Rolle. Das Vorhaben soll dazu beitragen, den Nutzen und die Risiken einer industriellen Anwendung dieser Technologie bewerten zu können. An dem Vorhaben sind die Friedrich-Schiller-Universität Jena als Koordinator sowie die Technische Universität Clausthal, die Johannes Gutenberg-Universität Mainz und das Deutsche GeoForschungszentrum GFZ als Forschungspartner beteiligt.

HyINTEGER baut auf den Ergebnissen des Projekts H2STORE auf. In diesem Vorhaben hat das Forscherteam den Einfluss einer Wasserstoffspeicherung auf Gesteine potenzieller Porenreservoirs (Sandsteinhorizonte) im geologischen Untergrund untersucht.

Das BMWi fördert HyINTEGER mit rund 2,3 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET6073A-D).



Im Projekt Energiepark Mainz hat ein Forschungsverbund einen leistungsstarken Wasserstoffelektrolyseur entwickelt – die Anlage ist mit bis zu 6 Megawatt Stromaufnahme die weltweit größte ihrer Art.

Wasserstoff-Elektrolyse als Flexibilitätsoption für die Sektorkopplung

Die Elektrolyse von Wasserstoff ist eine interessante Flexibilitätsoption für das Energiesystem der Zukunft. Mithilfe von Power-to-Hydrogen- oder Power-to-Gas-Technologie kann Strom aus regenerativen Energiequellen einerseits stofflich gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt rückverstromt werden. Andererseits lässt sich Wasserstoff mit innovativen Technologien hervorragend im Verkehrs- oder Wärmesektor nutzen.

Im Projekt **Energiepark Mainz** hat ein Forschungsverbund einen leistungsstarken Wasserstoffelektrolyseur entwickelt. Mit bis zu 6 Megawatt Stromaufnahme ist die Anlage die weltweit größte ihrer Art. Mit Power-to-Gas als stofflicher Speichertechnologie wird über die sehr flexible PEM-Elektrolyse CO₂-neutraler Wasserstoff erzeugt. Dieser steht anschließend als umweltfreundlicher Kraftstoff an Wasserstofftankstellen für Brennstoffzellen-Fahrzeuge oder für die Gasversorgung von privaten Haushalten oder der Industrie zur Verfügung. Alternativ kann die Energie durch Rückverstromung in Gasturbinen wieder in die Elektrizitätsnetze eingespeist werden. Die drei Elektrolysesysteme des Parks werden mit überschüssigem Strom aus benach-

barten Windkraftanlagen betrieben. An dem Vorhaben sind die Mainzer Stadtwerke als Koordinator sowie Siemens, Linde Gas Deutschland und die Hochschule RheinMain beteiligt.

Wesentliche Ziele des Projekts waren neben Entwicklung und Erprobung innovativer Technologien für die Wasserstoffproduktion und Wasserelektrolyse die lokale Netzintegration erneuerbarer Energien und das Entwickeln eines innovativen Steuer- und Regelungskonzeptes zur kostenoptimalen Einbindung in den realen Markt. Windprognosen, Preisentwicklungen am Strommarkt sowie die Erfordernisse des Wasserstoffmarkts und des Erdgasnetzes wurden berücksichtigt. Dabei ist die Anlage in der Lage, Systemdienstleistungen durch verschiebbare Last (Regelenergiemarkt) zu erbringen.

Das BMWi hat Energiepark Mainz mit rund 8,9 Millionen Euro gefördert (Förderkennzeichen 03ESP200A-D).

Energiewende im Flow

Elektrochemische Energiespeicher, wie beispielsweise Redox-Flow-Batterien, könnten künftig einen zentralen Baustein für die Integration erneuerbarer Energien in das Versorgungssystem darstellen, da sie Strom mit hohen Wirkungsgraden umwandeln und so speichern. Ihr Einsatzpotenzial liegt vor allem im stationären, dezentralen Bereich, um beispielsweise unvorhersehbar anfallenden, überschüssigen Strom – etwa aus Wind- oder PV-Anlagen – zwischenzuspeichern und bei Bedarf wieder schnell abzugeben.

Ziel des Verbundvorhabens **S-FLOW – Wieder aufladbare Lithium-Batterie mit einer Schwefel-FLOW-Kathode** ist die Entwicklung einer neuartigen Lithium/Schwefel-Semi-Flow-Batterie, die die Vorteile bestehender Lithium-Ionen-Technologie mit der Redox-Flow-Technik verknüpft. An dem Projekt sind VARTA Microbattery als Koordinator sowie der Verein für das Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie (FEM), Freudenberg Technology Innovation und die Hochschule Aalen als Forschungspartner beteiligt.

Die neuartige Flow-Batterie soll auf gewinnbringende Weise viele Vorteile der Lithium-Schwefel-Batterien und der Flow-Batterien kombinieren und zugleich einige der bekannten Nachteile beider Batteriearten eliminieren. Am Ende des Projekts wollen die Forscher ein Batteriekonzept vorlegen, mit dem eine deutlich höhere Energiedichte als bei Polysulfid-Flow-Batterien und nahezu die Energiedichte von klassischen Li/S-Batterien erreicht werden kann. Zugleich wollen die Verbundpartner die Materialausnutzung und Zyklenfestigkeit im Vergleich zu den bisher in der Entwicklung befindlichen Lithium-Schwefel-Batterien deutlich verbessern. Letzteres soll durch ein neuartiges Flow-Prinzip möglich werden, nach welchem die Kathodenseite arbeitet.

Das BMWi fördert S-FLOW mit rund 1,2 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET6084A-D).



Im Projekt S-FLOW soll eine neuartige Batterie die Vorteile bestehender Lithium-Ionen-Technologie mit der Redox-Flow-Technik verknüpfen.

Stromnetze und Netzintegration erneuerbarer Energien

Mit der Energiewende wird die Steuerung des Energiesystems komplexer. Stromnetze müssen vor allem flexibel werden, um die Versorgung auch künftig sichern zu können. Besonders wichtig: Lösungen für erweiterte Regelungsmöglichkeiten und die Informations- und Kommunikationstechnik.





Die Stromnetzinfrastruktur muss an die Anforderungen der Energiewende angepasst werden: Durch die fluktuierende Einspeisung aus immer mehr dezentralen Anlagen entsteht größerer Regelungsbedarf. Flexible Betriebsstrategien können die weitere Integration erneuerbarer Energien ermöglichen und dabei das Netz stabil halten. Intelligente Lösungen bietet die Digitalisierung. Zugleich ergibt sich weiterer Forschungsbedarf, etwa mit Blick auf einen sicheren und effizienten Umgang mit enormen Datenmengen.

Das Energieversorgungssystem wird in den kommenden Jahrzehnten tiefgreifend umgebaut. Das gilt auch für die Übertragungs- und Verteilungsnetze: Die Gesamtlänge der deutschen Stromnetze beträgt circa 1,7 Millionen Kilometer. Sie verbinden Erzeugungs-, Speicher- und Verbrauchsinfrastrukturen miteinander. Übertragungsnetze transportieren den Strom über weite Distanzen, regionale Verteilungsnetze stellen die Verbindungen zu den Verbrauchern her. In den Verteilungsnetzen werden rund 98 Prozent des deutschen Elektrizitätsverbrauchs abgedeckt. Gleichzeitig ist der Großteil der Erzeugungsanlagen aus erneuerbaren Energien im Verteilnetz angeschlossen. Die Herausforderungen für Netzbetreiber im Rahmen der Energiewende sind vielfältig.

Konkret und verwertbar: Netzbetreiber bringen reale Anforderungen mit und erarbeiten Lösungen mit Forschungspartnern. Hersteller entwickeln etwa durch Leistungselektronik neue Produkte für den Netzbetrieb.

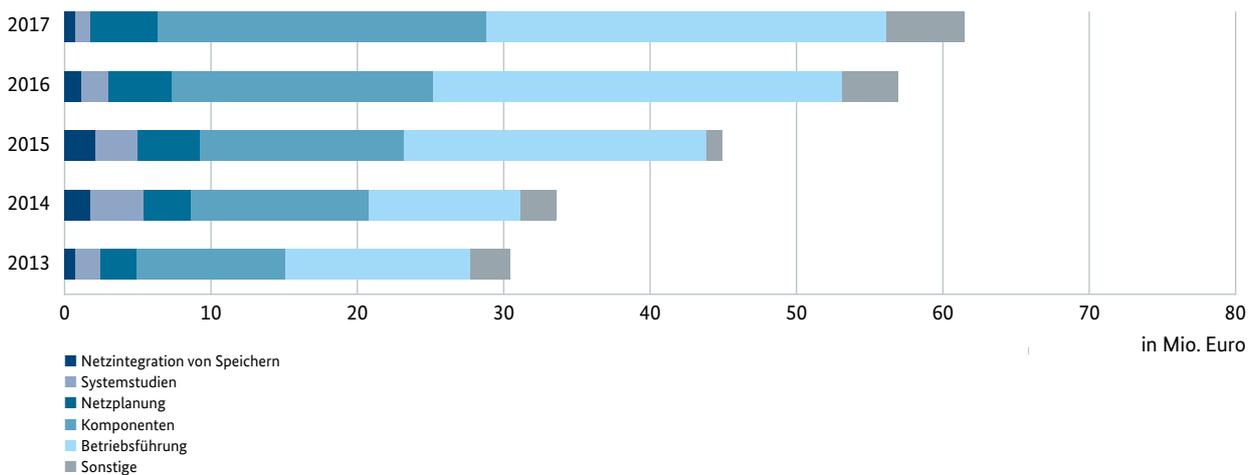
Mit dem Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien nimmt die Dezentralisierung von Erzeugung und Einspeisung weiter zu. So auch durch den Einsatz von Photovoltaik, von großen Anlagen bis hin zum Betrieb im Eigenheim. Zudem werden witterungsabhängige Erneuerbare wie Strom aus Wind und Sonne fluktuierend ins Netz eingespeist. Vor diesem Hintergrund kann ein intelligentes Lastmanagement unterstützen, das Stromnetz stabil zu halten. Um die Versorgungssicherheit weiter gewährleisten zu können, müssen Verteilnetze flexibel und aktiv werden. Die Betriebsführung wird komplexer und die Mindestanforderungen an dezentrale Erzeuger steigen, vor allem mit Blick auf erweiterte Regelungsmöglichkeiten und die Informations- und Kommunikationstechnik. Gefragt sind sowohl innovative Technologien als auch neue Geschäftsmodelle für den Betrieb intelligenter Stromnetze, sogenannter Smart Grids.

Eine Hauptrolle beim Aufbau dieser intelligenten Netze spielt die Digitalisierung. Durch die Flexibilisierung des Energiesystems und das automatisierte Erfassen von Messwerten entstehen riesige Datenmengen. Netzbetreiber müssen diese Daten speichern, sichern, zusammenbringen, auf verschiedene Arten filtern und für eine zeitnahe Auswertung nutzen können. Im Forschungsvorhaben **Netz-DatenStrom** wird getestet, wie man mit der Menge und Vielfalt an Daten in kritischen Situationen umgehen und sicherstellen kann, dass im entscheidenden Zeitfenster die richtigen Schlussfolgerungen und Konsequenzen für die Systemregelung gezogen werden können (siehe auch „Highlight: Open-Source-Governance“, Seite 86).

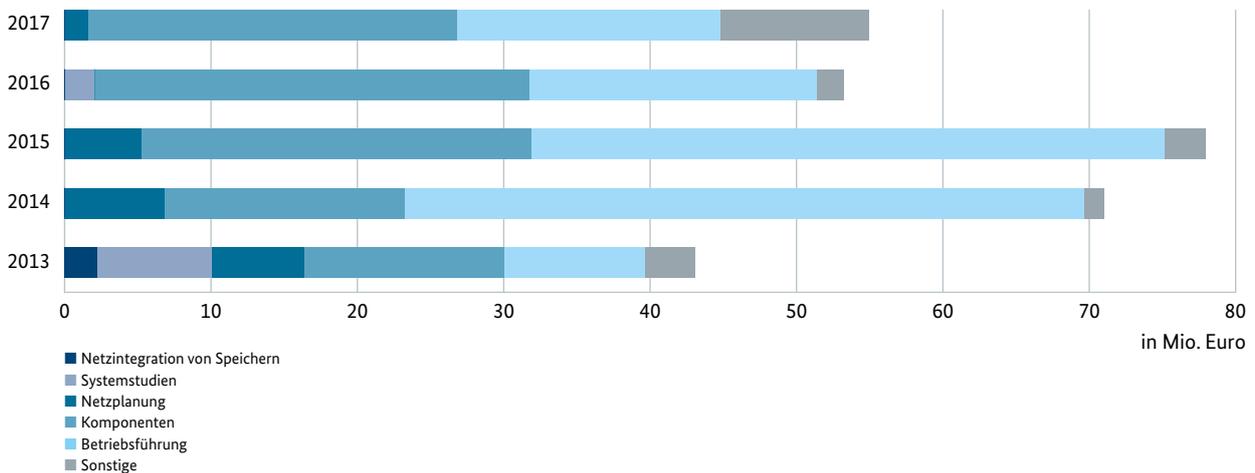
Forschen, entwickeln und fördern

Aus der geographischen Verteilung der Erzeugungsanlagen für erneuerbare Energien ergibt sich oft eine erhebliche räumliche Distanz von Stromerzeugung und -verbrauch: Ab 2025 sollen zwei Großleitungen die Windenergie aus Norddeutschland in die Lastzentren im Süden transportieren. Das Verbundvorhaben **IBoTec** zielt darauf ab, innovative Bohrtechniken für die entsprechende Erdverkabelung zu entwickeln. Eine besondere Herausforderung ist dabei, dass die Trassen zum Teil durch Schutzgebiete führen werden. Im Projekt haben die Forscherinnen und Forscher bereits untersucht, inwieweit sich Verfahren aus der Bohrtechnik für Gas- und Ölpipelines dafür eignen. Das Ergebnis: Mittels einer weiterentwickelten Antriebstechnik für den Bohrer können Naturschutzgebiete schonend unterquert werden (siehe auch „Im Gespräch: HGÜ-Leitungen“, Seite 84).

Stromnetze: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



Stromnetze: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013



Förderpolitischer Hintergrund für viele laufende Projekte im Bereich der Netzinfrastruktur ist die 2013 gestartete Förderinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“, getragen durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Zu den Förderschwerpunkten zählen dabei auch Systemverhalten und Systemsicherheit. Im Verbundvorhaben **Star-StroP** beispielsweise geht es um die Sicherung der Frequenzstabilität im Netz. Mit dem zunehmenden Anteil erneuerbarer Energiequellen steigt auch die Zahl an Wechselrichtern im Gesamtsystem, die den Strom aus Gleichstromquellen wie Windenergieanlagen vor der Einspeisung ins Netz in Wechselstrom umwandeln. Die Wechselrichter sind jedoch nicht ohne Weiteres in der Lage, Stabilitätsanforderungen auf sehr kurzen Zeitskalen zu erfüllen. Bislang sind nur Lösungen für größere Zeitfenster und Ausfälle etabliert, etwa für Reaktionszeiten von mehreren Sekunden. Lösungen und entsprechende Markt-

produkte für eine sehr kurzfristige Regelung innerhalb von Mikro- oder Millisekunden sollen im Rahmen von **Star-StroP** entwickelt werden, optimiert für den Parallelbetrieb von Wechselrichtern (siehe auch „Highlight: Parallelbetrieb von Wechselrichtern“, Seite 90). Auch das Vorhaben **Dyna-GridCenter** steht unter der Maßgabe der Systemsicherheit. Hier wurde zum ersten Mal ein dynamischer Netzbetrieb mit kurzfristigen Reaktionszeiten und hohem Automatisierungsgrad entwickelt (siehe auch „Dynamische Leitwarten für das Übertragungsnetz“, Seite 87).

Intensiv gefördert werden auch weiterhin Kooperationsprojekte auf EU-Ebene, beispielsweise im Rahmen des ERA-Nets Smart Grids Plus, einer erfolgreichen Zusammenarbeit mit europäischen Partnern zu intelligenten Stromnetzen. Netzbetreiber in unterschiedlichen Ländern stehen oft ähnlichen Herausforderungen gegenüber. Der Austausch und das Vernetzen von Wissen über nationale Grenzen hin-

aus können Projekte, die diese Herausforderungen angehen, entscheidend voranbringen. Auch die Kopplung von Strom- und Wärmenetzen wird in diesem ERA-Net untersucht. Generell gewinnt die intelligente Verknüpfung verschiedener Sektoren, wie zum Beispiel Strom, Kälte/Wärme und Verkehr immer mehr an Bedeutung. Dementsprechend müssen Erzeuger wie Verbraucher ihre Systemtechnik einrichten auf das Zusammenspiel der Stromnetze mit thermischen Energienetzen und Netzen stofflicher Energieträger wie beispielsweise Erdgas oder Wasserstoff. Die Sektorkopplung kann entscheidend zur Steigerung der Energieeffizienz beitragen und birgt zugleich großes Potenzial zur Verringerung der Gesamtinvestitionen in das Energiesystem.

Bei den künftigen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten werden Systemstabilität und -sicherheit sowie die Netzautomatisierung auch weiterhin zentrale Themen sein. Vor allem müssen Systemdienstleistungen zur Netzstabilisierung unter Einbeziehung der erneuerbaren Energien weiter-

entwickelt werden. Zudem gilt es auch, Lösungen zur weiteren Erhöhung der Flexibilität eines zunehmend automatisierten Gesamtsystems zu entwickeln. Die Digitalisierung, die Sicherheit von und der effiziente Umgang mit Daten

ist und bleibt ebenfalls ein Kernthema. Die Datenmengen und damit auch die Möglichkeiten und Herausforderungen werden weiter wachsen. Zudem sollten Betriebsmittel und -komponenten der Gleichstromübertragung weiter erforscht werden. Gerade im Bereich der Gleichstromübertragung muss noch viel Erfahrung im Zusammenspiel der einzelnen Komponenten gesammelt werden.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Stromnetze und Netzintegration hat das BMWi 2017 insgesamt 91 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 55 Millionen Euro bewilligt (2016: 119 Projekte für rund 53,2 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 61,5 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 56,9 Millionen Euro).

Im Gespräch: HGÜ-Leitungen

Erdkabel für den Netzausbau



Dr. Marc Peters, Leiter des Geschäftsfelds Energie bei der Herrenknecht AG: „Wir haben uns bei der Entwicklung einer Verlegetechnik für Erdkabel- oder Kabelschutzrohre, in die die Kabel später eingezogen werden, auf drei wesentliche Punkte konzentriert: Schonung der Umwelt während der Bauphase, Realisierungszeit und Kosten.“

Der Netzausbau soll durch leistungsfähige, umwelt- und gesellschaftsverträgliche sowie kostengünstige Verlegeverfahren von Leitungen für die Hochspannungsgleichstrom-Übertragung (HGÜ) gelingen. Diese sollen bevorzugt Erdkabel sein. Dr. Marc Peters leitet das Geschäftsfeld Energie bei der Herrenknecht AG, einem Anbieter von Lösungen für maschinelle Tunnelvortriebs- und das Erschließen unterirdischer Energiequellen. Er gibt im Interview Einblick in den Stand der Entwicklung und die wichtigsten Forschungsfragen und Herausforderungen.

Wo sehen Sie die größten Herausforderungen bei der Verlegung von HGÜ-Leitungen als Erdkabel?

Die Herausforderung besteht darin, dass in der von der Politik vorgegebenen Realisierungszeit bis 2025 die erforderlichen Ressourcen zur Umsetzung der Projekte auf allen Ebenen bereitgestellt werden. Angefangen mit den Planungen, die nach dem Wechsel von Freileitung auf Erdkabel quasi wieder bei null anfangen mussten. Derzeit befinden wir uns im Genehmigungsprozess, was durch den Umfang eine enorme Herausforderung darstellt. Zu hoffen ist, dass durch die geplante Erdkabelumsetzung eine deutliche Akzeptanzsteigerung erreicht wird. Die Netzbetreiber leisten gerade hier durch die Bürgerdialoge viel Aufklärungsarbeit. Aber auch die Umsetzung der Projekte selbst, unabhängig davon, welche Verlegeverfahren in den einzelnen Trassenabschnitten letztlich zur Anwendung kommen, wird nicht trivial sein. Die Bauindustrie



Innovative Technologien bringen die Energiewende weiter voran: Übertragungs- und Verteilungsnetzbetreiber müssen vor allem flexibel reagieren können auf wachsende Stromanteile aus witterungsabhängigen erneuerbaren Energiequellen.

hat volle Auftragsbücher und muss ihre Ressourcen frühzeitig einplanen oder aufbauen.

Welche Fragestellungen stehen bei Ihnen bei Forschung und Entwicklung derzeit im Fokus?

Wir haben uns bei der Entwicklung einer Verlegetechnik für Erdkabel- oder Kabelschutzrohre, in die die Kabel später eingezogen werden, auf drei wesentliche Punkte konzentriert: Schonung der Umwelt während der Bauphase, Realisierungszeit und Kosten. Das Anforderungsprofil an eine neue Verlegetechnik wurde von den Übertragungsnetzbetreibern definiert. Insbesondere mit dem Projektpartner Amprion wurden Kernanforderungen an eine Verlegetechnik formuliert, die im Anschluss auch mit den Übertragungsnetzbetreibern TenneT, TransnetBW und 50Hertz abgestimmt wurden.

Gemeinsam mit der RWTH Aachen arbeiten Sie derzeit an einem Forschungsprojekt zu innovativen Bohrtechniken für die Kabelverlegung. Was sind Ihre Ziele?

Das Ziel eines minimalen Umwelteingriffs steht an erster Stelle. Dies bedeutet, dass lediglich die Stellen, an denen später zwei Kabelabschnitte über Muffen miteinander verbunden werden, zugänglich sein müssen und lediglich dort während der Bauphase Baustellenverkehr, Baustelleneinrichtung und eine Baugrube auf einer sehr begrenzten Fläche notwendig sind. Diese Stellen liegen wegen der Transportbeschränkungen für die Kabel auf den Straßen in Abständen von circa 1.000 Metern. Zwischen diesen Stellen wird von den Bautätigkeiten nichts zu sehen sein. In Kombination mit den anderen Anforderungen der Netzbetreiber, wie beispielsweise Verlegetiefe und Durchmesser der zu verlegenden Leitungen, wurde eine technische Lücke bei den bis dato aus dem Rohrleitungs-

bau angewendeten Verlegeverfahren erkannt. Das Ziel der Entwicklung ist, diese technische Lücke durch die Entwicklung von innovativen Komponenten und Anpassung der Verfahrenstechnik zu schließen, sodass den Übertragungsnetzbetreibern ein kompletter „Werkzeugkasten“ zur Verfügung steht, aus dem sie sich im Rahmen der Planung für jeden einzelnen Streckenabschnitt bedienen können.

Inwiefern lassen sich Erfahrungen aus dem Pipelinebau auf den Erdkabelbau übertragen?

Neu ist jedenfalls, dass bei der Verlegung von Erdkabeln Phänomene während der Betriebsphase, wie Wärmeemission und Erzeugung eines Magnetfeldes, sehr starken Einfluss (Tiefenlage, Abstand der Leitungen zueinander) auf die Trassenplanung haben. Im Pipelinebau werden Druckleitungen verlegt, die während der Betriebsphase kaum Interaktion mit dem umgebenden Boden aufweisen. Auch wird meist nur ein Pipelinerohr verlegt. Das Thema Abstand von parallelen Leitungen wie bei der Erdkabelverlegung ergibt sich selten und die Trassenbreite ist deutlich geringer. Dennoch wurden in den vergangenen Jahrzehnten im Pipelinebau Verfahren entwickelt, auf denen man aufbauen kann. Durch Anpassungen und die Entwicklung von speziellen Lösungen, wie beispielsweise der Förderung des abgebauten Bodens, Energieversorgung der Bohrtechnik oder des gesamten Verfahrensablaufs, können die Kabel- und Kabelschutzrohre nach den Anforderungen der Übertragungsnetzbetreiber verlegt werden.

Das Interview führte Mareike Lenzen, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Highlight: Open-Source-Governance

Big Data für smarte Netze



Im Projekt NetzDatenStrom geht es – wie hier in der Leitwarte der MVV Netze GmbH – um einen sicheren und effizienten Umgang mit der enormen Menge und Vielfalt an Daten, die aufgrund des automatisierten Erfassens von Messwerten entsteht.

Jährlich fallen bei Verteilnetzbetreibern mehrere Terabyte Daten für die Langzeitarchivierung an. Tendenz weiter steigend, insbesondere durch die zu erwartende Erweiterung auf Messwerte aus der Mittel- und Niederspannungsebene. Damit wächst auch der Bedarf nach einem schnellen und zuverlässigen Datenmanagement für die Verarbeitungsschritte im operativen Netzbetrieb, um beispielsweise effizient auf Einspeiseschwankungen reagieren zu können. Aufgrund des großen Volumens und der notwendigen hohen Abfragegeschwindigkeit entstehen jedoch neue Herausforderungen. Mit Big-Data-Technologien und Data-Science-Verfahren können Betreiber Anfragen für Last-, Kombinations-, und Vermarktungsprognosen mit höher aufgelösten, umfangreichen Langzeitdaten durchführen und sogar weitere externe Daten mit in die Verarbeitungsschritte integrieren – mit positiven Effekten für die Ergebnisgüte.

Das Projekt **NetzDatenStrom** beschäftigt sich mit der standardkonformen Integration quelloffener Big-Data-Lösungen in existierende Netzleitsysteme. Projektkoordinator ist das „OFFIS – Institut für Informatik“ (OFFIS e.V.) aus Oldenburg. Darüber hinaus wirken weitere sechs Partner aus IT-Unternehmen und Universitäten an dem Vorhaben mit. Der Verbund untersucht die Möglichkeiten und Vorteile eines standardisierten Referenzarchitekturkonzeptes, das eine modulare Entwicklung und das Koppeln an flexible, konsortial gestaltete, quelloffene Big-Data-Komponenten unterstützt. Demonstriert wird dies durch die exemplarische Kopplung an kommerzielle, geschlossene Leitsysteme. Ein besonderes

Augenmerk legen die Projektpartner auf die Gebrauchstauglichkeit der Benutzungsschnittstellen für das Leitwarten- und Servicepersonal, um so den erfolgreichen Einsatz in der Praxis zu fördern. Zudem wollen sie untersuchen, wie sich Open-Source-Governance-Prozesse zur Qualitätssicherung einer quelloffenen Referenzarchitektur und der entwickelten Open-Source-Module für sicherheitskritische Anwendungen übertragen lassen und wie mögliche Verwertungsmodelle für die Leitsystemkomponenten aussehen könnten.

„Software-Module für die Betriebsführung smarter Netze, wie zum Beispiel Big-Data-Module in unserem Projekt, sind ein Bestandteil der kritischen Infrastruktur der Stromversorgung und müssen in der Entwicklung sowie in Betrieb und Wartung hohen Qualitätsanforderungen genügen“, erläutert Verbundkoordinator Professor Dr. Sebastian Lehnhoff von OFFIS. „Durch den Einsatz von Open Source und zugehörigen Governance-Prozessen wird in der Entwicklung die erforderliche Transparenz geschaffen, um die notwendige Qualität bei der Implementierung zu erreichen. Durch parallelen Einsatz von Open-Source- und Closed-Source-Software in Systemumgebungen der Netzbetreiber sowie durch die extrem hohen Anforderungen an die Langlebigkeit (10 bis 20 Jahre) dieser Systemumgebungen müssen die Open-Source-Governance-Prozesse insbesondere auch die Betriebs- und Wartungsphase des Software-Lebenszyklus berücksichtigen. Damit zusammenhängende Fragestellungen sollen in NetzDatenStrom zusammen mit Praxispartnern vertiefend erforscht werden.“

Das BMWi fördert NetzDatenStrom mit rund 2,3 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET7564A-G).

Projekte

Dynamische Leitwarten für das Übertragungsnetz

Durch den Anstieg erneuerbarer Energien und die damit verbundenen schwankenden Einspeisemengen, längeren Übertragungswege und größeren Prognoseunsicherheiten entsteht eine immer schwerer zu beherrschende Dynamik im Übertragungsnetz. Um die Systemsicherheit weiter zu gewährleisten, müssen Leitwarten schneller und präziser auf Ereignisse reagieren.

Im Vorhaben **DynaGridCenter** untersuchen sechs Partner, wie sich herkömmliche Übertragungsnetzleitwarten zu zukunftssicheren, dynamischen Leitwarten ausbauen lassen. Konkret wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die nächste Generation von Netzleitwarten und intelligenter HGÜ-Stationsleittechnik erforschen. Diese regeln das System selbstständig, damit der Netzbetrieb stabil bleibt, und erkennen frühzeitig automatisiert Hindernisse oder Störungen und reagieren entsprechend. Zudem sollen dynamische Leitwarten komplexe Energiesysteme und Betriebszustände in Echtzeit erfassen, um wie im Autopilot

präzise Handlungsempfehlungen an das Wartpersonal zu geben. Darüber hinaus sollen sie bei Bedarf in das Netz eingreifen können, um Spannungen, Ströme und die Frequenz innerhalb der zulässigen Grenzen zu halten.

Hierfür ist innerhalb des Verbunds ein einzigartiges Versuchslabor entstanden, um die Herausforderungen im Hochspannungsnetz der Zukunft zu simulieren und zu erforschen. Künftige Anforderungen an Übertragungsnetzleitwarten sollen dort untersucht und neue Funktionen prototypisch am Demonstrator getestet werden. Im März 2017 haben die Projektpartner die Leitwarte im Beisein von Ulrich Benterbusch, Unterabteilungsleiter in der Abteilung „Energiepolitik – Wärme und Effizienz“ des BMWi, in Betrieb genommen.

Die Koordination des Vorhabens hat Siemens übernommen. Darüber hinaus sind fünf weitere Partner aus Forschungseinrichtungen und Universitäten beteiligt.

Das BMWi fördert DynaGridCenter mit rund 5 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET7541A-F).

Autopilot für Übertragungsnetzbetreiber: Siemens und Partner aus Forschung und Wissenschaft nehmen an der Technischen Universität Ilmenau eine dynamische Netzleitwarte als weltweit Erste ihrer Art in Betrieb.





Im Projekt E²HGÜ optimieren Forscherteams verschiedene technische Elemente der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) für transeuropäische Netze.

Testzentrum für Gleichstromübertragung

Die Gleichstromtechnologie ermöglicht ein verlustarmes und wirtschaftliches Übertragen von Strom auf der Hochspannungsebene über weite Entfernungen und erlaubt das kontrollierte Vermaschen elektrischer Transportnetze. Zudem lässt sie sich gut regeln und steuern. Damit kann diese Technik die weitere Integration und Verteilung erneuerbarer Energie innerhalb der Stromversorgungssysteme in Deutschland, aber auch europaweit, positiv beeinflussen.

Das Verbundforschungsvorhaben **E²HGÜ – Entwicklung und Evaluierung innovativer Betriebsmittel für transeuropäische HGÜ-Netze** will verschiedene technische Elemente der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) optimieren. Das Forscherteam entwickelt und evaluiert daher innovative Betriebsmittel für den Einsatz in transeuropäischen HGÜ-Netzen. Die Koordination des Verbunds aus fünf Partnern hat die Technische Universität Dortmund übernommen. Auf deren Gelände ist – knapp zwei Jahre nach Start des Vorhabens – im März 2017 der Spatenstich für das HGÜ-Testzentrum erfolgt. Die entste-

hende Prüfinfrastruktur erschließt ein erhebliches Innovationspotenzial, denn nach der Fertigstellung entwickeln, optimieren und verifizieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dort HGÜ-Komponenten, -Betriebsmittel, -Prüfmuster und -Modelle.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten sollen in neue Komponenten einfließen, die eine optimierte Auslegung von HGÜ-Betriebsmitteln ermöglichen. Dabei stehen besonders Transformatoren, Kabel, Durchführungen und Isolatoren im Fokus. Um einen hohen Praxisbezug und die Akzeptanz zu fördern, binden die Verbundpartner Zulieferer, Komponentenherstellern, Systemintegratoren und Anwender der gesamten Wertschöpfungskette des Netzbetriebs ein.

Neben der Technischen Universität Dortmund sind an dem Projekt die Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt sowie die drei Unternehmen Siemens, HSP Hochspannungsgeräte und Südkabel beteiligt.

Das BMWi fördert E²HGÜ mit rund 6,9 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET7514A-E).

Stabiles Netz auf Mittelspannungsebene

Versorgungszuverlässigkeit und Spannungsqualität im eigenen Betriebsnetz sind für die Industrie wichtige Voraussetzungen für eine reibungslose Energieversorgung. Mit der Energiewende ist es von entscheidender Bedeutung, dass Unternehmen künftig unter den veränderten Charakteristiken des vorgelagerten Netzes flexible Möglichkeiten zur Verfügung stehen, ein ausreichend hohes Niveau an Zuverlässigkeit und Spannung zu gewährleisten.

Das Projekt **Netz-Patron** widmet sich dem Thema, koordiniert durch das Unternehmen Schäfer Elektronik aus Achern. Gemeinsam mit fünf Verbundpartnern – drei Technologieunternehmen, einer Hochschule und einer Forschungseinrichtung – soll eine Netzkopplungstechnologie zum Schutz von Industriebetrieben vor Spannungsstörungen entstehen. Diese soll uneingeschränkt skalierbar sein und vorwiegend in Mittelspannungsnetzen zum Einsatz kommen. Die Lösung soll zudem auch auf die Niederspannungsebene übertragbar sein.

Der Netz-Patron soll als neues, effizientes Stellglied eingesetzt werden, um die lokale Spannungsqualität zu erhöhen und das vorgelagerte Netz zu stützen. Diese Lösung will das Forscherteam anschließend im Labor verifizieren und in Feldtests erproben. Zudem wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verbesserte Regelungsverfahren entwickeln, die ein universelles, skalierbares und parallelisierbares System mit einer dynamischen 4-Quadranten-Spannungsregelung ermöglichen. Zusätzlich soll die Technologie schnell und gezielt Blindleistung bereitstellen. Schnelle Spannungsänderungen im vorgelagerten Netz sollen durch eine hochdynamische Spannungsregelung abgeflacht werden und so die Wahrscheinlichkeit für Störungen in einem Betriebs- oder Unternehmensnetz reduzieren. Damit kann der Netz-Patron einen Beitrag zur verbesserten Systemintegration von erneuerbaren Energien, insbesondere in kritischen Netzen, leisten.

Das BMWi unterstützt Netz-Patron mit rund 5,7 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET7555A-F).

Für eine zuverlässige Stromversorgung muss unter anderem die Netzspannung stabil gehalten werden: Im Projekt Netz-Patron entwickeln Forscherinnen und Forscher eine Netzkopplungstechnologie zum Schutz von Industriebetrieben vor Spannungsstörungen.



Highlight: Parallelbetrieb von Wechselrichtern

Stabilitätsanker für das Netz

Durch die Transformation der Versorgungssysteme im Zuge der Energiewende entwickelt sich das Stromnetz zunehmend zu einer leistungselektronikbasierten Struktur. Diese ist einerseits durch den starken Zubau von erneuerbaren Energien und Batteriespeichern bedingt, die über Wechselrichter ins Netz einspeisen. Andererseits führen Effizienzmaßnahmen auf der Verbrauchsseite zu einer Zunahme an leistungselektronisch gekoppelten Lasten.

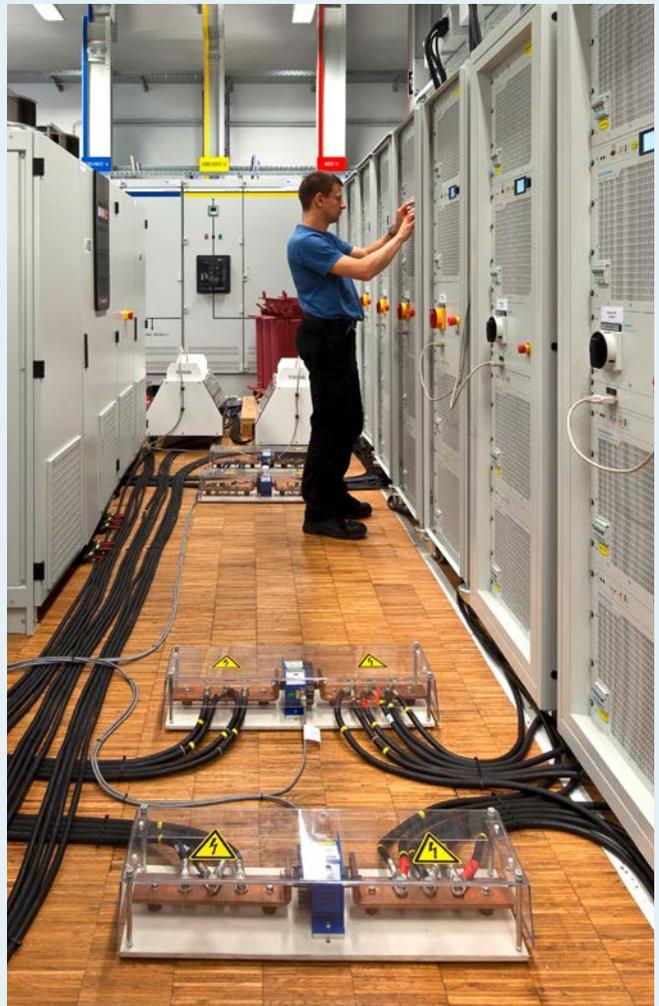
Werden die Wechselwirkungen zwischen Leistungselektronik und Stromnetz unzureichend berücksichtigt, führt dies in Umrichter-dominierten Systemen zu Stabilitätsproblemen. Um weiterhin eine stabile Stromversorgung zu gewährleisten, muss die Regelung leistungselektronisch gekoppelter Anlagen robust gegenüber Änderungen der Eigenschaften des Netzanschlusspunktes (Netzimpedanz) gestaltet sein. Innerhalb des Projekts **Star-StroP** unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE aus Freiburg arbeitet ein Wissenschaftsteam daher an einer stabilen regenerativen Stromversorgung optimiert für den Parallelbetrieb mehrerer Wechselrichter. Projektpartner ist das Unternehmen Kostal Industrie Elektrik aus Hagen. Gemeinsam wollen die Forschenden Regelverfahren und Bewertungsmethoden für den stabilen Betrieb von Umrichtern an schwachen Netzen entwickeln und testen. Dies soll die Integration regenerativer Erzeugungsanlagen verbessern. Der Verbund erarbeitet hierfür zunächst Bewertungsverfahren für die Stabilitätsanalyse größerer Wechselrichterverbünde. Dieses Verfahren nutzt das Forscherteam dann für die Entwicklung eines Regelalgorithmus, der sich an diversen Netzanschlusspunkten robust verhält.

Gut ausgelegte Regelung als Voraussetzung

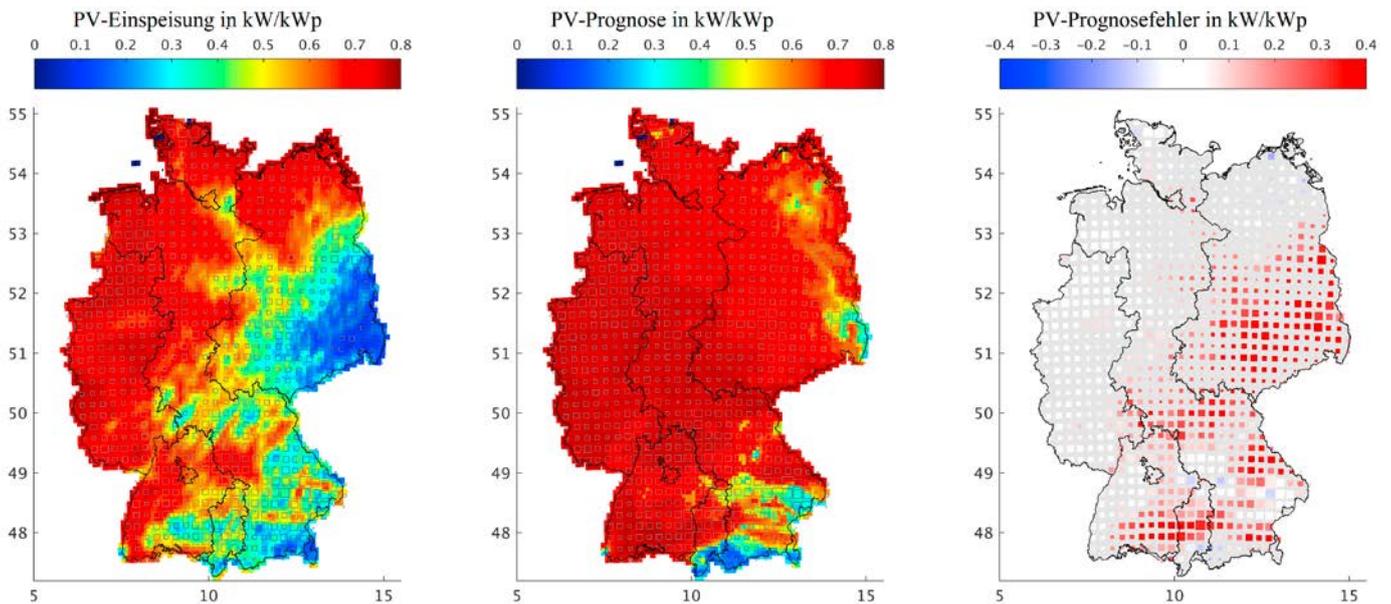
„Die Vorstellung von einem starren Netz, dessen Spannung durch einspeisende Wechselrichter nicht oder kaum beeinflussbar ist, ist überholt. Wir messen dies zum Beispiel in großen Photovoltaik-Kraftwerken, wo die Summe der Wechselrichter die Spannung am Netzanschlusspunkt entscheidend beeinflussen kann“, erklärt Sönke Rogalla, Leiter des Projekts Star-StroP und der Arbeitsgruppe „Zukunftsfähige Netze und Kraftwerke“ am Fraunhofer ISE. „In Kürze werden wir im deutschen Stromnetz bei der Gesamtleistung der installierten netzspeisenden Wechselrichter die Marke von 100 Gigawatt überschreiten. Das regelungstechnische Verhalten der Leistungselektronik spielt daher für die Stabilität der Stromversorgung eine immer wichtigere Rolle. Indem wir die Regelung gut auslegen, können wir Wechselrichter zu zuverlässigen Stabilitätsankern im Netz machen.“ Um diese Ziele zu errei-

chen, untersucht das Wissenschaftsteam das Verbundverhalten von Wechselrichtern am Netz durch detaillierte Messungen. Sie sollen einerseits die Werkzeuge der Stabilitätsanalyse validieren. Andererseits lässt sich dadurch prüfen, ob die entwickelte Regleroptimierung in der Praxis wirksam ist.

Das BMWi unterstützt Star-StroP mit rund 400.000 Euro (Förderkennzeichen 0324113A+B).



Im Megawattlabor am Fraunhofer ISE forschen Wissenschaftsteams an einer stabilen regenerativen Stromversorgung, optimiert für den Parallelbetrieb mehrerer Wechselrichter.



Im Projekt Prophecy beschäftigt sich ein Forschungsverbund mit Prognoseunsicherheiten von Windenergie und Photovoltaik in Stromversorgungssystemen.

Realitätsnahe Prognosen für wetterabhängige Energieanlagen

Präzise Prognosen spielen im Energiesystem der Zukunft eine immer wichtigere Rolle. Je stärker der Anteil wetterabhängiger, erneuerbarer Energien an der Stromversorgung steigt, desto mehr sind Netzbetreiber auf genaueste Vorhersagen für ihre Planungs- und Entscheidungsprozesse angewiesen. Diese umfassen den Regelleistungsbedarf, die Bereitstellung von Systemdienstleistungen, den notwendigen Netzausbau, den optimalen Energiemix zur Reduktion von Ausgleichsenergie, notwendige Netzmaßnahmen, die optimale Speicherdimensionierung oder auch das Marketdesign.

Im Projekt **Prophecy** beschäftigt sich ein Forschungsverbund aus drei Partnern mit **Prognoseunsicherheiten von Windenergie und Photovoltaik in Stromversorgungssystemen**. Koordiniert durch die Universität Kassel, erarbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Simulationen von Prognose- und Prognosefehlerzeitreihen für den erwarteten Strom aus wetterabhängigen Erzeugungsanla-

gen auf Basis erneuerbarer Energien. Die erarbeiteten Methoden binden die Projektteilnehmer in ein Szenariensimulationstool an, mit dem sie Ausbauszenarien des Stromversorgungssystems für die nächsten Jahrzehnte nachahmen und analysieren wollen. In dem Vorhaben entsteht somit erstmalig ein validiertes Modell für die Simulation von Prognosefehlerzeitreihen, welches auch die künftige Entwicklung von Fehlern berücksichtigt. Die Innovation liegt in der Fähigkeit, Simulationen für verschiedene Aggregationslevel von Einzelanlagen bis zum gesamten Verbundnetz, aber auch für verschiedene Vorhersagehorizonte (15 Minuten bis hin zu einem Monat) unter Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Wetterabhängigkeit realitätstreu berechnen zu können.

An dem Vorhaben sind der Softwareentwickler enercast und das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE beteiligt.

Das BMWi fördert Prophecy mit rund 1,1 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0324104A-C).

Energieoptimierte Gebäude und Quartiere

In Gebäuden und Quartieren gibt es ein enormes Potenzial, den Energiebedarf zu senken und den verbleibenden Bedarf mit erneuerbaren Energien zu decken. Lösungen liegen in der sektorübergreifenden Energieforschung, der Integration innovativer Technologien und dem Zusammenspiel im System.





Energiesparende Gebäude, integrative Energiekonzepte oder innovative, effiziente sowie wirtschaftliche Versorgungsstrukturen für Quartiere sind wichtige Bausteine, wenn es um den Erfolg der Energie- und Wärmewende in Deutschland geht.

Die von der Bundesregierung vorgelegte Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) zeigt, wie der Gebäudebestand bis Mitte des Jahrhunderts durch energieeffiziente Maßnahmen und den Einsatz erneuerbarer Energien nahezu klimaneutral werden kann. Ziel ist ein nachhaltiges, intelligent gesteuertes Energiesystem, das den Energieverbrauch minimiert, die Versorgung mit Strom, Wärme, Kälte und Mobilität aus erneuerbaren Quellen für Gebäude und Quartiere optimiert und die Interaktion zwischen den Sektoren stärkt.

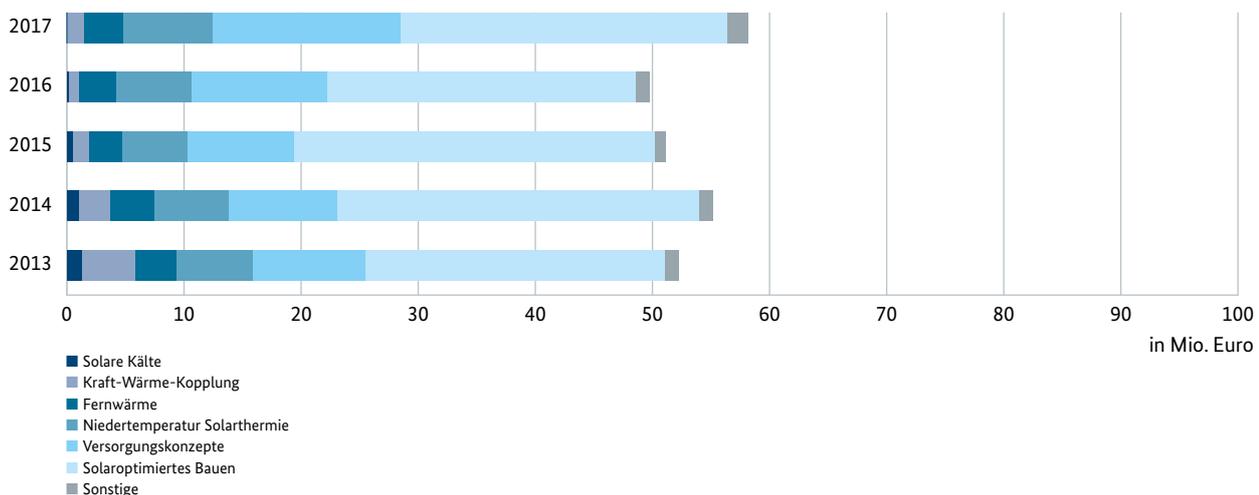
In Deutschland entfällt etwa ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen auf Gebäude. Das Ziel eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 ist nur zu erreichen, wenn Energieeffizienzmaßnahmen und erneuerbare Energien ineinandergreifen: Seit 2006 sind über 4,6 Millionen Wohnungen mit einem Gesamtinvestitionsvolumen von rund 271 Milliarden Euro energieeffizient saniert oder neu gebaut worden. Sowohl im Neubau als auch Bestand sind Lösungen zu entwickeln, in denen eine energieeffiziente Gebäudehülle und hocheffiziente Technologie mit einem hohen Anteil an lokal verfügbaren erneuerbaren Energien kombiniert werden. 13 Prozent des Wärmeverbrauchs sind im Jahr 2015 durch erneuerbare Energien gedeckt worden – 2014 waren es noch 12 Prozent. Damit ist

das Ziel für 2020 (14 Prozent) bald erreicht. Die Wärmewende in Gebäuden und Quartieren stützt sich auf Energieeffizienz, objektnahe erneuerbare Energien und CO₂-arme Wärmenetze. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert seit Juli 2017 unter der Initiative „Wärmenetze 4.0“ Gesamtsysteme, die sich durch hohe Anteile erneuerbarer Energien, die effiziente Nutzung von Abwärme und ein deutlich niedrigeres Temperaturniveau im Vergleich zu klassischen Wärmenetzen auszeichnen.

Forschen, entwickeln und fördern

Damit Gebäude und Quartiere flexibel und bedarfsgesteuert mit den Netzen interagieren und Erzeugungs-, Energiespeicher- sowie Verteilungsfunktionen im Energiesystem ausüben können, sind in Zukunft weitere, flankierende technologische Entwicklungen und Maßnahmen in Forschung und Entwicklung erforderlich. Die Integration des Strom-, Wärme- und Verkehrssektors sowie innovativer Technologien in das Energiesystem der Zukunft sind zunehmend im Fokus der Förderung. Im Bereich Gebäude und Quartiere ist sektorübergreifende Energieforschung schon lange eine Notwendigkeit. Integrative Ideen und Konzepte sowie die Partizipation aller beteiligten Akteure zu untersuchen, etwa in sogenannten Living-Labs, sind daher zentrale Bestandteile von ENERGIEWENDEBAUEN. Die Forschungsinitiative bündelt alle Aktivitäten für Forschung, Entwicklung und Demonstration im Bereich Gebäude und Quartiere. Das Forschungsnetzwerk ENERGIEWENDEBAUEN führt dabei die unterschiedlichen Akteure der Branche zusammen. Analysen und Schlussfolgerungen aus laufenden Vorhaben sowie

Energieoptimierte Gebäude und Quartiere: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



Rainer Baake,
ehem. Staatssekretär für Energie
im BMWi

„Es geht vor allem darum, neben technologischen Aspekten auch Fragen des demografischen Wandels unserer Gesellschaft und das wichtige Thema nachhaltiges und bezahlbares Wohnen zu berücksichtigen.“



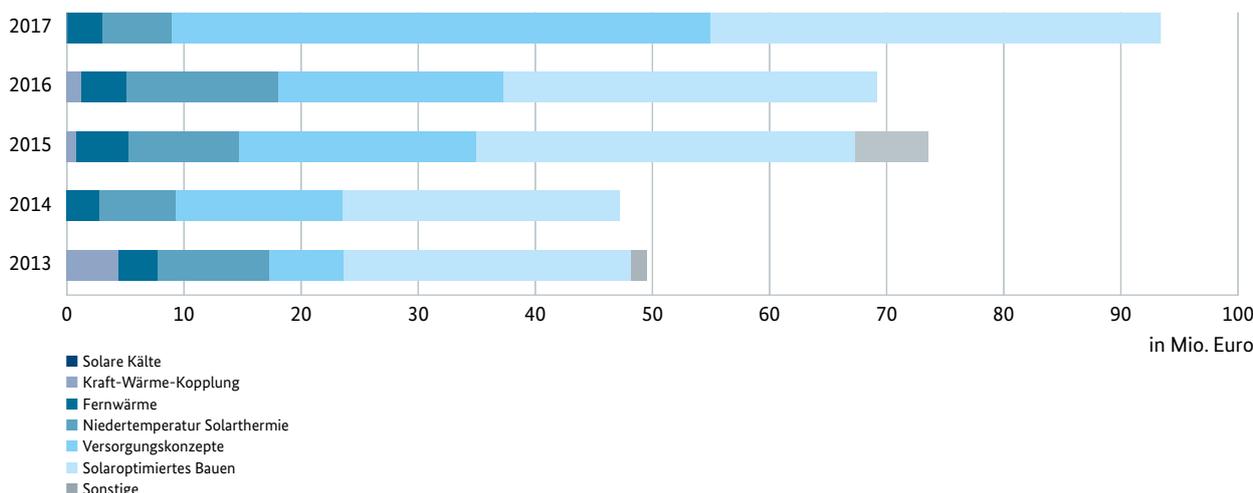
Unter der Förderinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt sind 2017 sechs Leuchtturmprojekte gestartet.

neue Forschungsfelder, Trends und Potenziale werden mit der digitalen „Landkarte der Projekte“ transparent.

Unter dem Dach der Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN finden zudem Veranstaltungen wie ThinkTanks, Kongresse und Workshops statt, mit dem Ziel, Forschung, Wirtschaft und Politik noch stärker zu vernetzen. Anfang 2017 haben sich beim 1. Kongress ENERGIEWENDEBAUEN etwa 300 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler über aktuelle Forschungsergebnisse und die damit verbundene künftige Energieversorgung von Gebäuden und Quartieren ausgetauscht. Dezentralisierung, Digitalisierung, Versorgungssicherheit, Potenziale durch Technologieentwicklung, Integration erneuerbarer Energien in den Wärmesektor, Sektorkopplung und neue Marktakteure waren Themen des Workshops „Energieforschung trifft Stadtwerke“ im Herbst 2017. Denn die Transformation des Energiesystems stellt nicht nur Forschung und Entwicklung, sondern auch die Energieversorger in Deutschland vor neue Herausforderun-

gen. Mit der gemeinsamen Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ des BMWi und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) konnten 2017 sechs systemisch angelegte Leuchtturmprojekte auf Quartiersebene gestartet werden. Sie sollen zeigen, wie durch Innovationen und intelligente Vernetzung energetisch hochwertige, lebenswerte Häuser und Quartiere entstehen können. „Es geht vor allem darum, neben technologischen Aspekten auch Fragen des demografischen Wandels unserer Gesellschaft und das wichtige Thema nachhaltiges und bezahlbares Wohnen zu berücksichtigen. Mit einem übergreifenden Ansatz wollen wir Lösungen für die energieeffizienten Gebäude und Städte von morgen entwickeln“, sagt Rainer Baake, ehemaliger Staatssekretär für Energie im BMWi. Die sechs Demonstrationsquartiere befinden sich in Kaiserslautern (**Pfaff**, siehe auch „Highlight: Innovationen für Stadtquartiere der Zukunft“, Seite 98), Esslingen (Stadtquartier ES-West-P2G2P), Heide/Holstein (Quarree 100), Oldenburg (ENaQ – Energetisches Nachbarschaftsquartier),

Energieoptimierte Gebäude und Quartiere: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013



Im Gespräch: Sanierung im Quartier

Denkmäler energetisch sanieren: So viel wie möglich, so wenig wie nötig



Dr.-Ing. Harald Garrecht ist Professor am Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB) der Universität Stuttgart.

Viele historisch wertvolle Gebäude prägen unser Stadtbild. Einige stehen unter Denkmalschutz, andere nicht. Wie sie trotz energetischer Sanierung erhalten bleiben und sogar Teil eines klimaneutralen Stadtquartiers werden können, erklärt Professor Dr.-Ing. Harald Garrecht vom Institut für Werkstoffe im Bauwesen an der Universität Stuttgart.

Herr Professor Garrecht, wie kann ein Gebäude energetisch verbessert werden, ohne das historische Bauwerk zu gefährden?
Baudenkmäler erlauben an Fassaden, Verglasungen oder Fußböden oft nur geringfügige energetische Verbesserungen. Meist werden Einzelmaßnahmen, wie die Modernisierung der Heizungsanlage oder der Austausch von Fenstern, durchge-

führt. Das Vorhaben **Margarethenhöhe*** setzt auf einen ganzheitlichen Ansatz, die Energieeffizienz zu steigern. Denkmalgerechte und zugleich innovative Maßnahmen werden dabei gesucht. Geeignete Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes und zukunftsfähige gebäudetechnische Konzepte sind herauszuarbeiten, die auch erneuerbare Energien nutzen lassen. Auch bietet die energetische Vernetzung der Gebäude enorme Effizienzsteigerungspotenziale.

Was haben Sie in der historischen Wohnsiedlung Margarethenhöhe in Essen genau vor?

Denkmalgerechte Konzepte werden erarbeitet, die gebäude- und quartiersbezogene Speicher- und Erzeugersysteme umfassen. Diese sollen die außen anliegenden Versorgungsnetze auch netzdienlich unterstützen können. Wie innovativ die jeweilige Technologie auch ist, ihre Leistungsfähigkeit kann sie erst mit einem auf das einzelne Gebäude und das gesamte Quartier abgestimmten Energieflussmanagement beweisen. Hierzu werden die unterschiedlichen Erzeuger wie auch elektrischen und thermischen Speicher intelligent vernetzt, um alle Komponenten optimal aufeinander abgestimmt zu betreiben.

Ist die systemische Vernetzung der Einzeltechnologien sicher?

Intelligente Systeme bedienen sich digitaler Transformationen. Doch wo transformiert wird, entstehen Verluste und Gefahren. Im Extremfall werden intelligente Systeme von außen gehackt. Auch kann es zu falschen Systementscheidungen kommen. Solche Ereignisse sind definitiv unerwünscht. Diese zu verhindern, bedarf interdisziplinärer Forschung und Entwicklung.

Zwickau (ZED) und einem gemeinsamen kommunenübergreifenden Vorhaben in Stuttgart und Überlingen (Stadtquartier 2050 – Herausforderungen gemeinsam lösen). Für das ressortübergreifende Modul II der Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ stellen BMWi und BMBF bis zu 100 Millionen Euro bereit. Das BMWi fördert daneben im Modul I der Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ die Demonstration von Konzepten zu Sanierung und Neubau von mehrgeschossigen Wohnbauten mit rund 20 Millionen Euro. Hier sind 2017 acht Verbundvorhaben gestartet.

Mit weiteren bis zu 54 Millionen Euro fördert das BMWi modellhafte Innovations- und Transformationsprojekte im Gebäudebereich unter der Förderinitiative „EnEffGebäude 2050“. Sie sollen Wege aufzeigen, wie klimaneutrale Gebäude

realisiert und die dazu notwendigen Energieinnovationen in die Breitenanwendung gelangen können. Ziel der Modellprojekte ist es, eine Vielzahl gebäuderelevanter Akteure zum Handeln anzuregen und dazu beizutragen, Hemmnisse auf dem Weg zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand abzubauen. Im gleichnamigen Ideenwettbewerb „EnEff.Gebäude.2050“ sind Konzepte für Gebäude und Quartiere der Zukunft sowie für einen internationalen Energie-wettbewerb mit Preisgeldern in Höhe von insgesamt 280.000 Euro ausgezeichnet worden.

Für den Erfolg der Energiewende in Gebäuden und Quartieren ist es wichtig, die Prozesse für Planung, Bau, Umsetzung und Nutzung zu optimieren und die einzelnen Komponenten der Gebäudetechnik gut miteinander zu vernetzen. Exemp-

Das Quartier Margarethenhöhe umfasst rund 1.000 Gebäude, im Vorhaben betrachten Sie davon 20. Was bedeutet das für diese einzelnen Gebäude?

Grundsätzlich werden denkmalverträgliche Maßnahmen und Konzepte für eine bedarfs- und angebotsorientierte Quartiersversorgung gesucht, die auch den Einbezug von Umweltenergien nutzen. Dabei sind viele Fragen zu klären. Beispielsweise die Frage, ob es Sinn macht, im historischen Bestand eine Wärmepumpe einzusetzen. Deren Effizienz hängt von der verbraucherseitigen Medientemperatur, also der Vorlauftemperatur der Heizkörper, ab. Hier soll ein denkmalgerechtes Fußbodenheizkonzept die Effizienz der Wärmepumpe sicherstellen. Auch werden neuartige Solardachsteine entwickelt, die mit den Erfahrungen der einfacheren Dachsteine des Vorhabens SWIVT** auch im Denkmal Strom erzeugen und Umweltwärme gewinnen können. Hochleistungsfeinkornbetone sind farblich an die alten Dachsteine anzupassen. Eine Herausforderung: Denn der neue multifunktionale Solardachstein darf zu keinem größeren Gewicht der Dacheindeckung führen. Weitere Technologien und Konzepte werden an den ausgewählten Gebäuden und Gebäudegruppen eingesetzt und erprobt, um bei erfolgreicher Validierung den erarbeiteten Lösungsansatz zur Erreichung eines nahezu klimaneutralen Quartiers auf die gesamte Margarethenhöhe umzusetzen.

Das Interview führte Annika Zeitler, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

*Das BMWi fördert EnQM mit rund 3,2 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET1417A-D).

** Forschungsvorhaben Siedlungsbausteine für bestehende Wohnquartiere, kurz SWIVT (siehe auch Bericht Innovation durch Forschung 2016, Seite 102)



Im Forschungsvorhaben EnQM – Energieeffizientes Quartier Margarethenhöhe sind historische Gebäude Teil eines klimaneutralen Stadtquartiers.

larisch ist hier etwa das Vorhaben **EnEff: Stadt Energienetz Berlin** zu nennen, das Wärme, Kälte sowie regenerativen Strom intelligent zusammenbringt und so den Aufbau einer zukunftsfähigen und flexiblen Versorgungsstruktur am größten Hightech-Standort Europas ermöglicht (siehe auch „Highlight: Smart Grid Allianz“, Seite 102). Im Forschungsvorhaben **Smart Heat Grid Hamburg** integrieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine intelligente Infrastruktur in das Wärmenetz Hamburg-Wilhelmsburg und zeigen, wie der Anteil erneuerbarer Energien an der Strom- und Wärmeerzeugung sowie die Gesamteffizienz maximiert werden können (siehe auch „Ein intelligentes Wärmenetz für Hamburg-Wilhelmsburg“, Seite 100). Ein Beispiel aus dem Themenkomplex Digitalisierung ist das Vorhaben **Sol-ConPro**. Hier untersucht ein Forscherteam die Integration

energetisch aktiver Fassadenkomponenten in digitalisierte Produktdatenmodelle. Die Digitalisierung des Planungsprozesses von Gebäuden unterstützt die energetische Optimierung und ermöglicht transparente und verständliche Lösungen für alle energetisch relevanten Anlagenprozesse (siehe auch „Aktive Gebäudehüllen im digitalen Planungsprozess“, Seite 101).

Für Forschungsaktivitäten im Bereich energieoptimierte Gebäude und Quartiere hat das BMWi 2017 insgesamt 170 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 93,4 Millionen Euro bewilligt (2016: 148 Projekte für rund 69,2 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 58,8 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 49,7 Millionen Euro).

Highlight: Innovationen für Stadtquartiere der Zukunft

Wie eine Nähmaschinenfabrik zum innovativen und klimaneutralen Stadtquartier wird



Förderinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt: Die ehemalige Nähmaschinenfabrik Pfaff in Kaiserslautern soll bis 2029 ein klimaneutrales Wohn-, Gewerbe- und Technologiequartier werden.

In Kaiserslautern wollen neun Partner auf dem ehemaligen Werksgelände der Nähmaschinenfabrik Pfaff zeigen, wie die Energiewende im Quartier mit innovativen Technologien umgesetzt werden kann.

2029: Die Mobilität auf dem Pfaff-Areal ist elektrisch, leise und emissionsfrei. Gebäude haben zum Teil elektrisch schaltbare Glasfronten, smarte Lichtmasten informieren über freie Parkplätze und dienen als öffentliche Ladepunkte. Gerade ist ein Start-up in das einstige Kesselhaus mit Lichtdach aus integrierter Photovoltaik eingezogen. Das historische Gebäude ist das Zentrum des Quartiers und Werkstatt: Forscherinnen und Forscher entwickeln und erproben mit Unternehmen neue Technologien in den Bereichen Energie und Digitalisierung. Strom und Wärme werden in smarte Energienetze eingespeist und von dort über ein agentenbasiertes Energiemanagementsystem gesteuert. So oder so ähnlich könnte die Energiewende im künftigen Stadtquartier auf dem ehemaligen Werksgelände der Pfaff-Nähmaschinenfabrik gelebt werden. Dass einst ein Großteil des Geländes versiegelt und mit Schadstoffen belastet war, daran erinnert dann nichts mehr.

Im Forschungsvorhaben **EnStadt: Pfaff** entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das Areal am Rande des Stadtzentrums Kaiserslautern in ein klimaneutrales Wohn-, Gewerbe- und Technologiequartier. „Bis zum Jahr 2022 sollen hier innovative, leistungsfähige und nachhaltige Infrastrukturen für Strom, Wärme, Kälte, Elektromobilität und digitale Dienstleistungen realisiert werden, die als Reallabor von Forschenden und Unternehmen gemeinsam mit den Nutzern entwickelt, demonstriert und erforscht werden“, erklärt Peter Kiefer, zuständiger Bau- und Umweltdezernent der Stadt Kaiserslautern. Einige historische Gebäude sollen erhalten

bleiben, um den Charakter des alten Unternehmens widerzuspiegeln, ergänzt durch moderne, energieeffiziente Büro-, Technologie- und Wohngebäude. Systemische Planungsprozesse und Lösungen werden im Reallabor sichtbar und können mit allen beteiligten Akteuren wie Nutzern und Bewohnern, Fachplanern und Investoren sowie Forschern diskutiert und optimiert werden. Partizipation, Transparenz sowie Interaktion und Akzeptanz aller Beteiligten sind im Vorhaben ein starker Fokus. Das Konsortium unter der Federführung der Stadt Kaiserslautern umfasst die Pfaff-Areal-Entwicklungsgesellschaft, Palatina Wohnbau, Stadtwerke Kaiserslautern, die Fraunhofer-Institute für Solare Energiesysteme ISE und für Experimentelles Software Engineering IESE sowie die Hochschulen Kaiserslautern und Trier. „Die starke Interdisziplinarität des Konsortiums und die ganzheitlichen Energie-, Mobilitäts- und Digitalisierungslösungen mit intensiver sozialwissenschaftlichen Begleitung versprechen wichtige Erkenntnisse, wie klimaneutrale Quartiere in einem gemischten Wohn- und Technologiecampus mit hoher Lebensqualität erfolgreich entwickelt werden können“, ergänzt Projektleiterin Bettina Dech-Pschorn.

Das Pfaff-Quartier ist eines von sechs Leuchtturmprojekten der ressortübergreifenden Förderinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt von BMWi und BMBF, in denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler praxisrelevante und zukunftsweisende Gesamtkonzepte für energieeffiziente Quartiere konzipieren.

Das BMWi fördert EnStadt: Pfaff mit rund 16 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03SBE112A-F), das BMBF stellt rund 7 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03SBE112G-I) zur Verfügung.

Projekte



Wie Solarthermie in die Dresdner Fernwärmeversorgung integriert werden kann, untersucht ein Forscherteam in Green Heat³: Diese Versuchsanlage mit verschiedenen Solarthermiekollektortypen soll den Einfluss auf die Entwicklung des Bodens und der Pflanzen prüfen.

Innovative Energieversorgung für Dresden

Wie viele Städte in Deutschland hat auch Dresden ein über Jahrzehnte gewachsenes Fernwärmeversorgungssystem, das sich mit der Transformation des Energiesystems neuen Herausforderungen stellen muss. Im Forschungsvorhaben **Green Heat³** untersuchen die DREWAG – Stadtwerke Dresden gemeinsam mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Technischen Universität Dresden und Industriepartnern, wie Solarthermie im Zusammenspiel mit einem Langzeitwärmespeicher in die Dresdner Fernwärmeversorgung integriert werden kann. Kernkomponenten des Vorhabens sind ein Multifunktionswärmespeicher sowie eine großtechnische Solarthermieanlage, die etwa der Fläche von rund 50 Fußballfeldern entsprechen. Die Forschenden analysieren, wie sich die neuen Energieumwandlungsanlagen etwa mit bestehenden Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen wirtschaftlich, zukunftssicher und energieeffizient kombi-

nieren lassen. Die Herausforderung an die Forschung: Die Vorlauftemperaturen im bestehenden Dresdner Fernwärmenetz liegen derzeit ganzjährig in einem Bereich von über 100 Grad Celsius. Das heißt: Die über Solarthermie gewonnene Wärme müsste mit weiteren Anlagenkomponenten auf dieses Temperaturniveau angehoben oder die Netztemperaturen langfristig gesenkt werden. Die Ergebnisse des Vorhabens sind ein wichtiger Baustein für den Kompetenzaufbau der Fernwärmebranche in Deutschland und eine zukunftsfähige Fernwärmeversorgung. Auf internationaler Ebene arbeitet das Forscherteam von Green Heat³ mit der Internationalen Energieagentur (IEA) im Implementing Agreement „District Heating and Cooling“ zusammen.

Das BMWi fördert Green Heat³ mit rund 480.000 Euro (Förderkennzeichen: 0325872A-C).

Ein intelligentes Wärmenetz für Hamburg-Wilhelmsburg

Ein intelligentes Wärmenetz führt die Wärme bedarfsgerecht zum Verbraucher und vernetzt verschiedenste Energiequellen, wie zum Beispiel Solarthermie, Kraft-Wärme-Kopplung, Geothermie, Wärmepumpen oder auch Abwärme aus Industriebetrieben. Das Wärmenetz der Zukunft ist ein intelligentes Gesamtsystem: Im permanenten Austausch von Informationen teilen sich die Komponenten gegenseitig mit, wie groß Angebot und Bedarf von Wärme und Strom sind. Eine intelligente und systemübergreifende Technologie sorgt dafür, dass Wärme und regenerativer Strom so effizient wie möglich genutzt werden. Im Forschungsvorhaben **Smart Heat Grid Hamburg** wollen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine intelligente Infrastruktur in das Wärmenetz Hamburg-Wilhelmsburg integrieren und zeigen, wie der Anteil erneuerbarer Energien an der Strom- und Wärmeerzeugung sowie die Gesamteffizienz maximiert werden können. Dazu ist es elementar, alle an der Wärmeversorgung beteiligten Anlagen mittels Technik, Hydraulik sowie Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) optimiert zu koordinieren. Ähnlich wie ein Smart Grid im elektrischen Sektor ist ein intelligentes Wärmenetz flexibel und effizient. Hier werden alle Akteure und Prozesse miteinander vernetzt, sodass sich das Wärmenetz auf sich ändernde Bedingungen einstellen und mehr erneuerbare Energien integrieren kann: Wenn etwa viel Wärme aus Sonnenenergie verfügbar ist,



Das Wärmenetz der Zukunft ist ein intelligentes Gesamtsystem, das dafür sorgt, dass Wärme und regenerativer Strom so effizient wie möglich genutzt werden.

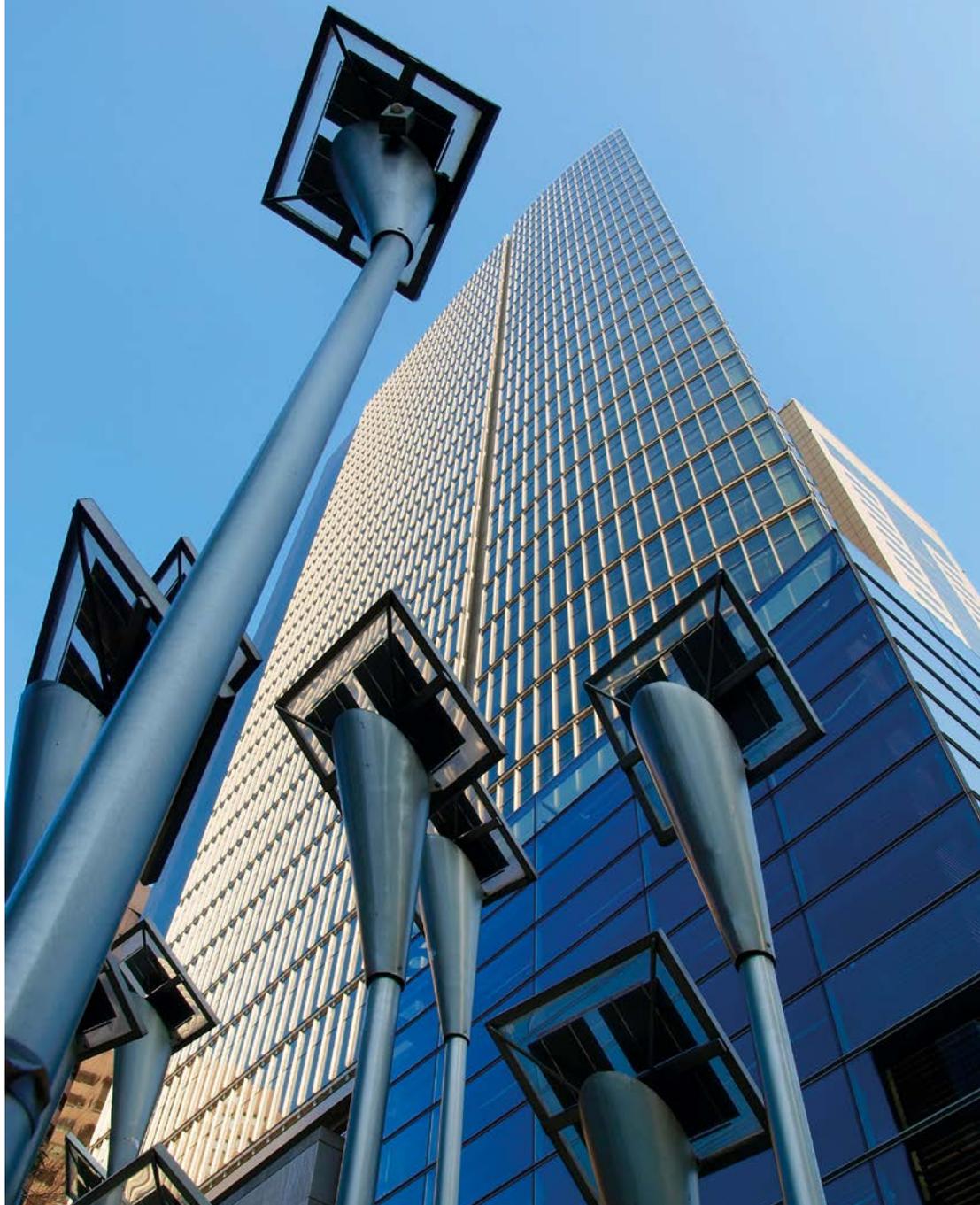
werden vorsorglich die Speicher im Wärmenetz gefüllt. Das Konsortium aus der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, der Hamburg Energie und der eNeG Gesellschaft für wirtschaftlichen Energieeinsatz greift in dem Vorhaben auf die Erkenntnisse des Projekts Smart Power Hamburg zurück.

Das BMWi fördert Smart Heat Grid Hamburg mit rund 2,2 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET1458A-C).



Versuchsstand für Fernwärmevergäbestationen: Im Forschungsvorhaben Smart Heat Grid Hamburg soll eine intelligente Infrastruktur in das Wärmenetz Hamburg-Wilhelmsburg integriert werden.

In SolConPro untersucht ein Wissenschaftlerteam die Integration energetisch aktiver Fassadenkomponenten in digitalisierte Produktdatenmodelle.



Aktive Gebäudehüllen im digitalen Planungsprozess

Mit der Transformation unseres Energiesystems müssen Fassaden und Gebäudehüllen weitere Funktionen erfüllen: Sie schützen vor Wetter und Sonne, klimatisieren und gewinnen Energie. Damit regenerative Energiequellen mithilfe von Solarfassaden effizient und zuverlässig genutzt werden können, ist es wichtig, diese frühzeitig in den Planungs- und Bauprozess zu integrieren. Im Forschungsvorhaben **SolConPro: Ganzheitliche Integration energetisch aktiver Fassadenkomponenten in Bauprozesse** untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Integration energetisch aktiver Fassadenkomponenten in digitalisierte Produktdatenmodelle (BIM, kurz für Building Information Modelling). Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE koordiniert das Projekt und entwickelt gemeinsam mit der Technischen Universität Darmstadt und der Firma Züblin Methoden, die sämtliche Daten zur Gebäudehülle durchgängig nutzbar machen sollen: von der

Planung über die Inbetriebnahme, den kompletten Betrieb mit kontinuierlicher Betriebsoptimierung, Wartung, Instandhaltung bis hin zu Rückbau oder Recycling am Ende der Gebäudenutzung. Über Schnittstellen sollen die Daten dann miteinander ausgetauscht und eingebunden werden, was jedoch im Bausektor mit seinen vielen unterschiedlichen Akteuren eine wesentliche Herausforderung ist. Das Wissenschaftsteam hat sich als Ziel gesetzt, die energetisch aktiven Gebäudehüllen vollumfänglich im Planungsprozess zu berücksichtigen und die Komponenten virtuell für Planer, Baufirmen und Bauherren verfügbar zu machen. Die Ergebnisse sollen künftig Planung und Installation aller Arten von multifunktionalen Komponenten für die Gebäudehülle erleichtern und sind ein wichtiger Baustein bei Forschung und Entwicklung für digitalisierte Planungs- und Bauprozesse.

Das BMWi fördert SolConPro mit rund 2,4 Millionen Euro (Förderkennzeichen: 03ET1290A-C).

Highlight: Smart Grid Allianz

Musterquartier für Energieeffizienz: Berlin Adlershof vernetzt Wärme, Kälte und Strom

Am größten Hightech-Standort Europas soll der Primärenergieverbrauch um 30 Prozent gesenkt werden. Mit dem Energienetz Adlershof, das Energieflüsse vernetzt, Abwärme nutzbar macht und kühles Grundwasser in eine zukunftsfähige Versorgungsstruktur integriert, wollen Forscher hierzu einen wichtigen Beitrag leisten.

In Berlin Adlershof ist die Energiewende schon Realität: An diesem internationalen Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort werden innovative Energieeffizienzkonzepte entwickelt und umgesetzt. Rund 1.000 Unternehmen, 16 Forschungsinstitute und fast 24.000 Menschen arbeiten dort. Der Technologie- und Wissenschaftspark wächst, und mit ihm der Energiebedarf. Bis 2030 soll der Primärenergieverbrauch für den Technologiepark Adlershof um 30 Prozent reduziert werden. Die „Energistrategie Berlin Adlershof 2020+“ erfolgt sukzessive in mehreren Cluster-Teilprojekten: Der Fokus liegt systemisch auf den identifizierten Effizienzsäulen Strom, Wärme und Prozesse. Eines dieser Cluster-Teilprojekte ist das Forschungsvorhaben **EnEff:Stadt Energienetz Berlin Adlershof**: Forscherinnen und Forscher der Technischen Universität Berlin, der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin und Siemens vernetzen Wärme, Kälte sowie regenerativen Strom. Die vernetzten Energieströme ermöglichen den Aufbau einer zukunftsfähigen und flexiblen Versorgungsstruktur, einer sogenannten Smart Grid Allianz, die mit vorausschauender und nachhaltiger technologischer Planung gezielt optimiert wurde.

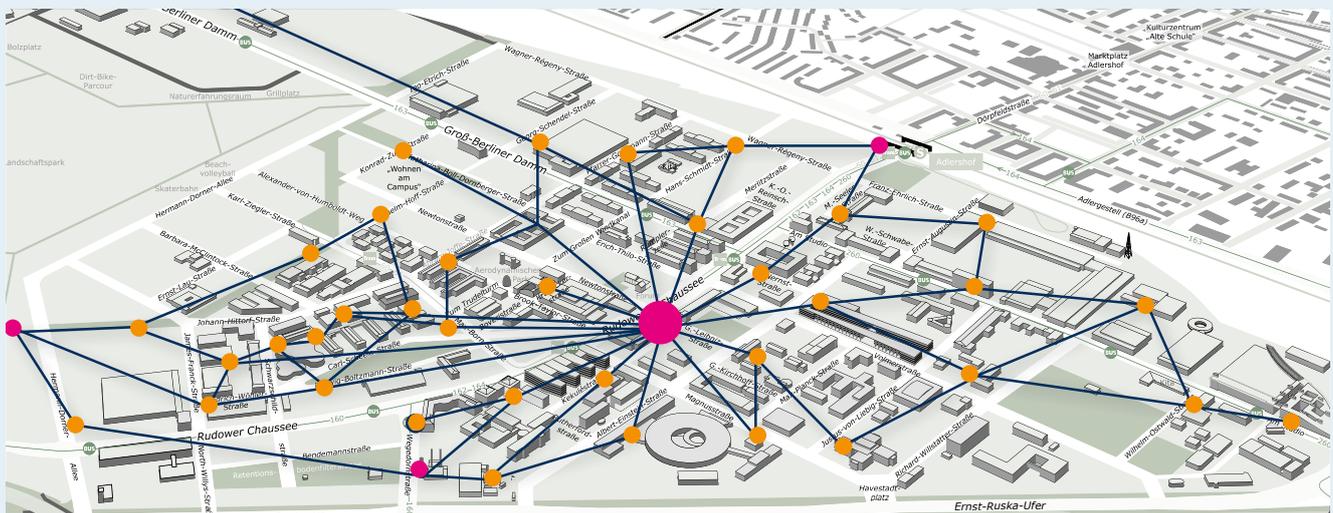
Über ein hygrokopisches Solenetz will das Forscherteam auch bisher vernachlässigte Abwärme energetisch im Techno-

logiepark nutzbar machen. Sie fällt im Technologiepark etwa bei Klimaanlage, Großgeräten und Produktionsprozessen an. Die Sole transportiert Energie mit einer um Faktor drei höheren Dichte als Fernwärmenetze. Wärme wird über die Sole nahezu verlustfrei mit einer feuchtigkeitsaufnehmenden Salzlösung gespeichert. Ist sie hoch konzentriert, entzieht sie der Luft Wasser und setzt dabei Wärme frei. Wasserdampf wird absorbiert und zugleich muss weniger Luft zugeführt und erwärmt werden: Der Energiebedarf wird um ein Viertel gesenkt. Der Effekt soll in einer benachbarten Großwäscherei zum Trocknen der Wäsche eingesetzt werden. In einem weiteren Schritt ist angedacht, das Solenetz mit Gewächshaus-Fassaden zu verbinden. Im Zentrum für Photonik und Optik (ZPO) des Technologieparks Adlershof sind ein Kältenetz und Kältespeicher bereits installiert und deshalb erster Knotenpunkt für die energetische Vernetzung.

Der Umsetzungsprozess ist 2017 abgeschlossen worden. 2018 soll das entwickelte Energiemanagementsystem (EMS) optimiert und angepasst werden. Dafür etabliert das Konsortium intelligente Netzstrukturen mit entsprechenden Mess-Systemen sowie Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Die erfassten Messdaten werden verarbeitet und generieren Handlungsempfehlungen für das EMS. So können Einsparpotenziale – wie Primärenergie, Treibhausgasemissionen und Kosten – erkannt und die notwendigen Maßnahmen angestoßen und begleitet werden.

Das BMWi fördert EnEff:Stadt Energienetz Berlin Adlershof mit rund 4,3 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET1038E-G).

Vernetzte Energieströme ermöglichen in Berlin Adlershof den Aufbau einer zukunftsfähigen und flexiblen Versorgungsstruktur, einer sogenannten Smart Grid Allianz.



Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden

Wärmepumpen können Heizwärme und Warmwasser bereitstellen und haben erhebliches Potenzial, CO₂-Emissionen zu senken. Ihr Einsatz in energetisch modernisierten Gebäuden ist jedoch mit speziellen Anforderungen an die Warmwasserbereitung, die Nutzung von Umweltwärme sowie an die Wärmeübergabe verbunden. Im Forschungsvorhaben **LowEx-Bestand** entwickeln das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in enger Kooperation mit der Wohnungswirtschaft und relevanten Industrieunternehmen Wärmepumpensysteme und Komponenten mit ausgewählten Wärmequellen, Speichern und Wärmeübergabesystemen. Dabei werden Aktivitäten auf mehreren Ebenen der Entwicklungskette durchgeführt – von grundlegenden, technologieorientierten Entwicklungsarbeiten im Bereich höchst effizienter Gas- und Elektrowärmepumpen über Fragen der Systemtechnik und -optimierung bis hin zur Demonstration der Lösungen in Mehrfamilienhäusern.

Weiter entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haustechnische Komponenten, die einfach in die Dämmebene der Gebäudehülle integriert werden können. Im Vorhaben sollen alle involvierten Akteure und sämtliche Prozesse beleuchtet und nicht-technische Rahmenbedingungen des Modernisierungsprozesses identifiziert werden.

Das BMWi fördert LowEx-Bestand mit rund 4,1 Millionen Euro unter Modul I der Förderinitiative „Solares Bauen/ Energieeffiziente Stadt“ (Förderkennzeichen 03SBE0001A-B).

Lüftungsintegration in Fassaden: Wie haustechnische Komponenten in die Dämmebene der Gebäudehülle integriert werden können, wird unter anderem im Vorhaben LowEx-Bestand erforscht.





Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Wer heute keine energiesparenden Produkte und Verfahren anbietet und einsetzt, ist auf Dauer kaum mehr konkurrenzfähig: Wachstum, Beschäftigung und Wettbewerbsfähigkeit in der Industrie sind immer stärker mit dem Thema Energieeffizienz verknüpft.



Wie lassen sich Prozesse künftig flexibel steuern und welche neuen Geschäftsmodelle ergeben sich daraus? Eine digitalisierte Produktion kann künftig eine hohe Transparenz herstellen. Systemübergreifende Lösungen müssen für komplexe Prozesse weiterentwickelt werden. Simulation und tieferes wissenschaftliches Verständnis können manche Versuchsreihen ablösen, sodass neue Verfahren näher am energetischen Optimum schneller und kostengünstiger gefunden werden können.

Die Industrie ist mit einem Anteil von rund 29 Prozent am Endenergieverbrauch der größte Energieverbraucher in Deutschland. Auf den Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) entfallen rund 15 Prozent des deutschen Endenergieverbrauchs. Für die Industrie ist Energie ein wichtiger Kostenfaktor und hat deshalb Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit. Etwa zwei Drittel der Gesamtkosten für Energie machen in der Industrie die Stromkosten aus. Die Preise können sich hierfür von Unternehmen zu Unternehmen stark unterscheiden, denn sie werden durch individuelle Abnahmemengen und -profile sowie durch Entlastungsregelungen bestimmt.

Das BMWi hat mit den Forschungsfeldern Energie in Industrie und Gewerbe ein Instrument geschaffen, um in strategischen Schlüsselthemen die Forschung über mehrere Jahre zu bündeln und in einen verlässlichen Rahmen zu setzen.

Ausschlaggebend für die Energiekosten eines Unternehmens bleibt jedoch der Energieverbrauch. Und der hängt nicht nur davon ab, wie viel produziert wird, sondern auch davon, wie effizient Energie eingesetzt wird. Somit können mittelfristig steigende Energiepreise durch eine höhere Effizienz im Energieeinsatz in einzelnen Bereichen ausgeglichen werden.

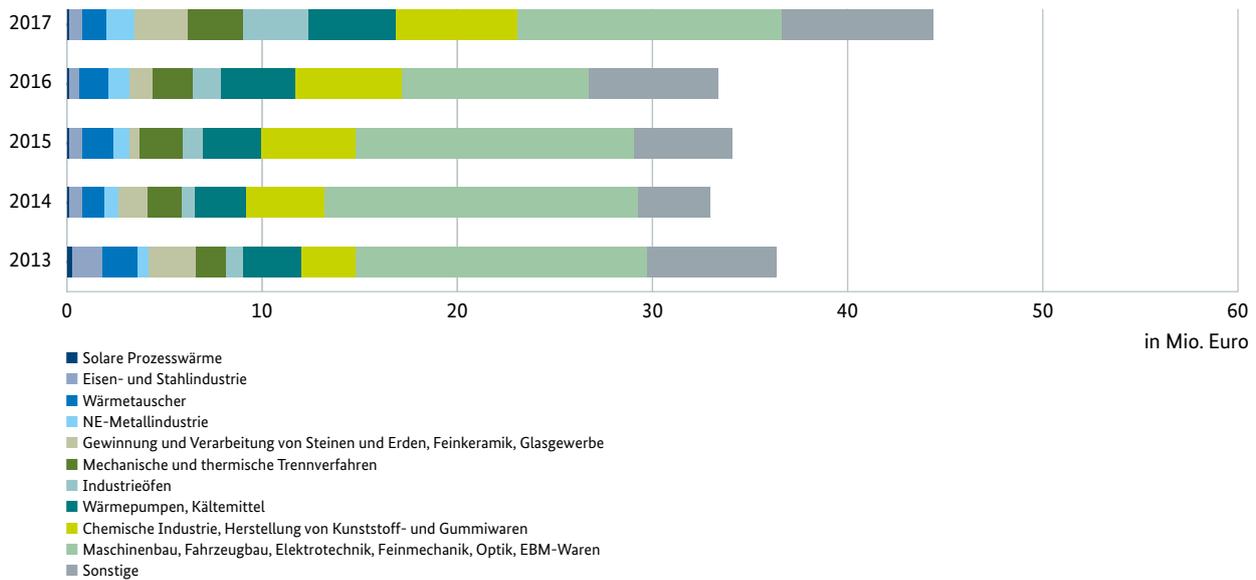
Forschen, entwickeln und fördern

Für eine erfolgreiche Energiewende sowohl in der Industrie als auch im Gewerbe-, Handels- und Dienstleistungssektor müssen sämtliche Energieeffizienzpotenziale systematisch ausgeschöpft werden. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert Forschung und Entwicklung an energieeffizienten und ressourcenschonenden Technologien in der Breite beider Sektoren und stärkt damit die Position Deutschlands im internationalen Wettbewerb. Unter dem Dach des Forschungsnetzwerks Energie in Industrie und Gewerbe hat das BMWi mit bisher insgesamt sieben Forschungsfeldern ein Instrument geschaffen, um in strategischen Schlüsselthemen die Forschungsaktivitäten über mehrere Jahre zu bündeln. Daneben stehen im Förderkonzept gleichberechtigt die vielen Einzelthemen, welche der heterogenen Struktur der Sektoren entspringen.

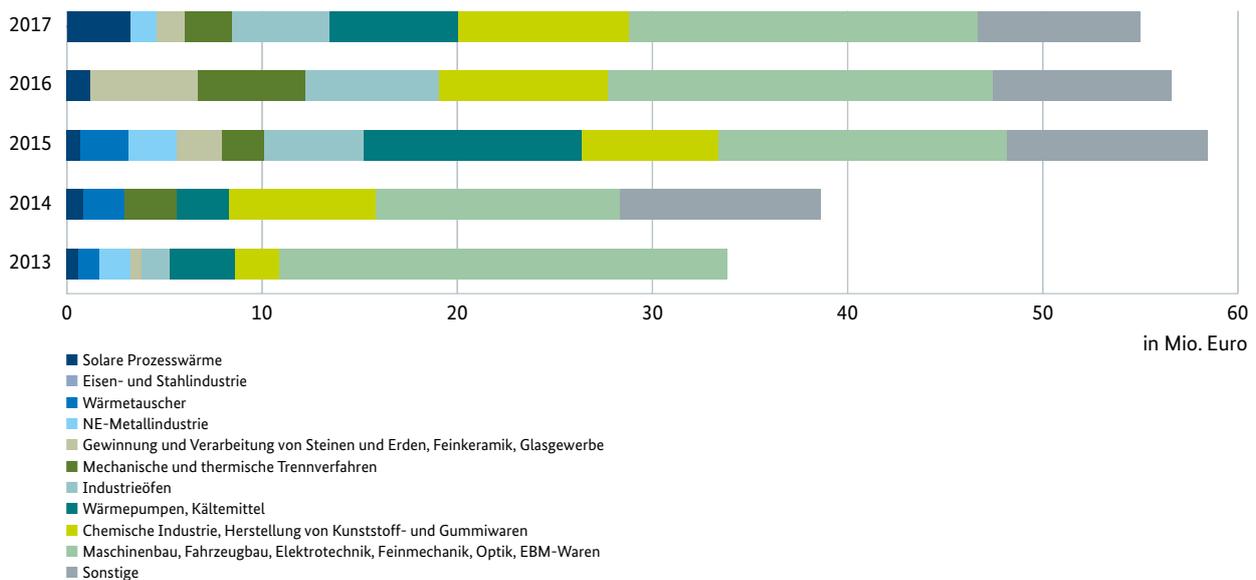
Zum Forschungsfeld Fertigungstechnik zählt die energetische Optimierung von Maschinen und sämtlichen Fertigungsverfahren. Schwerpunkte der Energieforschung liegen hier auf den Themen Energieeffizienz und -flexibilität. Im Forschungsvorhaben **PHI-Factory** untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beispielsweise, wie eine energieeffiziente und flexible Fabrik das Stromnetz entlasten kann (siehe auch „Highlight: Energieeffiziente Fabrik“, Seite 108). Industrieanlagen sollen künftig beim Stromverbrauch nicht nur sparsamer sein als heute, sie sollen auch so ausgelegt werden, dass ihr Stromverbrauch zeitlich flexibel variiert werden kann. Mit einer flexiblen Betriebsweise der Anlagen lassen sich Stromverbräuche in Zeiten von Überangebot und niedrigen Strompreisen verlagern. Im Vorhaben **NILM** haben Forscher ein Energiemanagementsystem entwickelt, das von einer zentralen Messstelle aus den Stromverbrauch auf einzelne Geräte und Anlagen aufschlüsselt, analysiert und somit Einsparpotenziale aufzeigt (siehe auch „Neue Generation intelligenter Stromzähler“, Seite 113).

Im Fokus der Forschung stehen weiter komplexe Prozessketten in Herstellungsverfahren und das energetische

Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013



Zusammenspiel vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt. Im Vorhaben **EniGlas** hat ein Forscherteam zum Beispiel den Schmelzprozess für Spezialglas weiterentwickelt und konnte darüber den Energieverbrauch senken (siehe auch „Im Gespräch: Energieeffizienz in der Glasindustrie“, Seite 110). Im Forschungsvorhaben **MEMTEG** haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Membrantechnologie entwickelt, mit der das beim Gastrocknen eingesetzte Triethylenglykol energiesparend wiedergewonnen werden kann (siehe auch „Wie eine innovative Membrantechnolo-

gie Erdgas energieeffizienter trocknet“, Seite 112). Einen Preis hat das geförderte Verbundprojekt **Longlife-Blasform** erhalten: Im Oktober 2017 ist es mit dem Materialica Gold Award im Bereich „Surface and Technology“ ausgezeichnet worden. Das Konsortium hat eine neuartige Oberfläche für Bauteile im Hochtemperaturbereich entwickelt. Flüssiges Roheisen perlt dadurch von Blasformen in Hochöfen ab. Durch die verminderte Gefahr der Beschädigung und des Durchbrennens der Blasformen werden Energieverluste aufgrund von Wartungsintervallen deutlich verringert.

Highlight: Energieeffiziente Fabrik

PHI-Factory – wie eine energieeffiziente und -flexible Fabrik das Stromnetz entlasten kann

Wind und Sonne lassen sich nicht steuern. Das heißt: Erneuerbare Energie schwankt stärker als konventionell erzeugte Energie. Wie Industriebetriebe künftig auf diese Schwankungen des Stromnetzes reagieren können, erforschen und testen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der Technischen Universität in Darmstadt: die energieeffiziente Modellfabrik der Zukunft, ETA-Fabrik, wird nun zur PHI-Factory.

Indem die Betriebe ihren Energiebedarf den Netzkapazitäten anpassen, könnten sie dabei helfen, das Stromnetz zu stabilisieren. „Mit dem Projekt **PHI-Factory** greifen wir zentrale Herausforderungen der Energiewende und die Chancen der Digitalisierung in der Industrie auf. Am Campus Lichtwiese werden wir demonstrieren, welche neuen Geschäftsmodelle durch eine flexible Fabriknetzführung entstehen“, sagt Professor Eberhard Abele, Leiter des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen an der Technischen Universität Darmstadt und Koordinator von PHI-Factory. Unternehmen, die ihre Produktionsprozesse künftig flexibel steuern, können den Strom dann nutzen, wenn er besonders günstig ist, zum Beispiel bei starkem Wind. Und zu Tageszeiten, zu denen der Strombedarf im Land hoch ist, also auch die Preise steigen, drosseln die Betriebe ihre Produktion oder greifen auf zuvor gespeicherte Energie zurück.

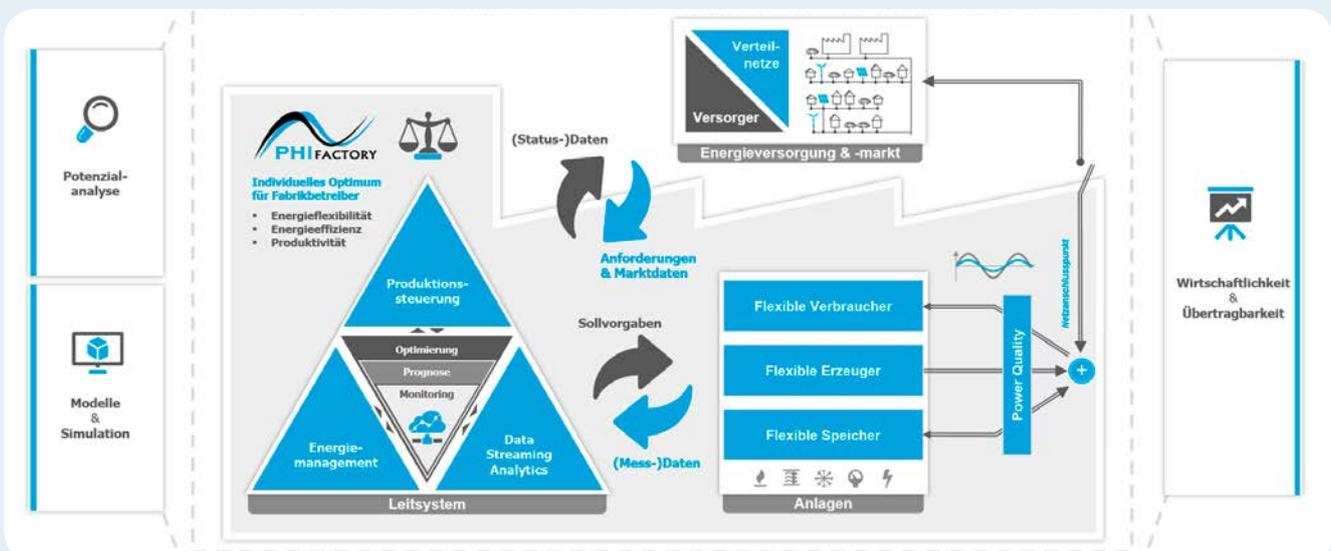
PHI, das Formelzeichen für die Phasenverschiebung und damit eine Kenngröße für die Überlast im Netz, gab dem Forschungsprojekt seinen Namen. Ziel ist eine stabile Produktion und ein stabiles Verteilnetz. Das Forscherteam der Techni-

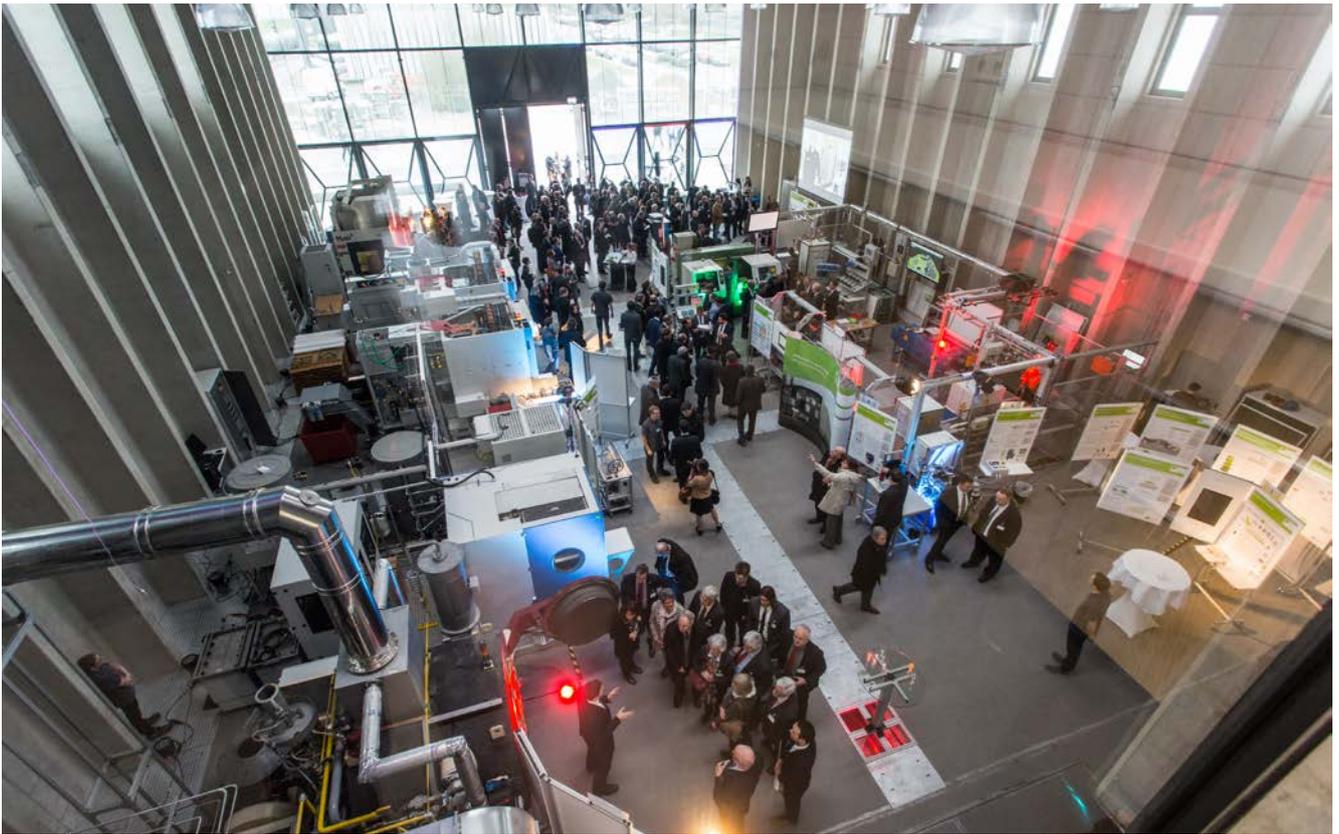
schen Universität Darmstadt sowie Adam Opel, Bosch Rexroth, ENTEGA, MPDV Mikrolab, ÖKOTEC und Software AG entwickeln in der PHI-Factory neue Lösungen, mit denen Fabriken Energie zeitvariabel beziehen und sich an die aktuelle Netzkapazität anpassen können. „Unser Ziel ist eine flexible elektrische Fabriknetzführung, die es möglich macht, sowohl den Energieeinsatz entsprechend den Anforderungen zukünftiger Verteilnetze mit hohen Anteilen regenerativer Energien zu steuern sowie systemübergreifend die Energieeffizienz zu steigern“, sagt Abele.

Neben der Verschiebung von Lasten entwickeln und untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Maßnahmen, wie die Netzqualität verbessert und dezentrale Erzeuger- und Speichersysteme in das Energiemanagement eingebunden werden können. Die im Forschungsprojekt entwickelten Lösungen werden in die bestehende Modellfabrik ETA-Fabrik an der Technischen Universität Darmstadt integriert und praktisch erprobt. „Die Validierung an einem realen Großdemonstrator ist in dieser Form einzigartig“, erklärt Eberhard Abele. Mit der ETA-Fabrik hat 2013 ein Leuchtturm der Energieproduktivität für die metallbearbeitende Industrie seine Arbeit an der Universität aufgenommen. Hier erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß in der industriellen Produktion reduziert werden können.

Das BMWi fördert PHI-Factory mit rund 4,8 Millionen Euro (Förderkennzeichen: 03ET1455A-G).

In der PHI-Factory wird Energie zeitvariabel und flexibel bezogen.





Wie sich im Sektor Industrie mit welchen Maßnahmen wie viel Energie einsparen lässt, untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der Technischen Universität Darmstadt in der ETA-Fabrik.

Mit einem Anteil von rund zwei Dritteln am industriellen Gesamtenergieverbrauch ist die Abwärme das unter Effizienzaspekten mit Abstand potenteste Forschungsthema in der Industrie. Mehreren Studien zufolge liegt das Abwärmepotenzial in Deutschland zwischen etwa 88 und 260 Terawattstunden pro Jahr. Diese Abwärme kann direkt als Wärme genutzt oder in den Prozess zurückgeführt werden. Wird sie in Strom gewandelt, könnten fünf bis zehn konventionelle Kohlekraftwerke durch eine CO₂-freie Stromquelle ersetzt werden. Das zeigt die energiewirtschaftliche Relevanz des Themas. Das BMWi hat alle Forschungsaktivitäten zu diesem Schlüsselthema im **Forschungsfeld Abwärme** gebündelt und ermöglicht so den wissenschaftlichen Austausch, langfristige Forschungsk Kooperationen sowie die programmatische Weiterentwicklung.

Das **Forschungsfeld Tribologie** beschäftigt sich mit der Reibung, dem Verschleiß und der Schmierung gegeneinander bewegter Körper. In mehreren Forschungsvorhaben haben Projektpartner aus Industrie und Wissenschaft Methoden erprobt, um die Reibung, etwa in Antriebssträngen und Komponenten im Motor von Fahrzeugen, signifikant zu reduzieren. Optimiert werden können komplexe tribologische Systeme vor allem in der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit und der Kooperation unterschiedlicher Akteure in einem Verbund. Aus Tribometermessungen und Komponententests werden in den nächsten Jahren

immer größere und detailliertere Datenmengen anfallen. Für die strategische Planung und Auswertung in der Tribologieforschung gewinnen deshalb digitale Methoden sowie Künstliche Intelligenz (KI) zunehmend an Bedeutung.

Künstliche Intelligenz in der Produktion war auch das Querschnittsthema eines Workshops des Forschungsnetzwerks Energie in Industrie und Gewerbe an der Universität in Bremen. Im Fokus stand die Frage nach dem Mehrwert von Künstlicher Intelligenz und den technischen Voraussetzungen für die Analyse, Handhabung und den Nutzen von Produktionsdaten. Eine digitalisierte Produktion kann eine hohe Transparenz herstellen, auch über die Energieströme, muss aber gegen technisches Versagen und Sabotage abgesichert sein. Perspektivisch bedarf es für den Einsatz Künstlicher Intelligenz in der Produktion nachvollziehbarer Demonstrationsvorhaben sowie der Entwicklung zusätzlicher spezifischer Sensoren und des Aufbaus fachlichen Know-hows.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen hat das BMWi 2017 insgesamt 130 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 55 Millionen Euro bewilligt (2016: 115 Projekte für rund 56,6 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 44,6 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 33,4 Millionen Euro).

Im Gespräch: Energieeffizienz in der Glasindustrie

Spezialglas innovativ schmelzen



Dr. Frank Heinrich ist Vorsitzender des Vorstandes der SCHOTT AG.

Temperaturen von bis zu 1.700 Grad Celsius sind erforderlich, um Spezialglas in großen, mit Gas, Strom oder Öl beheizten Wannen zu schmelzen. Dr. Frank Heinrich, Vorstandsvorsitzender von SCHOTT, spricht im Interview über das Potenzial eines innovativen und in EniGlas entwickelten Schmelzkonzeptes.

Herr Dr. Heinrich, welche Ergebnisse konnten Sie im Forschungsvorhaben EniGlas erzielen?*

Das Projekt ist darauf ausgerichtet, mögliche neue Lösungen zur Effizienzsteigerung im Glasschmelzprozess zu erforschen. In einer labortechnischen Pilotanlage und mittels Simulation

konnten wir wertvolle Erkenntnisse gewinnen. Die wichtigste Erkenntnis ist, dass man zur weiteren Effizienzsteigerung den heute im Wesentlichen in einem durchgängigen Schmelzwannenbecken ablaufenden Prozess in möglichst unabhängige Teilschritte zerlegen müsste und dann bei jedem Teilschritt den Energieeintrag individuell optimiert.

Inwiefern könnten diese Ergebnisse die Prozesse in der Glasindustrie komplett verändern?

Wir können hier nicht von einer kompletten Veränderung sprechen, sondern eher von einer Weiterentwicklung im Sinne eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses. Unsere Entwickler konnten zeigen, dass durch eine noch gezieltere Schmelzföhrung der spezifische Energieverbrauch potenziell nochmal deutlich gesenkt werden kann. Die große Herausforderung ist, die mittels Laborexperimenten und Modellierung gewonnenen Erkenntnisse in großtechnische Produktionsprozesse zu übertragen. Dieses Scale-up dauert lange und ist mit einem enormen technischen und finanziellen Aufwand verbunden. Dabei ist eines klar: Wir müssen immer die Wirtschaftlichkeit im Auge behalten.

Sind die Ergebnisse aus EniGlas auf andere Glasprozesse übertragbar?

Wir gehen davon aus, dass die Erkenntnisse aus EniGlas, einem Entwicklungsprojekt im Sektor Spezialglas, auch auf die Herstellung von Kalk-Natron-Gläsern, also Massengläsern der Hohl- und Flachglasindustrie, übertragbar sein werden.



Forschungsvorhaben EniGlas: Die wichtigste Erkenntnis mit Blick auf eine mögliche weitere Effizienzsteigerung ist, den in einem durchgängigen Schmelzwannenbecken ablaufenden Prozess in möglichst unabhängige Teilschritte zu zerlegen.

Dort sind zwar niedrigere Schmelztemperaturen erforderlich, aber die wichtigsten Einflussfaktoren sind mit der Spezialglasherstellung identisch. Dies sind die Viskosität der Schmelze und die Fähigkeit, über Läutermittel und Prozessführung die Glasqualität gezielt einzustellen.

Wie bewerten Sie die Effizienzmaßnahmen in der Glasindustrie weltweit und in Deutschland?

In den letzten Jahren konnte vor allem die europäische Glasindustrie die Energieeffizienz erheblich steigern. Die wesentlichen Treiber sind neue Technologien, die rechtlichen Rahmenbedingungen, die Energie als Kostenfaktor und die Haltung der Unternehmen zum Umwelt- und Klimaschutz. Da gibt es weltweit und auch in Europa große Unterschiede. Im internationalen Vergleich liegen zum Beispiel die Energiekosten in Deutschland sehr hoch. Für SCHOTT ist die kontinuierliche Senkung des spezifischen Energieverbrauchs und die Verbesserung der Energieeffizienz schon seit Jahrzehnten ein Dauerthema. Allein in den letzten 15 Jahren konnten wir den spezifischen Energieverbrauch um bis zu 30 Prozent senken. Damit wollen wir Kosten sparen, die Wettbewerbsfähigkeit sichern und einen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz leisten.

Wie kann Forschung und Entwicklung die Energieeffizienz in Glasprozessen verbessern?

Ohne Forschung und Entwicklung sind keine großen Effizienzsteigerungen mehr erreichbar. Deshalb müssen anwendungs-

nahe Entwicklungen, die sich an den Gegebenheiten und Herausforderungen der industriellen Glasfertigung orientieren, die wesentliche Stoßrichtung für die weitere Verbesserung der Energieeffizienz sein. Die aktuellen Forschungsthemen dazu reichen von der Optimierung der Rohstoffzusammensetzungen über die Reduktion des Energieverlusts durch verbesserte Isolationsmaterialien an den Schmelzaggregaten und die Flexibilisierung des Energieeintrags bis hin zur Prüfung unterschiedlichster Verfahren zur noch besseren Energierückgewinnung.

Das Interview führte Annika Zeitler, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

* Das BMWi fördert EniGlas II mit rund 1,4 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET1496A).



Projekte

Wie eine innovative Membrantechnologie Erdgas energieeffizienter trocknet

Damit Erdgas durch das Verteilnetz transportiert werden kann, um Wärme zum Verbraucher zu bringen, muss es zuvor getrocknet werden. Dafür wird dem wasserbeladenen Erdgas Triethylenglykol (TEG) zugeführt, das dem Gas das Wasser entzieht. In einem weiteren, separaten Prozess wird das verwässerte TEG bei hohen Temperaturen destilliert und somit regeneriert. Danach kann es erneut zum Trocknen des Erdgases eingesetzt werden. Die bisherige TEG-Regeneration auf Basis eines destillativen Regenerationsverfahrens ist sehr energieintensiv und erzeugt hohe CO₂-Emissionen. Im Forschungsvorhaben **MEMTEG – Glykoltrocknung mittels anorganischer Membranen** haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine innovative Membrantechnologie entwickelt, mit der Triethylenglykol wesentlich energiesparender und nahezu emissionsfrei dem Gastrocknungsprozess zurückgeführt werden kann. Das TEG wird nicht destilliert, sondern bei niedrigeren

MEMTEG-Pilotanlage auf dem Erdgasspeicher in Staßfurt: Über eine siebartige Membranstruktur kann Triethylenglykol energiesparender und nahezu emissionsfrei dem Gastrocknungsprozess zurückgeführt werden.



Temperaturen über Membranmodule geführt. Diese trennen das kleinere Wasser-Molekül vom TEG-Molekül über ihre siebartige Membranstruktur: Auf der Rückseite der Membran wird das Wasser abgeführt, auf der Innenseite bleibt das getrocknete TEG zurück. Dieses kann dann erneut für den Trocknungsprozess eingesetzt werden. Innogy hat das Forschungsvorhaben koordiniert und die innovative Membrantechnologie mit den Projektpartnern DBI Gas- und Umwelttechnik und dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS in einem Demonstrator erprobt. Die Forschenden haben in MEMTEG gezeigt, dass eine Anlage mit innovativem Membranverfahren betriebsstabil einsetzbar ist und TEG energieeffizient regeneriert.

Das BMWi hat MEMTEG mit rund 1,9 Millionen Euro gefördert (Förderkennzeichen 03ET1101A-C).

Katalysator für CO₂-Synthesegas-Produktion mit hohem Druckniveau

Synthesegas ist in der chemischen Industrie ein wertvoller Grundstoff für zahlreiche Produkte wie etwa Kunststoffe oder Kraftstoffe. Das Gasmisch entsteht, wenn zum Beispiel Methan mit Wasserdampf zu Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff umgesetzt wird. Die sogenannte Dampfreformierung ist das bisher übliche thermochemische Verfahren, um Synthesegas herzustellen. Statt Wasserdampf kann aber auch das in vielen industriellen Prozessen entstandene Abfallprodukt Kohlenstoffdioxid (CO₂) nutzbringend als Ausgangsstoff eingesetzt werden. Mithilfe eines Katalysators reagiert dann das CO₂ bei Temperaturen zwischen 800 und 1.000 Grad Celsius mit dem Methan zu Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid. Allerdings muss diese trockene Reformierung zu Synthesegas bisher bei einem Druckniveau unter 10 bar betrieben werden. Ansonsten bildet sich Ruß und deaktiviert den Katalysator, was dazu führt, dass dieser nicht mehr ordnungsgemäß arbeitet. Nachteile eines niedrigen Druckniveaus: Das Synthesegas muss in einem nachgeschalteten energieintensiven Prozess nachverdichtet werden. Im Forschungsvorhaben **DryRef 1 – energieeffiziente Synthesegaserzeugung durch trockene Reformierung im industriellen Maßstab** haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler deshalb einen Katalysator entwickelt, der die Synthesegas-Produktion unter hohem Druck ermöglicht: Damit lässt sich das industrielle Abfallprodukt CO₂ verwerten, ohne dass eine energieintensive Verdichtung im Anschluss an die Reaktion notwendig wird. Laborversuche haben gezeigt, dass der neu entwickelte Katalysator ohne Ruß-Bildung auf hohem Druckniveau mit nur sehr wenig Wasserdampf betrieben werden kann. Im Anschlussvorha-



Pilot-Reformer in Pullach: Im Forschungsvorhaben DryRef 1 ist ein Katalysator entwickelt worden, der die Synthesegas-Produktion in der chemischen Industrie unter hohem Druck ermöglicht.

ben **DryRef 2** entwickeln die Verbundpartner Linde, BASF, hte, das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und das DECHEMA-Forschungsinstitut die Trockenreformierung im industriellen Maßstab weiter und testen den Katalysator unter realen Betriebsbedingungen.

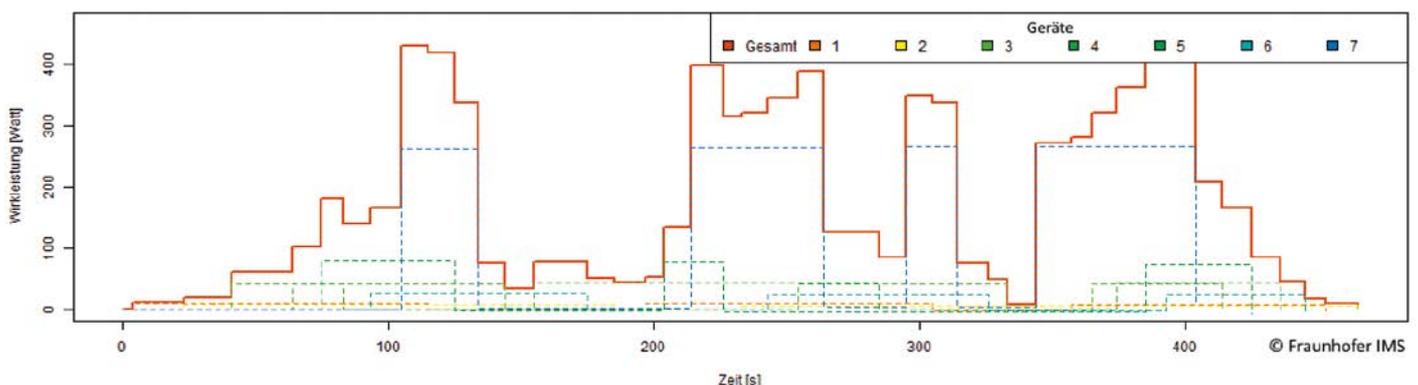
Das BMWi fördert DryRef 2 (Förderkennzeichen 03ET1282A-E) mit rund 1,8 Millionen Euro.

Neue Generation intelligenter Stromzähler

Der Stromverbrauch eines einzelnen Gerätes oder einer Anlage ist für viele Unternehmen aus Industrie, Gewerbe, Handel oder dem Dienstleistungssektor schwer zu identifizieren, denn der Energieversorger liefert nur das Lastprofil des gesamten Betriebs. Transparenz bietet bisher nur die Anschaffung teurer Messtechnik sowie deren aufwendige Installation und Pflege. Im Forschungsvorhaben **NILM – Nonintrusive Load Monitoring System** haben Forscher ein Energiemanagementsystem entwickelt, das den Stromverbrauch an einer Messstelle erfasst, aber auf einzelne Geräte und Anlagen aufschlüsselt, analysiert und somit Einsparpotenziale aufzeigt. Die unterschiedlichen elektrischen Merkmale einzelner Geräte hat man sich zunutze gemacht: Mit

„Machine Learning“-Methoden konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Verbundpartner Discovery, EasyMeter, GreenPocket und Innogy unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS charakteristische Muster im Gesamtstromverbrauch identifizieren und damit einzelnen Geräten zuordnen. Eine Energiemanagementsoftware visualisiert die hochfrequent gemessenen Daten und zeigt, welche Betriebszeiten einzelne Geräte haben und wie Lastspitzen vermieden werden können, etwa durch zeitversetztes Anschalten von Anlagen. Die NILM-Technologie kann im Vergleich zu üblichen Sub-Metering-Systemen mehrere Geräte mittels nur eines Messpunkts separieren. Das spart gleichzeitig Installations-, Wartungs- und Hardwarekosten. Die Forschenden gehen davon aus, dass durch Umsetzung aller mit der NILM-Technologie kostengünstig und einfach ermittelten Einsparpotenziale der Strombedarf pro Unternehmen um bis zu 12 Prozent reduziert werden könnte.

Das BMWi hat NILM mit rund 1,1 Millionen Euro gefördert (Förderkennzeichen 03ET1306A-E).



Forschungsvorhaben NILM: Ein intelligentes Energiemanagementsystem schlüsselt den Stromverbrauch einzelner Geräte sowie Anlagen auf und macht Einsparpotenziale sichtbar.



Elektromobilität

Der Umstieg auf Elektromobilität bedingt eine Systeminnovation, die Fahrzeugantriebe, Infrastrukturen, Energiebereitstellung und die gesamte Wertschöpfungskette im Automobilssektor umfasst.

Mit dem Ansatz einer technologieoffenen, systemischen und zugleich marktorientierten Förderung trägt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) zu dem Ziel der Bundesregierung bei, Deutschland bis 2020 zum Leitanbieter und zum Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln. Eine Schlüsselkomponente für das Fahren mit Strom ist das Batteriesystem. Daran werden hohe Anforderungen gestellt: Es muss nicht nur besonders leistungsfähig, sondern auch leicht, langlebig und sicher sein.

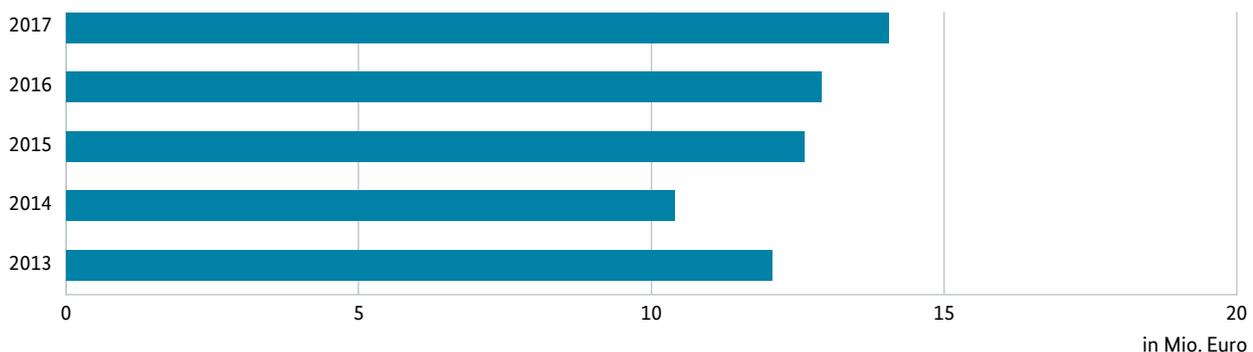
Elektromobilität wird weltweit als Schlüssel zur energieeffizienten, klima- und umweltverträglichen Mobilität gesehen. Der Betrieb von Elektrofahrzeugen erzeugt insbesondere in Verbindung mit regenerativ erzeugtem Strom deutlich weniger CO₂. Zusätzlich können Elektrofahrzeuge mit ihren Energiespeichern die Schwankungen von Wind-

und Sonnenkraft künftig ausgleichen und so den Ausbau und die Marktintegration dieser unsteadyen Energiequellen unterstützen.

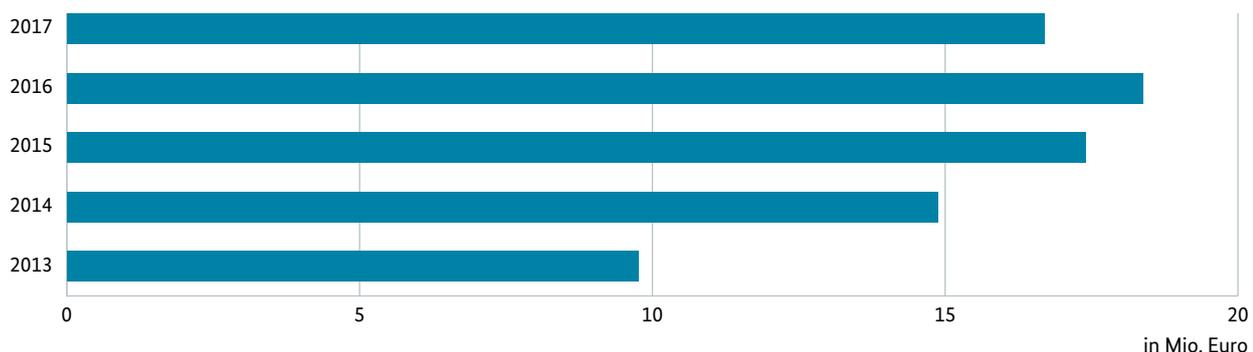
Der Technologiesprung und der dafür nötige Aufbau von Wertschöpfungsketten eröffnen neue Chancen: Deutschland soll sich zum Leitmarkt Elektromobilität entwickeln und als Leitanbieter für Elektromobilität etablieren – mit Innovationen für Fahrzeuge, Antriebe und Komponenten sowie mit der Einbindung dieser Fahrzeuge in die Strom- und Verkehrsnetze. Die deutsche Industrie ist gefordert, ihre technologische Spitzenstellung auch im Bereich der Elektromobilität zu sichern und ihre Elektrofahrzeuge mit den dazugehörigen Systemen, Komponenten und Dienstleistungen in Deutschland und auf den Weltmärkten erfolgreich zu vermarkten.

Die alternativen Antriebe zeigten 2017 eine durchgehend positive Entwicklung. 25.056 Elektro-Pkw sind neu zugelassen worden. Damit wiesen sie eine Steigerung um knapp

Elektromobilität: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017 in Mio. Euro



Elektromobilität: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013 in Mio. Euro





E-Fahrzeuge können mit ihren Energiespeichern die Schwankungen von Wind und Sonnenkraft künftig ausgleichen und so den Ausbau dieser unstenen Energiequellen unterstützen.

120 Prozent zum Vorjahr auf. Nach Informationen des Kraftfahrtbundesamts sind weiter 3.723 erdgasbetriebene (+14,9 Prozent), 4.400 mit Flüssiggas angetriebene Pkw (+47,2 Prozent) und 84.675 Hybride (+76,4 Prozent) neu zugelassen worden. Derzeit sind 60 verschiedene elektrische Fahrzeugmodelle auf dem Markt, die an rund 9.000 Ladepunkten mit Strom geladen werden. Um die Nutzung von Elektrofahrzeugen attraktiver zu machen, hat die Bundesregierung zusätzliche Impulse für die Elektromobilität beschlossen: zeitlich befristete Kaufanreize, weitere Mittel für den Ausbau der Ladeinfrastruktur, zusätzliche Anstrengungen bei der öffentlichen Beschaffung von Elektrofahrzeugen sowie steuerliche Maßnahmen.

Fördern, forschen, entwickeln

Elektrofahrzeuge müssen sich im Wettbewerb mit anderen Antriebskonzepten insbesondere hinsichtlich Preis und Reichweite behaupten. Hierfür bedarf es weiterhin vorwettbewerblicher Forschung und Entwicklung auf hohem Niveau. Ziel ist es, durch verbesserte Materialien und weiterentwickelte Fertigungsmethoden die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Batterien zu steigern und diese für mobile Anwendungen optimal in das Energiemanagement des Fahrzeugs einzubeziehen.

Auf die Batterie entfallen bis zu 40 Prozent der Wertschöpfung eines Elektrofahrzeugs. Sie ist das zentrale Element für die Elektrifizierung des Antriebs und gilt deshalb als Schlüsseltechnologie, um künftig elektrisches Fahren für den Massenmarkt mit deutlich höheren Reichweiten bei gleichzeitiger Langlebigkeit und Sicherheit der Elektrofahrzeuge zu gewährleisten. Daher konzentriert das BMWi die Förderung der Elektromobilität im Energieforschungsprogramm auf die Forschung und Entwicklung zuverlässiger,

Die Fertigung der Batteriezelle ist als Schlüsseltechnologie maßgebend für den Erfolg der Elektromobilität.

leistungsfähiger und kostengünstiger Batterietechnologien. Hierzu zählen Projekte rund um Batteriezelle und Batteriesystem. Eingeschlossen sind Arbeiten an neuen Komponenten und Fertigungsmethoden sowie zur Integration der Batterie ins Fahrzeug und ins Energiesystem. Vom Material bis zur Zelle sollen die Marktchancen für elektrisch betriebene Fahrzeuge weiter verbessert und eine weitgehende Unabhängigkeit von den zumeist asiatischen Lieferanten erreicht werden. Wünschenswert ist auch die Ansiedlung einer Batteriezellfertigung in Deutschland, damit die gesamte Wertschöpfungskette am Standort abgebildet ist (siehe auch „Im Fokus: Batteriezellenproduktion“, Seite 118). Verbesserte Batteriematerialien, Fertigungs- und Produktionsmethoden für Batteriezellen „Made in Germany“ und Möglichkeiten, Batterien optimal in das Fahrzeug einzubeziehen, stehen im Fokus der Förderung.

Mit **LIB.DE** sollen Energiedichte, Reichweite, Lebensdauer und Sicherheit der Lithium-Ionen-Zellen verbessert, Herstellungskosten reduziert und Naturressourcen geschützt werden (siehe auch „Highlight: Deutsche Batteriezellen für E-Autos“, Seite 121). Mit dem Forschungsvorhaben **DaLion** sollen Voraussetzungen für neue Produkt- und Produktionsstrategien und leistungsfähigere Batteriezellen geschaffen werden (siehe auch „Data Mining in der Produktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen“, Seite 119).

Mit Blick auf die wachsende Relevanz der Elektromobilität für das Energieversorgungssystem muss beim flächendeckenden Ausbau von Ladeinfrastruktur zudem die Netzstabilität sichergestellt werden. Als mobile Speicher für Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Quellen können Elektrofahrzeuge hier mittelfristig einen wichtigen Beitrag leisten. Dafür müssen die Batterien der Fahrzeuge rückspeisefähig sein, und es erfordert eine intelligente Verbindung zwischen Fahrzeug und Netzbetreiber, die auch den Bedarf des Fahrzeugs von vornherein kennt. Hier öffnet sich zukünftig auch der Markt für intelligente Geschäftsmodelle entlang der Wertschöpfungskette. Wie und in welchem Umfang dieses Flexibilisierungspotenzial gehoben werden kann, ist Gegenstand weiterer Forschung und Entwicklung.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich Elektromobilität hat das BMWi 2017 insgesamt 22 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 16,7 Millionen Euro bewilligt (2016: 41 Projekte für rund 18,4 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 14,1 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 12,9 Millionen Euro).

Im Fokus: Batteriezellenproduktion

Forschung für Hochenergie-Lithium-Ionenzellen am Standort Deutschland



Produktion von Batteriezellen auf einer ZSW-Pilotanlage: Die Batterie gilt als Schlüsselkomponente für den Durchbruch der Elektromobilität.

Zuverlässige, leistungsfähige und kostengünstige Batteriezelltechnologien sind die Basis einer wettbewerbsfähigen Zellfertigung in Deutschland. Das BMWi fördert Forschung und Entwicklung von Hochenergie-Lithium-Ionenzellen mit erheblichem Potenzial.

Die Nationale Plattform für Elektromobilität (NPE) empfiehlt in ihrer Roadmap „Zell- und Batterieproduktion in Deutschland“ einen Produktionsstart für Batteriezellen im Jahre 2021 sowie einen stufenweisen Ausbau einer Zellfabrik. Derzeit dominieren asiatische Hersteller den Markt für Batteriezellen. Neben den Komponenten Zelle, Modul, Batterie und Batteriemanagementsystem produzieren Unternehmen in China, Japan und Korea auch einen Teil ihres für die Batteriezellen benötigten Kathodenmaterials selbst. Das so gewonnene Know-how ermöglicht ihnen, die Entwicklungszyklen zu verkürzen und so einen Wettbewerbsvorteil am Markt zu erreichen. Für eine wettbewerbsfähige Produktion von Batteriezellen in Deutschland ist es deshalb maßgeblich, die Batteriezellen- und Fertigungstechnologien in Forschung und Entwicklung weiterzuentwickeln und voranzutreiben.

Im Forschungsvorhaben **Lib.de** arbeiten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen an einer neuen Batteriezellengeneration entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Die Basis für kosteneffiziente und leistungsfähige Lithium-Ionen-Batterien bilden dabei neue Zelldesigns und Materialien, etwa für Anode und Kathode (siehe auch Highlight Highlight: LIB.DE: Lithium-Ionen-Batterien – made in Germany, Seite 121). Auch in **LiMo** werden neue Konzepte zuverlässiger, zyklensicherer Lithium-Ionen-Batterien für Elektro- und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge erforscht (siehe Bericht „Innovation durch Forschung“ 2016, „LiMo und LiSta – neue Batterietechnologien“,

Seite 124). In **DaLion** erfasst ein Forscherteam über eine zentrale Datenbank einzelstückbasiert Produktionsdaten und damit Wechselwirkungen sowie Zusammenhänge bei der Elektroden- und Zellproduktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen. So werden produkt- und produktionsrelevante Parameter erfasst, die während der Fertigung der Batteriezellen Einfluss auf Leistungsdichte, Zyklenstabilität und Lebensdauer haben können (siehe auch „Highlight: Deutsche Batteriezellen für E-Autos“, Seite 121).

Großtechnische Zellfertigung aufbauen

In Deutschland gibt es seit Ende 2015 keine Fabrik für Batteriezellen mehr, die signifikante Stückzahlen produziert. Um dennoch Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität zu werden, ist der Aufbau einer großtechnischen Zellfertigung sowie der Fertigung von Materialien für Anoden und Kathoden der Lithium-Ionen-Zellen am Standort Deutschland ein wesentlicher Baustein. Die Nachfrage zuverlässiger, leistungsfähiger und kostengünstiger Batterietechnologien steigt mit dem wachsenden Markthochlauf von Elektrofahrzeugen. Gut ein Drittel der Wertschöpfung eines Elektroautos entfällt auf die Lithium-Ionen-Batterie, was sie zu einem Schlüsselement der Elektromobilität macht. In der NPE-Roadmap zur Batteriezellproduktion heißt es: Eine Batteriezellproduktion in Deutschland könnte ein wichtiges Element zur Wahrung der Systemkompetenz und damit für die Frage der Zukunftsfähigkeit Deutschlands als Innovationsstandort werden. Daneben besteht im Bereich der stationären Energiespeicherung die Chance einer Erweiterung der Absatzmärkte für die Energiewende. Weiter zeigt die Roadmap, dass eine Batteriezellproduktion in Deutschland möglich ist.

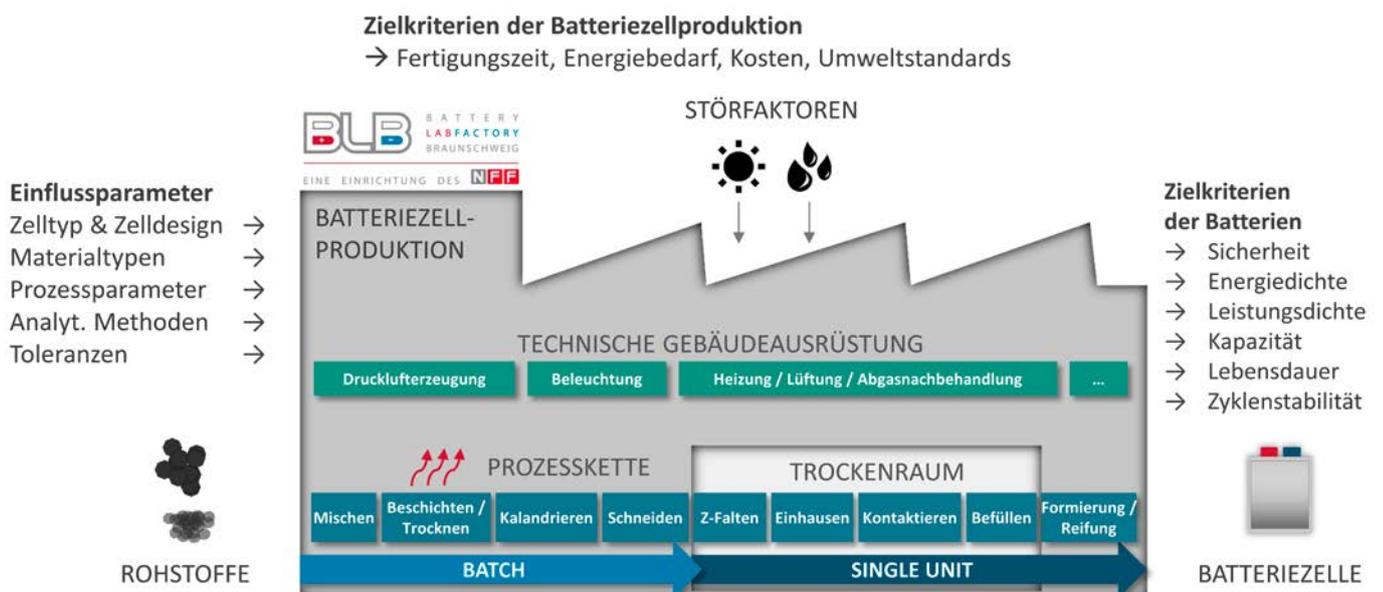
Projekte

Data Mining in der Produktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen

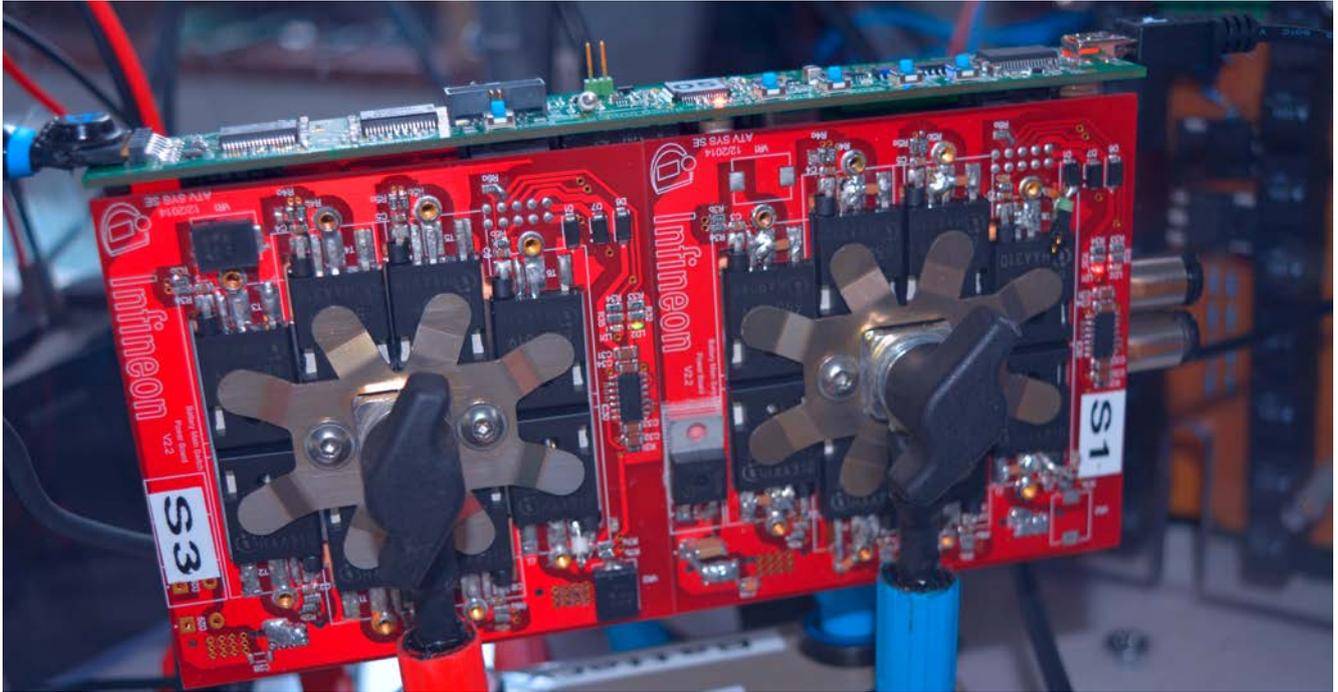
Während der Produktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen beeinflussen eine Vielzahl von Faktoren deren Energie- und Leistungsdichte, Kosten- und Zyklusstabilität sowie Lebensdauer. Um ihre Performance und Wirtschaftlichkeit zu verbessern, sind detailliertes Wissen über produkt- und produktionsrelevante Parameter und ihre Wechselwirkungen erforderlich. Ein Wissenschaftsteam der Technischen Universität Braunschweig identifiziert diese Prozessparameter im Forschungsvorhaben **DaLion – Data Mining in der Produktion von Lithium-Ionen Batteriezellen**. Es will damit Voraussetzungen für neue Produkt- und Produktionsstrategien und leistungsfähigere Batteriezellen schaffen. Entlang der gesamten Prozesskette – vom Mischen der Ausgangsstoffe bis zur fertig formierten Zelle – erfassen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mithilfe einer zentralen Datenbank Produkt- und Produktionsdaten und

damit Wechselwirkungen sowie Zusammenhänge bei der Elektroden- und Zellproduktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen. So lassen sich Produkt- und Prozesstoleranzen festlegen und mögliche Störfaktoren identifizieren. Die umfangreichen Daten ermitteln die Wissenschaftler über die Analyse großformatig gefertigter Batteriezellen in der an die Universität angeschlossenen Batteriezell-Pilotproduktion. Die erfassten Daten ermöglichen den Forschern, kausale Zusammenhänge zu erkennen und empirische, physikochemische und mechanistische Modelle zu entwickeln, zu kalibrieren und zu validieren. Mit intelligenten Datenbanksystemen könnten sich Batteriezellen in Zukunft hinsichtlich verschiedener Kriterien optimieren und die Ausschussrate und damit die Kosten sowie der Energiebedarf in der Fertigung reduzieren lassen.

Das BMWi unterstützt DaLion mit rund 3,1 Millionen Euro (Förderkennzeichen: 03ET6074A-B).



DaLion: Eine Datenbank erfasst Produkt- und Produktionsdaten sowie Zusammenhänge bei der Elektroden- und Zellproduktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen.



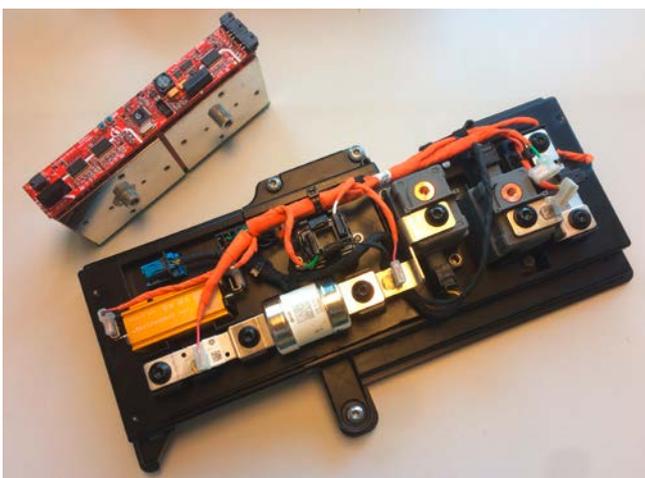
Der Batterie Hauptschalter aus dem Forschungsvorhaben DriveBattery: Er schützt die Batterie im Fall eines Kurzschlusses.

Batteriesysteme in Elektrofahrzeugen intelligent steuern und verschalten

Bisher sind Batteriesysteme in Elektrofahrzeugen zumeist groß und homogen. In Zukunft können sie aus verschiedenen Modulen aufgebaut sein und im Fahrzeug verteilt integriert werden. Solche vielzelligen und modularen Batteriesysteme können Bauräume effizient ausnutzen und gleichzeitig Reichweite und Leistung optimieren. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben im Forschungsvorhaben **DriveBattery** in einer ersten Phase ein intelligentes Steuerungs- und Verschaltungskonzept für Elektrofahrzeuge simulationsunterstützt entwickelt und dieses dann in Phase zwei erfolgreich getestet sowie an Demonstratoren erprobt. Ein im Vorhaben entwickelter Halbleiterschalter kann das Batteriesystem im Vergleich zu bisherigen mechanischen Schaltern 1.000 Mal schneller abschalten. Bei einem

Unfall ist die Batterie im Fall eines Kurzschlusses geschützt und das Batteriesystem wird durch den Halbleiterschalter sicher abgeschaltet. Weiter reduziert der neue halbleiterbasierte Batterie Hauptschalter Volumen und Gewicht und altert nicht, da der Durchlasswiderstand konstant bleibt. Drei Universitäten, sechs führende Industriepartner sowie Infineon Technologies als Koordinator konnten entlang der Wertschöpfungskette von Komponentenherstellern über Systemlieferanten bis zu führenden OEMs (Original Equipment Manufacturer) Innovationen mit diesem Vorhaben ermöglichen und praktisch nachweisen, dass intelligent gesteuerte und verschaltete Batteriesysteme in Elektrofahrzeugen effizienter, sicherer und günstiger sind.

Das BMWi hat DriveBattery Phase zwei mit rund 5,5 Millionen Euro gefördert (Förderkennzeichen: 03ET6060A-I).



Der in DriveBattery 2015 entwickelte Halbleiterschalter hat im Vergleich zum bisherigen mechanischen Batterie Hauptschalter weniger Volumen und Gewicht.

Highlight: Deutsche Batteriezellen für E-Autos

LIB.DE: Lithium-Ionen-Batterien – made in Germany

Lithium-Ionen-Batterien sind die Herzstücke von Elektroautos. Ihre Qualität bestimmt Reichweite, Lebensdauer beziehungsweise Wartungsintervalle, Sicherheit und Kosten eines E-Fahrzeuges. Sie tragen mit bis zu 40 Prozent zur Wertschöpfung bei. Das BMWi fördert im Forschungsvorhaben LIB.DE eine neue Generation wettbewerbsfähiger Lithium-Ionen-Zellen für Elektroautos, die in Deutschland produziert werden sollen.

Mit **LIB.DE – Lithium-Ionen-Batterie aus Deutscher Wertschöpfung – Vom Material bis zur Zelle** sollen die Marktchancen für elektrisch betriebene Fahrzeuge weiter verbessert und eine weitgehende Unabhängigkeit von den zumeist asiatischen Lieferanten erreicht werden. Eine künftige nationale Produktion von Batteriezellen bietet die Chance, die heute für Deutschland sehr umfangreiche und wichtige Wertschöpfungstiefe in der Automobilindustrie auch künftig aufrechtzuerhalten.

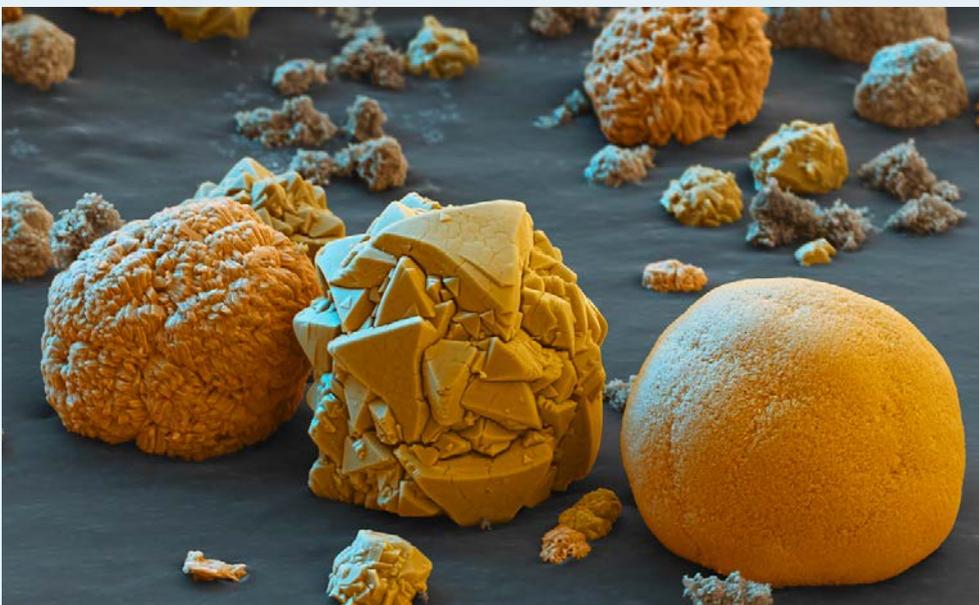
Das Konsortium unter Beteiligung von Automobilzulieferern und der Automobilindustrie wird vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) koordiniert. Das Forscherteam arbeitet an einer neuen Generation von Hochenergie-Lithium-Ionen-Zellen entlang der gesamten Wertschöpfungskette auf Basis weiterzuentwickelnder hochkapazitiver Anoden- und Kathodenmaterialien. Statt Naturgraphit – einem weltweit gefragten und endlichen Rohstoff – setzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler synthetisches Graphit beziehungsweise siliziumbasierte Verbundwerkstoffe (Komposite) in den zu entwi-

ckelnden Lithium-Ionen-Zellen ein. Zudem erforschen sie geeignete Pasten und Beschichtungsverfahren für die Herstellung von Elektroden aus Silizium- und Kohlenstoffkompositen und entwickeln Hochenergieelektroden für nickelreiche Kathodenmaterialien.

Mit LIB.DE wollen die Forschenden Energiedichte, Reichweite, Lebensdauer und Sicherheit der Lithium-Ionen-Zellen verbessern, Herstellungskosten reduzieren und Naturressourcen schützen. Hochenergie-Lithium-Ionen-Zellen wären im Vergleich zum heutigen Standard mit bis zu 40 Prozent erhöhter Energiedichte realisierbar. Die zu entwickelnden Hochenergie-Lithium-Ionen-Zellen werden unter seriennahen Bedingungen auf einer Forschungsproduktionslinie hergestellt. Somit können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit den Leistungsdaten der Zellen valide Prognosen für den Einsatz in automotiven Batteriesystemen erstellen.

Um den Transfer der Forschungsergebnisse in industrielle Fertigungstechniken zu gewährleisten, werden die Sicherheit der Prozesse und die Qualität der Elektroden zunächst in gestapelten sogenannten Pouch-Zellen evaluiert. Mit dem Bau von Prototypzellen unter seriennahen Bedingungen wird langfristig Produktionskompetenz erworben. Das ist die Basis zum Aufbau einer konkurrenzfähigen vollständigen Wertschöpfungskette bis hin zur Batteriefertigung am Standort Deutschland.

Das BMWi fördert LIB.DE mit rund 5,6 Millionen Euro (Förderkennzeichen 03ET6081A-E).

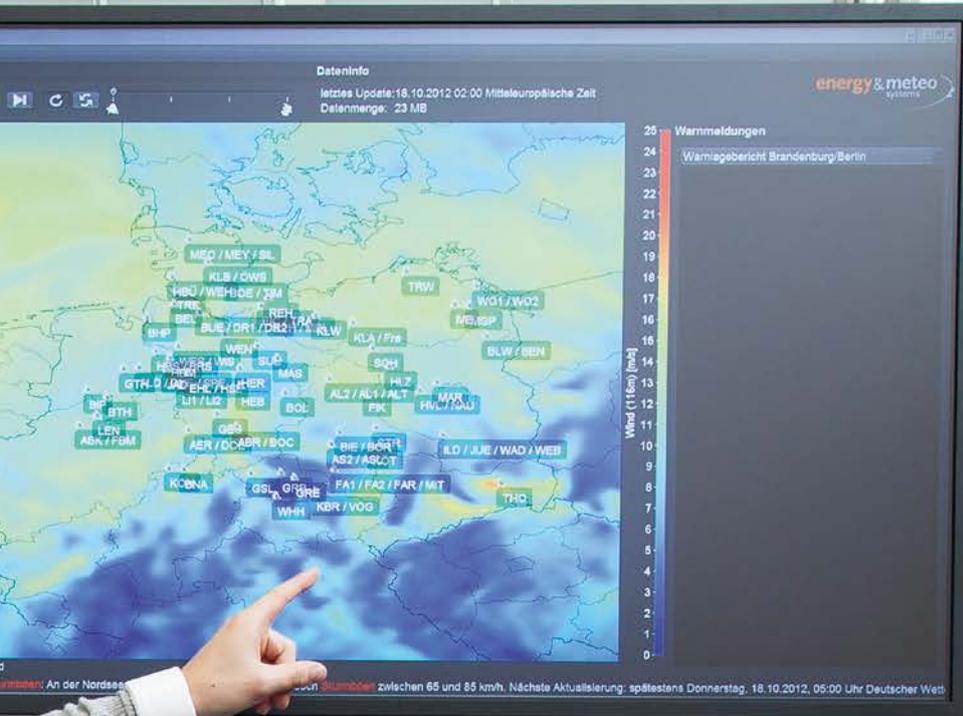


Kathodenmaterial für zuverlässige, leistungsfähige und kostengünstige Batteriezellen entwickeln Forscherinnen und Forscher in LIB.de.



Energiesystemanalyse

Das Energiesystem als Ganzes, die Erzeugungs- und Verteilstrukturen, aber auch sektorübergreifende Wechselwirkungen werden immer komplexer. Die Systemanalyse unterstützt bei der Suche nach Antworten darauf, wie das künftige System ausgestaltet werden könnte, damit es zuverlässig, bezahlbar und klimafreundlich ist.



Wärmemeldungen
Wärmegericht Brandenburg/Berlin

Wind (110m) [m/s]

zwischen 65 und 85 km/h. Nächste Aktualisierung: spätestens Donnerstag, 18.10.2012, 05:00 Uhr Deutscher Wetterdienst

AKR	50 kW	0%	ALJ	3162 kW	0%	ALZ	1200 kW	0%
ANT	181 kW	0%	ASD	814 kW	0%	ASL	1551 kW	0%
BEP	4520 kW	0%	BEI	81 kW	0%	BOC	4251 kW	0%
BGR	1622 kW	0%	BTH	6218 kW	0%	BRE	1248 kW	0%
DAG	2888 kW	0%	DOB	4043 kW	0%	DRI	341 kW	0%
FRK	455 kW	0%	FOC	1258 kW	0%	FAR	6889 kW	0%
FRA	1187 kW	0%	GOE	402 kW	0%	GAD	811 kW	0%
FTH	1322 kW	0%	GTH	2681 kW	0%	BRM	4244 kW	0%
HEK	1407 kW	0%	HELZ	1711 kW	0%	ROU	2250 kW	0%
HYL-BLN	814 kW	0%	HYL-BOR	423 kW	0%	HYL-BZG	821 kW	0%
HYL-BTZ	373 kW	0%	HYL-KRZ	1384 kW	0%	HYL-MBI	316 kW	0%
HYL-MSC	290 kW	0%	HYL-NAJ	147 kW	0%	HYL-NXI	326 kW	0%
HYL-SKA	81 kW	0%	HYL-SKS	135 kW	0%	HYL-SKG	181 kW	0%
ILD	1301 kW	0%	ENE	232 kW	0%	REZ	891 kW	0%
KBR	781 kW	0%	RELA	3121 kW	0%	REB	954 kW	0%
KGG	1421 kW	0%	ROU	6256 kW	0%	REY	891 kW	0%
LIZ	2878 kW	0%	SCG	873 kW	0%	SGS	3128 kW	0%
MHW	171 kW	0%	SGP	1082 kW	0%	STY	1327 kW	0%
NAU	332 kW	0%	ORL	0 kW	0%	ORW	1228 kW	0%
ORL	871 kW	0%	SCH	344 kW	0%	REZ	2291 kW	0%
SPH	1174 kW	0%	SOY	1391 kW	0%	SZT	80 kW	0%
TRJ	70891 kW	0%	TBO	0 kW	0%	TBI	152 kW	0%
TRK	0 kW	0%	TRW	775 kW	0%	TNL	10000 kW	0%
WEA	0 kW	0%	WEK	886 kW	0%	WTR	313 kW	0%
WES	1674 kW	0%	WTH	913 kW	0%	WIS	8161 kW	0%

22.10.2012 13:30
 Netzabhaltung WP-FK KW 43 LW-Gesetz
 Netzabhaltung WP-FK KW 45 am 22.10.2012 von 13:30 Uhr bis ca. 13:45 Uhr wegen Übergabe der Talsperren-Charakteristiken der Anlage 8 (13551894)

30.10.2012 09:45
 Netzabhaltung WP-MAS KW 44
 Netzabhaltung WP-Maschinen LW-Einsparfen am 30.10.2012 von 09:45 Uhr bis 10:00 Uhr wird das LW mit Kurzarbeitsverfahren eingestellt wird.

Two smaller monitors at the bottom of the workstation. The left monitor shows a data table with columns for station names and values, with red 'X' marks in some rows. The right monitor shows a software interface with a tree view on the left and a detailed data table on the right, possibly for energy management or reporting.



Ziel der Systemanalyse ist das Entwickeln von Methoden und Werkzeugen, die das Erstellen zukunftssicherer Prognosen für die künftige Ausgestaltung des Energiesystems ermöglichen. Dabei werden ökologische, ökonomische, technische, gesellschaftliche und rechtliche Folgen der Einführung und des Betriebs neuer Technologien analysiert und Techniken mit Blick auf die Gesamtwirtschaft bewertet. So entsteht wissenschaftlich fundiertes Orientierungswissen für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft.

Für eine erfolgreiche Markteinführung und den optimierten Betrieb moderner Energietechnologien gilt es, verschiedenste Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, potenzielle Entwicklungen im Energiesystem zu identifizieren, durchzuspielen und zu bewerten. Die Systemanalyse leistet hier einen wichtigen Beitrag. Dabei kann es darum gehen, einen bereits angelegten Trend in die Zukunft fortzuschreiben oder auch darum, mit welchen technologischen Optionen vorgegebene energiepolitische Ziele am effizientesten erreicht werden könnten. In langfristig angelegten Analysen wird methodisch fundiert ermittelt, was die günstigsten Optionen sind, sowohl im Vorfeld der Einführung neuer Technologien als auch im Rahmen eines Monitorings während der Umsetzungsphase. Mithilfe von Modellen werden einzelne Prozesse, ganze Sektoren oder das gesamte Energiesystem in verschiedenen zeitlichen und räumlichen



Immer mehr dezentrale Erzeuger speisen fluktuierend in das Energiesystem ein: Die Energiesystemanalyse untersucht beispielsweise, wie das Netz diese Herausforderung bewältigen kann.

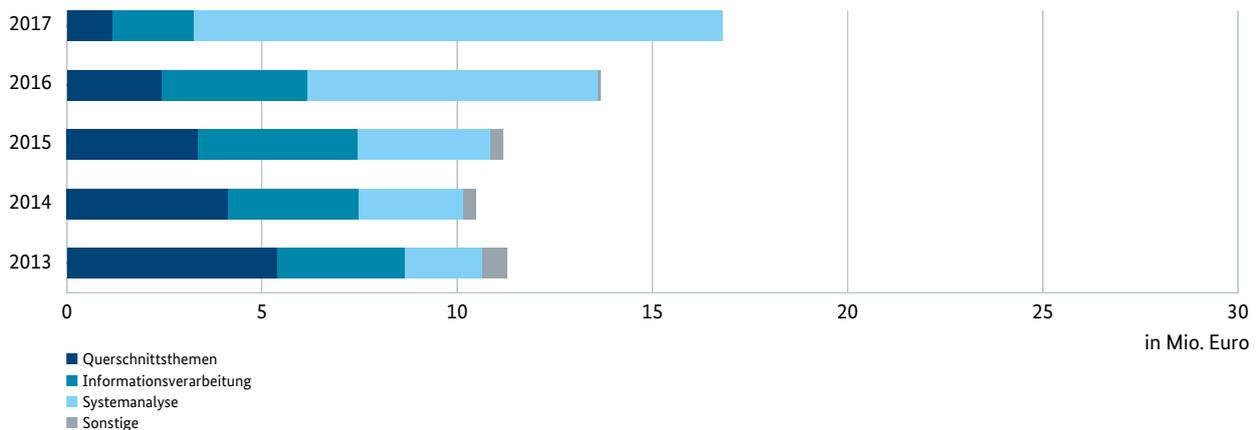
Auflösungen abgebildet – immer mit Blick auf die Wechselwirkung zwischen den einzelnen Bausteinen, auf Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit. So wird ein besseres Verständnis für das Gesamtsystem erreicht und dafür, was realistische, kostengünstige Optionen sind. Zugleich können Fehlentwicklungen rechtzeitig erkannt und entsprechende Lösungsansätze entwickelt werden.

Forschen, entwickeln und fördern

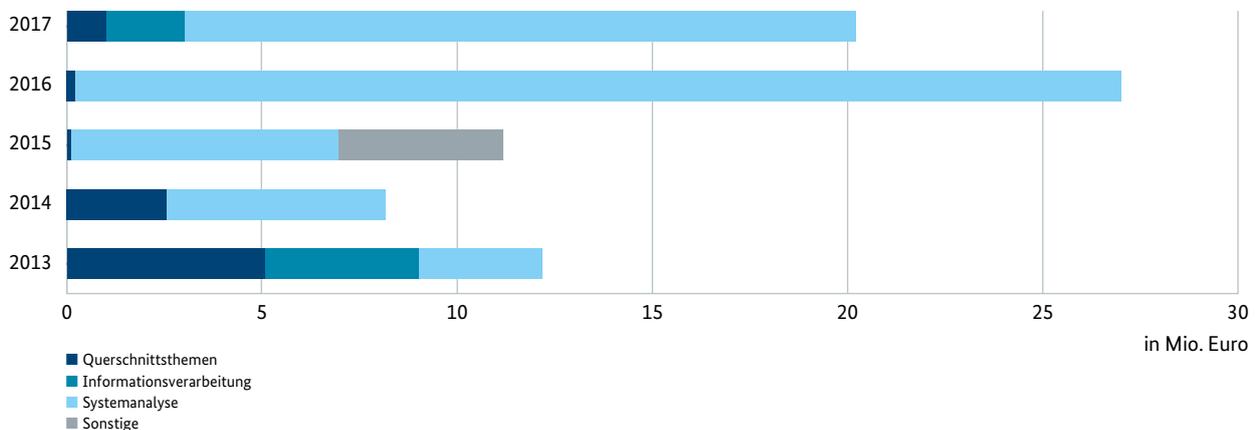
Um insgesamt möglichst realistische und zukunftssichere Aussagen treffen zu können, bezieht die Systemanalyse andere Forschungsdisziplinen ein, entwickelt und nutzt verschiedenste Modelle mit unterschiedlichen Ansätzen und Parametern. Vor diesem Hintergrund fördert das BMWi im Förderschwerpunkt Systemanalyse des 6. Energieforschungsprogramms Vorhaben von großer Bandbreite – mit ingenieurwissenschaftlicher, ökonomischer, sozialwissenschaftlicher, mathematischer und informationstechnischer Ausrichtung. Im Projekt **MathEnergy** beispielsweise nutzen die Forschenden erfolgreiche Methoden aus der angewandten Mathematik, um die Modellierung dezentraler Stromversorgungssysteme noch besser handhabbar zu machen (siehe auch „Highlight: Software“, Seite 129). Auf die weitere Optimierung von Modellen ist auch das Vorhaben **RegMex** ausgerichtet. Hier steht die Vergleichbarkeit und Transparenz unterschiedlicher Ansätze im Mittelpunkt. Ziel ist es, durch ein Abgleichen verschiedener Modelle die Genauigkeit der Ergebnisse weiter zu erhöhen (siehe auch „Vollständig regenerative Energieversorgung simulieren“, Seite 128).

Um den Menschen als wichtige Stellgröße dreht sich das Vorhaben **Sozio-E2S** (siehe auch „Einfluss soziokultureller Faktoren auf die Energiewende“, Seite 127). Unter anderem sollen im Rahmen des Projekts Verfahren für das statistische Hinterlegen individueller Entscheidungen entwickelt werden. Nicht zuletzt müssen Modelle und Simulationen auch dem Rechnung tragen, dass die europäischen Nachbarn vernetzt agieren, mit Strom handeln und ihn über nationale Grenzen hinweg austauschen. Ein weiterer Aspekt der Forschungsförderung ist daher der Blick auf das europäische Energiesystem. Hier setzt das Verbundvorhaben **Energiewende Deutschland EU** an. In verschiedenen Szenarien werden mögliche Wechselwirkungen zwischen Deutschland und den europäischen Nachbarländern bis zum Jahr 2050 untersucht (siehe auch „Modellierung im europäischen Kontext“, Seite 127). Ein wichtiges Thema in der Systemanalyse sind sogenannte **Open-Source-Systeme**. Sie arbeiten quellcodeoffen, das heißt: Prinzipiell darf sie

Systemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende: Verteilung der Fördermittel zwischen 2013 und 2017



Systemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2013



jeder verwenden. Das bringt eine große Entwickler- und Nutzer-Community mit sich, die ein enormes Potenzial bietet, sowohl für die Nachvollziehbarkeit von Ergebnissen und das Verbessern von Einzelsystemen als auch für das Schaffen von Standards und von Schnittstellen zwischen verschiedenen Lösungen. Dabei ist auch für quelloffene Systeme eine Lizenz zwingend notwendig: Es gilt zu klären, unter welchen Bedingungen diese Systeme verwendet werden dürfen.

Auch der Bereich der Sektorkopplung ist von größter Bedeutung und wird vom BMWi entschieden vorangetrieben. Denn eine intelligente Kopplung der drei Sektoren Wärme beziehungsweise Kälte, Verkehr und Industrie mit dem Stromsektor ist zentral für die Dekarbonisierung von Anwendungen, in denen erneuerbare Energien nicht direkt zum Einsatz kommen können. Die sektorübergreifende Betrachtung spielt somit auch in der Systemanalyse eine immer größere Rolle. In Modellen und Simulationen wird beispielsweise schon heute erforscht, wie Gasnetze in einem Energiesystem, in dem die fluktuierenden Erneuerbaren einen relativ hohen Anteil erreicht haben werden, in großem Stil als saisonale Speicher von Überschussstrom funktionieren könnten.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Energiesystemanalyse hat das BMWi 2017 insgesamt 41 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 20,2 Millionen Euro bewilligt (2016: 67 neue Projekte für rund 27 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 16,8 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2016: rund 13,7 Millionen Euro).

Energieszenarien entwickeln und durchspielen – mit langfristig angelegten Analysen und einer ganzheitlichen Betrachtung des Energiesystems.

Im Fokus: Sektorkopplung

Komplexe Energiesysteme durch Modellierung planbar machen

Bis zum Jahr 2050 soll der erneuerbare Anteil an der Stromerzeugung auf über 80 Prozent ansteigen und sich im Energiesystem insgesamt auf 60 Prozent des Endenergiebedarfs erhöhen. Damit dies auf allen Ebenen reibungslos gelingt, ist ein system- und energieträger-übergreifendes Zusammenwirken durch das Koppeln der Stromversorgung mit dem Wärme-/Kälte-, Verkehrs-, Industrie- und Gassektor notwendig. Zudem muss die Flexibilisierung von Angebot und Nachfrage vorangetrieben werden. Für die erfolgreiche Umsetzung in der Praxis gibt es nicht nur einen einzigen richtigen Weg, sondern es ist aus der Kombination unterschiedlicher Energie- und Effizienztechnologien sowie politischer, wirtschaftlicher und sozialer Parameter eine Vielzahl an Szenarien denkbar. Der Systemanalyse und -modellierung kommt somit eine besondere Rolle bei der Energiewende zu, denn je komplexer die Systeme und je vielschichtiger die beteiligten Elemente miteinander in Austausch treten, desto wichtiger sind Methoden, die ein detailliertes Verständnis der Systemzusammenhänge ermöglichen und so politische und unternehmerische Entscheidungsfindungsprozesse unterstützen. Gerade das Verknüpfen der verschiedenen Sektoren stellt die Energiewirtschaft vor Herausforderungen.

„Die Kopplung der Sektoren Strom und Wärme beispielsweise kann mithilfe von Power-to-Heat- und KWK-Anlagen sowohl Beiträge zur Flexibilisierung des Stromsektors als auch zur Dekarbonisierung des Wärmesektors leisten. Damit das eine nicht zu Lasten des anderen geschieht, müssen die Rahmenbedingungen sorgfältig austariert sein. Die innerhalb der Energiesystemanalyse entwickelten Simulations-Tools können hier wertvolle Beiträge leisten, um Fehlentwicklungen zu vermeiden“, erläutert Max Fette vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und Leiter des Projekts **MuSeKo** (Förderkennzeichen 03ET4038A -C). Das Forscherteam will innerhalb des Vorhabens bestehende Energiesystemmodelle so erweitern, dass sie die Kopplung der Sektoren Strom, Gas und Wärme abbilden können. Denn um Flexibilität und die Sektorkopplung darzustellen und Abhängigkeiten untersuchen zu können, müssen die heutigen Energiesystemmodelle methodisch weiterentwickelt werden. Hinzu kommt der Bedarf nach techno-ökonomisch, zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Modellierungen, um das künftige System möglichst realitätsnah abbilden zu können. Auf diese Weise sollen geeignete Energie- und Effizienztechnologien und ihr idealer Mix für eine erfolgreiche Energiewende identifiziert werden.

Erneuerbare Energien müssen die notwendigen Kapazitäten für den Strommarkt bereitstellen und durch den Einsatz von Sektorkopplungstechnologien wie Power-to-X den Wärme-, Verkehrs- und Industriesektor in den Bereichen mitbedienen, in denen direktelektrische Lösungen nicht möglich oder nicht sinnvoll sind. Die traditionelle Kraft-Wärme-Kopplung liefert hierfür die Blaupause durch das gleichzeitige Erwirtschaften von Strom- und Wärmekapazitäten. „Eine verlässliche Abschätzung der volkswirtschaftlichen und ökologischen Folgen der Erweiterung des Prinzips der Kraft-Wärme-Kopplung und der zusätzlichen Kopplung des Verkehrssektors bedingt eine eingehende Analyse künftiger Energiesysteme. Unterschiedliche Ausbauszenarien, Marktbedingungen und Förderrahmen beeinflussen nicht nur die volkswirtschaftlichen Kosten und die Versorgungssicherheit, sondern auch die Umweltfolgen und Treibhausgasemission. Eine eingehende Systemanalyse ist also unabdingbar, um die Folgen steuernder Maßnahmen hinreichend zu bewerten. Die Szenarien sind per Definition keine Vorhersage für die Zukunft, sind aber unabdingbar, um mögliche Chancen und Risiken unterschiedlicher politischer Vorgaben und Marktentwicklungen aufzuzeigen und abzuschätzen“, erklärt Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl von der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und Projektleiter des Verbundvorhabens **SustainableGas** (Förderkennzeichen 03ET4033A+B). Das Projekt befasst sich mit der Analyse und Simulation von verschiedenen Prozessketten auf dem Weg zu nicht-fossilem Gas, das mithilfe erneuerbarer Energien erzeugt wurde. In dem Vorhaben arbeiten auch Kommunikationswissenschaftler und Geographen an den Modellen mit, um die Realisierungswahrscheinlichkeit neuer Technologien in unterschiedlichen Ausbauszenarien wirklichkeitsnah bewerten und berücksichtigen zu können.

Fazit: Im Energiesystem der Zukunft steckt großes Potenzial für den effizienten Einsatz erneuerbarer Energie durch das Koppeln aller Sektoren. Um dieses Potenzial zu realisieren, ist jedoch eine detaillierte Bewertung der Optionen auf Basis systemanalytischer Prognosen und Modelle notwendig.

Das BMWi unterstützt die Entwicklung der hierfür notwendigen Werkzeuge gezielt innerhalb der Projektförderung zur angewandten Energieforschung.

Projekte

Modellierung im europäischen Kontext

In welcher Form europäische Zusammenhänge in systemanalytische Arbeiten einfließen sollen, ist stets eine zentrale Frage bei der Modellierung des deutschen Stromsystems. Der Ausbau der Nutzung der erneuerbaren Energien und der damit einhergehende Flexibilitätsbedarf sorgen dafür, dass staatenübergreifende Betrachtungen an Bedeutung gewinnen.

Mit dem Effekt europäischer Wechselwirkungen auf die Energiewende in Deutschland setzt sich das Verbundteam von **Energiewende_D_EU** auseinander. Das Projekt wird durch das Öko-Institut, Institut für angewandte Ökologie in Freiburg, als Koordinator und die Jacobs University Bremen durchgeführt. Ziel der Partner ist es, die Entwicklung des deutschen Stromsektors als Teil des europäischen Systems qualitativ und quantitativ zu analysieren. Hierbei untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler insbesondere mögliche Austauschreaktionen zwischen Deutschland und seinen europäischen Nachbarländern bis in das Jahr 2050 in verschiedenen Szenarien. Im Fokus stehen dabei die durch die verschiedenen möglichen Entwicklungspfade verursachten Effekte und ihre Wirkung auf die Integration erneuerbarer Energien, den Kraftwerkseinsatz und CO₂-Emissionen. Für die Simulationen setzt das Forscherteam das quantitative Strommarktmodell PowerFlex-Grid-EU des Öko-Instituts ein und bewertet dieses durch ein Kennzahlenset.

Die Analyse fußt auf unterschiedlichen Dimensionen des europäischen Kontexts. Dazu zählen der Stromaustausch

auf dem Kontinent, die Frage nach den europaweit optimalen Standorten für den Ausbau der erneuerbaren Energien oder die Frage nach den politischen Korrelationen innerhalb Europas. Letztere entstehen durch die verschiedenen Interessen und Strategien der einzelnen Staaten und sind von der individuellen Sicht dieser Länder auf die Entwicklung des Stromsektors geprägt.

Das BMWi fördert **Energiewende_D_EU** mit rund 440.000 Euro (Förderkennzeichen 03ET4031A+B).

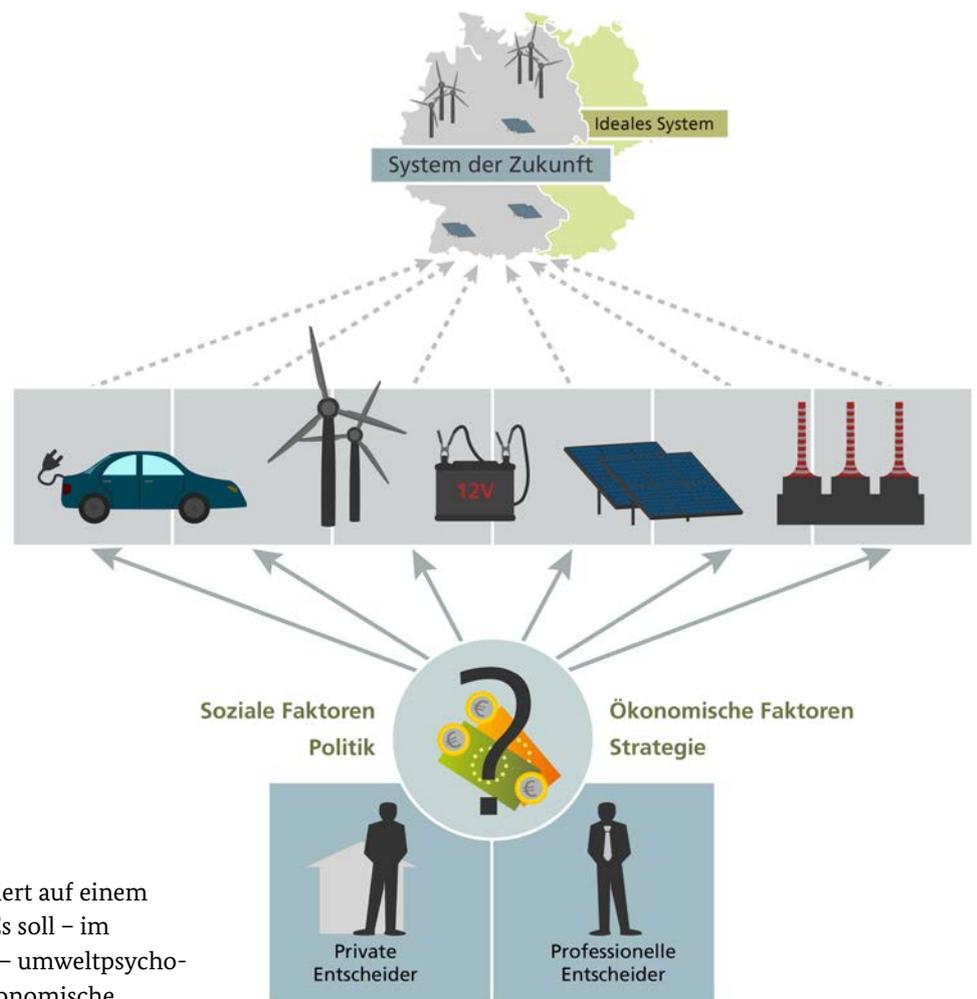
Einfluss soziokultureller Faktoren auf die Energiewende

Der Faktor Mensch ist eine nicht zu unterschätzende Größe für den Erfolg der Energiewende. Durch individuelles und gesamtgesellschaftliches Verhalten tragen Bürgerinnen und Bürger dazu bei, ob Energieeffizienzmaßnahmen in der Praxis zu Einsparungen führen oder ob neue Energietechnologien im Markt bestehen. Bislang spielen soziokulturelle Aspekte in der Systemanalyse im Vergleich zu technischen oder ökonomischen Aspekten allerdings noch eine untergeordnete Rolle.

Das Projekt **Sozio-E2S** will dies mit der Entwicklung eines Open-Source-basierten und offen zugänglichen Energiesystemtools ändern. Die Projektkoordination hat das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE aus Freiburg inne. Als zweiter Partner ist die Universität Stuttgart an dem Vorhaben beteiligt. Das geplante Modell soll Investitionsentscheidungen in systemrelevante Energieum-



Im Energiesystem der Zukunft steckt ein großes Potenzial für den effizienten Einsatz erneuerbarer Energien durch das Koppeln aller Sektoren: Die Energiesystemanalyse hilft, dieses Potenzial zu realisieren.



Das Sozio-E2S-Forscherteam ergänzt ein technisch-ökonomisches Energiesystemmodell um sozialwissenschaftliche Faktoren.

wandlungstechnologien abbilden und basiert auf einem simulationstheoretischen Akteursansatz. Es soll – im Unterschied zu „klassischen“ Werkzeugen – umweltsycho-logische, soziologische, technische und ökonomische Aspekte gleichermaßen integrieren.

Sein Ziel will das Projektteam erreichen, indem es ein technisch-ökonomisches Energiesystemmodell für Investitionsentscheidungen durch eine eigene Methodik zur Erfassung und Integration sozialwissenschaftlicher Faktoren erweitert. Damit wollen die beteiligten Verbundpartner den Einfluss soziokultureller Gesichtspunkte auf die Transformation des Energiesystems und auf den Ausbau dezentraler Erzeugungsanlagen untersuchen und sichtbar machen. Mit dem Abschluss des Projekts streben die beiden Partner eine Open-Source-Lizenzierung an und wollen das Modell und dessen Anwendung anderen Nutzergruppen zur freien Verfügung stellen.

Das BMWi fördert Sozio-E2S mit rund 960.000 Euro (Förderkennzeichen 03ET4041A+B).

Vollständig regenerative Energieversorgung simulieren

Aufgrund einer Vielzahl unterschiedlicher Modellierungsansätze, Annahmen und Ergebnisse sind die verschiedenen Darstellungen und Ergebnisse von Systemsimulationen und -modellen nur schwer miteinander vergleichbar. Im Vorhaben **RegMex** hat ein Wissenschaftsteam daher mit Modellexperimenten und -vergleichen Wege zu einer vollständig regenerativen Energieversorgung simuliert und die Breite an vorhandenem systemanalytischen Know-how systematisch verknüpft. Das Projekt hat das Wuppertal Institut für Klima,

Umwelt, Energie koordiniert. Darüber hinaus waren das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) beteiligt.

Innerhalb des Vorhabens hat das Forscherteam einen abgestimmten Szenarienrahmen für Energiesystemmodellierungen konzipiert und hierbei zahlreiche relevante Forschergruppen mit einbezogen. Dieser Rahmen hat eine transparente und vergleichbare Darstellung der verwendeten Energiesystemmodelle, die genutzten Rahmenannahmen sowie die entwickelten Szenarien und ihre Eckdaten umfasst. Für alle diese Aspekte wurden in Abstimmung mit anderen Forschungsvorhaben Datentabellen und Dokumentationen entwickelt, die eine bessere Vergleichbarkeit innerhalb des Projekts, aber auch außerhalb ermöglichen haben. In einem zweiten Schritt hat das Konsortium unter Beteiligung weiterer Modelliergruppen modellgestützte Experimente durchgeführt und in einer gemeinsamen Synthese robuste Aussagen zur Transformation des Energiesystems sowie zur Robustheit der Szenarien in Bezug auf ausgewählte disruptive Entwicklungen abgeleitet. Der Fokus hat auf einer kosteneffizienten Implementierung neuer Technologien in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr gelegen sowie auf einer optimalen Infrastrukturentwicklung im Stromversorgungssystem einschließlich der Interaktionen zum Wärme- und Verkehrssektor.

Das BMWi hat RegMex mit rund 420.000 Euro unterstützt (Förderkennzeichen 0325874A-C).

Highlight: Software

Neue mathematische Methoden für Energienetze im Wandel



Im Vorhaben MathEnergy entwickeln Wissenschaftler mathematische Methoden und Software für sich wandelnde konvergierende Gas- und Stromnetze.

Um die Energieversorgung klimafreundlich und flexibel zu gestalten, ist der Blick auf das Gesamtsystem aus Strom-, Gas- und Wärmenetzen nötig. Das erfordert leistungsstarke Informations- und Kommunikationstechnik. Zudem müssen für eine stabile Netzauslastung und einen effizienten Netzausbau Angebot und Bedarf abgeglichen und Flexibilitäten zwischen Energieträgern sowie durch Speicherung genutzt werden. Dies bedarf vertikaler Kommunikation zwischen den Netzebenen und horizontaler zwischen den Energieträgern. Hierfür sind leistungsstarke Hard- und Software notwendig. Gleichwohl sich diese in den vergangenen Jahren deutlich weiterentwickelt haben, sind sie für den Bedarf der Energiewirtschaft für übergeordnete Monitoring- und Regelungsaufgaben sowie für den Daten- und Modellaustausch noch unzureichend.

Das Projekt **MathEnergy** setzt hier an und beschäftigt sich mit mathematischen Schlüsseltechniken für die sich wandelnden Energienetze. Koordiniert durch das Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI arbeiten sieben Projektpartner aus Forschung und Wirtschaft daran, netzübergreifende, zeitabhängige Modelle und modellbasierte Monitoring-, Regelungs- und Bewertungskonzepte für den Planungsbereich und Vorbereitungen für den Betrieb zu entwickeln. Der Verbund will eine Software-Bibliothek aufbauen für hierarchische, parametrische, nichtlineare, geschaltete und dynamische Netzmodelle mit stochastisch variierenden Einflussgrößen und Workflows zur integrierten Simulation und Analyse von netzübergreifenden Szenarien der Energieversorgung mit Strom und Gas. Im Fokus stehen

Modellreduktionstechniken und Abschätzungen von Unsicherheiten durch Auswahl realistischer Szenarien.

„Ziel von MathEnergy ist es, eine Software beziehungsweise Softwarebibliothek zu erstellen, die es prinzipiell ermöglicht, das komplette gekoppelte Gas- und Stromnetz Deutschlands in allen Ebenen abzubilden“, erklärt Dr. Tanja Clees, Projektkoordinatorin von MathEnergy beim Fraunhofer SCAI. „In Zukunft soll mit dieser Software die Steuerung des Gesamtnetzes signifikant verbessert werden können. Die Software soll in der Lage sein, langfristige Entscheidungen zu unterstützen, um Versorgung und Rohstoffzufuhr zu sichern, Netzstabilität zu gewährleisten oder den Netzausbau lokal voranzutreiben. Es gilt, mit schnellen Simulationen für unterschiedliche Szenarien im täglichen operativen Geschäft unverzügliche und sachlich richtige Entscheidungen treffen zu können.“

Dafür müssten mathematische Methoden entwickelt werden, um Gas- und Stromflüsse in großen, komplexen Netzwerken zu berechnen und schließlich simulieren zu können, führt Clees weiter aus. Die Herausforderung besteht aus ihrer Sicht darin, umfassende, hierarchisch aufgebaute Systeme und starke Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Netzen zu erfassen und abzubilden. Aus einem komplexen Modell muss schließlich ein einfacheres, per Algorithmus schnell berechenbares erzeugt werden können.

Das BMWi fördert MathEnergy mit rund 6 Millionen Euro (Förderkennzeichen 0324019A-G).



Internationale Zusammenarbeit

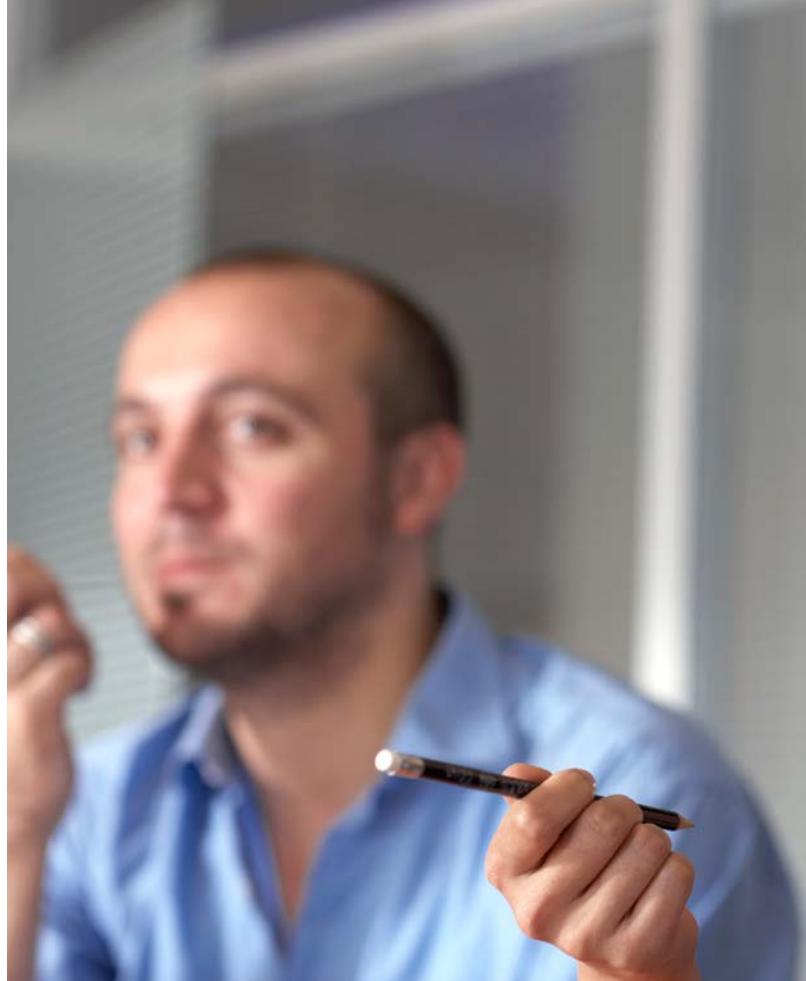
Die Energiewende ist eine internationale Herausforderung. Deutschland ist daher in vielen Programmen der global agierenden IEA engagiert – und treibt im Rahmen der EU-Förderung abgestimmte, gemeinsame Strategien der Mitgliedstaaten mit vor.

Der Wandel hin zu einer treibhausgasneutralen Welt ist eine Mammutaufgabe und bedeutet einen tiefgreifenden Umbau der Energieversorgungssysteme. Um die Energiewende erfolgreich zu meistern, müssen die Akteure aus Forschung, Entwicklung und Industrie auch international an einem Strang ziehen: auf bi- und multinationaler Ebene, in der Europäischen Union und weltweit. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert seit Jahren entsprechende Forschungsverbünde und -projekte.

Europäische Zusammenarbeit

Integration ist ein zentrales Stichwort für den Umbau der Energieversorgung im Hinblick auf die Technologien, die zahlreichen Protagonisten und Ebenen, die zusammengebracht werden müssen. Integration ist zudem auch entscheidend, wenn es um die Form der Zusammenarbeit geht: Wenn auf EU-Ebene und zugleich in einzelnen Ländern erhebliche Mittel in die Energiewende investiert werden, ist es sinnvoll, dies in abgestimmter Weise zu tun. Das streben EU-Kommission und Mitgliedstaaten immer stärker an. So wird durch übergreifende Strategien der Umbau der europäischen Energielandschaft weiter vorangetrieben. Zahlreiche politische Papiere, Initiativen und Förderprogramme belegen dieses gemeinsame Engagement für eine sichere, klimafreundliche, kosten- und ressourceneffiziente Energieversorgung in Europa.

Bi- und multinationale Initiativen ermöglichen das Erkennen und Nutzen von Synergien für die Umgestaltung der europäischen und globalen Energielandschaft.



Mit den ERA-Net-Cofunds etwa setzt die EU bereits seit einigen Jahren Anreize für gemeinsame Förderanstrengungen auf nationaler und europäischer Ebene: Eine Mindestanzahl von Akteuren aus Forschung und Industrie aus mehreren EU-Staaten entwickelt dazu eine übergreifende Projektidee (siehe auch „Im Fokus: Internationale Aktivitäten“, Seite 41). Jeder Teilnehmer beantragt Förderung im eigenen Land – und bei erfolgreichen Antragstellungen steuert die EU weitere Mittel für das Konsortium bei. Mit sieben ERA-Net-Cofunds im Bereich der Energieforschung werden internationaler Austausch und Synergieeffekte gestärkt, zum Beispiel für die Nutzung von Bio-, Wind- und Solarenergie oder im Bereich von Stromnetzen.

Die Möglichkeiten der europäischen Forschungsförderung sind vielfältig. Unterstützung finden Antragsteller bei den Nationalen Kontaktstellen (NKS). „Zusammen mit Forschenden aus Wissenschaft und Industrie klären wir, ob ihre Projektidee aussichtsreich ist. Wie ein Kompass leisten wir Orientierungshilfe in den komplexen Themenfeldern und Regularien“, sagt Degenhard Peisker, Leiter der NKS Energie beim Projektträger Jülich.

Die Basis für die Energieforschungsförderung in der EU ist das derzeitige Forschungsrahmenprogramm **Horizont 2020**, mit rund 80 Milliarden Euro das bislang größte Forschungs- und Innovationsprogramm der EU. Die nicht-nukleare Energieforschung erhält davon rund 5,9 Milliarden Euro über eine Gesamtlaufzeit von 2014 bis 2020.



Mit den ERA-NET-Cofunds setzt die Europäische Union Anreize für gemeinsame Förderanstrengungen auf nationaler und europäischer Ebene, an denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus mehreren EU-Staaten zusammenarbeiten.

mationen für energieeffizientes Verhalten verfügen und beispielsweise Strom aus erneuerbaren Energien nutzen.

Internationale Energieagentur (IEA)

Regierungen, Forschungsinstitute, Universitäten und Industrieunternehmen arbeiten eng in der Energieforschung zusammen – auf europäischer und auch auf globaler Ebene. Plattform für diese weltweite Kooperation ist die Internationale Energieagentur (IEA). Gegründet 1974, haben sich unter dem Dach der IEA inzwischen 29 Mitgliedstaaten zusammengeschlossen.

Als selbstständige Einrichtung innerhalb der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) berät die IEA die Regierungen ihrer Mitgliedsländer in Energiefragen und trägt so zu einer sicheren, wirtschaftlichen, nachhaltigen, umwelt- und klimaverträglichen Energieversorgung bei. Praktisch verfolgt werden diese Ziele in verschiedenen Arbeitsgruppen (Working Parties) und Technologiekooperationsprogrammen (TCP), die das gesamte energietechnologische Spektrum abbilden.

Deutschland ist an allen vier Working Parties und an 22 der insgesamt 38 aktuell laufenden TCPs beteiligt. Im TCP Wind beispielsweise geht es darum, mit welchen kommunikativen und partizipativen Instrumenten sich die Akzeptanz von Onshore- und Offshore-Windenergieparks erhöhen lässt. Die Vorbehalte dagegen sind in vielen EU-Staaten dieselben. In das länderübergreifende Fachkonsortium bringen auch die beiden deutschen Partner IZES (Institut für Zukunftsenergie- und Stoffstromsysteme) und MSH (Medical School Hamburg) ihre Expertise ein (siehe auch „Globale Frage: Soziale Akzeptanz von Windenergieanlagen“, Seite 134).

Durch die internationale Zusammenarbeit innerhalb der IEA entstehen neue Synergien und Impulse für die Energiewende und gemeinsame Lösungsansätze für weltweite Herausforderungen. Alle entsprechenden Aktivitäten zu Forschung und Entwicklung von Energietechnologien begleitet und koordiniert das „Committee on Energy Research and Technology“ der IEA. Das BMWi vertritt in diesem Gremium die Bundesregierung.

Die politisch-strategische Ausrichtung aller Energiethemen in der EU folgt dem **Strategischen Energie-Technologie-Plan**. Geförderte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben orientieren sich an diesem sogenannten SET-Plan. Ein übergeordnetes Ziel ist es, Technologien auf Basis erneuerbarer Energieträger in naher Zukunft wettbewerbsfähig zu machen und eine kohlenstoffarme Energieversorgung zu erreichen. Auch das BMWi fördert zahlreiche Projekte mit Blick auf diese Zielsetzungen. Dazu gehört die 2017 ins Leben gerufene zweite Deutsch-Finnische Förderinitiative. Das binationale Vorhaben umfasst die Bereiche Energieeinsparung und Energieeffizienz sowie erneuerbare Energien. Ein weiteres Beispiel ist das Verbundvorhaben **NSON**: Hier geht es um eine ganzheitliche Simulation sowie eine umfassende techno-ökonomische Analyse und Bewertung unterschiedlicher Markt- und Netzanbindungsvarianten eines transnationalen „North Sea Offshore and Storage Network“ (NSON) (siehe auch „Offshore-Stromnetze in der Nordsee“, Seite 135).

Unter dem Dach von Horizont 2020 veröffentlicht die EU-Kommission alle zwei Jahre Arbeitsprogramme mit Details zu aktuellen Förderbereichen. Für die Förderperiode 2016/2017 lagen die Prioritäten in den Bereichen Energieeffizienz, erneuerbare Energie und kohlenstoffarme Technologien. Für 2018–2020 zeichnen sich weitere Prioritäten zur Beschleunigung des Innovationsprozesses ab. Dabei geht es auch um eine stärkere Einbindung der Verbraucherinnen und Verbraucher. Sie sollen über umfassende Infor-

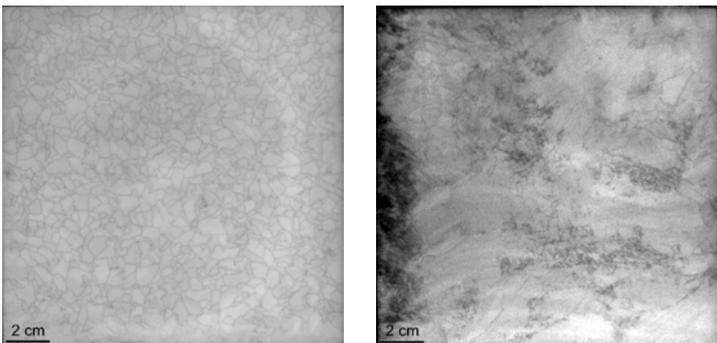
Projekte

Europäische Initiative für höhere Wirkungsgrade bei Solarzellen

Rund 60 Prozent der aktuell im Markt verkauften Solarzellen werden aus Wafern aus multikristallinen Siliziumblöcken (mc-Si) hergestellt. Dabei gewinnen die „High Performance Multicrystalline Silicon“-Materialien (HP mc-Si) zunehmend an Bedeutung: Experten gehen davon aus, dass diese Materialklasse in den nächsten Jahren das konventionelle, multikristalline Silizium aus dem Markt verdrängen und den Wirkungsgrad der Solarzellen weiter erhöhen wird. Während auf konventionellem Silizium Wirkungsgrade von 19 bis 20 Prozent erreicht werden, konnten mit dem Einsatz von HP-mc-Si-Material bereits Solarzellen in Standardgröße mit Wirkungsgraden von 21,3 Prozent und auf kleineren Versuchsflächen von 21,9 Prozent realisiert werden.

Im SOLAR-ERA.NET-Vorhaben **HighCast – High Performance Silicon Casting and Wafering** forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE gemeinsam mit dem deutschen Industrieunternehmen PV Crystalox Solar Silicon sowie Partnern aus Schweden daran, wie die HP-mc-Si-Blöcke und -Wafer möglichst kostengünstig und optimal hergestellt werden, sodass sie weniger Kristallfehler aufweisen und damit einen höheren Wirkungsgrad erzielen. Hierfür werden verschiedene Herstellungsverfahren, unter anderem mit einer innovativen Tiegelbeschichtung auf Basis eines neu entwickelten Siliziumnitridpulvers, getestet und anschließend die Qualität des Siliziumblocks und der daraus produzierten Wafer und Solarzellen analysiert.

Neben dem Erstellen des Siliziumblocks fallen die meisten Produktionskosten beim Sägeprozess an. Daher forschen



Experten im SOLAR-ERA.NET-Vorhaben HighCast zeigen: In einem HP-mc-Si-Wafer (Bild links) haben die Körner nur sehr wenige Kristalldefekte, was einen höheren Wirkungsgrad gegenüber einem herkömmlichen mc-Si-Wafer mit vielen Defektstrukturen (Bild rechts) ermöglicht.



Die Akzeptanz von Windenergieanlagen ist ein gesellschaftspolitisches Thema, das auch international diskutiert wird.

die Experten innerhalb von HighCast auch an einem neuen Draht mit hocheffizienten Strukturen, der den Sägeprozess in der Waferproduktion weiter optimiert. Dieser soll dazu beitragen, die Sägeeffizienz zu steigern, dünnere Wafer herzustellen und auf diesem Weg die Waferkosten um bis zu 25 Prozent zu senken.

Das BMWi unterstützt die deutschen Partner im SOLAR-ERA.NET-Vorhaben HighCast mit rund 560.000 Euro (Förderkennzeichen 0325894A-B).

Globale Frage: Soziale Akzeptanz von Windenergieanlagen

Schattenwurf, Schallemissionen oder Auswirkungen auf die Natur: Windenergieanlagen werden häufig bereits in der Planungsphase von der Bevölkerung kritisch begleitet. Die Vorbehalte sowohl gegen Onshore- als auch gegen Offshore-Windenergieparks sind in vielen Ländern dieselben. Mit welchen kommunikativen und partizipativen Instrumenten lässt sich die Akzeptanz erhöhen? Welche Forschungsprojekte gibt es in welchen Ländern? Diesen und weiteren Fragestellungen geht die international besetzte Arbeitsgruppe des **IEA Wind Technology Collaboration Programme im Rahmen von Task 28 „Social Acceptance of Wind Energy“** seit einigen Jahren nach. In dem länderübergreifenden Fachkonsortium bringen auch die beiden deutschen Partner IZES und MSH ihre Expertise ein. Zudem informieren sie das BMWi sowie verschiedene nationale Akteure über die Diskussionsprozesse und Entscheidungen innerhalb des Gremiums.

Ziel der Arbeitsgruppe ist es, das theoretische und praktische Wissen bezüglich der Akzeptanz der Windenergienutzung zu erhöhen und damit zu deren Verbreitung beizutragen. Die beteiligten Expertinnen und Experten beraten unter anderem über länderübergreifende gemeinsame Forschungsaktivitäten und darüber, wie wissenschaftliche Methoden oder Genehmigungsprozesse harmonisiert werden können. So wird bei den Genehmigungsprozessen reflektiert, inwieweit unterschiedliche Rahmenbedingungen bei der Planungs- und Genehmigungspraxis sowie verschiedene Förderbestimmungen einen Einfluss auf die Akzeptanz haben. Dieses Wissen wird als Basis genutzt, um die Verfahren länderübergreifend weiterzuentwickeln. Darüber hinaus ermöglicht die Arbeitsgruppe einen gezielten Austausch von Erfolgsbeispielen und wissenschaftlichen Ergebnissen zwischen Wissenschaftlern, Verwaltungsexperten, Politikern, Verbänden und Praktikern aus verschiedenen Ländern.

Das BMWi fördert IEA Wind TCP Task 28 „Social Acceptance of Wind Energy“ mit rund 58.000 Euro (Förderkennzeichen 0324223A-B).

Offshore-Netz in der Nordsee untersucht. Koordiniert durch das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE in Kassel hat der Verbund mehrere Markt- und Netzanbindungsvarianten für ein Offshore-Stromnetz analysiert und hinsichtlich der Auswirkungen auf das deutsche und das übergeordnete europäische Energieversorgungssystem bewertet. Hierzu hat das Forscherteam auf neuartige und weiterentwickelte mathematische Optimierungsmodelle und Verfahren sowie energiewirtschaftliche Simulationen gesetzt. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben verschiedene radiale und vermaschte Offshore-Netzkonzepte hinsichtlich ihrer Kosten-Nutzen-Allokation untersucht und dabei einen besonderen Fokus auf die zukünftige Flexibilität in Onshore-Marktgebieten gelegt. Die Szenario-Analysen berücksichtigen hierbei langfristige Zielszenarien mit der für ambitionierte Klimaschutzziele wichtigen Interaktion zwischen den Energiesektoren (Strom, Wärme, Industrie, Verkehr). Hinzu kamen Sensitivitätsanalysen hinsichtlich der zusätzlich benötigten Offshore-Speicherkapazitäten und eine Beurteilung der notwendigen Erweiterungen des Versorgungsnetzes auf dem Festland.



Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im internationalen Forschungsprojekt NSON untersuchen verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten für ein Offshore-Stromnetz in der Nordsee.

Offshore-Stromnetze in der Nordsee

Die Anrainerstaaten der Nordsee, darunter auch Deutschland, planen, gemeinsam ein Offshore-Stromnetz aufzubauen. Auf dem Weg dorthin gilt es jedoch noch einige technische Hürden zu überwinden und energiewirtschaftlich tragfähige Marktkonzepte zu entwickeln.

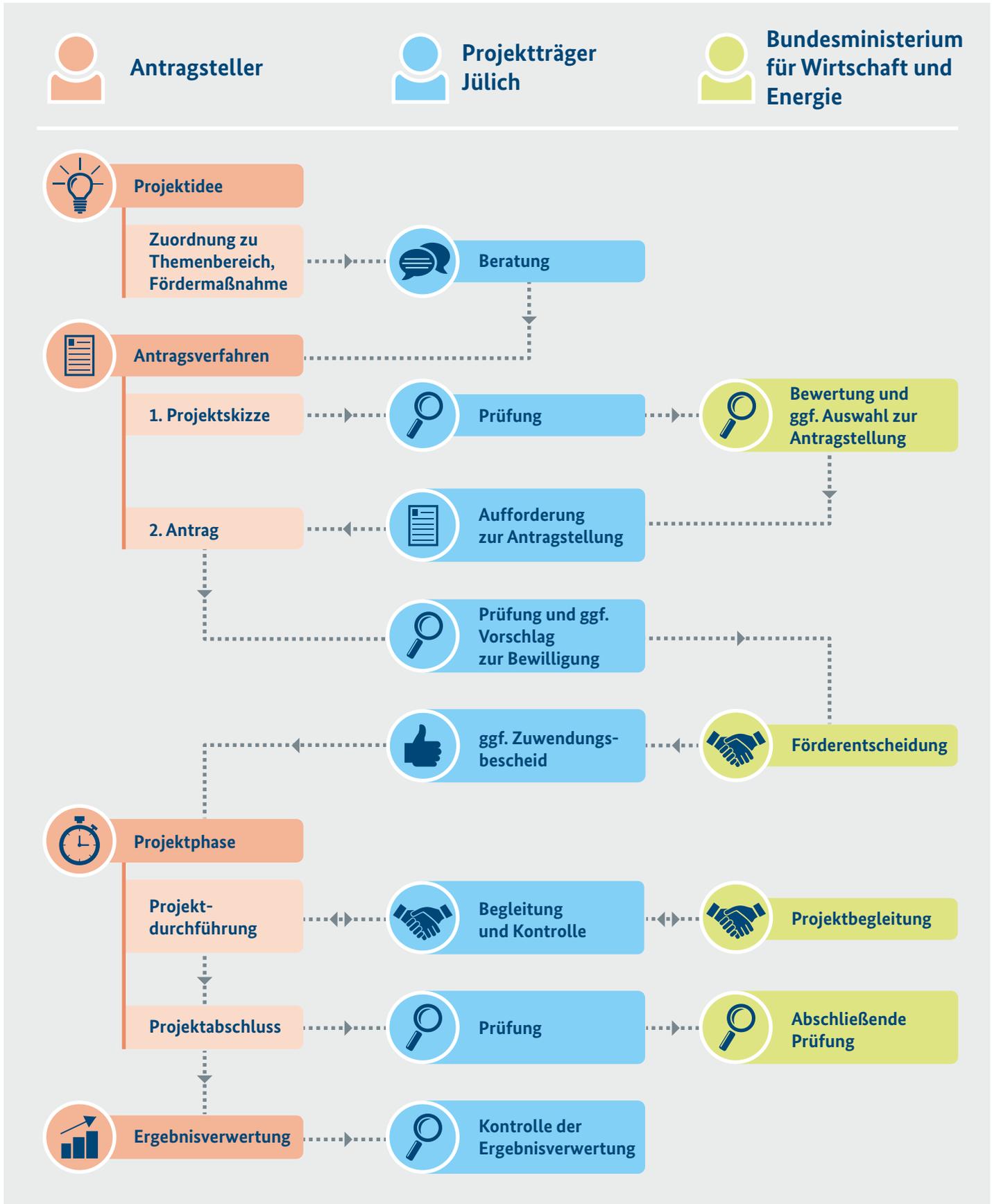
Das internationale Forschungsprojekt **NSON-North Sea Offshore and Storage Network** hat an dieser Stelle angesetzt und verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten für ein

Die deutschen Projektpartner haben innerhalb des SET-Plans (Strategic Energy Technology Plan) der Europäischen Union mit der internationalen NSON-Initiative kollaboriert. Daran haben Universitäten und Forschungseinrichtungen aus Großbritannien, Irland, Niederlande, Dänemark und Norwegen mitgewirkt. Auf deutscher Seite waren die Leibniz Universität Hannover und die Universität Kassel an dem Vorhaben beteiligt.

Das BMWi hat den deutschen Teil von NSON mit rund 2 Millionen Euro gefördert (Förderkennzeichen 0325734A-C).

Gewusst wie:

Projektförderung in der Energieforschung



Tipps zur erfolgreichen Antragstellung



Dr. Frank Heidrich leitet im BMWi die Unterabteilung „Wärme und Effizienz in Gebäuden, Forschung“.

Die gute Idee ist da, das Wissenschaftsteam steht und der Projektplan auch. Doch welche Voraussetzungen müssen konkret erfüllt sein, um vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Energieforschungsprogramm gefördert zu werden? Dies ist Unternehmen und Forschungseinrichtungen nicht immer bekannt, wenn sie zum ersten Mal eine Förderung beantragen möchten. Frank Heidrich gibt im Gespräch Antworten auf die häufigsten Fragen.

Welche Forschungsprojekte können im Energieforschungsprogramm des BMWi gefördert werden?

Das BMWi fördert Maßnahmen der angewandten Energieforschung. Gefördert werden können Forschungsprojekte, die sich mit Fragen der Energiebereitstellung und -umwandlung beschäftigen, mit Transport, der Verteilung und Speicherung von Energie bis hin zum effizienten Energieeinsatz in Gebäuden, Stadt sowie Industrie und Gewerbe. Förderskizzen – und gegebenenfalls in einem zweiten Schritt Förderanträge – können sowohl von deutschen Hochschulen als auch von außeruniversitären Forschungseinrichtungen und von Industrieunternehmen eingereicht werden, und zwar einzeln oder im Verbund.

Wo erhalte ich die erforderlichen Unterlagen?

Der Projektträger Jülich setzt die Forschungsförderung in unserem Auftrag um. Daher ist der Internetauftritt des Projektträgers* eine gute Adresse, um erste Informationen zu den Förderthemen zu erhalten oder Kontaktdaten von Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartnern zu finden, die bei Fragen kompetent und gern weiterhelfen. Außerdem finden sich auf den Webseiten der Link zum elektronischen Antragssystem easy-Online sowie ergänzende Informations-

unterlagen. Wir empfehlen vor dem Ausfüllen der Formulare immer erst ein Gespräch mit dem Projektträger zu führen, denn viele Fehler im Antrag lassen sich so von vornherein vermeiden.

Wie lange dauert es in der Regel, bis das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie seine Entscheidung bekannt gibt?

Das BMWi hat im vergangenen Jahr 3.655 laufende und 937 neue Forschungsprojekte im Bereich der nicht-nuklearen angewandten Energieforschung unterstützt. Jeder einzelne zugrunde liegende Antrag wird sorgfältig daraufhin geprüft, ob er die Voraussetzungen zur Forschungsförderung erfüllt. Zudem steht er inhaltlich in Konkurrenz zu den übrigen eingereichten Ideen – die erfolgreichen Anträge haben auch die Prüfung auf wissenschaftliche Exzellenz bestanden, die wir in der Projektauswahl durchführen müssen. Der Weg vom Antrag bis zur endgültigen Förderentscheidung dauert etwa ein halbes Jahr. Wir arbeiten in der Regel ohne feste Einreichungsfristen, auf diese Weise können wir Projekte dann in die Förderung bringen, wenn die Ideen bei den Antragstellern dazu reif sind.

* Der Projektträger Jülich ist im Netz unter www.ptj.de zu finden.

EnArgus-Datenbank informiert über Förderprojekte

Wer sich über laufende Förderprojekte aus der Energieforschung informieren möchte, kann dies schnell und unkompliziert im Internet über die Datenbank EnArgus tun. Unter www.enargus.de können im Suchfeld die Namen der gesuchten Förderprojekte oder die Förderkennzeichen eingegeben werden. Die Förderkennzeichen zu den im Bericht vorgestellten Projekten sind in den entsprechenden Beiträgen vermerkt. In der Datenbank EnArgus sind alle Energieforschungsprojekte seit 1974 nachgewiesen.

Statistischer Überblick

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. € in					Anzahl laufende Projekte in				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Windenergie	52,57	53,06	53,04	49,69	75,11	216	242	284	322	354
Photovoltaik	48,73	43,34	59,68	57,82	80,95	241	260	262	368	424
Solarthermische Kraftwerke	8,41	9,25	10,09	8,58	7,73	70	77	75	76	66
Geothermie	17,10	15,55	13,38	12,54	16,49	123	106	94	83	80
Wasserkraft	1,25	1,21	1,68	2,01	2,15	9	15	19	17	17
Biomassennutzung	5,91	5,03	4,69	3,66	4,18	141	146	101	100	117
Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien	27,82	26,74	26,22	27,16	32,82	214	233	277	312	326
Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien	21,54	22,82	19,74	15,41	21,91	111	105	119	126	136
Energiespeicher	30,52	31,04	34,13	31,17	32,05	186	206	232	263	304
Stromnetze und Netzintegration erneuerbarer Energien	30,46	33,62	44,93	56,91	61,45	207	285	450	527	527
Energieoptimierte Gebäude und Quartiere	52,28	55,19	51,15	49,73	58,84	398	412	486	531	616
Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und bei Dienstleistungen	36,38	32,94	34,05	33,38	44,59	258	274	339	378	433
Elektromobilität	12,07	10,40	12,61	12,90	14,05	40	44	57	79	92
Systemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende	11,30	10,47	11,18	13,67	16,79	87	89	99	147	140
Programmkooperation Industrielle Gemeinschaftsforschung	-	-	-	0,05	2,52	-	-	-	2	23
Gesamt	356,32	350,64	376,58	374,68	471,63	2.301	2.494	2.894	3.331	3.655

Förderthema	Neu bewilligte Projekte in Mio. € in					Anzahl neu bewilligter Projekte in				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Windenergie	36,75	38,51	85,39	86,24	95,97	56	63	103	93	86
Photovoltaik	33,99	66,91	78,64	116,57	89,31	35	90	97	166	103
Solarthermische Kraftwerke	8,65	7,44	3,76	8,90	5,62	14	22	16	13	21
Geothermie	19,21	12,65	17,33	19,55	8,00	25	15	21	22	17
Wasserkraft	0,71	2,02	2,33	3,51	1,21	2	6	5	4	2
Biomassenutzung	4,99	5,81	0,38	5,98	6,04	39	38	3	37	43
Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien	27,82	23,79	53,97	29,03	25,34	64	55	108	73	51
Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien	22,12	21,50	25,35	18,48	28,57	26	28	42	28	45
Energiespeicher	40,26	20,52	42,79	38,60	38,19	60	46	58	68	94
Stromnetze und Netzintegration erneuerbarer Energien	43,04	71,03	77,92	53,23	54,96	73	152	163	119	91
Energieoptimierte Gebäude und Quartiere	49,48	47,19	73,48	69,19	93,36	88	98	159	148	170
Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und bei Dienstleistungen	33,84	38,60	58,48	56,57	55,03	49	83	115	115	130
Elektromobilität	9,76	14,87	17,40	18,38	16,69	12	11	25	41	22
Systemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende	12,17	8,15	11,17	27,00	20,20	32	26	27	67	41
Programmkooperation Industrielle Gemeinschaftsforschung	-	-	-	0,80	8,71	-	-	-	2	21
Gesamt	342,78	378,99	548,38	552,03	547,18	575	733	942	996	937

Wichtige Links

www.bmwi.de

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

www.bmel.de

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

www.bmbf.de

Bundesministerium für Bildung und Forschung

www.energieforschung.de

Energieforschungsförderung des BMWi

www.bmwi.de/go/energieforschung

Energieforschung des BMWi

www.ptj.de/angewandte-energieforschung

Geschäftsbereiche zum Thema Energiesystem des Projektträgers Jülich

www.foerderinfo.bund.de

Förderberatung Forschung und Innovation des Bundes

www.foerderdatenbank.de

Datenbank des Bundes mit Informationen zu Förderprogrammen des Bundes, der Länder und der EU

www.forschungsnetzwerke-energie.de

Forschungsnetzwerke Energie des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/energiewendebauen

Forschungsnetzwerk ENERGIEWENDEBAUEN des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/industrie-und-gewerbe

Forschungsnetzwerk Energie in Industrie und Gewerbe des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/systemanalyse

Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/erneuerbare-energien

Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/stromnetze

Forschungsnetzwerk Stromnetze des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/flexible-energieumwandlung

Forschungsnetzwerk Flexible Energieumwandlung des BMWi

www.enargus.de

Zentrales Informationssystem EnArgus

www.nks-energie.de

Nationale Kontaktstelle Energie (NKS Energie)

www.horizont2020.de

Rahmenprogramm der EU für Forschung und Innovation

<http://forschung-energiespeicher.info/>

Forschungsinitiative Energiespeicher von BMWi und BMBF

<http://forschung-stromnetze.info/>

Forschungsinitiative Zukunftsfähige Stromnetze von BMWi und BMBF

www.energiewendebauen.de

Portal der Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN

www.eneff-industrie.info

Forschungsportal zu EnEff:Industrie des BMWi – Forschung für die energieeffiziente Industrie

www.kraftwerkforschung.info

Forschungsportal zu Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien des BMWi – Forschung für neue Kraftwerksgenerationen

<http://rave-static.iwes.fraunhofer.de/de/welcome/>

RAVE-Forschungsinitiative

www.dsttp.org

Deutsche Solarthermie-Technologieplattform

www.bine.info

BINE Informationsdienst zu Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien

<https://etipwind.eu/?ref=tpwind>

Europäische Technologie- und Innovationsplattform Windenergie

www.eupvplatform.org

Solar Electricity Industrial Initiative (SEII)

www.solar-era.net

SOLAR-ERA.NET im Rahmen der Solar Electricity Industrial Initiative

www.geothermica.eu

Europäische Cofund Action GEOTHERMICA

www.iea.org

Internationale Energieagentur (IEA)

<http://mission-innovation.net>

Mission Innovation

