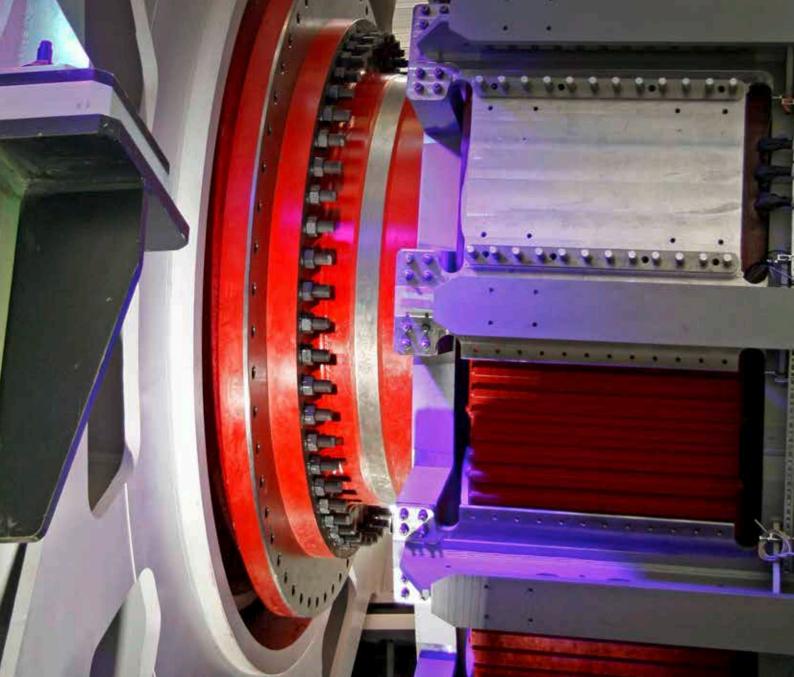






Innovation durch Forschung

Erneuerbare Energien und Energieeffizienz: Projekte und Ergebnisse der Forschungsförderung 2015



Impressum

Herausgeber

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

Redaktion

Projektträger Jülich

Gestaltung und Produktion PRpetuum GmbH, München

Stand

April 2016

Druck

Bonifatius Druckerei, Paderborn



Bildnachweis

Bierther/PtJ (Titel), BMWi/Maurice Weiss (S. 5), Thinkstock - Petmal (S. 6), Fotolia - Petair (S. 7), Senvion GmbH, 2015 (S. 12), Bierther/PtJ (S. 15), Fotolia - Kara (S. 15), Deutsches Zentrum für Luft- & Raumfahrt (S. 18, S. 19), Fraunhofer IWES (S. 20), Hr. Ronni Holm Jørgensen (S. 21), Jan F. Westerkamp (S. 22), Fraunhofer IWES Nordwest, 2015 (S. 22/23), Bierther/PtJ (S. 24/25), iStock - skodonnell (S. 26), iStock - chinaface (S. 26), Bierther/PtJ (S. 29), Meyer Burger (Germany) AG (S. 32), ISFH (S. 32), Fraunhofer ISE (S. 33), SolarWorld AG (S. 34), Manz CIGS Technology GmbH (S. 35 oben), Fotolia - Vladislav Kochelaevs (S. 35 unten), sbp sonne gmbh (S. 36), DLR (S. 38), sbp sonne gmbh (S. 39), iStock - tunart (S. 40), Baker Hughes INTEQ GmbH (S. 42), S. Herfurth (S. 44), gec-co GmbH (S. 45), Tiger (CBM GmbH) (S. 46), SWM Services GmbH (S. 47), Thinkstock - Hemera Technologies (S. 48), SCHOTTEL HYDRO (S. 49), iStock -Fabian Wentzel (S. 50), Thinkstock - Purestock (S. 51), Technische Universität Bergakademie Freiberg (S. 53), Alstom (S. 54), IEC, Institut für Energieverfahrenstechnik für Ingenieurwesen der Technischen Universität Bergakademie Freiberg (S. 55), Thinkstock - paulrommer (S. 56), MAN Diesel & Turbo (S. 57), Forschungszentrum Jülich (S. 58), Mareike Lenzen/Projektträger Jülich (S. 61), Achim Käflein, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM (S. 62), Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS (S. 64), Clariant International (S. 65), Anna Durst, BINE Informationsdienst (S. 66), Universität Siegen (Berti) Mareike Lenzen/Projektträger Jülich (S. 71), Universität Stuttgart (S. 72), ZBT GmbH - Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (S. 73), Institut für Technische Chemie, Universität Leipzig (S. 74), RWTH Aachen University (S. 75), Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE; KSB AG (S. 76, S. 77), e-rp GmbH (S. 78), RWE Deutschland AG (S. 80), EWE Aktiengesellschaft (S. 81 oben), Siemens AG (S. 81 unten), Siemens AG (S. 82), Gesa Kaatz, Helmut-Schmidt-Universität (S. 83), Deutscher Wetterdienst (DWD), Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES (S. 84), Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES (S. 85), StoREgio Energiespeichersysteme e.V. (S. 86), Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES (S. 87), Institut für Gebäude- und Solartechnik der Technischen

Universität Braunschweig (S. 88), Stadtwerke Jena (S. 90), Technische Universität Dresden (S. 91), Winandy (S. 94), Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr (S. 95), ECONSULT Lambrecht Jungmann Partner www.solaroffice. de (S. 96), Blickpunkt Photodesign, D. Bödekes (S. 97), RWTH Aachen University (EnEff:BIM), Technische Universität Dresden (Co:Sim) (S. 98), Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (S. 99), E.ON Energy Research Center, Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate der RWTH Aachen University (S. 100 oben), RWTH Aachen University, E.ON ERC EBC (S. 100 unten), NSC GmbH (S. 101), HA Hessenagentur GmbH - Jan Michael Hosan (S. 102), Gerhard Hirn, BINE Informationsdienst (S. 103), Salzgitter Flachstahl GmbH (S. 105), INVENIOS Europe GmbH (S. 107), I.A.R RWTH Aachen University (S. 108), Nagel Maschinen- und Werkzeugfabrik GmbH (S. 110), Siemens AG (S. 111), Evonik Resource Efficiency (S. 112), Fotolia - Petair (S. 114), iStock - Nomadsoul1 (S. 116), BMW (S. 116), Infineon Technologies AG (S. 117), iStock svetikd (S. 118), Dr. Thorsten Fröhlich/Projektträger Jülich (S. 121), RWTH Aachen University (S. 122), Technische Universität Hamburg Harburg (S. 123), Fachhochschule Flensburg (S. 124), iStock - kasto80 (S. 125), iStock - Rawpixel (S. 126), Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz und Energiewirtschaft der Technischen Universität Dortmund (S. 128), Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (S. 129)



Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie ist mit dem audit berufundfamilie® für seine familienfreundliche Personalpolitik ausgezeichnet worden. Das Zertifikat wird von der berufundfamilie gGmbH, einer Initiative der Gemeinnützigen Hertie-Stiftung, verliehen.

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Nicht zulässig ist die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben von Informationen oder Werbemitteln.



Diese und weitere Broschüren erhalten Sie bei:

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

Zentraler Bestellservice:

Telefon: 030 182722721 Bestellfax: 030 18102722721





Die Energiewende – ein gutes Stück Arbeit

Innovation durch Forschung

Erneuerbare Energien und Energieeffizienz: Projekte und Ergebnisse der Forschungsförderung 2015

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	. 5
Forschung und Entwicklung für die Energiewende	. 6
Windenergie	12
Solarenergie	26
Photovoltaik	31
Solarthermische Kraftwerke	36
Tiefe Geothermie	40
Wasserkraft und Meeresenergie	48
Kraftwerkstechnik sowie CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung	50
Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien	58
Energieverteilung, -speicherung und -integration	66
Energiespeicher	71
Stromnetze	76
Systemintegration	84
Energieoptimierte Gebäude und Quartiere	88
Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen1	02
Elektromobilität1	14
Systemanalyse	18
Internationale Zusammenarbeit	26
Statistischer Überblick	30
Wichtiga Links	วา

Vorwort

Die Energieforschung ist ein strategisches Element der Energiepolitik. Sie leistet einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung. Mit der Energiewende wurden die Weichen für eine nachhaltige Umstellung der Energieversorgung in Deutschland bis 2050 gestellt. So soll der Primärenergiebedarf halbiert und der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 60 Prozent erhöht werden. Es versteht sich von selbst, dass diese ambitionierten Ziele nur durch erhebliche technologische Innovationen in der gesamten Kette der Energieversorgung, von der Energiegewinnung über die Verteilung bis hin zur Nutzung, zu erreichen sind.

Neben dem Fokus auf Einzeltechnologien des Energiesystems, wie Verfahren und Prozesse zur Steigerung der Energieeffizienz, Einbindung der erneuerbaren Energien, innovative Energiespeicherung und moderne Netze, treten zunehmend technologieübergreifende, systemorientierte Maßnahmen in den Vordergrund der Fördervorhaben. Das 6. Energieforschungsprogramm "Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung" schafft die Basis für Innovationen durch eine konsequente Unterstützung von Forschung und Entwicklung in allen genannten Technologiefeldern und entlang der Wertschöpfungskette.



Der Bericht "Forschung und Innovation 2015" stellt die wichtigsten Ergebnisse der nichtnuklearen Energieforschung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie dar und berichtet über aktuelle Weiterentwicklungen im Energieforschungsprogramm.

Ich wünsche bei der Lektüre dieses Berichts viele interessante und informative Einblicke in die neue Welt der sich untereinander verzahnenden Energietechnologien, die wir für die Energiewende dringend benötigen.

Ihr

Sigmar GabrielBundesminister für Wirtschaft und Energie

Forschung und Entwicklung für die Energiewende



Die Bundesregierung ist beim Umbau der Energieversorgung auf Erfolgskurs. Fast jede dritte verbrauchte Kilowattstunde Strom stammte 2015 aus Wind-, Solar-, Wasser- oder Bioenergiekraftwerken. Damit sind die erneuerbaren Energien bei der Stromerzeugung in Deutschland erstmals die Energiequelle Nummer eins. Vor allem die Windenergie hat zu diesem Rekordergebnis beigetragen: Sie produzierte über 50 Prozent mehr Strom als im Vorjahr. Die Energiewende geht aber weit über den Stromsektor hinaus. Deshalb sind in allen Bereichen der Energiegewinnung, -verteilung und -nutzung weiterhin technische Innovationen in erheblichem Maße notwendig. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) trägt mit seinen anwendungsorientiert ausgerichteten Maßnahmen im Energieforschungsprogramm dazu bei, dass durch Forschung und Entwicklung Innovationen entstehen und diese aus den Forschungslaboren und Werkstätten auf den Markt gelangen.

Mit dem Energiekonzept verfolgt die Bundesregierung das Ziel, in Deutschland ein umweltverträgliches, sicheres und bezahlbares Energiesystem aufzubauen. "Mit der deutschen Energiewende wollen wir zeigen, dass langfristig eine Energieversorgung mit höchster Effizienz und weitgehend auf Basis erneuerbarer Energien möglich ist. Erfolgreich können wir allerdings nur dann sein, wenn sich durch Forschung und Entwicklung die erforderlichen technologischen Innovationen ergeben. Dies eröffnet zudem neue ökonomische Optionen, die zur Stärkung der industriellen Basis in Deutschland beitragen können", bilanziert Rainer Baake, Staatssekretär im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Fünf Jahre nach der Verabschiedung des Energiekonzepts ist festzuhalten: Der Umbau der Energieversorgung kommt gut voran. So haben 2015 die erneuerbaren Energien ihre Rolle als wichtigste Stromquelle weiter gefestigt. Mit einem Anteil von 30 Prozent an der Bruttostromerzeugung nehmen sie eine Spitzenposition ein, während die Produktion aus Braunkohle (24 Prozent) und Steinkohle (18 Prozent), gefolgt von Kernenergie (14 Prozent) und Erdgas (knapp 9 Prozent), erneut zurückfallen. Die Integration erneuerbarer Energien in das Versorgungssystem ist auch bei dem bereits hohen Anteil an der Stromversorgung gelungen. Außerdem verfügt Deutschland über erhebliche Potenziale zur Steigerung der Solar- und Windstrommenge, was durch eine Ende 2015 veröffentlichte Studie der Interna-

tionalen Organisation für erneuerbare Energien (IRENA) eindrucksvoll bestätigt wurde.

Genauso wichtig wie der Ausbau der erneuerbaren Energien ist es, die Energieeffizienz zu steigern. Hier wird eine Halbierung des Primärenergieverbrauchs bis 2050 angestrebt. Auch hier hat die Bundesregierung durch die Verabschiedung des Nationalen Plans für Energieeffizienz (NAPE) aus dem Jahr 2014 erhebliche Fortschritte erzielen können. Dennoch bleiben mittel- bis langfristig große Potenziale zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz, die aber weitestgehend nur durch technologische Innovationen erschlossen werden können.

Forschung strategisch fördern

In ihrem 6. Energieforschungsprogramm hat die Bundesregierung die Grundlinien und Schwerpunkte ihrer Förderpolitik ausgeführt. So sollen die Fördermittel noch stringenter auf Technologien konzentriert werden, die bei erfolgreicher Umsetzung zu einer nachhaltigen Energieversorgung beitragen können. Dazu gehören neben der Forschung zur Energieumwandlung, wie etwa Photovoltaik und Windenergie, auch die Fragen der Energieeffizienz in Gebäuden, Städten und der Industrie; neben Energiespeichertechnologien und Netztechnik auch die Integration der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung. Das Energiesystem der Zukunft wird eine wesentlich höhere Komplexität als die gegenwärtige Energieversorgungsstruktur aufweisen. Die Betrachtung des Zusammenwirkens aller genannten Einzeltechnologien in einem optimierten

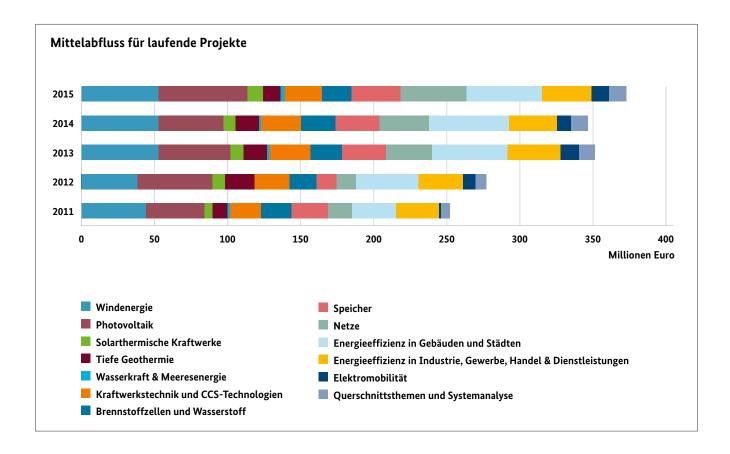
Gesamtsystem wird daher immer bedeutender. Organisatorisch sollen die nationalen Forschungsaktivitäten innerhalb der Europäischen Union und mit den Partnerländern in der Internationalen Energieagentur (IEA) noch stärker vernetzt werden. Diese Zielsetzungen sind in der Förderbekanntmachung "Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung" vom 8. Dezember 2014 für die verschiedenen Förderthemen nochmals konkretisiert.

Forschung und Entwicklung 2015 in Zahlen

Der hohe Stellenwert der Forschung und Entwicklung im Bereich der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz zeigt sich auch im Jahr 2015 an den erneut gestiegenen Fördermitteln. Das BMWi hat insgesamt 2.793 Projekte mit rund 371,9 Millionen Euro unterstützt, 26,3 Millionen Euro mehr als im Vorjahr. Die meisten Fördermittel sind wie auch im Vorjahr in die Bereiche der Windenergie und der Photovoltaik geflossen, gefolgt von Maßnahmen zur gesteigerten Energieeffizienz in Gebäuden und Städten, zu Speichertechnologien und Netz-Infrastruktur sowie zur Energieeffizienz im Industriesektor. Weitere Fördergebiete waren die Geothermie, solarthermische Kraftwerke, die Systemanalyse, Brennstoffzellen sowie Forschungsprojekte zu Komponenten von Elektrofahrzeugen. Zudem wurden Vorhaben im Bereich der konventionellen Kraftwerke gefördert, bei denen - bedingt durch die Zunahme volatiler erneuerbarer Energien - der Betrieb mit hoher Flexibilität und auch geringer Auslastung im Vordergrund steht. Forschungsvorhaben zu Wasserkraft und Meeresenergie



Erneuerbare Energien sind mittlerweile die wichtigste Stromquelle in Deutschland



wurden wie bisher in Einzelfällen gefördert. Insgesamt hat sich auch die Zahl der neu bewilligten Projekte nochmals deutlich erhöht: von 695 Projekten im Jahr 2014 mit einer Bewilligungssumme von etwa 373,2 Millionen Euro auf 939 neu bewilligte Projekte im Jahr 2015 mit einer Bewilligungssumme von rund 548 Millionen Euro.

Die Windenergie – weiterhin im Aufwind

Die Windenergie hat im Jahr 2015 über 50 Prozent mehr Strom als im Vorjahr produziert. Nach ersten Prognosen des Internationalen Wirtschaftsforums Regenerative Energien (IWR) wurden insgesamt 86,8 Gigawattstunden ins Netz eingespeist. Zum Vergleich: 2014 hatte dieser Wert noch bei 57,4 Gigawattstunden gelegen. Die Forschungsförderung des BMWi im Bereich Windenergie unterstützt den Ausbau mit gezielten Fördermaßnahmen, die die Anlagen effizienter und zuverlässiger machen, um Kosten zu senken. Leistungsstärkere Anlagen sollen kleinere ersetzen und so dazu beitragen, Installationskosten zu sparen. Um immer größere Windenergieanlagen zu entwickeln, die gleichzeitig robuster, leistungsstärker und langlebiger sein sollen, müssen Komponenten umfassend getestet werden. Am neuen Gondel-Prüfstand DyNaLab des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in Bremerhaven werden seit Herbst 2015 komplette Gondeln bis zu einer Leistung von acht Megawatt geprüft. Ob Blitzeinschläge, Kurzschlüsse oder Orkanböen: Sämtliche Widrigkeiten, denen Windenergieanlagen in der

Natur ausgesetzt sind, können in der weltweit einmaligen Testanlage simuliert werden. Das BMWi hat das Projekt mit rund 19 Millionen Euro gefördert. Insgesamt bewilligte das Ministerium 2015 im Bereich der Windenergie 103 neue Forschungsprojekte mit einer Fördersumme von rund 85,4 Millionen Euro (im Vorjahr: 63 Projekte mit rund 38,5 Millionen Euro). Laufende Projekte haben in diesem Jahr rund 53 Millionen Euro erhalten.

Solarbranche sonnt sich in neuen Weltrekorden

Strom aus Sonnenenergie kann auf zwei grundlegend verschiedene Arten erzeugt werden: Die Photovoltaik nutzt physikalische Eigenschaften von Halbleitermaterialien zur Stromproduktion; bei solarthermischen Kraftwerken hingegen setzt die durch Sonnenstrahlen erzeugte Wärme einen Kraftwerksprozess in Gang. Das BMWi fördert Forschungsprojekte beider Technologien.

Der deutsche Markt für die Photovoltaikindustrie ist im Jahr 2015 weiterhin problematisch gewesen. Im Gegensatz dazu entwickelte sich das globale Photovoltaik-Geschäft positiv – die deutsche Anlagenindustrie erreichte in den ersten neun Monaten des Jahres einen Weltmarktanteil von 50 Prozent. Diese erfreuliche Entwicklung soll sich verstetigen. Hierzu trägt das BMWi mit seiner Forschungsförderung bei, die die Kosten für Strom aus Photovoltaik weiter senken soll. Ein Weg dahin ist ein höherer Ertrag durch höhere Wirkungsgrade. Erfolgreiche Beispiele für inno-

vative und ertragreiche Solarzellkonzepte sind die neu entwickelte PERC-Technologie und die TOPCon-Solarzelle. Mit beiden konnte Deutschland im Jahr 2015 neue Wirkungsgrad-Weltrekorde aufstellen.

Auch im Bereich solarthermischer Kraftwerke ist Deutschland in erster Linie exportorientiert. Denn solarthermische Kraftwerke benötigen ein Klima mit hohem Direktstrahlungsanteil, wie in Südeuropa, Nordafrika oder den USA. Die Forschungsförderung soll dazu beitragen, die Kosten für die Technologie zu senken, um sie konkurrenzfähig gegenüber anderen erneuerbaren Energien wie etwa der Photovoltaik zu machen. Größere Spiegel in Parabolrinnenkraftwerken können mehr Ertrag bei geringeren Produktionskosten erzeugen. Auch höhere Betriebstemperaturen durch neue Wärmeträgermedien oder innovative Speichertechnologien reduzieren die Kosten. Prinzipiell bieten solarthermische Kraftwerke den Vorteil, durch die im Vergleich zu elektrischen Speichern preiswertere Wärmespeicherung Strom bedarfsgerecht zur Verfügung zu stellen.

In den Solarforschungs-Bereich sind 2015 insgesamt rund 69,8 Millionen Euro an Fördergeldern geflossen (Photovoltaik: rund 59,7 Millionen Euro, solarthermische Kraftwerke rund 10,1 Millionen Euro). Das BMWi förderte in diesem Jahr 97 neue Photovoltaik- und 16 neue solarthermische Kraftwerksforschungsvorhaben mit einer gesamten Bewilligungssumme von rund 82,5 Millionen Euro.

Stabiler Garant im Energiemix: die Geothermie

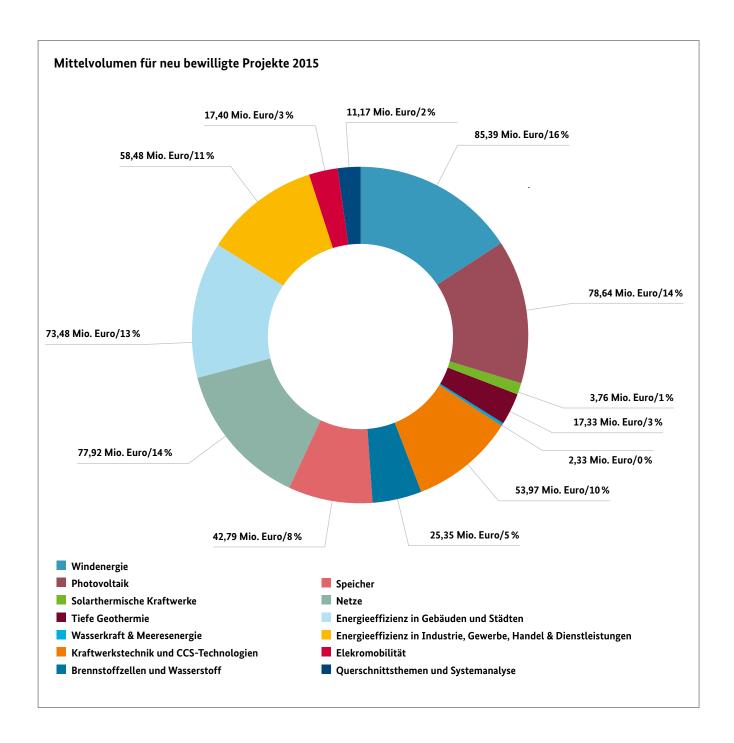
Das Potenzial der tiefen Geothermie soll in den nächsten Jahren weiter erschlossen werden. Hierbei werden die hohen Temperaturen der Erde in Tiefen von mehr als 1.000 Metern genutzt, um daraus Wärme oder auch Strom zu gewinnen. Dafür fördert das BMWi insbesondere Vorhaben, die dazu beitragen, dass die Geothermie trotz der individuellen Auslegung jeder einzelnen Anlage wirtschaftlicher wird. Die regionalen Randbedingungen, etwa die Zusammensetzung des Thermalwassers oder der geologischen Strukturen, sind bei jedem Standort unterschiedlich. Im Jahr 2015 startete unter anderem das Forschungsprojekt GRAME der Stadtwerke München, das vom BMWi mit rund 4,6 Millionen Euro gefördert wird. Ziel von GRAME ist es, 2040 die gesamte Fernwärme für München aus regenerativer Energie bereitzustellen, den Großteil davon durch Geothermie. München hat hierfür ideale geologische Voraussetzungen.

Wärmewende – energieoptimierte Gebäude, Quartiere und Industriebetriebe

Fast 40 Prozent des Primärenergieverbrauchs entfallen auf Privathaushalte, Büros, Schwimmbäder, Schulen oder andere Gebäude. Gebäude und Quartiere benötigen Energie zum Heizen und Kühlen sowie für Warmwasser und Beleuchtung. Mit Blick auf die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung liegen hier große Einsparpotenziale. Diese standen zum Beispiel beim Forschungsvorhaben HeizSolar im Mittelpunkt. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE analysierte gemeinsam mit Partnern unterschiedliche Ausführungen und Nutzungskonzepte des Fast-Nullenergie-Standardhauses "Solaraktiv" sowie im Forschungsvorhaben "Netzreaktive Gebäude". Mit Hilfe von Simulationsmodellen und Messdaten wurden optimale Auslegungen errechnet.

Neben der reinen Projektförderung hat sich das im Oktober 2014 gegründete Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren als wichtige Schnittstelle zwischen Forschung, Wirtschaft, Politik und Praxis erwiesen. Die Mitglieder des Netzwerks trafen sich im Frühjahr 2015 zur 1. Jahreskonferenz in Berlin. Sie diskutierten über künftigen Forschungs- und Entwicklungsbedarf, der etwa durch die geplante Förderinitiative "Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt" aufgegriffen werden soll. 2015 sind insgesamt rund 51,2 Millionen Euro Fördergelder in Forschungsvorhaben zu energieoptimierten Gebäuden und Quartieren geflossen. Die erfreuliche Entwicklung zeigte sich auch in der gesamten Bewilligungssumme für neue Forschungsvorhaben. Diese stieg von rund 47,2 Millionen im Jahr 2014 auf rund 73,5 Millionen Euro im Jahr 2015 an.

Am Industriestandort Deutschland fließen rund 45 Prozent des elektrischen Stroms in Industrie- und Gewerbebetriebe, was auf vielen Gebieten Ansätze zur Effizienzsteigerung eröffnet. Aber auch der Primärenergieeinsatz kann in vielen Industrieprozessen gesenkt werden. Eine Maßnahme ist, die industrielle Abwärme besser zu nutzen. Wird diese zum Beispiel für Herstellungsprozesse oder für die innerbetriebliche und öffentliche Infrastruktur verfügbar gemacht, können Steigerungen der Energieeffizienz zu betriebs- und volkswirtschaftlichen Vorteilen führen und gleichzeitig CO₂-Emissionen reduziert werden. Das BMWi fördert hierzu Technologien zur Abwärmenutzung, unter anderem die Entwicklung so genannter thermoelektrischer Module, die aus Industrieabwärme elektrischen Strom gewinnen. Mit dem Projekt Abwärmeatlas werden genauere



Aussagen über das Abwärmepotenzial im Industriesektor möglich werden. 2015 sind durch das BMWi insgesamt 115 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 58,5 Millionen Euro bewilligt worden.

Energiesystem der Zukunft: Flexibilität beim Stromeinspeisen, -speichern und -verteilen

Strom und Wärme aus Wind oder Sonne sind von der Windstärke und der Sonneneinstrahlung abhängig. Flexibilität ist gefragt, und zwar beim Einspeisen, Speichern und Verteilen der gewonnenen Energie. Das BMWi unterstützt Forschungsvorhaben, die die technischen und systemischen Voraussetzungen dafür schaffen. Zu den wichtigsten Frage-

stellungen zählt, wie die Stromnetze auf allen Spannungsebenen um- und ausgebaut werden können, um beispielsweise den Strom aus Windenergie aus dem Norden Deutschlands in den Süden zu transportieren und dort zu nutzen. Auch die verschiedenen Speichertechnologien für Wärme und Strom müssen weiterentwickelt werden. So fördert das BMWi die Entwicklung der weltweit größten Elektrolyseanlage, den Energiepark Mainz, der seit dem Sommer 2015 Stromüberschüsse aus Windkraftanlagen zur Produktion von Wasserstoff nutzt, der ins Gasnetz eingespeist wird. Insgesamt sind vom BMWi 2015 rund 120,7 Millionen Euro neu bewilligte Fördergelder in Forschungsvorhaben zu Netzen und Speichern geflossen.

Um Synergien zu schaffen und Förderthemen zu definieren, hat die Bundesregierung verschiedene Initiativen ins Leben gerufen. Die Forschungsinitiative "Energiespeicher", die gemeinsam vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung getragen wird, bündelt über 280 Forschungsvorhaben zu diesem Thema. Welchen Beitrag können Energiespeicher für die Energiewende leisten? Wie lassen sie sich wirtschaftlich einsetzen? Und wo liegen die Schwerpunkte der künftigen Forschung? Diese Fragen haben während des 2. Statusseminars "Energiespeicher" im April 2015 in Berlin im Fokus gestanden. Jünger ist die Förderinitiative "Zukunftsfähige Stromnetze". BMWi und BMBF fördern darin über 300 Projekte, die Lösungen zu intelligenten Verteilnetzen, Übertragungsnetzen, Netzplanung und Netzbetriebsführung erarbeiten. Als Plattform für den Austausch zwischen Experten aus Industrie und Forschung zum Thema Stromnetze wurde im Mai 2015 zudem das Forschungsnetzwerk Stromnetze gegründet. Kompetenzen und innovative Ideen werden hierdurch gewinnbringend zusammengeführt.

Das Energiesystem der Zukunft simulieren und modellieren

Die Energieversorgung der Bundesrepublik ist mit der Energiewende komplexer geworden. In der Energiewirtschaft sind daher Modelle und Simulationsprogramme wichtige Arbeitsinstrumente. Hier setzt die Systemanalyse an: Mit ihren Modellen, Simulationen und Vorhersagen hilft sie unter anderem dabei, Entwicklungen von kurz-, mittel- und auch langfristig geplanten energiepolitischen Maßnahmen einzuschätzen. Um den Austausch über neue Entwicklungen in diesem Bereich zu fördern, ist im März 2015 auf Initiative des BMWi das Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse gegründet worden. Anfang Dezember 2015 fand bereits die erste Jahreskonferenz des Netzwerks in Berlin statt.

Hoffnungsträger: Brennstoffzellentechnologie

Brennstoffzellen in Verbindung mit der Wasserstofftechnologie entsprechen in zweifacher Hinsicht den Zielen der Energiewende. So ist die Brennstoffzelle ein sehr effizienter Energiewandler zur Stromerzeugung und liefert damit einen Beitrag zur Reduzierung des Primärenergieeinsatzes. Wasserstoff, der zum Beispiel kombiniert mit einer Brennstoffzelle als Treibstoff in der Mobilität eingesetzt werden

kann, gilt als idealer Speicher für erneuerbare Energien. Das BMWi fördert hierzu Komponenten von Zellen bis hin zu ganzen Systemen, die je nach Anwendungsfall elektrische Energie in Wasserstoff oder umgekehrt wandeln. Letzteres, die Elektrolyse, gilt als vielversprechende Technologie zur Speicherung von regenerativem Strom. Die Bundesregierung hat die FuE-Aktivitäten im "Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)" gebündelt. Auf der NIP-Vollversammlung im Sommer 2015 wurde eine erste Bilanz des erfolgreichen Zehnjahresprogramms gezogen und eine Fortsetzung der Maßnahmen angekündigt.

Neue Herausforderungen für die konventionelle Kraftwerkstechnologie

Auch wenn der Beitrag konventioneller Energieträger im deutschen Energiesystem sinkt: Gas-, Dampf- und Kohlekraftwerke werden weiterhin für die Versorgungssicherheit und Netzstabilität benötigt. Der Schwerpunkt der Projektförderung liegt auf Forschungsvorhaben, welche die Flexibilität, Effizienz und Wirtschaftlichkeit von Kraftwerksprozessen steigern und dazu neue Materialien einsetzen und Materialtechnologien entwickeln. Zudem unterstützt das Ministerium Projekte zu CCS-Technologien und weiteren Maßnahmen zur Emissionsreduktion. Insgesamt sind im Jahr 2015 108 neue Förderprojekte mit rund 54 Millionen Euro bewilligt worden.

Umbau des Energiesystems liegt im Zeitplan

Der Rückblick auf die Entwicklungen und Aktivitäten auf dem Energiesektor im Jahr 2015 zeigt: Die Energiewende ist auf einem guten Weg in eine sichere, umweltverträgliche und wirtschaftlich erfolgreiche Zukunft. Unabdingbar ist dabei die stetige Forschung und konsequente technologische Weiterentwicklung. Die strategische und anwendungsorientiert ausgerichtete Forschungsförderung des BMWi trägt entscheidend zum Umbau des gesamten Energiesystems und zum Erhalt der technologischen Spitzenstellung Deutschlands bei.

Windenergie



Die Nutzung der Windenergie an Land ist ein zentraler Baustein der Energiewende, da sie die derzeit kostengünstigste Technologie zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist. Sie liefert aktuell auch den größten Beitrag an erneuerbar erzeugtem Strom in Deutschland. Ein hohes Potenzial für den weiteren Ausbau der Windenergie bieten sowohl die verstärkte Nutzung des Windes auf dem Meer als auch die weitere Erschließung geeigneter Landstandorte sowie der Ersatz alter Windenergieanlagen durch moderne, leistungsfähigere Anlagen.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Der Höchstwert der Einspeiseleistung aus Windenergieanlagen in Deutschland für das Jahr 2015 lag nach Angaben
der Übertragungsnetzbetreiber bei rund 32,5 Gigawatt –
erreicht wurde dieser Wert am 21. Dezember zwischen
21:30 Uhr und 21:45 Uhr. Im Vorjahr lag der Spitzenwert
noch bei 29,7 Gigawatt eingespeistem Strom, ebenfalls im
Dezember gemessen. Noch deutlicher wird der enorme
Windenergie-Zubau anhand der innerhalb des kompletten
Jahres 2015 eingespeisten Strommenge. In dem windreichen Jahr wurden nach Angaben des Internationalen Wirtschaftsforums Regenerative Energien (IWR) insgesamt
86,8 Terawattstunden erreicht. Für 2014 lag dieser Wert
noch bei 57,4 Terawattstunden – die Strommenge hat sich
demnach um mehr als 50 Prozent gesteigert. Die neuen
Rekordwerte unterstreichen die hohe Bedeutung der Wind-

energie für das Gelingen der Energiewende in Deutschland. Für 2016 rechnet das IWR mit mehr als 100 Terawattstunden. Damit würde erstmals mehr Windstrom als Strom aus Kernkraftwerken erzeugt.

Insbesondere der Ausbau der Offshore-Windenergie ist für das Jahr 2015 hervorzuheben. Wurde Ende des Jahres 2014 die Gigawatt-Marke für die installierte Anlagenleistung erstmals knapp überschritten, hat sich im Laufe des Jahres 2015 die Leistung nach Angaben der Deutschen Windguard bereits mehr als verdreifacht. 546 Offshore-Windenergie-anlagen aus insgesamt neun verschiedenen Offshore-Windparks sind neu ans Netz gegangen, die angeschlossene Offshore-Anlagenleistung stieg um rund 2,3 Gigawatt an. Insgesamt waren am 31. Dezember 2015 somit 792 Offshore-Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von rund 3,3 Gigawatt am Netz.

Für das Offshore-Ausbauziel der Bundesregierung von 6,5 Gigawatt installierter Leistung bis zum Jahr 2020 fehlt nicht mehr viel. Es sind bereits weitere Anlagen mit einer Leistung von rund 200 Megawatt installiert, sie müssen nur noch an das elektrische Netz angeschlossen werden. Zusätzlich befinden sich Anlagen mit rund 1.000 Megawatt bereits im Bau, für Anlagen mit einer Leistung von insgesamt rund 900 Megawatt sind zudem bereits die Investitionsentscheidungen getroffen worden.

Für den Onshore-Bereich verlief der Ausbau ebenfalls gut. Im Jahr 2015 wurden nach Angaben der Deutschen Windguard insgesamt 1.368 neue Windenergieanlagen an Land errichtet, mit einer Gesamtleistung von rund 3,7 Gigawatt. Enthalten sind hierbei auch Repowering-Anlagen: neue, in der Regel größere Anlagen, die alte ersetzen, um den Ertrag an dem jeweiligen Standort zu erhöhen. 253 Anlagen wurden insgesamt abgebaut, davon nur ein Teil ersetzt, sodass der Netto-Zubau rund 3,5 Gigawatt umfasste. Am 31. Dezember 2015 waren insgesamt 25.982 Onshore-Anlagen mit einer Leistung von rund 41,7 Gigawatt in Betrieb.

Der Trend hin zu größeren Anlagenleistungen wie auch längeren Rotorblättern setzt sich weiter fort. Durch die erreichte höhere Zahl an Volllaststunden wird die Einspeisung deutlich verstetigt, Schwankungen in der Stromversorgung durch Windenergie werden reduziert. Außerdem können auch weniger windstarke Standorte erschlossen werden, sodass auch der Netzausbau deutlich reduziert werden kann.

Weltweit hat sich der Markt von dem Einbruch im Jahr 2013 erholt. Zugpferd ist hier nach wie vor der asiatische Raum mit China an der Spitze. Für das gesamte Jahr 2015 beträgt die neu installierte Leistung weltweit rund 46,3 Gigawatt. Weitere vielversprechende Märkte sind Chile, Brasilien, Mexiko und Indien.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Die Onshore-Windenergie ist bereits vergleichsweise weit entwickelt. Die technische Verfügbarkeit liegt bei über 95 Prozent. Um den Ausbau kostengünstig vorantreiben zu können und die Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien zu verstärken, stehen größere Rotordurchmesser weiter im Fokus. Diese ermöglichen zum einen eine höhere Zahl an Volllaststunden, wodurch die Stromproduktion planbarer wird. Zum anderen lassen sich mit den auch

"Schwachwindanlagen" genannten Maschinen ebenfalls Standorte mit weniger günstigen Windbedingungen erschließen. Derartige Anlagen lassen sich zurzeit als allgemeiner Trend beobachten, der durch mehrere Unternehmen verfolgt wird. Somit werden auch Forschung und Entwicklung in diesem Bereich intensiver betrieben (siehe auch "Rotorblätter schneller und effizienter testen", Seite 20). Eine Herausforderung für die Entwicklung hin zu großen Rotordurchmessern sind die Auswirkungen auf Getriebe und Lager. Auf die Problematik der Rotorlager als Schwachstelle geht etwa das Projekt HAPT ein (siehe auch "Neuer Prüfstand für Blattlager", Seite 22).

Ein weiterer Entwicklungstrend ist die Modularisierung der Windenergieanlagen. Auch hier gibt es mittlerweile mehrere Unternehmen, die entsprechende Produkte anbieten. Bei den zunehmenden Dimensionen der Anlagen muss der Transport weiterhin kostengünstig umzusetzen sein. Sondertransporte bedeuten stets einen hohen logistischen Aufwand – insbesondere die Genehmigung der Transporte an sich. Durch modularisierte Bauteile, die erst am vorgesehenen Standort zusammengefügt werden, lässt sich das umgehen.

Als Erfolg von Forschung und Entwicklung ist auch die neue Regelung zur bedarfsgerechten Befeuerung von Windenergieanlagen hervorzuheben, die seit Mitte 2015 gilt. Die Beleuchtung, die Windenergieanlagen in der Nacht kennzeichnen soll, darf demnach generell abgeschaltet bleiben und muss nur bei Annäherung eines Luftfahrzeugs aktiviert werden. Da so die Anwohner von Windparks weniger gestört werden, wird ein sozialverträglicherer Ausbau der Onshore-Windenergienutzung möglich (siehe auch "Im Fokus", Seite 14).

Die erwartete Lebensdauer von Onshore-Windenergieanlagen ist bei vielen neuen Turbinen von 20 Jahren auf 25 bis 30 Jahre angestiegen. Diese neuen, leistungsfähigen Anlagen erzeugen demnach trotz höherer Produktionskosten auf die gesamte Lebensdauer umgerechnet kostengünstigeren Strom als frühere Modelle.

Darüber hinaus existieren mittlerweile verschiedene Prüfstände im Großmaßstab, anhand derer neu entwickelte Komponenten und Maschinen zuverlässig und schnell getestet werden können. 2015 wurde etwa das **DyNaLab** eröffnet (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 24). Mit dem Prüfstand am Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) in Bremerhaven können

IM FOKUS

Anwohner von Windparks: Im Durchschnitt positive Einstellung

Die Akzeptanz für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien ist ein wichtiger Bestandteil einer erfolgreichen Energiewende. In der öffentlichen Diskussion entsteht oft der Eindruck, es sei um die Akzeptanz von Windenergie nicht gut bestellt. Das Team um Professorin Gundula Hübner von der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg hat in insgesamt vier großangelegten umweltpsychologischen Studien seit 1999 festgestellt: Die Akzeptanz bei der Mehrheit der Bevölkerung ist hoch – es sind jedoch die Minderheiten, die die Diskussionen besetzen. Für den BMWi-Forschungsjahresbericht hat Gundula Hübner im Interview einige ihrer zentralen Ergebnisse zusammengefasst.

Frau Professor Hübner, was bedeutet für Sie "Akzeptanz von Windenergie"?

Hübner: Mein Team und ich definieren Akzeptanz als neutrale oder positive Einstellung gegenüber einem Projekt. Wir schauen ebenfalls nach dem konkreten Verhalten. Einstellungen sagen das Verhalten – mehr oder weniger gut – vorher.

Was haben Sie bisher über die Einstellungen der Bürger herausgefunden?

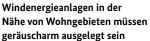
Hübner: Wir untersuchen die Akzeptanz bei Anwohnern von bereits gebauten Anlagen. In unseren Stichproben zeigt sich, dass diese Menschen im Durchschnitt eine positive Einstellung haben. Das ist allerdings zu unterscheiden von der Situation, wenn ein Projekt geplant wird. Hier ist die Unsicherheit größer, weswegen dann teilweise geringere Akzeptanzwerte zu verzeichnen sind. Ich sage "teilweise", weil die Widerstände von Minderheiten in der öffentlichen Diskussion viel stärker betont werden als die positiven Einstellungen der Mehrheit. Hierzu gibt es interessante Projekte und wichtige Arbeiten, aktuell etwa das Projekt Dezent Zivil.

Wann ist die Akzeptanz hoch?

Hübner: Erst einmal: Die Akzeptanz ist in der Regel relativ hoch. Die Akzeptanz ist dann noch höher, wenn die Menschen wissen, dass die Mehrheit dafür ist. Ganz konkret auf lokaler Ebene muss zudem die Sinnhaftigkeit des Projekts erkannt werden. Das heißt, wer profitiert von dem Projekt – die Kommune? Die einzelnen Anwohner? Ist das ein Projekt, das tatsächlich zur Energiewende beiträgt und notwendig ist? Bei Windenergieanlagen ist es auch wichtig, dass die Bürger auf Augenhöhe miteinbezogen werden. Der Gestaltungsspielraum sollte zusammen mit den Bürgern so weit wie möglich ausgenutzt werden.

Was sollte beim Ausbau der Windenergie noch beachtet werden?

Hübner: Ein weiterer Aspekt der Akzeptanz ist, dass die Menschen sicher sein müssen, dass der Ausbau wirklich keine negativen Konsequenzen hat. Gerade in Bezug auf Geräusche gibt es mitunter Menschen, die stark belästigt sind. Nach unserer Definition verspüren diese Menschen mindestens ein Symptom, das sie selber in Zusammenhang mit der Windenergieanlage sehen, zum Beispiel Schlafprobleme oder das Meiden bestimmter Räume. Damit dadurch keine Verunsicherung entsteht, müsste man genauer schauen, welche Geräusche die Anlagen machen. Damit meine ich nicht die Quantität, also die Lautstärke, sondern die Qualität der Geräusche. Dieses kleine und zarte wusch-wusch-wusch der Windenergieanlagen, das ist ein so genannter Stress-Trigger. Wir alle kennen die Wirkung solcher Geräusche: Sie gehen durch den Wald, es ist ein lauer Abend – und auf einmal hören Sie irgendwo ein kleines Stöckchen klicken. Sofort sind Sie hellwach. Wer eine sensible Wahrnehmung hat, hört das leise wusch, vielleicht beim Einschlafen, und hat Adrenalin im Blut. Die Geräuschqualität hängt mit der Konstruktion der Windenergieanlagen zusammen. Es wäre also wichtig, die Wirkung der Anlagen auf die Menschen noch mehr bei der Entwicklung von etwa Rotorblattprofilen einzukalkulieren,





Prof. Gundula Hübner,
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

durch ein "Homo-Sapiens-Monitoring". Eine engere Verzahnung zwischen Technik und Psychologie erscheint hier wichtig.

Was haben sich seit Ihrer ersten Studie im Jahr 1999 schon für technologische Verbesserungen ergeben, die zu einer höheren Akzeptanz führen?

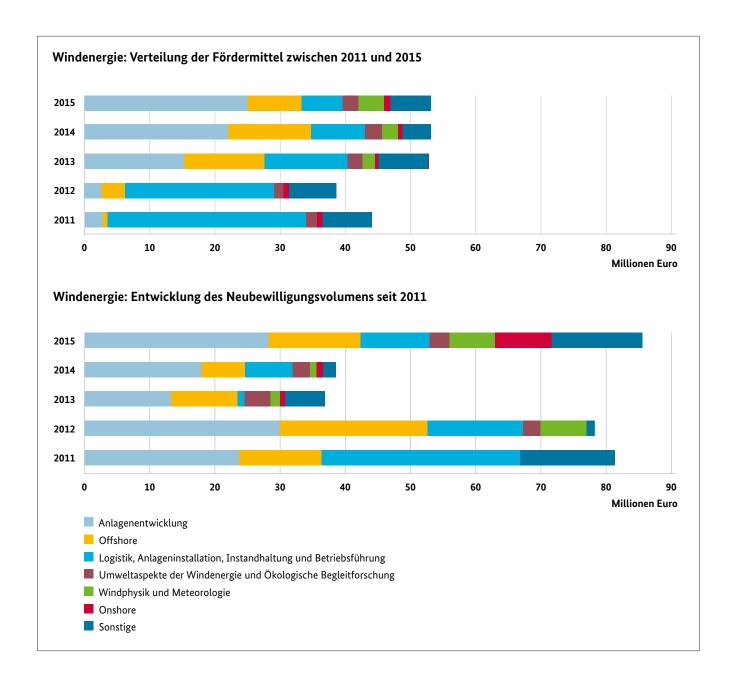
Hübner: Eine Verbesserung ist auf jeden Fall die Schattenwurf-Richtlinie. Die Richtlinie basiert auf der psychologischen Studie von 1999. Man hat gesehen, dass es erhebliche Belästigungen gab, woraufhin der Gesetzgeber die Schattenwurfdauer festgelegt hat, um die Menschen zu schützen – und daraufhin haben die Ingenieure das Schattenwurfmodul entwickelt. Auch der so genannte Diskoeffekt ist gelöst, der Farbanstrich wurde geändert. Die Hinderniskennzeichnung bei Nacht darf seit 2015 bedarfsgerecht an- und ausgeschaltet werden. An der Lautstärke hat sich ebenfalls viel getan, die Emissionsschutzrichtlinien greifen. Allerdings ist die Geräuschqualität noch zu wenig untersucht. Die monetären und nicht-monetären Partizipationsmöglichkeiten haben sich verbessert, müssen jedoch weiter untersucht und verbessert werden.



komplette Gondeln bis zu einer Leistung von 8 Megawatt realitätsnah unter Laborbedingungen getestet werden. Die Testumgebung ist weltweit einzigartig. Pilotkunden sind die Unternehmen Jacobs PowerTec und ECO5 sowie Adwen.

Im Offshore-Bereich haben Forschung und Entwicklung geeignete Schallschutzmaßnahmen hervorgebracht, die bei der Installation der Fundamente in bis zu 40 Metern Wassertiefe eingesetzt werden können. In der Regel werden die Pfähle der Anlagen in den Boden gerammt, was unter

Wasser zu entsprechendem Lärm führt. Durch verschiedene technologische Ansätze können die vorgegebenen Grenzwerte für Schallemissionen nun aber eingehalten werden. Ein Beispiel ist der "Große Blasenschleier", ein Schleier aus Luftblasen rund um den Bauort, der das Geräusch des Einrammens der Pfähle dämpft. Da die innovativen Techniken die Störfläche für Meeressäuger um bis zu 90 Prozent verringern, tragen sie maßgeblich zum Artenschutz in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone bei. Bei den bisher zur Marktreife gebrachten Maßnahmen handelt es sich allerdings um zusätzliche Maßnahmen, die lediglich



die Ausbreitung des Schalls reduzieren. Da durch diese Maßnahmen stets zusätzliche Kosten entstehen, werden aktuell Konzepte entwickelt, die weniger Schall entstehen lassen. Zu nennen sind hier insbesondere Suction Buckets, auch Saugeimergründungen genannt. Diese neuartigen Gründungen werden schallarm in den Boden eingesaugt, nicht eingerammt.

Strategie der Forschungsförderung

Windenergieanlagen haben weiterhin das Potenzial, in Deutschland den größten und wirtschaftlichsten Beitrag an Strom aus erneuerbaren Energien zu liefern. Die Forschungsförderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Bereich Windenergie soll daher insbesondere dazu beitragen, diesen Strom noch kostengünstiger herzustellen. So soll der Ertrag aus den Anlagen gesteigert und ein zuverlässiger Betrieb sichergestellt werden – beides wichtige Aspekte, um die spezifischen Kosten zu senken.

Zunehmend rücken aber auch Fragen in den Vordergrund der Forschung, wie Material eingespart und die Leistung einzelner Anlagen weiter gesteigert werden kann. Hierdurch werden Ressourcen geschont und Installationskosten gespart – statt vieler kleiner Anlagen genügen dann wenige große für die gleiche Leistung.

Für den weiteren Ausbau ist es darüber hinaus relevant, die Stromerzeugung aus Windenergie besser vorhersagbar zu machen und zu verstetigen. Hierfür müssen etwa die Kenntnisse über die Ressource Wind vertieft werden, um diese so effizient wie möglich nutzen zu können. Forschungsansätze bestehen zum Beispiel in verbesserten Prognosen der Winderträge in komplexem Gelände wie (Mittel-) Gebirgen oder Waldgebieten. Ein anderer Ansatz besteht darin, die Verfahren zur Simulation von Windlasten zu optimieren, um die Anlagen entsprechend auslegen zu können. Auch werden neuartige Regelungskonzepte für Windenergieanlagen und Windparks erforscht, die den Energieertrag optimieren (siehe auch "Den Wind kontrollieren", Seite 23). Durch intelligentes, prädiktives Zustandsund Lastmonitoring soll es in diesem Zusammenhang ebenfalls möglich werden, Extremlastzustände und daraus resultierende Schäden zu vermeiden (siehe auch "Sensoren schauen voraus", Seite 20).

Um die optimale Auslegung von Windenergieanlagen auf dem Land zu ermitteln, ist ein Onshore-Testfeld geplant, die "Deutsche Forschungsplattform Wind". In diesem Forschungs-Windpark sollen unter Einsatz hochqualitativer Messinstrumente etwa auch ungünstige Windbedingungen und deren Auswirklungen geprüft werden – zum Beispiel wenn alle Anlagen in der Anströmrichtung hintereinander stehen. Auch sollen hier Feldtests neu entwickelter Anlagenkomponenten ermöglicht werden, ohne dass komplette Anlagenprototypen errichtet werden müssen.

Die Integration des erzeugten Stroms in die öffentlichen Versorgungsnetze ist ein weiteres Forschungsthema. Hierzu gehören neben den bereits oben erwähnten verbesserten Windprognosen auch Fragen der Netzanbindung von Offshore-Windparks, des Last- und Erzeugungsmanagements sowie windenergiespezifische Aspekte der Speicherung.

Insbesondere für den Onshore-Bereich ist das Thema Akzeptanz von hoher Relevanz (siehe auch "Im Fokus", Seite 18), um den weiteren Ausbau wie vorgesehen umsetzen zu können. Offshore-spezifisch ist hingegen der Anspruch, die Kosten für Installation, Logistik, Betrieb und Wartung weiter signifikant zu senken (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 21). Die Anlagen auf hoher See sind nur mit hohem Aufwand und in beschränkten Zeitfenstern erreichbar – geeignete Softwarelösungen für optimierte Einsatzpläne sind daher ein Lösungsansatz, den Betrieb kosteneffizient und risikoarm zu gestalten.

Insgesamt hat das BMWi im Bereich Windenergie 103 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 85,4 Millionen Euro im Jahr 2015 neu bewilligt und somit den Fördermittelansatz deutlich gesteigert (2014: 63 Projekte mit rund 38,5 Millionen Euro Fördervolumen). Laufende Forschungsvorhaben wurden auf dem hohen Niveau der Vorjahre mit rund 53 Millionen Euro (2014: rund 53,1 Millionen Euro) gefördert.

IM FOKUS

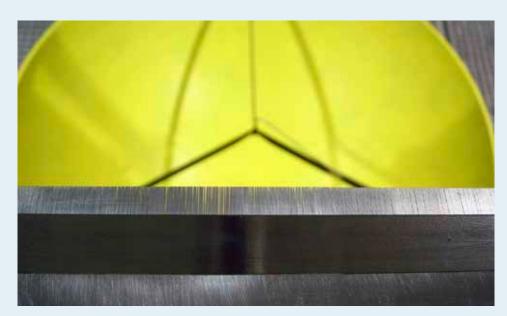
Leise, bitte!

Die Lautstärke einer Windenergieanlage ist ein entscheidendes Kriterium für ihre Wirtschaftlichkeit, mindestens ebenso relevant wie ihre Leistung. Geräuschemissionen werden in der Genehmigungspraxis herangezogen, um die Abstandsfläche zur nächstgelegenen Bebauung zu bestimmen – Anwohner sollen durch die Anlagen nicht belästigt werden. Eine nominell leistungsstarke Anlage, die zu laut ist und daher nicht errichtet werden darf, nutzt niemandem. Um den Ausbau der Windenergie fortzusetzen, arbeiten verschiedene Forschungsprojekte daran, die Drehung der Rotorblätter und des Antriebsstrangs möglichst leise zu gestalten.

Gelingt es etwa, den Geräuschpegel einzelner Windenergieanlagen um ein, zwei oder drei Dezibel herunterzufahren, könnte die Anzahl der Anlagen gesteigert werden. Die mögliche Leistung des Windparks steigt dann um bis zu 100 Prozent an, bei gleicher Schallemission. Aktuell legen die einzelnen Bundesländer die zulässigen Geräuschpegel innerhalb ihrer Landesbauordnungen fest. Bei den aufgestellten Regeln handelt es sich um Faustformeln. Für jede neue Anlage, für jedes Repowering wird ein Genehmigungsverfahren eingeleitet, jeder Einzelfall wird geprüft.

Wesentliche Ursachen für den Schall liegen in der Grenzschicht eines Rotorblattes. Dabei handelt es sich um eine dünne Luftschicht, die direkt am Rotorblatt anliegt. Durch die Bewegung der Rotorblätter kommt es in der Grenzschicht zu turbulenten Druckschwankungen. Diese Turbulenzen setzen sich bis zur Hinterkante des Blattes fort und werden von dort als Schall in die Umgebung abgegeben. Da die Turbulenzen am Blatt entlang zur Hinterkante geleitet werden, hat das Blattprofil einen großen Einfluss auf den entstehenden Schallpegel. Generell nimmt die Lautstärke zwar ebenfalls zu, je

Bürstenfortsätze an der Hinterkante eines Rotorblattes mindern den entstehenden Schall

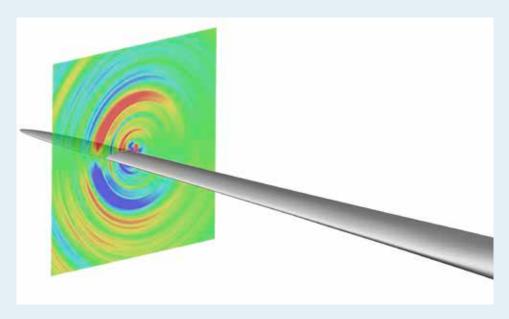


schneller sich der Rotor dreht und je größer sein Durchmesser ist – diese zwei Ansätze tragen jedoch direkt zum Ertrag der Anlage bei, weswegen viele Forschungsprojekte zu leisen Rotorblättern am Blattprofil ansetzen. Die Luftturbulenz innerhalb der Grenzschicht soll möglichst effektiv gemindert werden, damit der Schall erst gar nicht abgegeben wird.

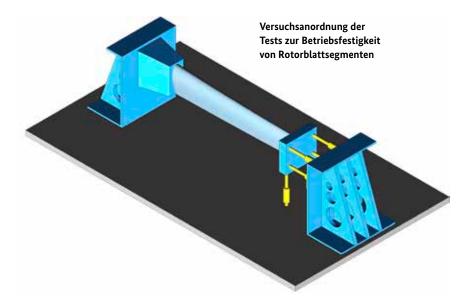
Um den Schall zu mindern, können sowohl passive als auch aktive Maßnahmen eingesetzt werden. Aktive Maßnahmen benötigen Energie, können jedoch auf den jeweiligen Anströmzustand abgestimmt werden. So hat sich etwa das gezielte, flächige Absaugen der Grenzschicht als lärmmindernd erwiesen. Innerhalb des deutsch-israelischen Projekts ActiQuiet, auf deutscher Seite bearbeitet durch das Institut für Aerodynamik und Gasdynamik (IAG) der Universität Stuttgart, erreichten die Wissenschaftler hierdurch signifikante Lärmreduktionen bis zu 6 Dezibel bei moderaten Absaugstärken.

Passive Maßnahmen setzen oft direkt an der Form des Blattprofils an. Bereits 2010 wurde ein entsprechendes Projekt von GE Wind Energy abgeschlossen. Durch sägezahnartige Hinterkanten oder Hinterkanten mit porösen Materialien konnte hierbei der Lärmpegel signifikant reduziert werden. Das aktuelle Projekt BELAR-WEA des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) legt seinen Schwerpunkt auf die Gestaltung der Blattspitze. Unter anderem sollen hierfür auch passive Lärmminderungstechnologien aus der Luftfahrt übertragen werden, wie etwa Bürstenfortsätze.

Das neu begonnene Projekt RENEW unter Koordination von Senvion schließlich beinhaltet sowohl passive als auch aktive Ansätze. Hier wird eines der leisesten – und längsten – Rotorblätter für ertragsstarke Onshore-Windturbinen an Schwachwindstandorten entwickelt. Mit der Universität Siegen besteht dabei eine enge wissenschaftliche Zusammenarbeit. Durch die untersuchten Maßnahmen soll einerseits das Entstehen des Schalls unterbunden werden, indem die turbulente Grenzschicht manipuliert wird. Andererseits sollen bereits entstandene Schallwellen an der Hinterkante der Rotorblätter vorteilhaft gestreut werden. Die Lösungsansätze sollen schließlich vom Labormodell auf die reale Turbine übertragen werden.



Per Simulation wird ausgewertet, wie viel Schall durch das Rotorblatt abgegeben wird



Auswahl geförderter Projekte

Rotorblätter schneller und effizienter testen

Die Rotoren von Windenergieanlagen werden immer größer und die Rotorblätter flexibler. Dies stellt neue Anforderungen an die Prüfung der Betriebsfestigkeit der Blätter. Im Vorhaben **Zukunftskonzept Betriebsfestigkeit von Rotorblättern** entwickelt das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in Bremerhaven deshalb neue Methoden für die Blattsegment-, Blattabschnitts- und Komponentenprüfungen für Rotorblätter. So können die Prüfzeiten und Versuchskosten reduziert und die Abbildung der Betriebsbelastungen verbessert werden.

Die Forscher wollen die Prüfzeit für Rotorblätter reduzieren, indem sie bei langen Blättern Blattsegmentversuche anstatt wie bisher Ganzblattversuche - durchführen. Dank der neu entwickelten Segmentprüfungen soll die Gesamttestdauer und damit auch der Energiebedarf um bis zu 30 Prozent reduziert werden. Außerdem wollen die Wissenschaftler dank der Komponenten- und Blattabschnittsprüfungen verbesserte Möglichkeiten zur Validierung der verwendeten Materialmodelle schaffen. Ferner können einzelne Rotorblattabschnitte tiefergehend untersucht werden oder Nachuntersuchungen erfolgen, ohne dass hierfür komplette Rotorblätter gefertigt werden müssen. Diese Möglichkeiten können zum Beispiel für Designanpassungen oder neuartige Rotorblattdesigns genutzt werden, sodass der Betriebsfestigkeitsnachweis bei der Umsetzung von innovativen Ansätzen vereinfacht werden kann. Ein Beispiel sind so genannte Smart Blades, also intelligente Rotorblätter, die zur Lastreduktion für die Gesamtanlage eingesetzt werden. Das Vorhaben wird vom BMWi sowie vom Land Bremen gefördert. Der Anteil des BMWi beträgt dabei rund 2,5 Millionen Euro.

Sensoren schauen voraus

Die Kraftübertragungselemente in Windenergieanlagen (WEA) sind hohen dynamischen Beanspruchungen ausgesetzt. Alle während des Betriebs des Windrotors erzeugten Unwuchten und Schwingungen lösen in den Antriebswellen zusätzliche Kräfte und Momente aus. Dies kann zu Lager- und Getriebeschäden und infolgedessen zu langen Ausfallzeiten der Anlage führen. Für zielgerichtete Fortschritte in Konstruktion, Fertigung und Werkstoffwahl fehlen jedoch aussagekräftige Messdaten.

Ein Forschungsverbund unter Koordination von Schaeffler Technologies will deshalb im Projekt BiSWind eine bauteilintegrierte Sensorik für Kraftübertragungselemente in WEA entwickeln. Bislang sind die einzelnen Getriebekomponenten wie Wellen, Lager oder Zahnräder messtechnisch nur eingeschränkt zugänglich. Deshalb beabsichtigen die Forscher, ein autarkes Messsystem für das Condition Monitoring zu entwickeln, das auf bauteilintegrierter Sensorik basiert. So wollen sie vor allem das Drehmoment, aber auch die Bauteiltemperatur, Vibrationen sowie die Drehzahl überwachen. Die Systeme müssen robust gegen Alterung und beständig gegen Medien wie Kühlmittel, Schmierstoffe oder Feuchtigkeit - insbesondere im Hinblick auf einen Offshore-Einsatz – sein, um die Technologie erfolgreich in die Großserienanwendung übertragen zu können. Daher erforschen die Projektpartner Technologien und Konzepte, um die Sensoren und Leiterbahnen direkt, also ohne Klebeverbindungen, auf Bauteiloberflächen zu integrieren. Dies wollen sie mit Dünnschichttechnologie und Mikrostrukturtechnik möglich machen.

Durch die neuen Sensoren werden bedarfsgerechte Instandhaltungsstrategien ermöglicht, technische Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit von WEA werden erhöht. Die Lastzustände im Triebstrang werden zuverlässig erfasst, innovative Steuerungs- und Regelungskonzepte können

Flexible Schiffe ermöglichen effiziente Installation

Der Wind bläst stark, die Wellen schlagen hoch. An eine Installation von Windenergieanlagen (WEA) auf hoher See ist bei Wetterverhältnissen wie diesen nicht zu denken. Die Installationsschiffe müssen an solchen Tagen im Hafen bleiben, um bessere Wetterbedingungen abzuwarten. Dies steigert jedoch die Installationskosten der Windparks. Senvion entwickelt deshalb im Forschungsvorhaben "Skills" gemeinsam mit dem Forschungsverbund LogDynamics an der Universität Bremen sowie Deugro Danmark als assoziiertem Partner ein neues Installations- und Logistikkonzept mit innovativen Transport- und Hebekonzepten für WEA-Komponenten.

Die bislang eingesetzten Installationsschiffe, so genannte Jack-Up-Barges, sind durch herunterfahrbare Standbeine selbstaufstellend. Damit sind sie in der Lage, die oftmals mehrere hundert Tonnen schweren und großen Bauteile einer WEA zu heben und auf See zu installieren. Der Transport aller Komponenten vom Verladehafen zum Installationsort erfolgt meist durch das Installationsschiff selbst. Da das Schiff für den Transport aller Komponenten mehrfach zwischen Hafen und Installationsort pendeln muss, beträgt die reine Installationszeit vor Ort oftmals nur 75 Prozent der gesamten Logistikzeit. Im Zuge des Offshore-Ausbaus werden immer weiter entfernte Flächen auf dem Meer erschlossen, damit steigen auch die Fahrtzeiten weiter an. Je nach Größe kostet ein solches Installationsschiff pro Tag rund 150.000 Euro Miete – unabhängig davon, ob das Schiff Anlagen installiert, Komponenten transportiert oder wegen schlechten Wetters im Hafen wartet.

Aufgejackte Installation Vessel (Bildmitte) mit Feederschiff samt Komponenten (rechts). Von dort aus soll eine Turbine auf den Monopile (links) installiert werden Hier setzt Skills an. Ziel des Konzepts ist es, die Komponenten-Transporte mit kostengünstigeren Transportschiffen durchzuführen. So wollen die Forscher die Effizienz des Installationsschiffeinsatzes signifikant steigern und die Kosten senken. Die Projektpartner planen, so genannte Feederschiffe einzusetzen, welche das Installationsschiff mit den WEA-Komponenten versorgen. Das Installationsschiff selbst könnte dann wiederum vor Ort im Windpark verbleiben. Die Feederschiffe können flexibel gestaltet werden und auch als mobile Zwischenlager für die Komponenten dienen. Das Konzept wird für die Installation von Sechs-Megawatt-Turbinen unter Nordseebedingungen ausgelegt und soll bei einer Wellenhöhe von bis zu 2 Metern genutzt werden.

Um die Aufgabe praktisch umsetzen zu können, müssen die Projektpartner jedoch noch einige Herausforderungen lösen: So ist der Hebevorgang der großen, komplexen und tonnenschweren WEA-Komponenten vom schwankenden Transportschiff auf die ruhende Plattform eines Installationsschiffes bereits bei leicht ungünstigen Wetterverhältnissen derzeit noch nicht möglich. Bauteile könnten beschädigt werden, auch Menschen würden gefährdet. Die Wissenschaftler rund um das Projekt Skills entwickeln deshalb zusätzlich innovative Hebekonzepte und neue technologische Lösungen für den Transport sowie eine Dämpfung, um Komponentenbewegungen abfedern und Risiken weiter minimieren zu können. Diese neuen Hebe- und Transportkonzepte sollen im Offshore-Windpark Nordsee One der RWE demonstriert werden. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 3,1 Millionen Euro.



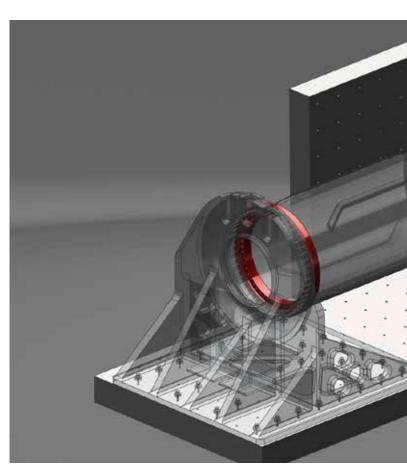
darauf aufbauen. Insbesondere an exponierten und schwer zugänglichen Standorten wie offshore oder in Bergregionen ist dies für einen wirtschaftlichen Betrieb der WEA entscheidend. An BiSWind beteiligen sich neben Schaeffler sieben weitere Projektpartner aus Industrie und Forschung. Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 2,4 Millionen Euro.

Forschungswindenergieanlage der Universität Bremen



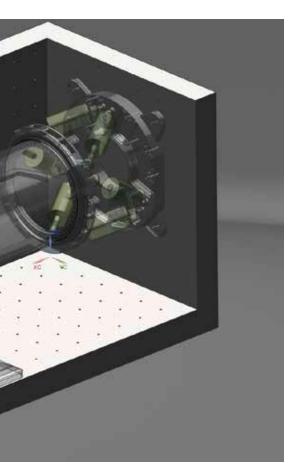
Neuer Prüfstand für Blattlager

Blattlager von Windenergieanlagen (WEA), die die Rotation der Rotorblätter um ihre Längsachse und damit die Verstellung des Blattanstellwinkels ermöglichen, werden heutzutage weitgehend erfahrungsbasiert ausgelegt. WEA-Hersteller streben für die Zukunft jedoch bedeutende Änderungen an der Regelung der Anlagen an, die unter anderem eine kontinuierliche und Rotorblatt-individuelle Anpassung des Blattanstellwinkels (Individual Pitch Control, IPC) beinhalten. Durch diese Maßnahme zur Reduktion von Lasten kann die Struktur einer WEA leichter und damit günstiger gestaltet werden – die Kosten für Strom aus Windenergie sinken. IPC gleicht die Lasten einzelner Rotorblätter aneinander an und reduziert so die Gesamtlasten, die auf die Struktur der WEA wirken. Aktuell ist es jedoch nicht möglich, sichere Aussagen über die Eignung von Rotorblattlagern für den Einsatz dieser Maßnahme zu treffen. Darüber hinaus steigen durch IPC auch die Anforderungen an die Lager. Auch das zu beobachtende Größenwachstum moderner Windenergieanlagen erfordert immer höhere Belastbarkeiten der Lager.



Innerhalb des Forschungsprojekts HAPT (kurz für Highly Accelerated Pitch Bearing Test) sollen daher ein Prüfstand für die beschleunigte Dauerprüfung von Blattlagern errichtet sowie eine korrespondierende beschleunigte Prüfmethode entwickelt werden. Die benötigten Blattlager können somit rechnerisch ausgelegt und die jeweiligen Ergebnisse unter realistischen Bedingungen validiert werden. Auf Grundlage dieser Werte können neue Lagerkonzepte und Regelungsalgorithmen entwickelt werden.

Auf Basis der durchgeführten Dauertests sollen die Lager in Zukunft exakter und IPC-geeignet dimensioniert werden können. Darüber hinaus entwickeln die Wissenschaftler aus den Testergebnissen eine Methode zur Lebensdauerberechnung von Blattlagern. Das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in Bremerhaven koordiniert das Vorhaben, an dem sich die IMO Unternehmensgruppe sowie die Leibniz Universität Hannover beteiligen. Das BMWi fördert HAPT mit rund 10,7 Millionen Euro.



Geplanter HAPT-Prüfaufbau mit 4-Meter-Prüflager (rot)

Den Wind kontrollieren

Windenergieanlagen (WEA) werden immer größer und komplexer. Mit dem Offshore-Ausbau steigen aufgrund der widrigen Umweltbedingungen zudem die Belastungen für die Windenergieanlagen. Dies stellt neue Anforderungen an die Regelungstechnik, denn sie hält die Anlagen stabil in einem optimalen Betriebsbereich. Im Forschungsprojekt Wind under Control entwickeln die Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in Bremerhaven aktuelle Regelsysteme weiter. Durch verbesserte dynamische Modelle und fortgeschrittene Regelalgorithmen sollen moderne Multi-Megawatt-Anlagen effizient und wirtschaftlich betrieben werden können.

Die momentan verwendeten Modelle zum Reglerentwurf stehen hinter der schnellen Weiterentwicklung der WEA zurück. Sie berücksichtigen zum Beispiel noch nicht ausreichend die Flexibilität der Rotorblätter und des Turms sowie die Interaktion der Komponenten. Parallel zum Anlagenwachstum verstärken sich die Schwingungen, die sich aus der Flexibilität der Anlagenkomponenten ergeben. Darum wird es zunehmend wichtiger, die Schwingungsdynamik der WEA zu betrachten. Infolgedessen müssen sowohl der Effekt der Regler auf Komponentenlasten als auch der Entwurf des Reglers selbst weiterentwickelt werden, um die Lasten sicher reduzieren zu können.

Die Wissenschaftler wollen auf Grundlage dieser neuen Anforderungen dynamische Modelle zur Regelungstechnik für moderne WEA entwickeln und als Softwaremodul für einen Echtzeitsimulator verwenden. Anhand dieser Modelle sollen Regelalgorithmen hergeleitet und an einer Referenzturbine erprobt werden. Schließlich wollen die Forscher die optimierten Regelsysteme im Gondelprüfstand DyNaLab (Dynamic Nacelle Testing Laboratory) erproben (siehe Seite 24). Das BMWi fördert Wind under Control mit rund 1,6 Millionen Euro.

HIGHLIGHT

Prüfstand für komplette Gondeln in Betrieb genommen

Eine weltweit einzigartige Prüfeinrichtung ist mit dem Gondelprüfstand am Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES im Herbst 2015 in Betrieb genommen worden: Komplette Gondeln, die Maschinenhäuser am Kopf der Windenergieanlagen (WEA), können hier bis zu einer Leistung von 8 Megawatt realitätsnah unter Laborbedingungen getestet werden. "Endlich: Nie wieder auf Wind warten und nie wieder den Netzbetreiber fragen müssen", fasste Professor Jan Wenske vom Fraunhofer IWES die Vorteile des Prüfstands in seiner Eröffnungsrede zusammen. Die Entwicklung neuer Windenergieanlagen wird hierdurch stark beschleunigt. Neue, leistungsfähige und vor allem zuverlässige Anlagen kommen schneller auf den Markt und tragen somit zu einer erfolgreichen Energiewende bei.

Der Gondelprüfstand ist das Herzstück des neu errichteten Prüfzentrums für Gondeln (engl. "nacelle") namens Dynamic Nacelle Testing Laboratory, kurz DyNaLab. Neben dem zentralen Prüfstand wird zurzeit auch ein ebenfalls vom BMWi geförderter Prüfstand zur Betriebsfestigkeitsuntersuchung von WEA-Hauptwellen in Betrieb genommen. Darüber hinaus sind dort noch kleinere Testeinrichtungen für wichtige einzelne Komponenten wie etwa Umrichter, Generatoren oder Wälzlager geplant. Der über 700 Tonnen schwere Gondelprüfstand befindet sich in der zentralen, 30 Meter hohen Halle. In nur 18 Monaten wurde das Bauvorhaben fertiggestellt von der Grundsteinlegung bis zur Inbetriebnahme. "Die teilweise einzigartigen Komponenten stammen aus ganz Europa", berichtete Jan Wenske, "diese Hightech-Maschine ist in mühevoller Kleinarbeit entstanden." Mehrere Unternehmen haben hieran mitgewirkt.

In der Gondel einer Windenergieanlage befinden sich Antriebsstrang und Generator sowie weitere Komponenten, wie etwa Bremse oder Regelung der Anlage, die unter anderem die Drehgeschwindigkeit des Rotors beeinflusst. Hier entsteht aus der Bewegung des Rotors der elektrische Strom. Diese Drehbewegung sowie sämtliche Lasten, die durch die Windströmung auf die



aktuell bis zu 80 Meter langen Rotorblätter einwirken, werden nun im DyNaLab künstlich durch den neuen Prüfstand erzeugt. Die zu testende Gondel wird an den Prüfstand angedockt und durchläuft dort auf Knopfdruck sämtliche Betriebszustände, die theoretisch möglich sind – ob Sturm, Böen oder plötzliche Windstille. Ein Antriebsmotor mit einer Leistung von 10 Megawatt simuliert das Drehmoment des Rotors, weitere Kräfte wie Ziehen oder Schieben durch die im Wind schwankenden Rotorblätter werden hydraulisch eingeleitet.



Der Gondelprüfstand des DyNaLab am Fraunhofer IWES wurde im Oktober in Betrieb genommen

Auch die Auswirkungen des Pitch-Systems, mit dem die Anstellwinkel der Rotorblätter an die Windgeschwindigkeit angepasst werden, bzw. des Yaw-Systems, durch das die Gondel in Windrichtung gedreht wird, werden in die Prüfung integriert.

Ein virtuelles Mittelspannungsnetz mit bis zu 36.000 Volt, an das der Prüfling angeschlossen ist, ergänzt die mechanischen Tests – dabei handelt es sich mit 44 MVA (Megavoltampere) installierter Umrichterleistung um die weltweit leistungsfähigste Netznachbildung. Da der Zustand des Stromnetzes direkte Auswirkungen auf den Betrieb einer Windenergieanlage hat, werden unterschiedliche Netzsituationen nachgebildet. Mögliche Fragestellungen sind, wie sich die Anlage bei Notstopps oder etwa bei einem Netzkurzschluss verhält. Im Gegensatz zu Tests in einem realen Stromnetz ist hier eine hohe Wiederholfrequenz der verschiedenen Zustände möglich. Zudem bleiben mögliche Unzulänglichkeiten der Gondelprototypen ohne Einfluss auf die regionale Energieversorgung.

Der Prüfstand ist zugänglich für alle Anlagenhersteller und ermöglicht aussagefähige Labortests, um bestehende und zukünftige Anlagenkonzepte zu beurteilen und zu optimieren. Die Infrastruktur des DyNaLabs gewährleistet zudem einen flexiblen und schnellen Wechsel von Prüflingen. Das BMWi hat das Projekt mit rund 19 Millionen Euro gefördert. Insgesamt sind dort Fördermittel in einer Höhe von 35 Millionen Euro eingeflossen (davon 6 Millionen Euro vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), 6 Millionen Euro vom Land Bremen (Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung) sowie 4 Millionen Euro von der Fraunhofer-Gesellschaft).

Solarenergie



Strom aus Sonnenenergie kann auf zwei grundlegend verschiedene Arten erzeugt werden. Die Photovoltaik nutzt physikalische Eigenschaften von Halbleitermaterialien – diese Technik ist hierzulande einfach einsetzbar und wegen der Förderung über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) für viele Hausbesitzer attraktiv. Bei solarthermischen Kraftwerken hingegen wird die Wärme der Sonnenstrahlen eingefangen, um damit einen Kraftwerksprozess in Gang zu setzen. Für diese Technologie wird ein Klima mit hohem Direktstrahlungsanteil benötigt, wie es beispielsweise in Südeuropa, Nordafrika oder auch Teilen der USA vorherrscht. Daher werden solarthermische Kraftwerke hierzulande ausschließlich für den Export entwickelt.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Die Photovoltaik soll zukünftig zusammen mit der Windenergie die Hauptlast der deutschen Stromversorgung übernehmen. 2015 trug sie 6 Prozent des deutschen Stromverbrauchs. An dem durch erneuerbare Energien erzeugten Strom war das ein Anteil von 20 Prozent.

Der deutsche Markt für die Photovoltaikindustrie war auch im Jahr 2015 weiterhin schwierig. Der vorgesehene Ausbaukorridor von 2,4 bis 2,6 Gigawatt wurde mit rund 1,5 Gigawatt nicht erreicht. Der Weltmarkt hingegen stieg 2015 weiter an und bestätigt die positive Trendwende, die bereits für das Jahr 2014 festzustellen war. Nach Analysen mehrerer Beratungsgesellschaften sind weltweit im Jahr 2015 zwischen 55 und 59 Gigawatt Photovoltaikleistung instal-

liert worden. Gegenüber 2014 mit 42 Gigawatt Zubau ist das ein deutlicher Anstieg. Die treibenden Märkte dahinter sind China, Japan und die USA, sie machten alleine rund 60 Prozent der Installationen aus. Das globale Wachstum bietet auch deutschen Unternehmen gute Chancen, da sie qualitativ hochwertige Produkte und konkurrenzfähige Preise bieten können.

In Deutschland sind aktuell drei Unternehmen tätig, die Solarzellen und Module für den Massenmarkt fertigen. Dazu gehört zum einen die SolarWorld Gruppe. Weiterhin haben im Jahr 2015 zwei neue Unternehmen mit der Fertigung von Solarzellen und Modulen in Deutschland begonnen bzw. die bestehende Kapazität ausgebaut und damit eine weitere Fertigungskapazität von rund 500 Megawatt realisiert.

Aktuell stellt die SolarWorld Gruppe ihre Fertigung auf die PERC-Technologie um, als direkte Konsequenz aus den Erfolgen bei Forschung und Entwicklung (siehe auch Interview, Seite 28). PERC-Zellen (Passivated Emitter and Rear Cell) zeichnen sich durch eine sehr gute Passivierung von Vorder- und Rückseite aus. Die Zellrückseite wird zudem im Gegensatz zur bisher etablierten Al-BSF-Zelle (Aluminium-Back-Surface-Field) nur lokal statt durch eine ganzflächige Aluminiumschicht kontaktiert. Mit dieser Zelle lassen sich geringere Stromkosten erreichen. Auch international ist die Umstellung auf die PERC-Technologie als allgemeiner Trend zu beobachten, die somit die bisherige Al-BSF-Solarzelle ablöst.

Der deutsche Anlagenbau für Photovoltaik erlebte 2015 einen deutlichen Aufschwung. Mit einem Weltmarktanteil von über 50 Prozent konnte der deutsche Photovoltaik-Maschinenbau auch in den ersten neun Monaten des Jahres seine hervorragende Wettbewerbsposition behaupten. Der Wettbewerb insbesondere mit asiatischen Ausrüstern nimmt allerdings an Intensivität zu. Gleichzeitig nimmt das Amerikageschäft Fahrt auf.

Für solarthermische Kraftwerke sind sowohl die internationale Konkurrenz als auch der Weltmarkt, der sich insgesamt weiterhin relativ verhalten entwickelt, eine Herausforderung. Kraftwerke werden zwar weltweit gebaut. Da sich die Kosten insbesondere im Vergleich zur Photovoltaik jedoch nicht ausreichend reduziert haben, bleibt die Stückzahl neuer Kraftwerke übersichtlich (siehe auch "Im Fokus", Seite 36). Der geringe Umsatz mit solarthermischen Kraftwerken führt darüber hinaus dazu, dass Kostensenkungen, die sich bei einer größeren Produktzahl durch Skaleneffekte ergeben würden, ebenfalls nicht realisiert werden können. Im Januar 2016 waren insgesamt weltweit rund 4,6 Gigawatt an Kraftwerkskapazität vorhanden, gegenüber dem Vorjahr ist das abermals ein Zuwachs um circa 0,6 Gigawatt. Die geringe Nachfrage hat in Deutschland mittlerweile zu einem Abbau von Produktionskapazitäten geführt.

Im Wesentlichen sind es ausländische Unternehmen, die Kraftwerke anbieten bzw. projektieren, insbesondere Spanien, Israel und die USA. Deutschland ist jedoch ein wichtiger Lieferant von Komponenten wie Heliostaten, Parabolrinnen, Receiverrohren sowie für den Kraftwerksteil eines solarthermischen Kraftwerks. Hierbei halten die deutschen Komponentenhersteller und Zulieferer technologisch eine Spitzenposition. Zu den relevanten Forschungseinrichtungen gehören das Solar-Institut Jülich der FH Aachen sowie

das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) – dieses betreibt etwa das Demonstrationskraftwerk in Jülich, das nun als Forschungsstandort ausgebaut werden soll (siehe Seite 37).

Solarthermische Kraftwerke können voraussichtlich in Zukunft eine größere Rolle spielen. Generell bieten diese zwei erhebliche Vorteile gegenüber Photovoltaik und Windenergie: Durch die vergleichsweise einfache Speicherung von Wärme kann die Energie bedarfsgerecht produziert werden. Zudem können die Kraftwerke in einem Hybridbetrieb laufen, indem der solarthermische Kraftwerksteil mit einem fossil befeuerten kombiniert wird. Dadurch lässt sich die Solarisierung der Energieversorgung schrittweise gestalten. Somit haben die solarthermischen Kraftwerke in sonnenreichen Ländern eine hohe Bedeutung für den Wandel der Stromversorgung hin zu einem regenerativen, klimaneutralen System. Für die betroffene Region selbst bietet die Technologie noch den Vorteil der lokalen Wertschöpfung: Es entstehen Arbeitsplätze für Bau und Betrieb vor Ort - im Gegensatz zu Photovoltaikkraftwerken, für die lediglich fertige Photovoltaikmodule installiert werden müssen.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Im Bereich der Photovoltaik existieren prinzipiell grundsätzlich unterschiedliche Technologien von Solarzellen, bei denen zum Teil auch unterschiedliche Halbleitermaterialien eingesetzt werden. Standard am Markt sind nach wie vor Photovoltaikmodule auf Basis des kristallinen Siliziums - auch die neu entwickelte PERC-Technologie basiert auf diesem Material. Die international stattfindende Umstellung auf die neue Technologie lässt sich als klarer Erfolg von Forschung und Entwicklung insbesondere in Deutschland verzeichnen. Der Grundaufbau der neuen Zelle erlaubt zudem kontinuierliche Weiterentwicklungen, um den Wirkungsgrad weiter zu erhöhen – das theoretisch ermittelte Leistungslimit ist in der Produktion noch nicht erreicht. Ein zukunftsweisendes Beispiel ist die TOPCon-Solarzelle (siehe Highlight-Projekt, Seite 33). Hierfür müsste die PERC-Zelle entsprechend modifiziert werden, die Rückseite anders aufgebaut werden. Mit der einfach aufzubringenden Beschichtung aus Siliziumdioxid auf hochdotiertem Silizium hat das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE im Jahr 2015 einen Weltrekord von 25,1 Prozent Wirkungsgrad bei einer TOPCon-Laborzelle erreicht.

Um den Ausbau voranzutreiben, ist es nach wie vor entscheidend, die Kosten für Photovoltaik kontinuierlich zu reduzieren. Dafür werden Module mit hohem Wirkungsgrad benötigt, die so viel Strom wie möglich aus dem vorhandenen Sonnenlicht gewinnen.

Im Bereich der Dünnschicht-Photovoltaik bietet die CIGS-Technologie ein hohes Potenzial für die kostengünstige Produktion von Strom aus Sonnenlicht. Bei CIGS-Zellen besteht der Halbleiter aus den Elementen Kupfer, Indium, Gallium und Selen statt aus Silizium. Im Vergleich zu einer Zelle aus kristallinem Silizium sind diese Halbleiterschichten knapp hundert Mal dünner. Für CIGS-Zellen liegt der aktuelle Wirkungsgrad-Weltrekord für Laborzellen bei 22,3 Prozent, erreicht von Solar Frontier im Dezember 2015. Die Laborwerte müssen im Anschluss auf die industrielle Fertigung übertragen werden. Neben Forschung und Entwicklung für einen höheren Wirkungsgrad bildet die Gebäudeintegration der vergleichsweise dünnen und somit leichten Module einen weiteren Schwerpunkt.

Bei den solarthermischen Kraftwerken stellt nach wie vor die Parabolrinnentechnologie mit Thermoöl als Wärmeträgermedium den Stand der Technik dar. Hierbei werden die Sonnenstrahlen durch parabolförmig gebogene Spiegel auf ein Rohr, den so genannten Receiver, konzentriert, in dem Thermoöl zirkuliert und erhitzt wird. Wesentlicher Nachteil dieser Technik sind die mit 400 Grad Celsius relativ niedrige Betriebstemperatur, der daraus resultierende geringere Kraftwerkswirkungsgrad und ein gegebenenfalls höheres erforderliches Speichervolumen. Untersuchungen des Langzeitbetriebs haben nun zudem ergeben, dass sich das Thermoöl zersetzt und sich die Wasserstoffkonzentration in den Receiverrohren von Parabolrinnenkraftwerken über die Jahre erhöht. Nach acht bis zehn Jahren ist ein deutlicher Effekt zu beobachten, der die Effizienz der Kraftwerke senkt. Langfristig muss demnach ein Ersatz für das Thermoöl gefunden werden.

Neben der Parabolrinnentechnologie existiert die Technologie des solarthermischen Turmkraftwerks. Hierzu liegen noch weniger Erfahrungen vor als zur Parabolrinnentechnologie. Das Sonnenlicht wird hierbei durch eine Vielzahl aufgeständerter Spiegel auf einen Receiver am oberen Ende eines Turms konzentriert. Aktuell sind Turmkraftwerke mit Wasserdampf, Salz oder Luft als Wärmeträgermedium in Entwicklung, Bau oder Betrieb.

IM FOKUS

Internationaler Wettbewerb: Risiken und Chancen für deutsche Unternehmen

Der internationale Wettbewerb für die Photovoltaikbranche ist hart, viele deutsche Unternehmen haben innerhalb der vergangenen Jahre das Geschäft aufgegeben. SolarWorld ist nunmehr das letzte große Unternehmen, das in Deutschland Solarkristalle, Wafer, Solarzellen und -module für den Massenmarkt fertigt – europaweit ist es der größte Solarproduzent. SolarWorld überführte als erster Hersteller PERC in die Massenfertigung, als neue und effizientere Solarzellgeneration. Dazu geführt haben die Arbeiten des Unternehmens SolarWorld Innovations (SWIN), in dem die globalen Forschungsaktivitäten der SolarWorld (SW) gebündelt werden. Seit 2009 ist Dr. Holger Neuhaus Geschäftsführer der SWIN.

Die vergangenen drei bis vier Jahre waren hart für die deutsche Photovoltaik-Industrie. Wie haben Sie diese Zeit aus Perspektive der SWIN erlebt?

Neuhaus: Die Krise hat zweierlei Auswirkungen gehabt. Einerseits war natürlich auch die SW unter Druck, diese Zeit zu überstehen. Wir mussten Einsparmaßnahmen durchführen und es schaffen, noch mehr in weniger Zeit zu leisten und umzusetzen. Andererseits war Innovation so stark gefragt wie noch nie. Die Zeit der Krise war auch die Zeit, in der die SW die meisten Entwicklungen in die Produktion überführt hat.

Lässt sich aus dieser Zeit ein Fazit ziehen? Worauf sollten deutsche Unternehmen Ihrer Ansicht nach setzen, um im internationalen Wettbewerb zu bestehen? Neuhaus: Eine ganz wichtige Säule ist auf jeden Fall Innovation. Dabei ist wesentlich, die Ergebnisse vom Labor in die Produktion zu überführen, was nicht immer leichtfällt. Bei dem aktuellen Kostendruck wird es in Zukunft darauf ankommen, dass man sich die dabei entstehenden Risiken und Kosten teilt und schnell ist: Anlagenbauer und Produktion müssen noch stärker zusammenarbeiten. Innovativ kann man grundlegend in vielen Bereichen sein. Traditionell ist es, die Module günstiger oder leistungsstärker zu machen. Man kann aber auch in der Qualität punkten und damit die Lebensdauer und Garantie erhöhen. Vermehrt kommt

es darauf an, was unter dem Strich als Energieertrag pro Jahr rauskommt. Da sind unsere gerade in die Produktion überführten Bifacialmodule mit einem Mehrertrag von bis zu 30 Prozent zu erwähnen. Sicherlich auch immer sinnvoller und wichtiger werden Komplettsystemlösungen.

Wenn man auf die Qualität schaut, für die Deutschland nach wie vor steht - beinhaltet der internationale Wettbewerb auch Chancen für deutsche Unternehmen? Neuhaus: Weltweit hat sich die Technologie des kristallinen Siliziums durchgesetzt. Solarzellen aus kristallinem Silizium machen 85 bis 90 Prozent des Weltmarkts aus. Und die Ideen sowie das Know-how und die Patente kommen zu 60 Prozent aus Deutschland, 15 weitere Prozent aus dem restlichen Europa und die verbleibenden 25 Prozent aus den USA. Da kommt noch nichts aus Asien, das ist eine Riesenchance. Auch im Maschinenbau kommen heute 50 Prozent aller Anlagen aus Deutschland. Es ist wichtig, dass der Anlagenbau und die letzten verbliebenen Produzenten und Materialhersteller in Deutschland und Europa sehr eng zusammenarbeiten, um diesen Vorteil, den sie in der Vergangenheit gut genutzt haben, in Zukunft weiter auszuspielen.

Die SW hat aktuell mit der Umstellung auf PERC-Zellen einen Technologievorsprung erreicht. Wie lange hält der Effekt vor?

Neuhaus: Wir waren die ersten, die die PERC-Technologie 2012 in der Massenfertigung in größerem Volumen umgesetzt haben, in Zukunft werden wir bei 1,4 Gigawatt PERC-Kapazität in der Produktion sein. Es wird bei dem einen oder anderen schon noch zwei bis fünf Jahre brauchen, dies zu erreichen. In der Entwicklung sind wir nahe an 22 Prozent mit einer industriellen PERC-Solarzelle. Die besten Mitbewerber sind bei 21,4 Prozent, da schätze ich unseren Vorsprung auf anderthalb bis zwei Jahre.



Dr. Holger Neuhaus, SolarWorld Innovations (SWIN)

Wenn PERC als die neue Zellgeneration gilt – wie lange dauert es bis zum nächsten Technologiewechsel?

Neuhaus: Das Limit für diese Technologie liegt bei 24 Prozent: Man hat hier noch relativ viel Luft, um die PERC-Technologie evolutionär über kontinuierliche Verbesserungen weiterzuentwickeln. Im Modul wird noch eine verbesserte String-Technologie kommen. Mit PERC und der verbesserten String-Technologie werden am Ende dort 380 Watt stehen, wo es heute noch 260 Watt sind. Vielleicht wird die PERC-Rückseite noch durch TOPCon ersetzt (siehe Seite 33), weitestgehend mit Anlagen, die wir kennen, wobei auf der Solarzellenvorderseite größtenteils keine Veränderungen zum jetzigen Produkt notwendig sind.

Kurzinfo: PERC-Solarzelle

Die Abkürzung "PERC" steht für "Passivated Emitter and Rear Cell". Bei diesen Solarzellen sind Zellvorderseite sowie Zellrückseite sehr gut passiviert. Zudem wird die Zellrückseite nur lokal durch Aluminium kontaktiert, statt wie bei der bisherigen Al-BSF-Technologie (Aluminium-Back-Surface-Field) durch eine ganzflächige Aluminiumschicht.

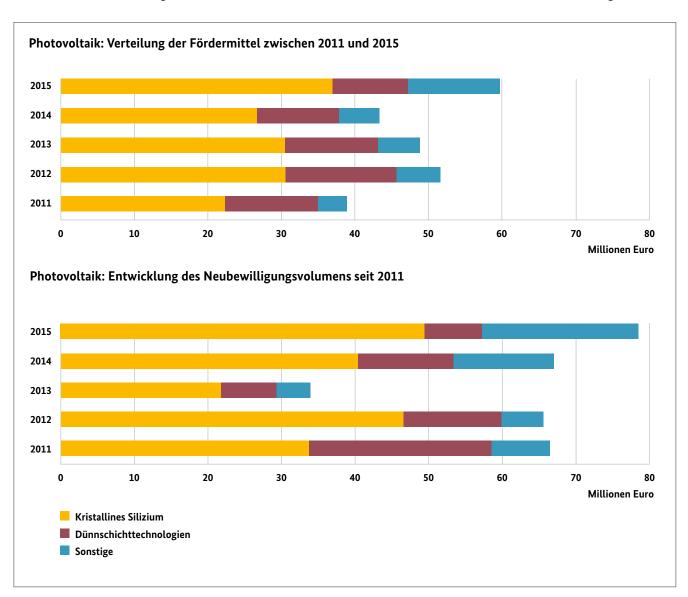
Der Entwicklungstrend bei Solarthermischen Kraftwerken geht insgesamt zu höheren Temperaturen. Diese sollen durch den Einsatz entweder von Salzschmelzen (Turm und Rinne) oder Direktverdampfung bzw. Luft als Wärmeträger (Turm) erreicht werden. Ein in 2016 startendes Projekt untersucht ein ganz neues Wärmeträgermedium, Siliconöl, das in Bereichen über 400 Grad Celsius arbeiten kann und dabei bis zu 425 Grad Celsius erreicht.

Dass deutsche Unternehmen relevante Forschungsergebnisse zur Technologieentwicklung solarthermischer Kraftwerke beitragen, lässt sich auch durch die internationale Wertschätzung belegen. Das Jahr 2015 war bereits das dritte Jahr in Folge, in dem deutsche Produkte mit dem Technical Award von SolarPACES ausgezeichnet wurden. SolarPACES

ist ein internationales Expertennetzwerk für den Bereich solarthermischer Kraftwerke innerhalb der Internationalen Energie Agentur (IEA).

Strategie der Forschungsförderung

Die deutsche Photovoltaikindustrie, der Anlagenbau und die Zulieferfirmen sollen bei der Entwicklung innovativer, konkurrenzfähiger Lösungen unterstützt werden und damit einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen der Energiewende leisten. Verbundvorhaben zwischen Forschungseinrichtungen und Industrie unter Führung Letzterer werden daher favorisiert. Im Bereich der solarthermischen Kraftwerke sollen Unternehmen und Forschungseinrich-



tungen ebenfalls dabei unterstützt werden, die Kosten für die Technologie zu reduzieren, deren Leistung zu erhöhen. Hierbei geht es jedoch grundsätzlich darum, diese Technologie zunächst marktfähig zu machen.

Um im Bereich Photovoltaik insbesondere Standortvorteile voll auszuschöpfen, wurde 2014 von den Bundesministerien für Wirtschaft und Energie (BMWi) sowie für Bildung und Forschung (BMBF) die Initiative "Forschung und Entwicklung für Photovoltaik" umgesetzt. Im Februar 2016 fand hierzu ein Statusseminar statt, auf dem die bisher erreichten Erfolge vorgestellt wurden. Ein Beispiel hierfür ist der Wirkungsgrad-Weltrekord der SolarWorld von 22,04 Prozent für eine weiterentwickelte, industriell gefertigte PERC-Solarzelle. Der Rekord ist Ende 2015 innerhalb des Verbundprojekts HELENE entstanden, das innerhalb der Förderinitiative mit rund 9,9 Millionen Euro gefördert wird. Zusammengefasst bilden produktionsnahe Innovationen in der Modultechnik und dem Anlagenbau sowie komplexe systemtechnische Ansätze den inhaltlichen Schwerpunkt der Initiative. Hierdurch sollen Geschäftsmodelle mit Wertschöpfungsketten am Standort Deutschland im Verbund von Industrie und industrienahen Dienstleistungen vorangetrieben werden. Das BMWi stellte innerhalb der Initiative für neun industriegeführte Verbundvorhaben zusammen 43 Millionen Euro zur Verfügung.

Gleichzeitig soll auch eine hochwertige Vorlaufforschung für Photovoltaik ermöglicht werden. Hierdurch sollen die ausgezeichneten deutschen Forschungseinrichtungen auch mittelfristig der Industrie Ideen anbieten können, die die Phase des "proof-of-concept" bereits erfolgreich durchlaufen haben.

Aufgrund der oben ausgeführten Entwicklungspotenziale für die deutsche Industrie liegen die Schwerpunkte der Photovoltaik-Förderung insbesondere bei den Technologien zum kristallinen Silizium, zur CIGS-Dünnschichttechnologie und der Systemtechnik. Dies schließt auch die Beteiligung am europäischen Solar ERA-Net (European Research Area) ein.

Im Förderschwerpunkt Photovoltaik flossen im Jahr 2015 rund 59,7 Millionen Euro in laufende Vorhaben, was eine deutliche Steigerung gegenüber dem Vorjahr darstellt (2014: rund 43,3 Millionen Euro). Waren es 2014 noch 90 neue Projekte mit einem Gesamtvolumen von rund 66,9 Millionen Euro, konnten im Berichtsjahr 97 neue Forschungsprojekte mit einem Gesamtvolumen von rund 78,6 Millionen Euro bewilligt werden.

In Deutschland produzierte Komponenten solarthermischer Kraftwerke nehmen hinsichtlich Leistung und Qualität eine herausragende Stellung ein. Die Forschungsförderung setzt daher darauf, durch Standardisierung und Qualifizierung aller Kraftwerkskomponenten die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen weiter zu steigern. Bezogen auf die unterschiedlichen Technologievarianten steht die Einführung von Salzschmelzen als Wärmeträgermedium im Fokus der Forschungsförderung.

Für Turmkraftwerke sollen wegen der geringeren Erfahrungen zunächst Konzepte für den Einsatz von Salzschmelzen erarbeitet werden. Daneben werden Technologien mit Luft als Wärmeträger weiterentwickelt, dessen Einsatz ebenfalls Temperaturen deutlich oberhalb des Temperaturniveaus von 400 Grad Celsius ermöglicht.

Die in solarthermischen Kraftwerken erzeugte Wärme kann in thermischen Speichern für eine bedarfsgerechte Stromproduktion bereitgehalten werden – ein wesentlicher Vorteil dieser Technologie. Daher ist die Entwicklung angepasster Speichertechnologien ebenso Forschungsgegenstand. Alle Fragestellungen können auch im Rahmen des europäischen Solar ERA-Net (European Research Area) bearbeitet werden.

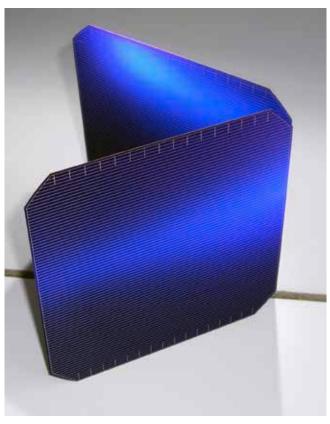
Im Jahr 2015 hat das BMWi 16 neue Projekte mit einem Gesamtvolumen von rund 3,8 Millionen Euro neu bewilligt (2014: 22 Projekte mit rund 7,4 Millionen Euro). In laufende Projekte flossen derweil rund 10,1 Millionen Euro (2014: rund 9,3 Millionen Euro).

Photovoltaik

Auswahl geförderter Projekte

Demonstration schnell umsetzbarer Innovationen

Dass es möglich ist, durch schnell umsetzbare Innovationen Kosten von unter sechs Cent pro Kilowattstunde für Strom aus Photovoltaik zu erreichen, soll innerhalb des Projekts **HERA** unter Koordination des Unternehmens Meyer Burger (Germany) demonstriert werden. Als Grundlage dient den insgesamt zehn Projektpartnern aus Industrie und Forschung die Heterojunction-Technologie. Diese verbindet die Vorteile des kristallinen Siliziums und die des amorphen Siliziums, das aus der Dünnschichttechnologie



Solarzelle aus dem HERA-Projekt

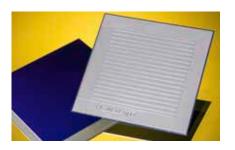
stammt. Bei Heterojunction-Zellen wird das amorphe Silizium zur Passivierung als dünne Schicht auf Vorderund Rückseite des kristallinen Siliziumwafers aufgetragen. Der Wirkungsgrad der Zellen ist hoch, zudem werden relativ wenige Fertigungsschritte benötigt. Allerdings erfordert der Aufbau aus einzelnen, abgegrenzten Schichten eine besonders hohe Qualität der Oberflächen und Schichtgrenzen.

Die Projektpartner planen, sowohl die Herstellungskosten zu senken, als auch die Leistung der Module und deren Lebensdauer zu erhöhen. Die gesamte Wertschöpfungskette der Zell- und Modulherstellung soll hierfür nach entsprechenden Lösungsansätzen untersucht werden. Als Kernelement des Projekts soll ein innovatives Zellkonzept für dünne Solarzellen mit einem Rückseitenemitter weiterentwickelt und optimiert werden. Dadurch vergrößert sich die Auswahl der Materialien für die Vorderseite. Die Dicke des Siliziumwafers soll von zu Beginn rund 145 Mikrometern auf 100 Mikrometer reduziert werden. Innovative Verfahren, neue, kostengünstige Materialien, ein reduzierter Materialeinsatz, die daran angepasste Modultechnik, eine inline-fähige Prozessüberwachung sowie optimale Stoff- und Materialflüsse sind weitere Ansatzpunkte des Projekts. Das BMWi fördert HERA mit rund 6,4 Millionen Euro.

Hocheffizienz-Zellkonzept für Wirkungsgrade über 26 Prozent

Die evolutionäre Weiterentwicklung von Technologien ermöglicht es, bestehende Anlagentypen weiter zu nutzen und somit die Produktionskosten gering zu halten. Parallel muss allerdings auch an weitergehenden Zellkonzepten und neuen Ideen gearbeitet werden, um für die Zukunft gerüstet zu sein. Innerhalb des Projekts 26+ unter Koordination des Instituts für Solarenergieforschung (ISFH) erarbeiten drei Forschungsinstitute daher ein ganz neues Hocheffizienz-Zellkonzept für die kristalline Silizium-Technologie, das Wirkungsgrade über 26 Prozent erlauben soll - ein Wert, der noch vor wenigen Jahren als technologisch nahezu unerreichbar eingestuft wurde.

Möglich werden solche hohen Wirkungsgrade durch die Fortschritte im Bereich der ladungsträgerselektiven Kontakte, in denen das ISFH und der Projektpartner Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE derzeit führend sind. Bei dem neuen Solarzellkonzept befinden sich Emitter und Kontakte auf der Zellrückseite, wodurch die Abschattung der Vorderseite vermieden wird. Die innovativen ladungsträgerselektiven Kontakte basieren auf Übergängen zwischen polykristallinem und monokristallinem Silizium. Die Kontakte verhindern die Rekombination freier Ladungsträger, sodass mehr Leistung entnommen werden kann. Auch die Vorderseite der Zelle wird neu gedacht. Neben der exzellenten Passivierung der Siliziumoberfläche sollen auch beim Lichteinfang neue Ideen umgesetzt werden. Durch eine optimierte Textur der Vorderseite und eine optisch aktive Rückseite soll das einfallende Licht zudem besser in der Zelle gefangen und somit besser ausgenutzt werden. Innerhalb des Projekts entwickeln die Wissenschaftler einen Basiszellprozess für die beschriebene Struktur, weitere Verbesserungsmöglichkeiten werden evaluiert. Neben ISFH und Fraunhofer ISE ist die Leibniz Universität Hannover (LUH) an den Arbeiten zu 26+ beteiligt, die vom BMWi mit rund 3 Millionen Euro gefördert werden.



Im Projekt 26+ bearbeitete Zellstruktur am ISFH

HIGHLIGHT

TOPCon - neue Beschichtung führt zum Weltrekord

25,1 Prozent Wirkungsgrad erreicht die Solarzelle mit der neu entwickelten TOPCon-Beschichtung, sie wandelt also mehr als ein Viertel des einfallenden Sonnenlichts in Strom um. Das ist der neue Weltrekord für kristalline Solarzellen, die beidseitig, also auf Vorder- und Rückseite, elektrische Kontakte besitzen. Mit der einfach aufzubringenden Schicht ist es dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE innerhalb des Projekts ForTeS gelungen, gleich beide Möglichkeiten umzusetzen, um die Kosten für Strom aus Photovoltaik weiter zu reduzieren: den höheren Wirkungsgrad der Zellen bzw. Module und die geringeren Herstellungskosten.

Gelungen ist ihnen das mit einem ganzflächigen und somit strukturierungsfreien Rückseitenkontakt. Der Herstellungsprozess dieser Kontaktschicht ist günstig und darüber hinaus beständig gegenüber Hochtemperaturschritten. Bestehende Anlagentypen der Industrie können also weiter genutzt werden, die Prozesse müssen lediglich angepasst werden. Die Kontaktschicht hat passivierende Eigenschaften: Freie positive und negative Ladungsträger, die als Strom entnommen werden sollen, haben es daran schwerer zu rekombinieren, sich also gegenseitig auszulöschen. Genannt hat das Fraunhofer ISE dieses Rückseitenkonzept "TOPCon-Technologie", kurz für Tunnel Oxide Passivated Contact. Das Entscheidende des Konzepts sind zwei unterschiedliche Lagen: Die eigentliche Passivierungsschicht, ein Siliziumdioxid, ist nur ein bis zwei Nanometer dick, sodass die Ladungsträger hindurchgelangen. Auf diese Schicht wird noch

eine dünne Schicht hochdotiertes Silizium abgeschieden – hierbei ist das Silizium mit einem hohen Anteil eines weiteren Elements wie Phosphor durchsetzt. Das hochdotierte Silizium sorgt dafür, dass der Strom verlustfrei abfließen kann.

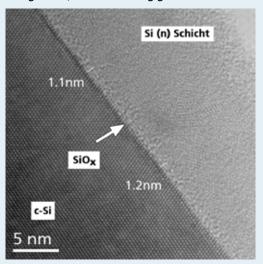
Bisher hat das Fraunhofer ISE das TOPCon-Konzept für die Rückseite von n-Typ-Solarzellen eingesetzt. In diesem Zelltyp sind die negativ geladenen Elektronen frei beweglich - im Gegensatz zu p-Typ-Zellen, in denen positive Ladungen frei beweglich sind. Die TOPCon-Schicht ist bisher also lediglich als Kontakt zur Entnahme von Elektronen genutzt worden. Um auch weitere Einsatzmöglichkeiten zu nutzen, ist das Projekt nun verlängert worden. Das wäre zum einen die Rückseite von p-Typ-Zellen, um dort positive Ladungsträger zu entnehmen. Hierfür müssen sowohl die elektrischen als auch die optischen Eigenschaften der Schicht noch verbessert bzw. auf diesen Zelltyp angepasst werden. Aktuell treten noch höhere Verluste durch Rekombination auf als bei den n-Typ-Zellen. Zum anderen soll das TOPCon-Konzept auch für den Einsatz auf der Vorderseite von n-Typ-Zellen angepasst werden. Dafür muss ein passivierter Kontakt entwickelt werden, der optisch ausreichend transparent ist, um das Sonnenlicht durchzulassen. TOPCon beinhaltet somit ein großes Potenzial für weitere Effizienzsteigerungen.

Das BMWi fördert das Projekt ForTeS mit insgesamt rund 6,2 Millionen Euro.

Transmissionselektronenmikroskop-Aufnahme der vom Fraunhofer ISE entwickelten TOPCon-Struktur



TOPCon-Technologie des Fraunhofer ISE ermöglicht 25,1 Prozent Wirkungsgrad



HIGHLIGHT

Hohe Effizienz durch grundlegend optimiertes Material

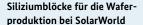
Die Gesamtkosten, aber auch die Effizienz eines kristallinen Solarmoduls ergeben sich zum Teil direkt bei der Herstellung der Siliziumblöcke – dem gezielten Erstarren geschmolzenen Siliziums. Aus dem Block werden zuerst Säulen und dann dünne Scheiben, die Wafer, herausgesägt. Auch dieser Sägeprozess hat massiven Einfluss auf die Qualität der späteren Solarzellen. Mit dem Projekt ENOWA II unter Koordination des Unternehmens Solar-World Innovations (SWIN) verfolgen insgesamt elf Projektpartner aus Industrie und Forschung daher das Ziel, diese grundlegenden Arbeitsschritte zu optimieren, um hocheffiziente und gleichzeitig kostengünstige Wafer herstellen zu können. Das Ziel ist es, mit den hocheffizienten Wafern eine Leistung von über 300 Watt pro Standardmodul zu erreichen.

Geschmolzenes Silizium erstarrt als Kristall. Je nach Verfahren kann multikristallines (teilgeordnet aus mehreren kleinen Kristallen) oder monokristallines (einheitlich geordnet) Silizium erzeugt werden: Letzteres erreicht den höheren Wirkungsgrad, die Kristallzüchtung ist aber vergleichsweise teuer. Die Lösung besteht darin, mit einem günstigen Prozess mindestens dieselbe Effizienz herzustellen. Daher haben die Wissenschaftler bereits innerhalb des Vorgängerprojekts ENOWA ein Verfahren entwickelt, durch das Kristallblöcke erzeugt werden, die "quasi-monokristallin" aufgebaut sind. Bei dem Verfahren werden monokristalline Siliziumplatten als Keime auf den Boden eines Behälters, den Tiegel, gelegt und der Tiegel mit Rohsilizium aufgefüllt. Nach dem

Aufschmelzen des Rohsiliziums richten sich dessen Atome an der Struktur der monokristallinen Keime aus. Die Wissenschaftler stellten allerdings fest, dass es mit ansteigender Blockhöhe vermehrt zu Störungen dieser Struktur kommt. Diese sind zudem anfällig gegenüber metallischen Verunreinigungen - die Qualität des Materials sinkt. In ENOWA II möchten die Wissenschaftler diesen Effekt verringern. Als ein Grund wird etwa der Tiegel, dessen Material und Beschichtung, gesehen. Daher wird unter anderem an einem abgeänderten "Quasimono II-Verfahren" gearbeitet, das ohne Tiegel auskommt. Darüber hinaus entwickeln die Projektpartner eine Sägetechnologie, die speziell auf das Quasimono-Material ausgerichtet ist. Hierfür soll das Diamantdraht-Sägeverfahren angepasst werden, bei dem der Draht mit kleinen, fest gebundenen Diamantkörnern versehen ist. Die Größe der Körner, die Belegungsdichte am Draht sowie die Kornbindungsart sollen unter anderem untersucht werden. Für die Entwicklungen nutzen die Projektpartner den innerhalb des Vorgängerprojekts ENOWA entstandenen Demonstrator.

Das Projektkonstrukt mit vielen beteiligten Instituten und Unternehmen erlaubt eine Kombination aus grundlegenden Untersuchungen an Instituten, leistungsfähigen numerischen Simulationen sowohl in der SWIN als auch den Instituten sowie die großtechnische Umsetzung in der SWIN.

Das BMWi fördert ENOWA II mit rund 8,3 Millionen Euro.







neuesten Generation zur schnellen Abscheidung von CIGS-Schichten für hochwertige Dünnschicht-Solarmodule

Vom Labor in die Fertigung: 5 statt 40 Minuten

Auch im Bereich der CIGS-Technologie sind kontinuierliche Kostenreduktionen nötig, um im internationalen Wettbewerb zu bestehen. Weitere Wirkungsgradsteigerungen und günstige Produktionsprozesse sind daher Ziel des Projekts TACGO von Manz CIGS Technology in Zusammenarbeit mit dem Bereich Coating bei Manz. Die Herstellkosten für CIGS-Module sollen durch die Arbeiten von aktuell 40 Cent pro Watt auf 35 Cent pro Watt bis 2018 reduziert werden - für Fabriken mit einer Kapazität von 150 Megawatt pro Jahr. Für größere Kapazitäten sollen entsprechend geringere Kosten erzielt werden.

Die Resultate des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), dem offiziellen Forschungspartner von Manz, werden innerhalb des Projekts auf die Innovationslinie bei Manz CIGS Technology übertragen. Dem ZSW war es im September 2014 gelungen, mit 21,7 Prozent einen Weltrekord-Wirkungsgrad für kleine CIGS-Laborzellen zu erzielen. Alkalielemente, die auf die CIGS-Schicht abgeschieden wurden, führten zu dem Erfolg. Dabei nahmen die Wissenschaftler eine sehr langsame Schichtbildung von 30 bis 40 Minuten in Kauf - in der Innovationslinie von Manz werden aus Kostengründen hierfür stattdessen circa 5 Minuten veranschlagt. Um die Laborergebnisse also in die Produktion zu überführen, sind umfangreiche Weiterentwicklungen notwendig. Darüber hinaus soll innerhalb des Projekts TACGO die Produktivität der Beschichtungs-Anlagen erhöht werden. Das betrifft sowohl den Abscheideprozess für die CIGS-Schicht als auch die Sputterprozesse für den Molybdän-Rückkontakt sowie den Zinkoxid-Frontkontakt. Erkenntnisse aus weiteren durch das BMWi geförderten Projekten wie CIGSfab und CIGS_Ng_P fließen in die Arbeiten ein, sodass eine kontinuierliche Optimierung der CIGS-Technologie und somit kontinuierlich sinkende Stromgestehungskosten erreicht werden. Das Projekt TACGO wird mit rund 3 Millionen Euro gefördert.

Kühlen und Heizen mit Solarstrom

Klimakälteanlagen werden jährlich zu annähernd 100 Millionen Stück verkauft, davon ein Großteil im kleinen Leistungsbereich. Da im Bereich Photovoltaik in den vergangenen Jahren enorme Kostensenkungen erreicht wurden, wird auch der Einsatz von Solarstrom für die Kälteerzeugung sinnvoll. Innerhalb des Projekts SolarSplit unter Koordination des Instituts für Luft- und Kältetechnik soll daher untersucht werden, wie geeignete effiziente Systemlösungen aussehen. Das Projekt konzentriert sich auf die verbreiteten Mono-Split-Klimageräte sowie VRF-Multi-Split-Klimageräte. Diese sind neben der Kälteerzeugung zu einem Großteil ebenfalls in der Lage zu heizen (VRF steht für Variable Refrigerant Flow = variabler Kältemittelmassenstrom).

Grundsätzlich liegt die Ertragsspitze für Solarstrom um die Mittagszeit – der Verbrauch durch Klimakälteanwendungen findet stattdessen eher am späten Nachmittag statt. Klimaanlage und Photovoltaikanlage funktionieren bisher unabhängig voneinander: Hierdurch wird in Ländern mit vielen Dachanlagen wie etwa Australien am Mittag zu viel Strom in das Stromnetz eingespeist, gleichzeitig wird die Lastspitze am Nachmittag und Abend nicht gedämpft. Beim Heizen ergibt sich eine weitere Herausforderung: Die Effizienz der Geräte ist hierbei stark an den Temperaturhub gekoppelt. Insofern wäre es effizienter, wenn die benötigte Wärme eher bei höheren als bei niedrigen Außentemperaturen erzeugt werden könnte, die Wärmeerzeugung also von dem Heizenergiebedarf entkoppelt würde. Um den Eigenverbrauch von Solarstrom zu erhöhen und die Netzbelastung zu reduzieren, entwickeln die Projektpartner daher Systemlösungen mit integrierten Eis- bzw. Wärmespeichern, prognosebasierten Regelungen sowie der Integration in ein Smart-Home-System. Hierdurch soll der regenerativ erzeugte Energieanteil an der Kälte- und Wärmeerzeugung deutlich erhöht werden. Projektpartner sind die Hochschule für angewandte Wissenschaften München, das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern) sowie die Unternehmen Thermofin und Swegon Germany. Das BMWi



Split-Klimagerät

Solarthermische Kraftwerke

IM FOKUS

Weltweiter Ausbau setzt sich trotz Schwierigkeiten fort

Im Jahr 2015 haben die weltweit in Betrieb genommenen solarthermischen Kraftwerke eine Gesamtleistung von 4,9 Gigawatt erreicht. Die Technik entwickelt sich zwar nicht so schnell wie gewünscht, weswegen die Kosten im Vergleich zur Photovoltaik vergleichsweise hoch sind – dennoch werden weiterhin neue Kraftwerke gebaut. Ihr Vorteil liegt in einer grundlastfähigen, bedarfsgerechten Energieversorgung durch einfach zu integrierende Wärmespeicher.

Strom wird bei solarthermischen Kraftwerken durch Wärme erzeugt, die sich ohne weitere Umwandlungsschritte direkt speichern lässt. In manchen Regionen der Welt kommt genau dieser Vorteil schon voll zum Tragen. In Marokko zum Beispiel hat sich die zuständige Solaragentur mitunter deshalb für ein solarthermisches Kraftwerk entschieden. Tagsüber sind die Temperaturen dort so hoch, dass viele Aktivitäten auf die Abendstunden verlegt werden. Der Wärmespeicher des im Dezember 2015 in Betrieb genommenen Kraftwerkabschnitts Noor 1 soll noch für drei Stunden nach Sonnenuntergang Strom liefern können. Noor 1 verfügt über rund 160 Megawatt Leistung. 2017 sollen zwei weitere Abschnitte ans Netz gehen mit einer Gesamtleistung von insgesamt 500 Megawatt.

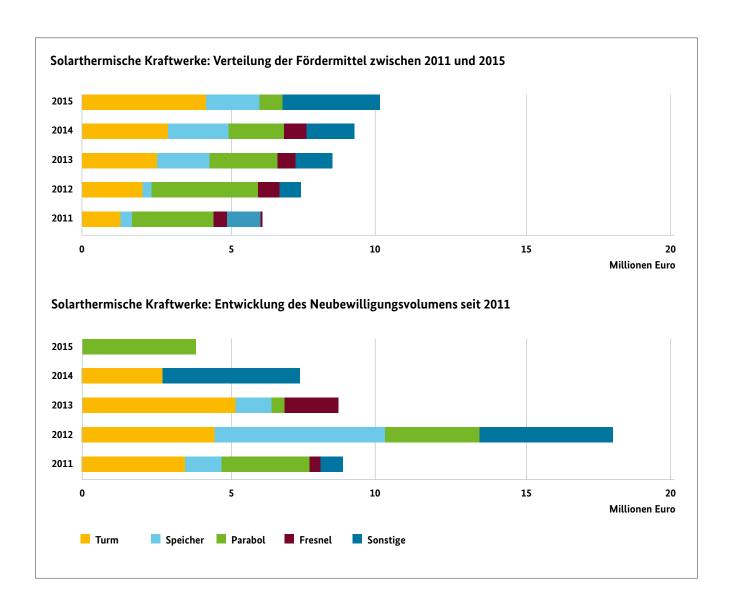
Marokko bietet durch seinen strategischen Energiewende-Plan gute Voraussetzungen für den weiteren Bau solarthermischer Kraftwerke. Bis 2020 sollen dort Solarkraftwerke mit einer Gesamtkapazität von 2.000 Megawatt entstehen. Weitere Länder mit zu erwartendem Ausbau sind die USA, weitere MENA-Staaten (Mittlerer Osten und Nordafrika), Südafrika, China und Chile. Auf einer Weltkarte von SolarPACES (Stand: Juni 2015), dem Netzwerk für die solarthermische Kraftwerksbranche unter dem Dach der Internationalen Energie Agentur (IEA), werden die weiteren Ausbaupläne deutlich. Zählt man sämtliche Kraftwerke, die aktuell im Bau oder in Planung sind, zu den bereits fertiggestellten hinzu, kommt man auf eine weltweite Leistung von über 10 Gigawatt.

Allein in Chile sind 870 Megawatt geplant. Das solare 110-Megawatt-Turmkraftwerk Atacama mit Salzschmelze als Wärmeträger und integriertem Salzspeicher ist bereits im Bau. Das Land plant, neueste Technik in seine Bauprojekte zu integrieren, was für die Weiterentwicklung der gesamten Technologie immens wichtig ist. Auch Südafrika bietet gute Fördervoraussetzungen und weist relevante Ausbaupläne zu solarthermischen Kraftwerken vor. Das Parabolrinnenkraftwerk Kaxu Solar One mit einer Leistung von 100 Megawatt ist 2015 in Kapstadt bereits in Betrieb gegangen, ebenfalls das 50-Megawatt-Parabolrinnenkraftwerk Bokpoort in der Provinz Nordkap. Projekte mit einer Leistung von 150 Megawatt befinden sich im Bau, weitere 400 Megawatt sind geplant. In den USA ist 2015 das solare Turmkraftwerk Crescent Dunes mit einer Leistung von 110 Megawatt in Nevada in Betrieb gegangen. Es arbeitet mit Salzschmelze als Wärmeträgermedium und besitzt einen 10-Stunden-Speicher. Die Ausbaupläne der USA sehen weitere 1.650 Megawatt für die kommenden Jahre vor.

Im Wesentlichen sind es Unternehmen aus Spanien, Israel und den USA, die solarthermische Kraftwerke als Ganzes projektieren. Deutschland gilt jedoch weiterhin als wichtiger Lieferant von Kernkomponenten wie Heliostaten, Parabolrinnen, Receiverrohren sowie Bauteilen für den Kraftwerksblock. Die hohe Qualität wird gewürdigt: In den Jahren 2013, 2014 und auch 2015 wurden deutsche Produkte mit dem Technical Award von SolarPACES ausgezeichnet. 2015 ging der Preis an ein Konsortium unter Koordination des deutschen Unternehmens schlaich bergermann partner – sbp sonne für den Entwurf des Stellio Heliostaten – einem fünfeckigen Spiegel für Turmkraftwerke, der die gegenseitige Verschattung innerhalb des Spiegelfelds reduzieren soll.

Fünfeckiger Stellio Heliostat





Auswahl geförderter Projekte

Sonnenzeiten in Jülich bestmöglich ausnutzen

Mehrere Versuche parallel durchführen, Stillstände vermeiden und somit die Jülicher Sonnenzeiten besser ausnutzen - das sind die Hauptziele des Projekts Multifokusturm, das vom Institut für Solarforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) bearbeitet wird. Hierbei soll der Solarturm in Jülich, das deutsche Versuchs- und Demonstrationskraftwerk für solarthermische Stromerzeugung, um weitere Versuchsebenen erweitert werden. Seit 2009 ist der Solarturm in Betrieb, Mitte 2011 wurde er durch das DLR übernommen. Er verfügt über einen zentralen, 22 Quadratmeter umfassenden keramischen Receiver an der Spitze des 60 Meter hohen Turms, ein integriertes Kraftwerk in kleinem Maßstab, ein rund 2.000 Heliostaten umfassendes Spiegelfeld sowie eine Forschungsebene, die auf 27 Metern Höhe in der Mitte des Turmes untergebracht ist. Neben Arbeiten am Gesamtsystem des solarthermischen Kraftwerks sind somit auch Forschungsarbeiten zu einzelnen Komponenten wie etwa den keramischen Absorbern möglich.

Die Forschungsebene wird seit rund drei Jahren intensiv genutzt – wenn Experimente umgerüstet werden, neue Experimente auf- oder alte abgebaut oder wenn technische Schwierigkeiten beseitigt werden müssen, muss der Versuchsbetrieb jedoch häufig unterbrochen werden. Ein zweiter Turm mit insgesamt drei Versuchsebenen samt Infrastruktur und Messtechnik soll jetzt Abhilfe schaffen. Die bereits in Jülich vorhandene hochwertige Messtechnik, die flexible Ver- und Entsorgungsstruktur sowie das exzellente Betriebspersonal werden dadurch bestmöglich genutzt. Das bestehende Spiegelfeld kann so gesteuert werden, dass die einzelnen Heliostaten entsprechend den Versuchsanforderungen gruppiert werden. Dadurch können sie bestimmten Zielpunkten auf den unterschiedlichen Versuchsebenen zugeordnet werden. Mit der baulichen Erweiterung wird die Grundlage für verschiedene zukunftsträchtige Experimente geschaffen. Geplant sind unter anderem Teststände für die solare Verfahrenstechnik. Hier sollen Anlagen entwickelt werden, um mit Sonnenwärme Brennstoffe wie Wasserstoff mittels zum Beispiel thermochemischer Kreisprozesse oder solarer Hochtemperaturelektrolyse zu erzeugen. Das BMWi fördert die Entwicklungsarbeiten zu den neuen Versuchsanlagen mit rund 1 Million Euro. Weitere 5,2 Millionen Euro für den Bau werden durch das Land NRW bereitgestellt.

Von der Sonne bestrahlte Forschungsebene am Solarturm in Jülich



Große Spiegel mit hoher Präzision

Das Konzept des "Ultimate Trough" als deutlich vergrößerte Parabolrinne gegenüber der Standardrinne soll die Kosten solarthermischer Parabolrinnenkraftwerke reduzieren. Die Maße erlauben eine höhere Leistung pro Kollektor, zudem sind Materialeinsatz und Herstellungsaufwand gemessen an der erzielten Leistung niedriger. Für große solarthermische Kraftwerke ab einer Leistung von 200 Megawatt ergeben sich dadurch rund 25 Prozent weniger Kosten für das Solarfeld. Strom aus Kraftwerken mit Ultimate Trough soll somit rund 10 Prozent weniger kosten. Die Flabeg Holding hatte 2010 begonnen, das neue Design zu entwickeln. Nun müssen noch industrielle Herstellungsverfahren etabliert werden.

Innerhalb des Projekts SOLUT II arbeitet das Unternehmen, nun Flabeg FE, an geeigneten Prozessen zur Herstellung so genannter Reflective Panel 6 (RP6)-Spiegel, die im Ultimate Trough zum Einsatz kommen sollen. Die Gesamtgröße ist gegenüber der aktuellen Spiegelgeneration RP3 um etwa 50 Prozent höher: von 10,7 Quadratmeter auf 16,4 Quadratmeter je Spiegelreihe. Der RP6 ist dreigeteilt, um das hierfür genutzte Planglas besser auszunutzen, das nur in bestimmten Breiten erhältlich ist. Vor allem muss die Biegegenauigkeit der Spiegel verbessert werden, um das Absorberrohr unterhalb einer festgelegten Abweichung mittig zu treffen. So soll die gesamte reflektierte Sonneneinstrahlung genutzt werden. Des Weiteren soll die Durchlaufgeschwindigkeit beim Biegeprozess der Spiegel erhöht werden, auch Beschichtungs- und Lackiervorgang sollen weiter beschleunigt werden. Darüber hinaus entwickeln die Wissenschaftler eine horizontal angeordnete Messanordnung, um die Biegegenauigkeit der Spiegel festzustellen statt der bisher etablierten vertikalen Messung. Hiermit wird eine neue Vorgabe umgesetzt, die seit 2013 durch Kunden von Parabolrinnenprojekten gefordert wird. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 220.000 Euro.

Dreigeteilter Spiegel RP6 für den Einsatz im "Ultimate Trough", einer deutlich vergrößerten Parabolrinne gegenüber dem Standard



Tiefe Geothermie



Geothermische Energie steht kontinuierlich zur Verfügung. Die Wärme kann sowohl direkt genutzt als auch in Strom umgewandelt werden. Als permanent verfügbare Energiequelle leistet sie einen wichtigen Beitrag zum Energiemix der Zukunft. Sie ergänzt die schwankend verfügbare Wind- und Sonnenenergie und kann damit in Zukunft wesentlich dazu beitragen, das Energiesystem zu stabilisieren. Darüber hinaus kann die Geothermie, als eine der wenigen erneuerbaren Technologien, einen signifikanten Beitrag zur Wärmebereitstellung leisten. Im Bereich der tiefen Geothermie sind Bohrungen von mehr als 1.000 Metern üblich, durch die Thermalwässer aus geothermischen Reservoiren mit mehr als 60 Grad Celsius an die Erdoberfläche gefördert werden.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Geothermie wird aktuell hauptsächlich zum Heizen genutzt, ganze Quartiere und Städte können hierdurch mit umweltfreundlicher Wärme versorgt werden. Die Stromproduktion aus geothermischer Energie ist weiterhin ein Schwerpunkt aktueller Forschungsanstrengungen.

Es lassen sich grundsätzlich zwei Arten unterscheiden, wie tiefe Geothermie genutzt wird: die hydrothermale und die petrothermale Geothermie. Bei der hydrothermalen Geothermie werden in der Tiefe vorhandene Thermalwässer genutzt. Diese werden mit Pumpen an die Erdoberfläche gefördert und dort entweder genutzt, um Wärme zu liefern oder um Strom zu produzieren. Regionen

Deutschlands, in denen entsprechende Voraussetzungen gegeben sind, sind das Süddeutsche Molassebecken hauptsächlich in Bayern, der Oberrheingraben im Südwesten Deutschlands und das Norddeutsche Becken. In diesen Regionen kommt die hydrothermale Geothermie bereits im größeren Maße zum Einsatz. Der natürliche Temperaturanstieg ist hier regional mit zunehmender Tiefe zum Teil besonders hoch.

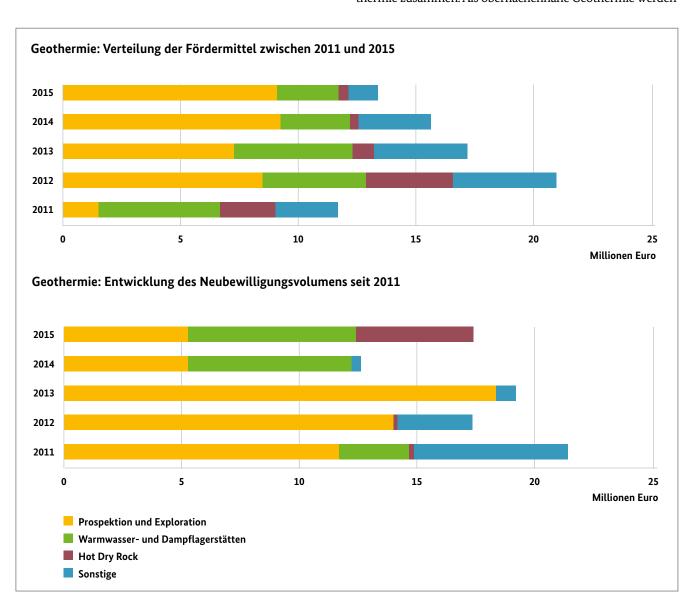
Bei der petrothermalen Geothermie wird die in der Tiefe vorhandene Erdwärme genutzt, ohne dass dafür Wasservorkommen im Untergrund benötigt werden. Hierzu wird Wasser von der Erdoberfläche in trockene Gesteinsschichten im Untergrund geleitet, wo es sich erwärmt. Danach wird es wieder nach oben gefördert, um dort für die Wärme-

oder Stromproduktion eingesetzt zu werden. Der petrothermalen Geothermie wird ein besonders hohes Potenzial unterstellt. Die Technologie befindet sich aber noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase.

In Deutschland wird die tiefe Geothermie zunehmend dafür genutzt, Wärme zu gewinnen. Für die hierzulande vorherrschenden geologischen Bedingungen und die vorliegende Bedarfsstruktur sind die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten für Wärmeprojekte, zum Beispiel für die Versorgung von Nah- oder auch Fernwärmenetzen, größer als in der Stromerzeugung.

Nach Angaben des Bundesverbands Geothermie (BVG) waren bis Oktober 2015 deutschlandweit 33 Geothermie-Kraftwerke in Betrieb. Die meisten produzieren als Heizwerke ausschließlich Wärme, die installierte Leistung beträgt hier insgesamt 281,16 Megawatt (thermisch). Neun dieser Geothermie-Kraftwerke produzieren – entweder ergänzend oder ausschließlich – auch Strom. Zusammen haben diese eine installierte elektrische Leistung von 32,19 Megawatt.

Nach aktuellen Angaben des BVG liegt Deutschland damit weiterhin weltweit auf Platz fünf bei der Wärmenutzung geothermischer Energie. Die Statistik fasst sowohl die weltweit installierte tiefe als auch die oberflächennahe Geothermie zusammen. Als oberflächennahe Geothermie werden



IM FOKUS

Pumpentechnologie - Arbeiten am Herzstück einer Geothermieanlage

Bei dem Betrieb einer Geothermieanlage ist derzeit die Pumpe der anfälligste Teil. Sie pumpt das Thermalwasser aus der Bohrung um mehrere hundert Meter nach oben, mit wechselnden Lasten je nach Wärmebedarf im Jahresverlauf. Vom Pumpentyp her hat sich die Tauchkreiselpumpe, die sich samt integriertem Elektromotor unter dem Wasserspiegel befindet, als Standard für die Geothermie etabliert. Im Vergleich zu anderen Pumpenkonzepten treten weniger Verluste und Verschleiß auf – doch sind diese trotzdem derzeit noch zu hoch für einen dauerhaften wirtschaftlichen Betrieb.

Die Herausforderungen durch Thermalwasser, Druck und Partikel sind hoch. Die Pumpe mit ihren metallischen Komponenten ist dauerhaft den korrosiven Thermalwässern ausgesetzt, Ablagerungen aus mitgeführten Partikeln wie etwa Kalk setzen sich fest. Dichtungen müssen den Motor zuverlässig schützen, der wiederum nicht zu heiß werden darf. Hinzu kommen die im Vergleich zur Ölförderung wesentlich höheren Volumenströme und Leistungen, die in der Geothermie benötigt werden. Bei aus der Ölförderung adaptierten Pumpen betrug die durchschnittliche Laufzeit teilweise nur wenige Monate. Ein wirtschaftlicher Betrieb geothermischer Kraftwerke ist damit nicht möglich.

Ziel der durch das BMWi geförderten Projekte ist es daher, die Zuverlässigkeit der Pumpen zu erhöhen, Ausfälle zu vermeiden und deren Wirkungsgrad zu erhöhen. Hierbei wurden bereits deutliche Erfolge erreicht – hervorzuheben sind die Arbeiten der Unternehmen Baker Hughes und Flowserve.

Baker Hughes etwa entwickelte einen global einzigartigen Hochtemperatur-Teststand (HotLoop), der die Forschungsarbeiten beschleunigen kann. Er bietet eine bisher nicht verfügbare Kombination von hoher Temperatur und Antriebsleistung. Der Teststand erzeugt eine beschleunigte Alterung der Pumpen, Verschleiß bzw. Schäden können schneller festgestellt werden. Mit seiner Hilfe konnten die Ingenieure bereits einige konstruktive Verbesserungen einbringen, die zu einem zuverlässigen Einsatz der Tauchpumpensysteme über längere Zeiträume führen. Auch der Wirkungsgrad wurde verbessert.

Besonders dabei hervorzuheben sind die Radiallager der Pumpen, die nun deutlich längere Laufzeiten erreichen. In den Bohrungen in Dürrnhaar sowie Sauerlach wurden Pumpen mit diesen weiterentwickelten Radiallagern jeweils vier Monate lang ohne nennenswerten Verschleiß erfolgreich eingesetzt. Pumpen mit konventionellen



Trotz starker Verkalkungen im Einlassbereich wiesen neu entwickelte Radiallager der Geothermiepumpen in Sauerlach und Dürrnhaar keinerlei Verschleiß auf Lagern erreichten in denselben Bohrungen aufgrund von Verkalkungen in den Lagern nur Laufzeiten von vier bis sechs Wochen. Außerdem wurden neue "Flex"-Pumpenstufen entwickelt, die flexibel verschiedene Volumenströme – je nach Jahreszeit – fördern können und gleichzeitig einen wesentlich höheren Wirkungsgrad aufweisen. Die Isolation und die Radiallager der Motoren wurden ebenfalls neu konstruiert, womit entsprechende Ausfälle wirkungsvoll verhindert werden konnten. Parallel arbeiteten die Ingenieure an einem Hochtemperatur-Pumpensensorsystem. Damit soll der Pumpenzustand im laufenden Betrieb präzise überwacht werden können.

Das Unternehmen Flowserve hat in Sachen Pumpenentwicklung ein Testaggregat entwickelt. Hierfür wurde eine innerhalb eines Vorgängerprojekts entwickelte Motorbaureihe gezielt modifiziert. Einige Patente konnten die Ingenieure bereits anmelden: zu Motorradiallager, Druckausgleichseinheit und einem internen Motorkühlsystem. Um den Kühlkreis weiter zu optimieren, identifizierten die Wissenschaftler eine Auswahl an geeigneten Filtereinheiten in Bezug auf Kühlstrom, Effizienz und Zuverlässigkeit. Ein weiteres Projektergebnis betrifft den Gehäusedurchmesser der Pumpen: optimalere Strömungsbedingungen werden erreicht, wenn der Durchmesser leicht erhöht wird. Durch den Einbau eines zweiten Axiallagers konnte zudem die Betriebssicherheit signifikant erhöht werden. Motorlager und Gleitringdichtung wurden dem Verhalten des Motors bei thermischer Ausdehnung angepasst. Auch die elektrotechnische Auslegung des Motors wurde hinsichtlich eines höheren Wirkungsgrads optimiert.

Die erzielten Ergebnisse, die hier nur auszugsweise wiedergegeben werden können, sind vielversprechend auf dem Weg zu einem wirtschaftlichen und zuverlässigen Betrieb der Geothermieanlagen. Um die Pumpen möglichst wartungsfrei über Jahre hinweg, auch bei noch höheren Temperaturen, einsetzen zu können, müssen die Entwicklungsansätze weiterverfolgt werden.

Anlagen bezeichnet, welche Tiefenbereiche bis zu 400 Meter unter der Oberfläche nutzen. In der Regel werden hierbei Wärmesonden mit geschlossenem Kreislauf installiert, um einzelne Haushalte, industrielle Abnehmer oder Stadtviertel zu versorgen. Die Statistik wird alle fünf Jahre erhoben und wurde 2015 zuletzt aktualisiert. Der erste Platz, bisher belegt durch die USA, geht nun an China, welches die bisher gelistete installierte thermische Leistung von 8.898 Megawatt auf mittlerweile 17.870 Megawatt ausgebaut hat. Die USA belegen den zweiten Platz mit 17.415 Megawatt. Darauf folgen noch vor Deutschland Schweden (5.600 Megawatt) und die Türkei (2.886 Megawatt).

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Das Potenzial der tiefen Geothermie als kontinuierlich nutzbare erneuerbare Energiequelle soll weiter erschlossen werden. Für dieses Ziel wurde bereits viel auch international beachtete Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet. Dabei sind auf allen Gebieten Fortschritte erreicht worden. Es sind kontinuierliche Verbesserungen an Bohrtechnologie und Anlagenbau zu verzeichnen, die Betriebsdauer der Thermalwasserpumpen konnte deutlich verlängert werden (siehe auch "Pumpentechnologie – Arbeiten am Herzstück einer Geothermieanlage", Seite 42). Auch sind neue Methoden entwickelt worden, ertragreiche Zielgebiete für Bohrungen zu bestimmen. Im Bereich der Bohrtechnik kann das Richtbohren deutlich genauer durchgeführt werden als noch vor wenigen Jahren.

Wie an der Verteilung der bestehenden Kraftwerke und Heizkraftwerke zu sehen ist, sind insbesondere Erfolge im bayerischen Molassebecken festzustellen. Dort kann die Wärmeversorgung aus tiefer Geothermie bereits zuverlässig eingesetzt werden. Hervorzuheben an dieser Stelle ist das Projekt GRAME (siehe auch Highlightprojekt, Seite 46), welches das langfristige Ziel unterstützt, die komplette Wärmeversorgung des Großraums Münchens aus erneuerbaren Energien bereitzustellen. Die Geothermie soll hierzu einen entscheidenden Beitrag leisten. Ende 2015 haben hierfür die seismologischen Messungen begonnen, anhand derer der Untergrund kartiert werden soll.

Mobiler Prüfstand des KIT, mit dem die Eigenschaften von Thermalwasser im Durchstrom gemessen werden können

Strategie der Forschungsförderung

Durch den großen Einfluss der jeweiligen regionalen Randbedingungen, etwa der Zusammensetzung des Thermalwassers oder der geologischen Strukturen, handelt es sich bei jeder Anlage um ein Einzelstück. Es muss viel stärker individuell geplant werden, als es bei anderen Technologien notwendig ist. Angesichts des erheblichen Potenzials und des erwarteten Beitrags der Geothermie zu einem künftig auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystem unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) weiterhin entsprechende Forschungsprojekte. Es sind weitere Forschungsanstrengungen notwendig, um die tiefe Geothermie wirtschaftlich zu nutzen und das bestehende Wärmepotenzial entsprechend ausschöpfen zu können. Das BMWi fördert vorrangig Projekte, die sich kompletten Systemen – wie zum Beispiel Pumpen – widmen.

Die derzeit in der Förderung befindlichen Forschungsprojekte umfassen alle Stufen der geothermischen Wertschöpfung. Das Ziel liegt vor allem darin, die Kosten für die Projekte weiter zu senken, um die Geothermie flächendeckend in den Bereich der Wirtschaftlichkeit zu führen. Dazu trägt die Technologieentwicklung in allen Projektphasen bei: bei der Planung des Projekts, der Exploration des Zielgebiets, den Bohr-/Errichtungs-/Bauarbeiten sowie bei Test- und Betrieb des fertiggestellten Kraftwerks. Insbesondere die notwendigen Tiefbohrungen müssen kostengünstiger und schneller werden, sie verursachen den Hauptteil der Investitionskosten. Der Betrieb fertiggestellter Anlagen muss effizient, wartungsarm und zuverlässig funktionieren. Neben der technischen Weiterentwicklung in der Geothermie zählen Konzepte für eine verbesserte Öffentlichkeitsarbeit inzwischen zum selbstverständlichen Bestandteil erfolgreicher Forschungsvorhaben. Nicht zuletzt müssen zudem Grundlagen dafür geschaffen werden, die Geothermie auch in bislang nicht erschlossenen bzw. weniger geeigneten Regionen einsetzbar zu machen.

Im Bereich der Geothermieforschung hat das BMWi in 2015 insgesamt 21 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 17,3 Millionen Euro neu bewilligt (2014: 15 neue Projekte für rund 12,7 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 13,4 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2014: rund 15,6 Millionen Euro).



Auswahl geförderter Projekte

Thermalwasser-Analyse im Durchstrom für optimierte Prognosen

Bevor mit den Bauarbeiten einer neuen geothermischen Anlage begonnen werden kann, müssen Prognosen zu deren Wirtschaftlichkeit gemacht werden – nur so können ausreichend Investoren gewonnen werden. Die mögliche thermische Leistung der neuen Anlage ist hierbei von großer Bedeutung und hängt von verschiedenen physikalischen und chemischen Eigenschaften des geförderten Thermalwassers ab. Diese Eigenschaften genauer als bisher vorhersagen zu können, ist daher das Ziel des Projekts **PETher** unter Koordination des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Weitere Projektpartner sind die GeoThermal Engineering (GeoT) und die Global Engineering & Consulting-Company (gec-co).

Eine relevante Größe ist die spezifische Wärmekapazität, also das Vermögen des Thermalwassers, Energie in Form von Wärme zu speichern. Weitere Größen sind die dynamische Viskosität sowie die Wärmeleitfähigkeit. Diese Werte sind jeweils abhängig von der Temperatur, dem Druck, den gelösten Mineralien sowie dem Gasgehalt des Wassers. Die bisher übliche Vorgehensweise, Wasserproben zu entnehmen und in ein Labor zu transportieren, kann die Probe verändern. Daher hat das KIT ein Konzept entwickelt, die spezifische Wärmekapazität sowie die dynamische Viskosität des Thermalwassers in situ zu messen. Die Messungen finden also unter reservoirnahen Bedingungen im Durch-

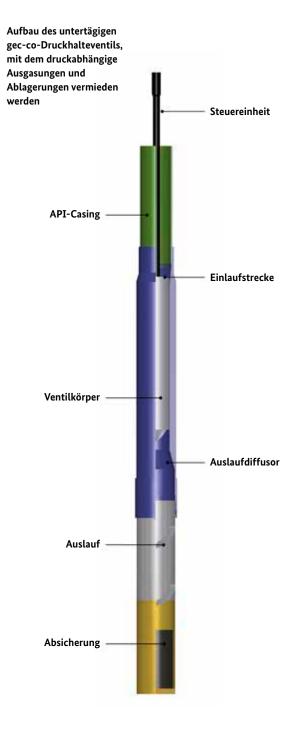
strom statt, Druck und Temperatur des Wassers werden beibehalten. Ein bereits entwickelter Prüfstand soll innerhalb des Projekts PETher in Geothermieanlagen im Norddeutschen Becken, im Oberrheingraben sowie im Molassebecken eingesetzt werden, um die Methodik weiterzuentwickeln. Mittels eines Bypasses wird der Prüfstand in die Anlagen eingebunden. Für alle drei Regionen sollen typische Verläufe der oben genannten physikalischen Größen des Thermalwassers als Funktion von Druck, Temperatur und Lösungsinhalt bestimmt werden. Zudem soll ein Planungstool zur Prognose der Eigenschaften von Thermalwässern unter gegebenen Standortbedingungen entwickelt werden. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 690.000 Euro.

Neuartiges Druckhalteventil vermeidet Ausfällungen

Wenn Rohre oder Filter in Thermalwasserleitungen verstopfen, sind die Betriebsabläufe eines Geothermie-Kraftwerks beeinträchtigt. Die Wärmeübertragung wird behindert und die Effizienz der Anlage sinkt. Damit Ablagerungen, Ausgasungen oder Dampfblasen gar nicht erst auftreten, ist innerhalb des Projekts Druckhalteventil, koordiniert durch das Unternehmen gec-co Global Engineering & Consulting-Company, ein neuartiges, regelbares Druckhalteventil entstanden. Dieses wird unter Tage eingesetzt, in circa 500 bis 700 Metern Tiefe. Es befindet sich unter der Wasseroberfläche und hält den Druck des Thermalwassers im gesamten Wasserkreislauf konstant über dem Gasentlösungsdruck. Mit dieser Entwicklung ist das Unternehmen für den European Geothermal Innovation Award 2015 nominiert gewesen, der vom European Geothermal Energy Council (EGEC) und der Messe Offenburg verliehen wird.

Wird Thermalwasser aus dem Untergrund gefördert, kommt es zu Ausgasungen und Ausfällungen. Dadurch werden Bauteile belastet, was zu Undichtigkeiten, Materialermüdung und Korrosion führt. Mit dem untertägigen und über den gesamten Betriebsbereich der Anlage regelbaren Druckhalteventil werden diese Stoffe in Lösung gehalten, wodurch druckabhängige Ausgasungen und Ablagerungen vermieden werden. Zudem wird dadurch die Lebensdauer des Ventils und anderer Bauteile deutlich erhöht. Die Regelung und Betätigung des Ventils ist an der Erdoberfläche platziert und ist damit leicht zugänglich und wartungsfreundlich.

Durch die innovative Idee und Umsetzung, wie den untertägigen Einbau in die Injektionsleitung, die das Ventil gegenüber auf dem Markt befindlichen Ventilen abgrenzen, ist es optimal an die Bedingungen der tiefen Geothermie angepasst. Durch den speziellen Aufbau kann es unter Tage redundant ausgeführt werden. Die Arbeiten wurden wissenschaftlich durch den Projektpartner, die Universität Erlangen-Nürnberg, begleitet. Das BMWi hat das Projekt mit rund 580.000 Euro gefördert.



Wissen, Vertrauen und Transparenz für eine hohe Akzeptanz

Akzeptanz in der Bevölkerung ist für alle erneuerbaren Energien wichtig, da der weitere Ausbau ohne den entsprechenden Rückhalt nicht möglich ist. Für die tiefe Geothermie gilt darüber hinaus, dass sie als erneuerbare Energie relativ unbekannt ist – es fehlt an Wissen über diese innovative Technologie. In dem Projekt TIGER wurde unter Koordination der CBM Gesellschaft für Consulting, Business und Management daher ein Kommunikationskonzept inklusive App entwickelt. Das Konzept unterstützt Geothermie-Unternehmen dabei, von Anfang an eine wirksame Strategie bei Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit zu verfolgen.

Basis für das Konzept war die wissenschaftliche Erhebung von Akzeptanzfaktoren. Dabei stellte sich heraus, dass 89 Prozent der Befragten die Geothermie für eine sinnvolle Energieform für Deutschland halten. Mehr als 71 Prozent sprechen sich sogar für ein Geothermie-Kraftwerk vor Ort aus. Die lokale Energieversorgung sowie generelle Vorteile erneuerbarer Energien wurden als Gründe genannt. Bei den Nachteilen dominierten die "Unbekannten Risiken" die Nennungen - ein Indiz für den niedrigen Bekanntheitsgrad in der Bevölkerung. Die Verbreitung von Information über Geothermie im Allgemeinen ist daher ebenso wichtig wie die Information über das konkret geplante Projekt. Entsprechend fokussiert das TIGER-Kommunikationskonzept die Vermittlung von Wissen, den Aufbau von Vertrauen sowie transparentes Handeln. Zentral ist es, die Bürger kontinuierlich miteinzubeziehen. Sie möchten über Vorteile ebenso wie über mögliche Risiken informiert werden, um auf Augenhöhe mitdiskutieren zu können.

Weitere Projektpartner waren das Human-Computer Interaction Centre der RWTH Aachen University sowie die gec-co Global Engineering & Consulting-Company. Die TIGER-App beinhaltet Informationen für interessierte Laien, ein Spiel sowie eine Toolbox als Handlungshilfe bei der Öffentlichkeitsarbeit für

Betreiber und Institutionen. Sie ist über die bekannten App-Stores sowie über die TIGER-Homepage zu erhalten. Das BMWi hat das Projekt mit rund 1,4 Millionen Euro gefördert.



HIGHLIGHT

Erdwärme für München

München ist auf einem Untergrund mit erheblichem Potenzial gebaut worden: Die Stadt befindet sich in der Region des so genannten bayerischen Molassebeckens. Der Untergrund dort ist aufgrund seiner Struktur besonders dafür geeignet, Erdwärme zu gewinnen. Hier befindet sich der Malm, eine Gesteinsschicht, die durch ihre spezielle Struktur wie ein Grundwasserleiter für heißes Thermalwasser funktioniert. Gute Voraussetzungen für die Zukunftsvision der Stadtwerke München: Bis 2040 soll die gesamte Fernwärme für München aus regenerativen Energien bereitgestellt werden, der Großteil davon durch Geothermie.

Mit dem Projekt **GRAME** möchten die Stadtwerke München als Koordinator hierfür einen wichtigen Grundstein legen. Die Erdwärme unter München ist zwar vorhanden und sie ist prinzipiell förderbar. Aber es gibt noch kein durchgängiges Konzept, an welchen Stellen diese am besten gefördert und wie sie in das bestehende Fernwärmenetz integriert werden kann. Daher planen die Projektpartner, ein dreidimensionales Abbild des Untergrunds zu erstellen und davon ausgehend eine geeignete Erschließungsstrategie zu entwickeln. Generell sollen die Ergebnisse dazu beitragen, geothermische Ressourcen innerhalb des bayerischen Molassebeckens besser zu nutzen und das hierdurch entstehende Potenzial sowohl für die Strom- als auch die Wärmeproduktion einzusetzen.

Die Daten aus dem Untergrund erhalten die Projektpartner durch 3D-Seismik. Bei dieser Methode werden
Signale von Vibro-Fahrzeugen an der Oberfläche
erzeugt, die von den verschiedenen Schichten im Untergrund unterschiedlich reflektiert werden. Die zurückkommenden Signale werden gemessen und analysiert.
Hierdurch lassen sich Informationen ableiten, welche
Zielregionen bevorzugt mit einer Bohrung erreicht
werden sollten. Die Messungen finden auf einer geplanten Fläche von 170 Quadratkilometern statt, das MalmReservoir unter dem gesamten südlichen Stadtgebiet
von München wird erkundet. Untersuchungen zur



Vibrofahrzeuge erkunden den Süden Münchens: Mit Hilfe der Vibro-Seismik kann der Untergrund, ähnlich wie mit einem Echolot, untersucht werden

Erdwärmenutzung in dieser Größenordnung wurden zuvor in der Region noch nie gemacht. Damit weisen sie weit über dieses Vorhaben hinaus. Ebenfalls Neuland ist eine 3D-Seismik unter städtischem Gebiet: Unter anderem durch Verkehr oder obertägige Bauarbeiten entstehen unablässig Erschütterungen, die die Messwerte beeinflussen. Innerhalb des Projekts soll die 3D-Seismik weiterentwickelt werden, sodass hierdurch noch präzisere Angaben zur untertägigen Struktur möglich werden.

Noch vor der eigentlichen Messung erstellen die Projektpartner Modelle möglicher Großprojekte. Ziel ist die Stromerzeugung um die 50 Megawatt oder die Wärmegewinnung im Bereich von 400 Megawatt. Ein vorläufiges geologisches Modell des Untergrundes bildet die Grundlage. Mögliche Standorte für Bohrungen werden darin als Bohrraster angelegt und deren Auswirkungen auf die Reservoire simuliert. Für die Konzeption neuer Anlagen ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass die Erdwärme in ein bereits weitgehend ausgebautes Wärmenetz eingebunden werden muss. Nachdem die Messdaten vorliegen, wird ein reales Bohrraster erstellt, das sowohl die vorhandene Geologie als auch die Infrastruktur der Stadt München berücksichtigt. Am Ende des Projekts besteht ein reales Erschließungskonzept, mit dem die Stadtwerke München ihrer Zukunftsvision ein gutes Stück näher gekommen sind.

Neben den Stadtwerken München ist das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) an GRAME beteiligt. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 4,6 Millionen Euro.

Wasserkraft und Meeresenergie



Bei dem Einsatz von Wasserkraft als erneuerbare Energie wird in erster Linie die Fließbewegung des Wassers an Flüssen oder Stauseen genutzt. Laufwasserräder oder Turbinen setzen die Bewegungsenergie des Wassers in mechanische Energie um, angeschlossene Generatoren produzieren daraus Strom. Auch die Meeresenergie kann genutzt werden durch Meeresströmungen oder die von der Anziehungskraft des Mondes hervorgerufene Gezeitenenergie. Schließlich gibt es noch die Wellenenergie, im Wesentlichen verursacht durch den Wind auf der Wasseroberfläche.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Bei Wasserkraftanlagen handelt es sich um eine weitestgehend etablierte Technologie, die bereits vielerorts – auch in Deutschland – zuverlässig eingesetzt wird. Meeresenergieanlagen sind dahingegen noch in der Entwicklungsphase.

Um Wellenenergie zu nutzen, wurde bereits eine Vielzahl an Anlagentypen entwickelt. Das Wellenkraftwerk auf Basis des Prinzips der schwingenden Wassersäule etwa ist gut erprobt. Hierbei wird Luft in einem Rohr abwechselnd komprimiert und angesaugt, indem sich die Wassersäule darin im Takt der Wellen auf und ab bewegt. Durch den Luftstrom wird schließlich eine Wells-Turbine angetrieben. Andere Wellenkraftwerke nutzen auch Schwimmkörper, die sich mit den Wellen bewegen und über Gelenke, Seile oder sonstige Zwischenstufen einen Generator antreiben.

Entsprechende Anlagen sind vergleichsweise klein und können vielerorts eingesetzt werden. Der Wirkungsgrad der Anlagen muss jedoch weiter gesteigert werden.

Gezeitenenergieanlagen werden weltweit mit unterschiedlichen Konzepten im Prototypstadium getestet und optimiert. Die bisher üblichen 150 bis 220 Tonnen schweren Turbinen der 1-Megawatt-Klasse haben Durchmesser von 13 bis 20 Metern und sind starr im Meeresboden verankert. Herstellung, Installation und Wartung sind kostenintensiv und aufwändig. Zu diesem Thema wurde 2015 ein neues Projekt bewilligt, das leichte und handliche Anlagen verspricht (siehe auch Seite 49 "Flexible Plattform mit robusten Turbinen").

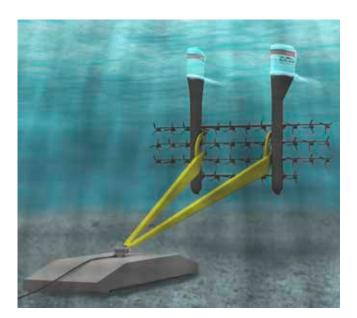
Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Der Vorteil gegenüber anderen erneuerbaren Energien besteht sowohl bei der Wasserkraft als auch bei der Meeresenergie darin, dass der Strom daraus zeitlich konstant bereitgestellt werden kann. Insofern kann er auch zuverlässig vorausgesagt werden. Die Wasserkraft ist eine bereits bewährte Energiequelle. Die ökologische Verträglichkeit der Anlagen konnte in der Vergangenheit durch gezielte Fördervorhaben weiter verbessert werden. Die Anlagen, mit denen Meeresenergie genutzt werden kann, befinden sich dagegen noch im Demonstrationsstadium, ihr Potenzial ist hoch.

Strategie der Forschungsförderung

Der Schwerpunkt der Forschungsförderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Bereich Wasserkraft liegt weiterhin auf der ökologischen Verträglichkeit der Anlagen. Im Bereich Meeresenergie werden Vorhaben mit Demonstrationscharakter gefördert, um das vorhandene Potenzial dieser Technologie zukünftig stärker zu nutzen.

Im Bereich Wasserkraft und Meeresenergie hat das BMWi im Jahr 2015 insgesamt fünf Projekte mit einem Fördervolumen von rund 2,3 Millionen Euro neu bewilligt. Gleichzeitig flossen rund 1,7 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben.



Auswahl geförderter Projekte

Flexible Plattform mit robusten Turbinen

Weltweit werden Konzepte für Gezeitenenergieanlagen im Prototypstadium getestet und optimiert. Die bisher üblichen 150 bis 220 Tonnen schweren Turbinen der 1-Megawatt-Klasse haben Durchmesser von 13 bis 20 Metern und sind starr im Meeresboden verankert. Herstellung, Installation und Wartung sind kostenintensiv und aufwändig. Mit dem Projekt **TidalPower** unter Koordination von SCHOTTEL HYDRO wird nun ein innovatives Konzept umgesetzt, das kleine 62,5-Kilowatt-Turbinen mit einer halb getauchten Trägerplattform kombiniert. Die Kosten pro installierter Leistung werden so deutlich gesenkt.

Das Turbinenkonzept entwickelte SCHOTTEL HYDRO. Die SCHOTTEL Instream Turbine (SIT) hat einen Durchmesser von nur 4 Metern, der Aufbau ist einfach und robust. Die intelligenten Rotorblätter verformen sich bei Überlast, sodass die Schubzunahme verringert wird. Die Idee für die neuartige Trägerplattform stammt vom SCHOTTEL HYDRO-Tochterunternehmen TidalStream. Die TRITON-Plattform ist an nur einem Fixpunktdrehgelenk am Meeresboden verankert. Dadurch richtet sich die Plattform selbständig nach der Gezeitenströmung aus. Durch die TRITON-Plattform können die Turbinen in der optimalen Höhe angebracht werden - weder zu nah am Meeresboden, wo sich langsam strömende Schichten befinden, noch zu nah an der Wasseroberfläche, wo die Strömung durch Wellen gestört ist. Indem Ballasttanks leergepumpt werden, kann die Plattform für die Wartung an die Wasseroberfläche aufgetrieben werden.

Weitere Projektpartner sind die Universität Siegen, die Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt, die Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam sowie das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 2,3 Millionen Euro.

TRITON-Plattform mit SCHOTTEL Instream Turbinen

Kraftwerkstechnik sowie CO₂-Abscheidung und -Speicherung



Bis 2050 sollen erneuerbare Energien 80 Prozent des Bruttostromverbrauchs in Deutschland abdecken. Noch ist bis dahin ein weiter Weg zurückzulegen. Denn trotz des steten Ausbaus klimafreundlicher Energie- und Effizienztechnologien liegt der Anteil von Braun- und Steinkohle an der Bruttostromerzeugung bei über 40 Prozent und der Anteil von Erdgas bei rund 10 Prozent. Damit spielen fossile Energieträger nach wie vor eine wesentliche Rolle bei der Stromerzeugung. Um konventionelle Kraftwerke fit für ihre sich wandelnde Aufgabe im Energiesystem zu machen, ist die Förderung von Forschung und Entwicklung eine wichtige Stellschraube.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Auch wenn der Beitrag konventioneller Energieträger zum deutschen Energiesystem kontinuierlich sinkt, sind Gasund-Dampf-Kombikraftwerke sowie Kohlekraftwerke für die Versorgungssicherheit und Netzstabilisierung von großer Bedeutung. Aktuell erfährt deren Rolle einen großen Wandel entsprechend den neuen systemischen Erfordernissen. Bis mindestens Mitte des Jahrhunderts allerdings werden fossil betriebene Turbomaschinen eine tragende Säule unserer Stromversorgung darstellen.

Eine wichtige Aufgabe konventioneller Kraftwerke besteht mittlerweile in der Bereitstellung schneller Reserven, um fehlende Leistung (die so genannte Residuallast) bei Bedarf zuverlässig ausgleichen zu können. Eine Funktion, die für jedes einzelne an das Netz angeschlossene Kraftwerk stetig mehr Raum einnehmen wird. Denn immer weniger konventionelle Kraftwerke müssen immer mehr Erneuerbare-Energien-Anlagen ausregeln. Dass dies bislang ohne Versorgungsausfälle bewältigt werden kann, zeigt, dass die Energiewende auf einem guten Weg ist.

Der weltweite Zubau von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien steigt kontinuierlich an, dennoch ist die globale Nachfrage nach Kraftwerksanlagen, -technologien und -komponenten "Made in Germany" ungebrochen. Daher liegt ein wesentlicher Vertriebsschwerpunkt deutscher Hersteller auf dem Export. Auf vielen globalen Märkten – insbesondere in Asien – sind deutsche Anbieter Technologieführer. Denn auch wenn die Entwicklung auf dem hiesigen Markt rückläufig ist, werden im Ausland nach wie vor auch

Neubauten konventioneller gas- oder kohlebefeuerter Kraftwerke realisiert. In diesem Zusammenhang kommt Technologien aus Deutschland auch insofern eine erhebliche Bedeutung zu, als die deutschen Hersteller in der Lage sind, Kraftwerksanlagen mit den weltweit höchsten Wirkungsgraden herzustellen und damit auch global zur Ressourceneffizienz beizutragen.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Mit der Energiewende und dem Anstieg von Energietechnologien mit stark schwankendem Einspeiseverhalten, wie Windkraft- oder Photovoltaikanlagen, müssen konventionelle Kraftwerke ihre Flexibilität verbessern und im Sinne einer intelligenten Stromerzeugung zu einem kosten- und ressourceneffizienten Teil- und Mindestlastbetrieb ertüchtigt werden. Für diese flexiblen und schnell wechselnden Betriebsweisen sind schnelle An- und Abfahrgeschwindigkeiten der Kraftwerksanlagen und die Einsatzfähigkeit unterschiedlicher Brennstoffe und brennstoffflexibler Verbrennungssysteme entscheidende Voraussetzungen. Um dies sowohl technisch und wirtschaftlich effizient als auch umweltschonend darstellen zu können, liefern Forschung und Entwicklung die notwendige wissenschaftlich fundierte Basis.

Durch Forschung und Entwicklung im Hinblick auf einen schonenden Umgang mit fossilen Ressourcen und der Reduktion von CO₂-Emissionen konnten in den vergangenen Jahren bereits große Fortschritte verzeichnet werden. So wurden die bestehenden konventionellen Kraftwerke in Deutschland kontinuierlich optimiert. Moderne Braunkohlekraftwerke erzielen mittlerweile Wirkungsgrade von deutlich über 43 Prozent und reduzieren damit spürbar den Ressourceneinsatz. Während diese Effizienzsteigerungen überaus positiv sind, machen die veränderten Rahmenbedingungen dennoch neue Konzepte und Geschäftsmodelle für den wirtschaftlichen Betrieb fossiler Kraftwerke erforderlich, da sich dieser künftig auf nur noch wenige Tausend Volllast- und Teillast-Betriebsstunden im Jahr beschränken wird. Eine Möglichkeit hierzu stellt die kombinierte thermische und stoffliche Verwertung fossiler Energieträger dar.

Darüber hinaus muss die Forschung und Entwicklung zur Lebensdauer von Kraftwerken und ihren Komponenten intensiviert werden, um diese für schnelle Lastwechsel zu optimieren. Diese sind notwendig, um den Energiebedarf bei Windstille, Bewölkung oder bei Nacht entsprechend absichern zu können. Das erfordert Retrofit-Maßnahmen oder Kraftwerksneubauten zur Anpassung an die veränderten Rahmenbedingungen und um stark wechselnde Betriebsweisen für Gas-und-Dampf-Kraftwerke dauerhaft zu ermöglichen.

Neben der Energiewende rückt auch die Wärmewende immer mehr in den Vordergrund, denn die Wärme-Kälte-Versorgung ist für mehr als die Hälfte des Endenergieverbrauchs in Deutschland verantwortlich. Effizienzmaßnahmen und die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energie sind daher auch in diesem Bereich zentrale Fragestellungen. Hier können konventionelle Kraftwerke durch das Speichern des Wärmeüberschusses aus thermischen Kraftwerken einen wichtigen Beitrag leisten.

Im Jahr 2015 wurden einige wichtige Forschungsvorhaben abgeschlossen. Hierzu zählt beispielsweise das Projekt Clean Energy Center (Projektvorstellung siehe Bericht "Innovation durch Forschung" für das Jahr 2014, Seite 56). Innerhalb dieses Verbundes wird in 20 Einzelvorhaben Forschungs-, Entwicklungsarbeit geleistet, die im hochmodernen Testzentrum für Gasturbinen-Brenner Anwen-

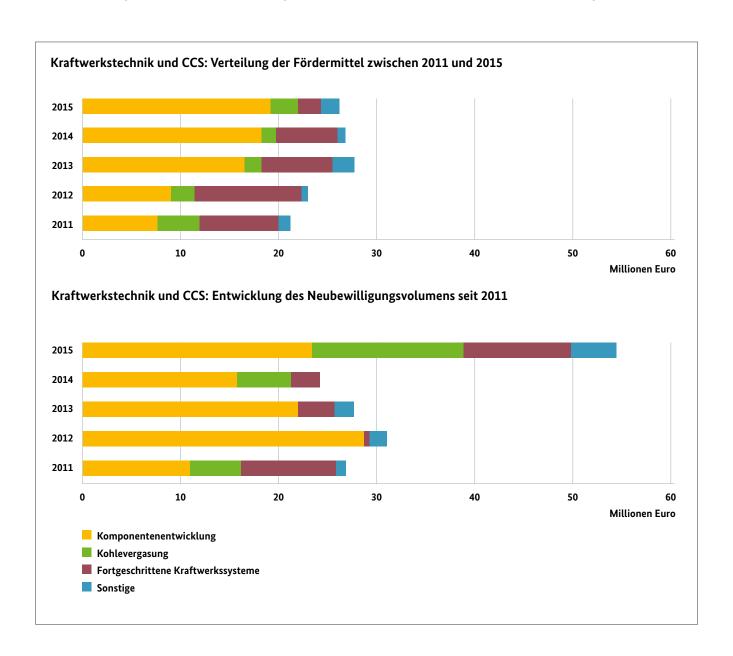
Konventionelle Kraftwerksanlagen müssen ihre Flexibiltät im Betrieb verbessern



dung finden wird. Das Zentrum hat im Februar 2015 seinen Betrieb aufgenommen. Ein weiteres, erfolgreich zu Ende gegangenes Projekt ist der Verbund "Partner-Dampfkraftwerk für die regenerative Stromerzeugung" (siehe auch Seite 56). Die daran beteiligten Partner haben mit ihrer Arbeit die Entwicklung flexibler, hocheffizienter thermischer Kraftwerke vorangetrieben.

Im Berichtsjahr wurden wichtige Neuvorhaben gestartet, die sich unter anderem mit der weiteren Flexibilisierung von Kraftwerken beschäftigen. Der Verbund **Grüne Erde** (siehe auch Seite 57) untersucht Wege, um dezentrale Gasturbinenanlagen für die Strombereitstellung als schnelle Reserven nutzbar zu machen. Im Zukunftsthema Vergasungstechnologien ist beispielhaft das Forschungsprojekt **BGL-Vergaser** (siehe auch Seite 55) zu nennen, das sich mit der Weiterentwicklung des British Gas Lurgi (BGL)-Vergasungsverfahrens beschäftigt und ebenfalls die weitere Flexibilisierung konventioneller Kraftwerke unterstützen soll.

Nicht zuletzt trägt Forschung und Entwicklung wesentlich zum Erhalt und zur Steigerung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen und Forschungseinrichtungen bei und wirkt damit an dem Entstehen zukunftsfähiger und qualifizierter Arbeitsplätze in Deutschland im Bereich der Kraftwerkstechnologien mit.



IM FOKUS

Vergasungstechnologien

Die Umwandlung von kohlenstoffhaltigen Stoffen in brennbare Gase bei hohen Temperaturen nennt man Vergasung. Sie ermöglicht eine emissionsarme Stromerzeugung und eine umweltverträgliche Herstellung von Kraftund Chemierohstoffen aus Kohle. Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer ist Leiter des Instituts für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) der Technischen Universität Bergakademie Freiberg und forscht und lehrt unter anderem zu Vergasungstechnologien.

Wo liegen die Vorteile der Vergasung?

Meyer: Der Kohlenstoff wird nicht verbrannt und zu CO₂ umgewandelt, sondern mit Wasserdampf zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff, den wichtigsten Basis-Bausteinen der organischen Synthesechemie.

Wo sehen Sie künftige Einsatzszenarien?

Meyer: In Deutschland sehe ich – zugespitzt – in der Synthesegaserzeugung die einzige verbliebene, langfristige Zukunft für die heimische Braunkohle. Etwa 70 bis 80 Millionen Tonnen der jährlich geförderten circa 170 Millionen Tonnen Braunkohle wären theoretisch ausreichend, um Erdöl als Ausgangsstoff der organischen Basischemikalien abzulösen. Ich rechne in den nächsten zehn Jahren mit einer Renaissance der Kohlevergasung, jedoch in kleineren Schritten. Zwei Faktoren werden eine Rolle spielen: die Entwicklung des Erdölpreises und das Senken der Investitionskosten.

Welche Technologien sind am vielversprechendsten?

Meyer: Das sind Vergasungstechnologien, die mit geringstem technischen Vorbereitungsaufwand auch minderwertige Kohlen effizient in Synthesegase umwandeln können, sowie kostengünstige und robuste Technologien. Hierfür stehen die bis zur großtechnischen Reife entwickelten deutschen Technologien zur Verfügung, das sind die Wirbelschichtvergasung, die Flugstromvergasung, die Schlackebadvergasung und die Festbettvergasung.

Wie kann die Wirtschaftlichkeit gewährleistet werden? Meyer: Mit Abstand an erster Stelle steht die Senkung der Investitionskosten des gesamten Synthesekomplexes, und hier vor allem der Synthesegaserzeugung, die spezifisch am teuersten ist. Die größten Ersparnisse lassen sich erschließen, wenn sie in einem Verbund eines Kraftwerks- oder Chemiestandortes betrieben wird, das heißt wenn die vorhandene Standortsinfra-



Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer, Technische Universität Bergakademie Freiberg

struktur, aber auch der Kraftwerkskessel für die Entsorgung der gasförmigen, flüssigen und festen Rückstände der Vergasung und Gasreinigung genutzt werden können. Wir sprechen von Polygeneration.

Wo sehen Sie Forschungsbedarf?

Meyer: In erster Linie für die Umsetzung des Strukturwandels infolge der Energiewende in den drei deutschen Braunkohlerevieren Lausitz, Mitteldeutschland und Rheinland. Den größten Bedarf sehe ich bei der Vorbereitung der 3. Generation Vergasungstechnik, die die Anforderungen an höchste Effizienz, geringste Emissionen und das Einkoppeln erneuerbarer Energien in Form von Elektrolyse-Wasserstoff und -Sauerstoff mit der Senkung der Investitionskosten verbindet. Besonders wichtig erscheint mir die interdisziplinäre Grundlagenforschung mit dem Fokus der mathematischen Modellierung. Auf der Komponentenebene sind es die optimierte Trocknung, der schleusenlose Feststoffeintrag und neue Vergaser- und Quenchdesigns. Auf der Systemebene wären die möglichst störungs- und einflussfreie Einbindung in die vorhandene Infrastruktur und deren Dynamik zu nennen.

Wie beurteilen Sie die Marktchancen?

Meyer: Deutsche Unternehmen sind international präsent und auch wettbewerbsfähig. Die Hauptkonkurrenz erwächst aus China und macht die Situation am Markt schwierig. Daher kann ich der Industrie nur anbieten, die Wissenschaft und deren umfangreiches Prozess- und Modellierungswissen stärker zu nutzen. Übrigens, das nächste große Forum der internationalen Technologie- und Strategiedebatte wird von unserem Institut vom 12. bis 16. Juni 2016 in Köln ausgerichtet. Es ist die 8. International Freiberg Conference zu Vergasungs- und Synthesegastechnologien.

Strategie der Forschungsförderung

Intelligenter, flexibler, sauberer. So lauten die entscheidenden Schlagworte für konventionelle Kraftwerke im Energiesystem der Zukunft und damit auch für die Ziele der Bundesregierung im 6. Energieforschungsprogramm im Hinblick auf die weitere Entwicklung dieser Umwandlungstechnologie. Die Grundlage der Forschungsförderung des BMWi zu Kraftwerkstechnik sowie CO₂-Abscheidung und -speicherung ist die aktuelle Bekanntmachung (gültig seit Dezember 2014) des Ministeriums.

Der Schwerpunkt der Projektförderung des BMWi liegt auf Forschungsvorhaben, welche die Flexibilität, Effizienz und Wirtschaftlichkeit von Kraftwerksprozessen steigern oder neue Materialien und Materialtechnologien entwickeln. Zudem unterstützt das Ministerium Projekte zu CCS-Technologien und weiteren Maßnahmen zur Emissionsreduktion. Das BMWi fördert darüber hinaus das Erschließen neuer technologischer Optionen, wie Methanisierungsprozesse (Power-to-Gas), Oxyfuel- und Vergasungssysteme oder Polygeneration, der kombinierten thermischen und stofflichen Nutzung fossiler Energieträger. Ein weiterer Fokus liegt auf der Forschungsförderung zur Systemintegration von Kraftwerksprozessen.

Das BMWi hat im Jahr 2015 für die vorwettbewerbliche, anwendungsorientierte Projektförderung von Kraftwerkstechnologien sowie die $\rm CO_2$ -Abscheidung und -speicherung insgesamt rund 26,2 Millionen Euro Fördermittel für 277 laufende Vorhaben aufgewendet. Darüber hinaus hat das BMWi 108 Vorhaben mit einem Gesamtfördervolumen von rund 54 Millionen Euro neu bewilligt.

Eine wichtige Säule der Förderpolitik des Bundes ist die COORETEC-Initiative des BMWi. Sie ist Teil des Energieforschungsprogramms und unterstützt seit elf Jahren mit fachlicher Expertise die Weiterentwicklung der Kraftwerkstechnologien in Deutschland. Im Auftrag des Ministeriums identifiziert COORETEC Forschungs- und Entwicklungserfordernisse und diskutiert und initiiert Ideen zu neuen Projekten. Damit leistet die Initiative einen Beitrag zur Sicherung einer bezahlbaren Energieversorgung in Deutschland und zur Positionierung deutscher Hersteller im internationalen Wettbewerb.



Kraftwerksturbine von Alstom

Auswahl geförderter Projekte

BGL-Vergasung: Weiterentwicklung zu IGCC und Verfahren der Polygeneration

Vergaser mit flüssigem Schlacke-Abzug nach dem British Gas Lurgi (BGL)-Verfahren zeichnen sich durch einen hohen Kaltgaswirkungsgrad für eine CO₂-emissionsarme Wandlung fester Brennstoffe zu gasförmigen und flüssigen Kohlenwasserstoffen aus. Mit geringen anlagentechnischen Modifikationen lässt sich das Produktspektrum des Vergasers signifikant verändern. Dieses reicht von einem sehr hohen Anteil an Brenn- beziehungsweise Synthesegas bis zu einer hohen Teer-Öl-Ausbeute für Anwendungen im Bereich Polygeneration. Beide Verfahrensvarianten sind für eine effiziente und flexible Stromversorgung interessant.

Ein Team der Technischen Universität Bergakademie Freiberg forscht hierzu an einer Weiterentwicklung der BGL-Vergasung zu einem IGCC- und Polygeneration-Vergasungsverfahren. Das geplante Polygen-BGL-Konzept adressiert kohlebasierte Anlagen zur Polygeneration mit der Erzeugung von Syntheseprodukten sowie der Bereitstellung speicherbarer Spitzenlastbrennstoffe (Teeröle).

Die Grundlage sollen theoretische Studien (unter anderem eine Modellierung) schaffen. Anschließend wollen die Wissenschaftler experimentelle Untersuchungen im Laborund im Pilotanlagenmaßstab durchführen. Dafür ist der Betrieb eines vorhandenen BGL-Vergasers vorgesehen. Das Brenngas-BGL-Konzept zielt auf die Steigerung des Wirkungsgrads und Minderung der Emissionen ab. Zugleich wollen die Forscher die Anlagenkomplexität reduzieren und die Kosten für IGCC-Kraftwerke senken.

Das Projekt trägt zur Stärkung der Innovationsfähigkeit deutscher Hersteller von Kraftwerkskomponenten bei und verbessert deren Wettbewerbsfähigkeit. Die Entwicklung begünstigt zudem den weiteren Ausbau der Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen, da es die weitere Flexibilisierung konventioneller Kraftwerke unterstützt. Das Vorhaben erhält rund 5 Millionen Euro Förderung durch das BMWi



Anlage zur Schlackebadvergasung aus dem Forschungsprojekt BGL-Vergaser

HIGHLIGHT

Partner-Dampfkraftwerk für die regenerative Stromerzeugung

Wenn Sonne und Wind nicht ausreichen, übernehmen Kohle- und Gaskraftwerke eine wichtige Rolle für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung. Bislang wurden diese Dampfkraftwerke für den Grund- und Mittellastbetrieb für etwa 4.500 bis 7.500 Volllastbetriebsstunden im Jahr ausgelegt. Durch den Anstieg fluktuierender erneuerbarer Energien müssen die Kraftwerke für einen effizienten Betrieb mit geringeren jährlichen Betriebsstunden und kleinerer Minimallast so ertüchtigt werden, dass kosten- und materialbelastende Anfahrvorgänge und Laständerungen reduziert werden.

Im Forschungsprojekt Partner-Dampfkraftwerk für die regenerative Stromerzeugung hat das Cluster Rhein Ruhr Power die Entwicklung flexibler, hocheffizienter thermischer Kraftwerke vorangetrieben. Elemente wie Hochtemperaturspeicher, die bislang nur in solarthermischen Kraftwerken eingesetzt werden, wurden in den Konzeptionen mitberücksichtigt. Damit sollen vorhandene Braun- und Steinkohlekraftwerke so ertüchtigt werden, dass Strom aus Photovoltaik- und Windenergieanlagen in großem Umfang bedarfsgerecht eingespeist werden kann. Koordinator des aus sechs Teilprojekten bestehenden Verbunds war der europäische Fachverband der Strom- und Wärmeerzeuger VGB PowerTech. Insgesamt beteiligten sich sieben Forschungsinstitute und Industrieunternehmen.

Die Wissenschaftler haben Schlüsseltechnologien zur Flexibilisierung des "Kraftwerks der Zukunft" innerhalb eines nachhaltigen, intelligenten Energieversorgungssystems untersucht und die Wirtschaftlichkeit anhand der Referenzkraftwerke Voerde (Steinkohle) und Schwarze Pumpe (Braunkohle) evaluiert. Dabei lag der Fokus auf einem verbesserten Anfahrvorgang (Zeit- und Kostenersparnis), dem Senken der Mindestlast (auf 15 Prozent in Voerde, bis 35 Prozent im Kraftwerk Schwarze Pumpe) sowie dem Erhöhen der Laständerungsgeschwindigkeit als wesentliche Kriterien für mehr Flexibilität. Sowohl technische als auch ökonomische Aspekte sind dabei eingeflossen. Zudem haben die Partner das thermodynamische Verhalten der Kraftwerke anhand der Beispielanlagen simuliert und bewertet. Obgleich der Fokus auf bestehenden Kraftwerken lag, wurde die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Neubauten überprüft. Zudem wurden Integrationsansätze für Niedertemperatur- und Hochtemperaturspeichersysteme in konventionelle Kohlekraftwerke auf Basis von Feststoff-, Flüssigsalz- und Dampfspeichern erarbeitet und anhand qualitativer Einschätzungen und thermodynamischer Restriktionen bewertet. Demnach eigneten sich im Hochtemperatur-Dampfbereich und im Rauchgasstrang eingesetzte thermische Energiespeicher aufgrund ihrer hohen Leistung am besten.

Mit der Förderung durch das BMWi von rund 1 Million Euro wird das Einspeisen hoher Anteile volatiler Stromerzeugung aus Wind- und Photovoltaikanlagen durch den flexiblen Betrieb von Kohlekraftwerken vorangetrieben.





Anlage zur Kraft-Wärme-Koppelung (KWK) mit einer Industriegasturbine der 6-Megawatt-Klasse



Wirkung der Begleitstoffe abgeschiedener CO₂-Ströme auf Transport, Injektion und Speicherung

Die ansteigende CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre stellt eine große Herausforderung dar. Eine Abscheidung und dauerhafte Speicherung im tieferen Untergrund kann zu einer Reduktion der CO_2 -Emissionen bei der Stromerzeugung (im Kraftwerk) oder in Industriebranchen mit prozessbedingten CO_2 -Emissionen (zum Beispiel Stahl- oder Zementherstellung) beitragen.

Das abgeschiedene CO₂ enthält – je nach Entstehungsprozess und Abscheidetechnologie – unterschiedlich hohe Konzentrationen an Begleitstoffen wie zum Beispiel SO_x, NO_x, H₂S, CO oder O₂. Diesen Begleitstoffen widmet sich das Verbundprojekt **CLUSTER**. Ziel ist die Erstellung von Kriterien und Empfehlungen zur Definition von Mindestzusammensetzungsschwellen (vergleiche Richtlinie 2009/31/EC), die abgeschiedene CO₂-Ströme für das Zusammenführen in eine gemeinsame Transport- und Speicherinfrastruktur erfüllen müssen. An dem Projekt sind sieben Partner beteiligt, zwei Ressortforschungseinrichtungen, drei Universitäten und zwei kleine bzw. mittlere Unternehmen. Die Koordination hat die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) übernommen.

Die Wissenschaftler betrachten einen repräsentativen regionalen Cluster unterschiedlicher CO₂-Quellen als Modellszenario. Die abgeschiedenen CO₂-Ströme der jeweiligen Quellen sollen in einer Sammel-Pipeline zusammengefasst, transportiert und in einen geologischen Speicher injiziert werden. Ihr Augenmerk richten die Forscher insbesondere auf die Auswirkungen der zeitlich veränderlichen Zusammensetzung des gesammelten CO₂-Stroms und des variablen Massenflusses auf Transport, Injektion und Speicherung. Beispielsweise wird die korrosive Wirkung von CO₂- Strömen veränderlicher Zusammensetzung auf Anlagenteile, Pipeline-Stähle, Bohrlochzemente und Speichergesteine erforscht. Das BMWi fördert den Verbund mit rund 3,9 Millionen Euro.

Dezentrale Gasturbinenanlagen für schnelle Reserven

Das fluktuierende Einspeisen erneuerbarer Energien macht das Bereitstellen schneller Reserven notwendig. Ein vielversprechender Ansatz könnte das Erschließen von Industrieturbinen für die Stromerzeugung sein, da diese rasche Starts ermöglichen und somit zur Sicherung der Netzstabilität eingesetzt werden können.

Mit dem Vorhaben **Grüne Erde** will ein Forschungsverbund durch Nutzung dezentraler Gasturbinenanlagen die Flexibilität der Energieerzeugung erhöhen. Konkret soll eine neue Industriegasturbine in der Leistungsklasse bis 25 Megawatt entstehen. Diese wollen die Wissenschaftler für die Anwendung in kombinierten Gas- und Dampfturbinen-(GuD-)Anlagen und in Kraft-Wärme-Kopplungsprozessen (KWK-Prozessen) optimieren. Die bereits vorhandene Reaktionsschnelligkeit der Turbinen soll durch Verbesserungen der Brennkammer und des Kompressorteils noch weiter erhöht werden.

Ziel ist es, den thermischen Wirkungsgrad kleiner, kompakter Gas-und-Dampfturbinen-Anlagen um rund 5 Prozent auf 55 Prozent zu erhöhen und im KWK-Prozess von 80 auf 85 Prozent anzuheben. Zudem soll die Lastflexibilität steigen und die Startzeiten sollen von 10 auf 5 Minuten sinken. Darüber hinaus strebt der Verbund einstellige ppm-Werte bei den NOx-Emissionen für 40 bis 100 Prozent Last an und möchte für die Maschinen eine Brennstoffflexibilität erreichen, welche die Beimischung größerer Mengen regenerativ erzeugten Wasserstoffs gestattet. So könnte regenerativ erzeugtes H_2 die CO_2 -Quelle Erdgas ersetzen. Hierzu forschen die Partner zunächst an bereits existierenden Maschinen mit 6 bis 23 Megawatt. Verbundkoordinator ist MAN Diesel & Turbo, weiterhin sind die Ruhr-Universität Bochum und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) beteiligt. Das Projekt wird durch das BMWi mit rund 3,1 Millionen Euro gefördert.

Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien



In der Branche hat sich die Brennstoffzelle als Energielieferant längst einen Namen gemacht: Ohne weitere externe Energiezufuhr, Abgase, Lärm und Verschleiß erzeugt sie aus Sauerstoff und Wasserstoff umweltfreundlich und auf direktem Weg Strom und Wärme – einziges Abfallprodukt ist dabei Wasser. Brennstoffzellen sind elektrochemische Stromerzeuger, die auch als gasbetriebene Batterien bezeichnet werden. In Zukunft soll die Technologie bei der nachhaltigen Energieversorgung eine Schlüsselrolle einnehmen.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Die Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie hat im Mobilitätssektor und bei der Hausenergieversorgung zwei wesentliche Ansatzpunkte, um die erneuerbaren Energien in das Energiesystem zu integrieren. Große Automobilkonzerne arbeiten schon seit Anfang der 1990er Jahre daran, Autos mit Brennstoffzellen anzutreiben. Im Herbst 2015 hat der japanische Autobauer Toyota mit dem Mirai nun das erste in Serie produzierte Brennstoffzellen-Auto auf den deutschen Markt gebracht und macht damit einen Schritt in eine neue Art der Antriebstechnik, die in den kommenden Jahrzehnten Benzin- und Dieselmotoren überflüssig machen kann. Doch "bis zum Durchbruch von Brennstoffzellenfahrzeugen werden wohl noch zehn, zwanzig oder vielleicht mehr Jahre vergehen", sagte selbst der Entwicklungschef des Konzerns bei der Marktein-

führung des Autos in Deutschland. Bislang sind die Kosten für Brennstoffzellen-PKW deutlich höher als für Benzinoder Dieselfahrzeuge und auch das Netz von Wasserstofftankstellen ist noch nicht weit ausgebaut: In Deutschland gibt es derzeit 20 Stationen für Brennstoffzellen-Fahrzeuge; bis 2023 soll das Netz auf 400 wachsen. Die Automobilhersteller verdienen noch kaum Geld mit Wasserstoffautos – langfristig könnte sich das aber ändern. Bis 2050 wird die Mobilität mit Brennstoffzellen einen signifikanten Anteil erreicht haben und spürbar zur Reduktion der Verkehrsemissionen beitragen.

Aktuell liefern in Deutschland rund 1.000 Brennstoffzellen-Heizungen direkt im Haus umweltschonend und effizient sowohl Strom als auch Wärme – nun soll ein Markthochlauf erfolgen. Das Prinzip dieser Technologie ist einfach: Das Brennstoffzellen-Heizgerät hat einen Erdgasanschluss, aus dem es den Wasserstoff gewinnt. Dieser reagiert dann in der Brennstoffzelle mit Sauerstoff aus der Luft zu Wasser, und es entstehen gleichzeitig Wärme und Strom. Die Geräte sind energetisch hocheffizient und durch ihren hohen Gesamtwirkungsgrad von 90 Prozent lassen sich sowohl in der privaten Hausenergieversorgung als auch im Gewerbe Heiz- und Stromkosten signifikant einsparen. Die $\rm CO_2$ -Emissionen reduzieren sich um bis zu 50 Prozent. Als dezentrale Stromerzeuger können Brennstoffzellen-Heizungen zudem die Stromnetze entlasten oder Stromüberschüsse einspeisen.

Nach Informationen des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) sind Heizungen in deutschen Wohnungen und Kellern im Durchschnitt knapp 18 Jahre alt, mehr als ein Drittel der Anlagen wurde sogar schon vor 1995 und damit vor mehr als 20 Jahren in Betrieb genommen. Ziel der Entwickler ist es, dass Brennstoffzellen-Heizgeräte diese veralteten Anlagen ersetzen oder auch bestehende Heizgeräte ergänzen.

Im internationalen Vergleich ist Japan nach wie vor führender Hersteller; dort wurden mit dem staatlich geförderten ENE-FARM-Programm schon weit über 120.000 Brennstoffzellen-Heizgeräte installiert. Um im weltweiten Wettbewerb konkurrenzfähig zu bleiben und den Marktdurchbruch in diesem Bereich zu schaffen, unterstützt das BMWi ab 2016 stationäre Brennstoffzellen-Heizungen mit einem neuen Technologieeinführungsprogramm.

Dass die Geräte, die sich nach langjähriger Forschung und Entwicklung in Feldtests als langlebig und zuverlässig erwiesen haben, jetzt kommerziell erhältlich sind, ist ein Erfolg des "Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie" (NIP), das von der Energieforschung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und der Industrie getragen wird. Auch die "Initiative Wasserstoff Brennstoffzelle Deutschland" – ein im Jahr 2015 geschlossenes Bündnis aus 13 Partnern in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft – will die flächendeckende Einführung von umweltfreundlichen Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien unterstützen.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Die Projektförderung durch das BMWi belief sich im Bereich Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien 2015 auf rund 19,7 Millionen Euro (2014: rund 22,8 Millionen Euro) für insgesamt 119 Projekte. 42 Projekte mit einer Förderung von insgesamt rund 25,4 Millionen Euro über die gesamte Projektlaufzeit (2014: rund 21,5 Millionen Euro) wurden neu angestoßen.

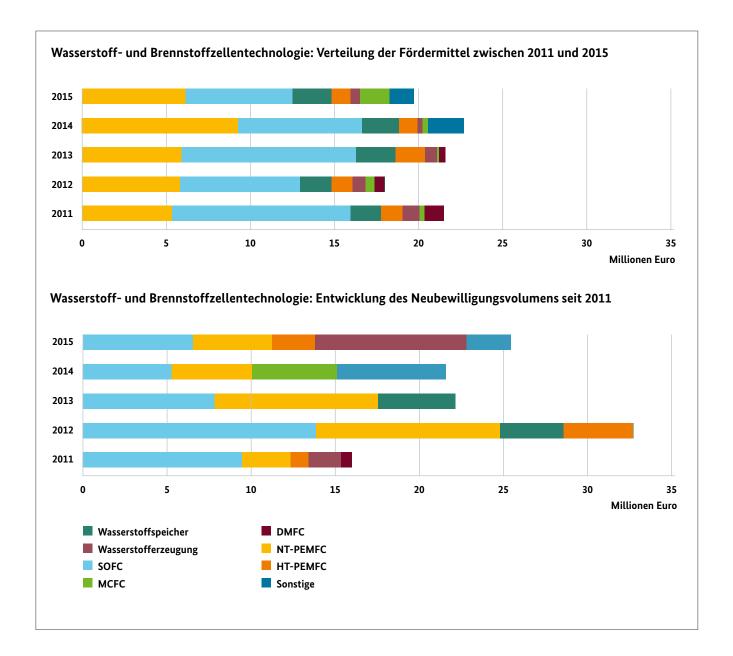
Einen beachtlichen Weltrekord hat eine Festoxid-Brennstoffzelle im Jahr 2015 aufgestellt: Sie hat 70.000 Betriebsstunden nachgewiesen und läuft damit seit acht Jahren (siehe Bild auf Seite 58). Das ist länger, als je eine andere Brennstoffzelle dieses Typs zuvor erreicht hat, und belegt, dass diese Technologie einsatzreif ist. Über die gesamte Laufzeit wies die Jülicher SOFC-Brennstoffzelle (Solid Oxide Fuel Cell, Festoxid-Brennstoffzelle) nur einen sehr geringen Leistungsverlust durch Alterung auf (etwa 0,6 Prozent pro 1.000 Betriebsstunden) – und neuere schneiden noch besser ab.

Festoxid-Brennstoffzellen gelten wegen ihres hohen Wirkungsgrads als ideal, um künftig Haushalte und kleine Betriebe, aber auch Großfahrzeuge wie LKW, Züge und Schiffe mit Energie zu versorgen.

Innovationen und moderne Energietechnologien sind der Schlüssel zur Energieversorgung der Zukunft. Mit dem Ausbau erneuerbarer Energien ist es jedoch nicht getan, denn Wind- und Sonnenstrom sind starken Schwankungen unterworfen. Deshalb ist der Umbau des Energiesystems nur mit geeigneten Speichertechnologien denkbar - und hier kommt der Wasserstoff ins Spiel: Er ist in besonderer Weise geeignet, da er eine hohe Energiedichte besitzt, sich gut lagern und durch Brennstoffzellen effizient rückverstromen lässt. So genannte Power-to-Gas-Projekte, die Brennstoffzellen umgekehrt als "Elektrolyseur" arbeiten lassen und somit regenerativen Strom in grünen Wasserstoff und Sauerstoff wandeln, sind mittlerweile für viele Hersteller ein zweites Standbein. Die Projekte EcoPtG, GreenH2, DruHEly und NestPel sind hierfür einige Beispiele - diese hat das BMWi im Jahr 2015 angestoßen und setzt damit ergänzend zum Förderschwerpunkt Energiespeicher auch im Bereich Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien verstärkt auf die Forschung und Weiterentwicklung von so genannten Elektrolyseuren.

Strategie der Forschungsförderung

Seit dem Programmstart des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) im Jahr 2008 konnten mehr als 200 Forschungsvorhaben des BMWi erfolgreich umgesetzt werden. Trotz Markteintritt erster Geräte bleibt die Forschung und Entwicklung in diesem Sektor weiterhin ein wichtiger Teil für den Erfolg der Energiewende, heißt es auch bei der Vollversammlung des NIP in Berlin. Weltweit schreitet die Weiterentwicklung der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie voran und neben dem Automobilsektor und der Hausenergieversorgung stehen auch in Sonderanwendungen (zum Beispiel unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen) weitere Hersteller kurz vor dem Eintritt in den Markt. Um künftig den Anschluss an den internationalen Wettbewerb nicht zu verlieren, bleibt für die Branche und damit auch für Forschung und Entwicklung die Herausforderung, eine gut funktionierende Zulieferindustrie und Infrastruktur aufzubauen sowie die Kosten weiter zu senken.



IM FOKUS

Optimierung der Gasdiffusionsschicht für Brennstoffzellen

Um Brennstoffzellen als alternatives Antriebskonzept für Fahrzeuge zu etablieren, sind bei den Komponenten weitere Entwicklungen notwendig. Mit der Optimierung der Gasdiffusionsschicht (GDL) beschäftigt sich das Vorhaben OPTIGAA 2. Projektleiter Achim Bock des Technologieunternehmens und GDL-Herstellers Freudenberg gibt Einblick in die Forschung.

Herr Bock, was macht die Gasdiffusionsschicht so wichtig?

Bock: Die GDL ist als Schnittstelle zwischen Bipolarplatte und Elektrode im Zentrum der Brennstoffzelle und wechselwirkt mit diesen Nachbarkomponenten. Ihre Bedeutung steigt mit der Stromdichte. Je höher diese ausfällt, desto wichtiger wird die GDL, da alle Transportprozesse durch sie damit korrelieren. Je mehr Strom produziert wird, desto mehr Gas ist nötig und umso mehr Strom fließt durch die GDL und umso mehr Wärme und Wasser werden produziert.

Was ist das besondere bei GDLs für Fahrzeuganwendungen?

Bock: Da die Stromdichte bei automobilen Anwendungen am höchsten ist, ist dies auch zugleich das anspruchsvollste Einsatzgebiet. Im mobilen Bereich ist es das langfristige Ziel, immer höhere Stromdichten zu erreichen, um so die Leistungsdichte zu steigern und Komponenten einzusparen. Auf diese Weise werden die Einzelzellen und Stacks immer kleiner bei gleicher Leistung. Die notwendigen Kostenreduktionen setzen sich aus reduzierten Fertigungskosten über Skalierungseffekte und Prozessoptimierungen sowie höheren Leistungsdichten zusammen, um weniger Komponenten bei gleicher Leistung zu verbrauchen.

Welche Ziele verfolgen Sie bei OPTIGAA 2?

Bock: Unser Ziel ist zu verstehen, welche Strukturen, Rohstoffe und Fertigungsprozesse wir brauchen, um Materialien umzusetzen, die für hohe Leistungs- und Stromdichten geeignet sind. Dabei geht es darum, die Bedeutung und Relevanz der spezifischen Material-



Achim Bock, Freudenberg

eigenschaften für die Gasdiffusionsschicht zu prüfen und so das zugrundeliegende FEM-Simulationsmodell zu verifizieren. Weiter ist es für uns als GDL-Hersteller wichtig zu wissen, wie wir kritische Materialeigenschaften beeinflussen und damit optimieren können.

Welche Fortschritte konnten Sie bisher erreichen?

Bock: In den ersten zwei Projektjahren haben wir elf Kriterien definiert und priorisiert, die im Prinzip das komplette Weltbild der GDL darstellen. Über Versuche haben wir dann analysiert, wie wir die einzelnen Materialien so verändern können, um für diese Kriterien deutliche Verbesserungen zu erzielen. Jetzt geht es darum, aus den besonders effektiven Einzelmaterialien wenige Kombinationsmaterialien zu erstellen, die alle elf Kriterien gleichzeitig erfüllen und das Leistungsziel erreichen. Die größte Herausforderung ist es, die Vielzahl an Zielgrößen zeitgleich zu behandeln, denn das macht den Prozess sehr komplex.

Wo sehen Sie weiteren Forschungsbedarf?

Bock: Schnittstellen sind ein wichtiges Thema. Es ist auf Dauer nicht zielführend, wenn jeder Hersteller seine Einzelkomponente optimiert, sondern es muss gemeinsam an den Schnittstellen zwischen den verschiedenen Bauteilen gearbeitet werden. Zudem muss die Fertigungsstruktur weiterentwickelt werden, um GDLs kostengünstiger zu produzieren. Ein weiterer Punkt ist eine automatisierte Qualitätssicherung durch In-Line-Prüfverfahren, die jeweils material- und personalaufwändige Off-Line-Verfahren ersetzen können.

Auswahl geförderter Projekte

Wasserstoffspeicherung für mobile Anwendungen

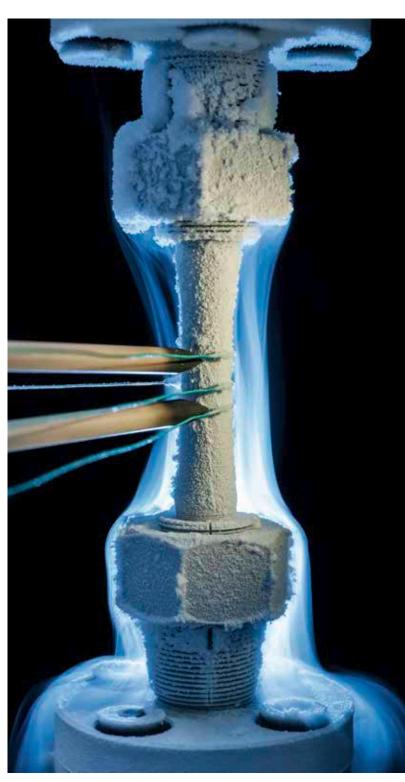
Mobile Wasserstoffdruckspeicher sind hohen Belastungen ausgesetzt. Sie müssen Energie in hoher Dichte speichern und zugleich robust genug sein, um große Temperaturschwankungen zu tolerieren und Erschütterungen und Schwingungen, die durch das Bewegen des Fahrzeugs entstehen, standhalten zu können.

Im Projekt **HyMod** forschen sechs Verbundpartner an der Entwicklung von Methoden zur Durchführung von Simulationen für die thermo-mechanische Auslegung sowie für Lebensdaueranalysen und -prognosen von Drucktankbehältern für Hochdruck- und Kryodruck-Anwendungen. Diese sollen als Grundlage für die Entwicklung von innovativen Wasserstoffspeichern für Fahrzeuge dienen. Koordinator des Vorhabens ist BMW.

Die Entwicklung der Berechnungsmethode wird von entsprechenden Versuchen zur Validierung begleitet. Die Methoden und Simulationstools sollen die Grundlage für zukünftige Entwicklungsprozesse bilden. Aus dem Vorhaben soll ein standardisiertes Auslegungs-, Optimierungs- und Absicherungsverfahren entstehen, um die Auswirkungen von konstruktiven und konzeptionellen Veränderungen bei den Systemen und Komponenten bewerten zu können. Zudem wollen die Forscher so den Umfang für aufwändige experimentelle Untersuchungen reduzieren.

Das Projekt soll dazu beitragen, die Gesamtdurchlaufzeiten von zukünftigen Entwicklungen und deren Kosten zu reduzieren. Insgesamt sind drei Industrieunternehmen, zwei Forschungsinstitute und eine Universität beteiligt. Das BMWi fördert den Verbund mit rund 4,5 Millionen Euro.

Ein weiteres Forschungsvorhaben ist **MatFuel**. Das vom BMWi mit rund 3,7 Millionen Euro geförderte Projekt untersucht den Einfluss von Wasserstoff auf die Eigenschaften nichtrostender Stähle und legt damit den Schwerpunkt auf Werkstofftechnik für Brennstoffzellenkomponenten.



Dehnungsgeregelter Ermüdungsversuch bei kryogener Temperatur von -196 Grad Celsius. Die Hohlprobe wird dabei von flüssigem Stickstoff durchströmt

HIGHLIGHT

Brennstoffzellensysteme als umweltfreundliche, netzunabhängige Stromaggregate

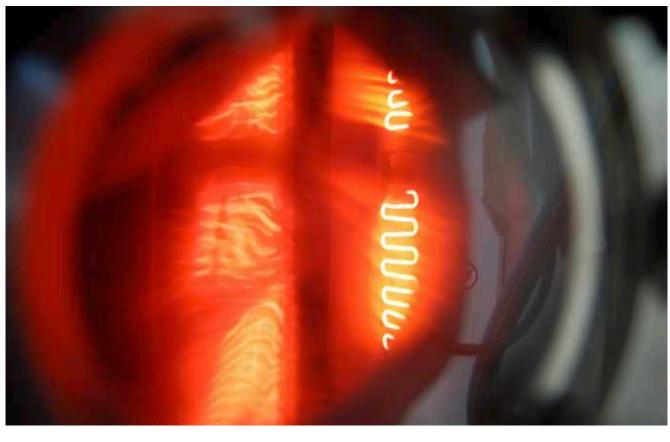
Netzunabhängige Stromaggregate (auxiliary power unit, APU) für den Betrieb kleinerer Geräte, wie Kühlschränke oder Klimaanlagen in Lieferfahrzeugen, Reisemobilen oder Yachten, sind mit der benötigten elektrischen Leistung von rund drei Kilowatt nur als benzin- oder dieselbetriebene Varianten am Markt verfügbar. Ihr Einsatz ist jedoch oftmals durch Lärm- und Emissionsschutzvorgaben nur beschränkt zulässig. Brennstoffzellensysteme haben den Vorteil, dass sie geräusch-, emissions- und vibrationsarm arbeiten, und stellen so künftig eine attraktive Lösung dar.

Ein Verbund, koordiniert durch das OWI OEL-WAERME-INSTITUT, hat hierzu umfangreiche Forschungen durchgeführt. Im Vorhaben MÖWE III haben die Wissenschaftler die technische Reife eines modularen Brennstoffzellensystems erprobt, welches künftig für mobile Anwendungen einsetzbar sein soll. Das mit Diesel betriebene System war in den Vorgängerprojekten MÖWE I und II entwickelt worden. Es besteht aus einem Diesel- und einem Wassertank sowie einem Brenngaserzeuger- und einem Brennstoffzellenmodul mit einer Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzelle (NT-PEM) mit 90 Zellen, einer Batterie und einer entsprechenden Leistungselektronik. Das autonome System wandelt Dieseltreibstoff in elektrische Energie um und erzeugt die für die anvisierten Einsatzszenarien notwendige Leistung von 3 bis 4 Kilowatt.

MÖWE setzt auf die Technologiekombination Diesel/ SR-PEM-Brennstoffzelle. Das Verfahren der Dampfreformierung (Steam Reforming, SR) bietet die höchste Wasserstoffausbeute und den höchsten Wasserstoff-Partialdruck, da keine Verdünnung mit Stickstoff erfolgt. Die Vorteile von Diesel sind seine hohe Energiedichte, die bereits vorhandene Versorgungsinfrastruktur sowie die Möglichkeit, den Kraftstoff problemlos vorrätig zu halten. Die Stärken von NT-PEM-Brennstoffzellen wiederum sind ihre lange Lebensdauer sowie ihre geringe Startzeit. Außerdem sind diese Zellen bereits serienreif.

Einen wichtigen Meilenstein auf dem Weg zur Marktreife des modularen Systems und das Kernziel der dritten Projektphase haben die Verbundpartner zum Abschluss des Vorhabens realisiert. Die Wissenschaftler konnten die Funktionsfähigkeit und technische Reife des Brenngaserzeugers sowie des Brennstoffzellenstapels und des E-Moduls erfolgreich zeigen. Dabei konnte das Forscherteam durch mehrere Versuchszyklen den autarken Betrieb inklusive der Lastaufschaltung einer Klimaanlage demonstrieren.

Für einen kommerziellen Einsatz sind allerdings weitere Forschungsmaßnahmen notwendig, um das Brennstoffzellensystem bei gleicher Leistung in einen deutlich kleineren Maßstab zu bringen und nicht zuletzt die Kosten zu reduzieren. An MÖWE III waren neben OWI ENASYS der Automations- und Managementsystemanbieter inhouse engineering und der Autozulieferer MAHLE Behr beteiligt. Das BMWi hat die dritte Phase mit rund 1,4 Millionen Euro gefördert.



Bipolarplatten während der Oberflächenbehandlung in der Vakuumkammer

Korrosionsstabile, ultradünne, metallische Bipolarplatten

Um ausreichend Leistung zu erzeugen, greifen aktuelle Brennstoffzellen-Fahrzeugkonzepte auf Stacks von bis zu 400 Zellen zurück. Somit sind Größe, Gewicht und Kosten der in jeder Zelle enthaltenen Bipolarplatten wichtige Faktoren für die Marktfähigkeit dieser Technologie. Klassischerweise werden sie aus Graphit oder graphithaltigem Kunststoff hergestellt. Bipolarplatten aus Edelstahl sind zwar stabiler und zwangsläufig dünner, jedoch weisen übliche korrosionsbeständige Passivschichten einen hohen elektrischen Widerstand auf und senken so die Effizienz.

Das Projekt **miniBIP** entwickelt daher korrosionsstabile, metallische bipolare Platten mit neuen Beschichtungen aus Hochleistungswerkstoffen. Projektkoordinatoren sind die Fraunhofer-Institute für Werkstoff- und Strahltechnik IWS und für Schicht- und Oberflächentechnik IST. Schwerpunkte sind die Erarbeitung geeigneter Werkstoffkonzepte und Beschichtungsverfahren an der Platte sowie die Integration von Testmustern in Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen.

Die Anforderungen waren hoch. Das Ziel der Wissenschaftler ist die Herstellung ultradünner Edelstahl-Platten, deren beschichtete Oberfläche die Leitfähigkeit des Referenzmaterials Gold besitzt, ohne in der Korrosionsbeständigkeit im sauren Milieu der Brennstoffzellen-Reaktion Schwächen zu zeigen. Dabei haben die Forscher bisher einerseits das Umformvermögen der Werkstoffe untersucht, um anhand neuer Platten-Designs eine optimale Durchströmung der Medien zu gewährleisten. Andererseits musste die Beschaffenheit der Oberflächenmodifikation dabei über die gesamte Lebensdauer der Brennstoffzelle möglichst konstant bleiben. Die ultradünnen Bipolarplatten wurden schließlich zu einem 50-zelligen Demonstrator-Stack aufgebaut und erprobt. Abschließend stehen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im Fokus. An dem Projekt sind Outokumpu Nirosta und Daimler beteiligt. Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 2,9 Millionen Euro.

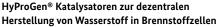
Hocheffiziente Katalysatoren zur Entschwefelung von Wasserstoff

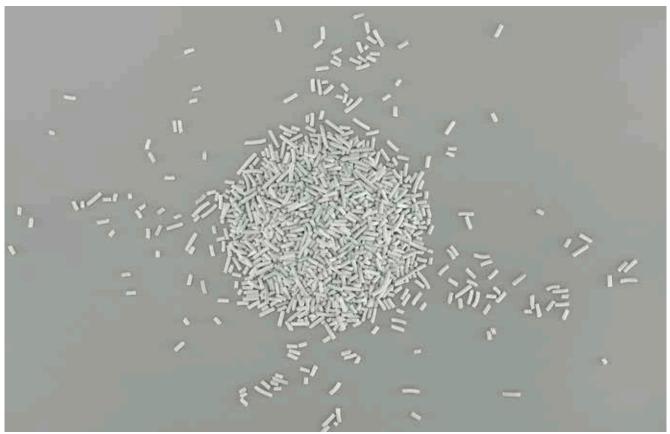
Wasserstoff gilt als ein vielversprechender Energieträger mit zahlreichen Anwendungsgebieten, ob im mobilen oder im stationären Bereich. Für das dezentrale Gewinnen des Wasserstoffs für Brennstoffzellen aus Erdgas sind Katalysatoren notwendig. Allerdings verunreinigen Schwefelverbindungen Katalysatoren und die Brennstoffzelle, beeinflussen so die Lebensdauer der Komponenten und behindern die Funktionsweise des Gesamtsystems. Für den kommerziellen Erfolg dieses Energiesystems ist daher eine Entschwefelungslösung unabdingbar.

Das auf drei Phasen aufgeteilte Vorhaben Katalysatoren zur dezentralen Wasserstofferzeugung und Strom für die Brennstoffzelle von Clariant Produkte forscht zu Konzepten mit dieser Thematik. In den ersten beiden Phasen haben die Wissenschaftler neue Katalysatoren für die Anwendung in Brennstoffzellen entwickelt und sowohl kostengünstige als auch effektive Materialien erarbeitet, um den im Erdgas vorhandenen Schwefel aus dem System zu entfernen, und haben dies dabei anschließend in Feldtests

erprobt. Die Forscher haben dabei alle Bereiche der Reinigung der Wasserstoffträger betrachtet – von der dezentralen Wasserstofferzeugung bis hin zur Abgasreinigung.

In der aktuell geförderten dritten Phase des Vorhabens haben die Wissenschaftler ein Entschwefelungskonzept erarbeitet, das auch die Logistik, das Entwickeln von Katalysatoren zur Reformierung und neue Verfahren zu deren Herstellung einschließt. Zudem soll das Konzept durch Lebensdauerprognosen abgesichert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen somit einen wichtigen Beitrag für den kommerziellen Erfolg von Brennstoffzellensystemen in Deutschland liefern. Das BMWi fördert die dritte Phase mit rund 2,1 Millionen Euro.





Energieverteilung, -speicherung und -integration



Eines der wesentlichen Charakteristika der Energiewende ist die Flexibilisierung von Erzeugung und Verbrauch. Dementsprechend muss dem Verteilen und Speichern künftig die Integration von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien folgen. Derzeit ist die Infrastruktur in Deutschland allerdings noch nicht auf die stetig wachsende Menge unregelmäßig eingespeister Energie ausgelegt. Um hierfür die technischen und systemischen Kapazitäten zu schaffen, sind Forschung und Innovationen bei Strom- und Wärmespeichern und neue Konzepte, Verfahren und Materialien für das Optimieren der Verteilnetze notwendig.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Anders als bei konventionellen Gas- oder Kohlekraftwerken schwankt die Strom- und Wärmeerzeugung durch erneuerbare Energien und ist von äußeren Faktoren wie der Windstärke oder der Sonneneinstrahlung abhängig. Das bedeutet, dass immer dann Über- beziehungsweise Unterkapazitäten entstehen, wenn die Nachfrage und das Angebot aus volatilen Quellen nicht identisch sind. Da dies der Regelfall ist, sind ein zügiges Weiterverteilen und ausreichende Speicherkapazitäten entscheidend, um die Netzstabilität zu halten, ohne die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen drosseln zu müssen. Somit ist Flexibilität eine der wichtigsten Kerneigenschaften des Energiesystems der Zukunft.

Für das Speichern von überschüssiger Energie steht ein breites Feld unterschiedlich weit entwickelter Technologien zur Verfügung. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen thermischen Speichern für die Wärmeversorgung und Stromspeichern. Letztere können langfristig dazu beitragen, konventionelle Kraftwerke zu ersetzen, indem sie kontinuierlich elektrische Leistung für das System aufnehmen oder bereitstellen.

Während einige Anwendungen bereits gut etabliert sind, wie beispielsweise Pumpspeicherkraftwerke oder Wärmespeicherheizungen, wagen andere gerade erste Schritte am Markt oder haben noch einen weiteren Weg vor sich bis zum Einsatz in der Praxis. Zu Letzteren zählen unter anderem die thermochemischen Speicher (siehe auch "Im Fokus", Seite 71). Von den derzeit durch das Bundesministe-

rium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Speichertechnologien ist der am weitesten entwickelte Bereich der Markt für Photovoltaik (PV)-Heimspeicher. 2015 haben zahlreiche Anbieter neue Produkte in den Markt eingeführt, die es Eigenheimbesitzern und Gewerbetreibenden ermöglichen, den Strom aus Photovoltaikanlagen vor Ort zu speichern. Noch fehlt es hier allerdings an belastbaren Vergleichskriterien oder einheitlichen Zertifizierungen, um den Konsumenten eine Orientierungshilfe zu bieten. Einen wichtigen Beitrag in diese Richtung hat das Projekt PV Nutzen erarbeitet (siehe auch "Die Rolle von Batteriespeichern für netzgekoppelte PV-Anlagen für Haushalte und Netze", Seite 75). Die beteiligten Wissenschaftler haben innerhalb des Vorhabens die volkswirtschaftliche, technische und ökologische Relevanz von PV-Speichern herausgearbeitet. In diesem Zusammenhang ist ein kostenloser Rechner entstanden, der Verbraucher dabei unterstützt, die richtige Speichergröße für ihren Haushalt zu berechnen.

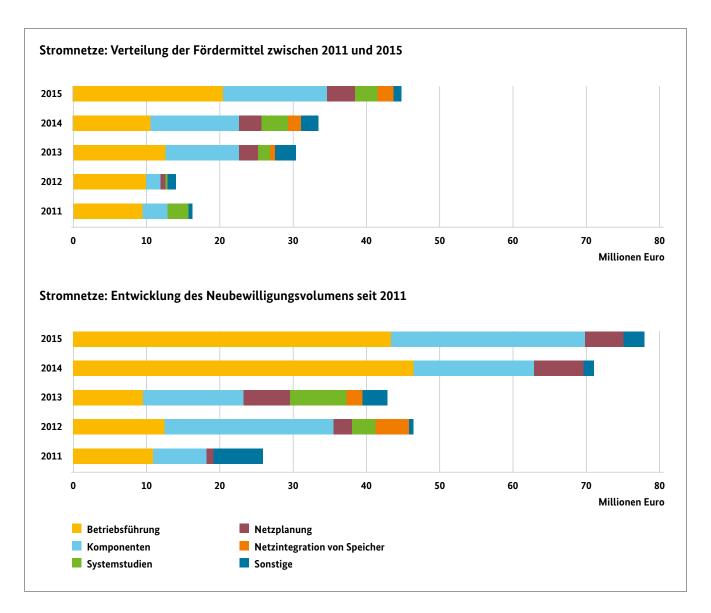
Mit Blick auf den weltweiten Markt erfahren die elektrischen Energiespeicher ein rasantes Wachstum durch gesunkene Preise für Batteriesysteme, industrielle Großaufträge und auch individuelle Förderprogramme in einzelnen Ländern. Ende 2015 waren weltweit Speicherprojekte mit einem Gesamtvolumen von rund 1,6 Gigawatt in Planung oder im Bau. Bei der Forschung, dem Durchführen von Demonstrationsvorhaben im Megawattbereich und der Implementierung neuer Lösungen im Markt liegen derzeit Länder wie die USA oder Japan vorn. So ist Japan derzeit in Bezug auf den Stand der Batterieforschung spürbar vor Deutschland positioniert. Dank einer umfangreichen Projektförderung erlebt die Branche aber auch hierzulande eine große Dynamik, nicht zuletzt durch die Batterietechnologieentwicklungen im Bereich der Elektromobilität (siehe auch Kapitel 12 "Energiewirtschaftliche Schlüsselelemente der Elektromobilität", Seite 114) oder auch durch Großvorhaben wie M5BAT in Aachen (siehe auch Bericht "Innovation durch Forschung" für das Jahr 2014, Highlight-Projekt, Seite 76). Innerhalb des Verbundprojekts entsteht ein 5-Megawatt-Batteriespeicher. Als Speichertechnologie können Batterien bereits heute Stromnetze entlasten und Schwankungen abpuffern. Damit können sie im künftigen Netz bei der Integration eines hohen Anteils erneuerbarer Energien im System eine wichtige Rolle für die Versorgungssicherheit einnehmen.

Neben der flächendeckenden Einführung von Speichern sind Technologien für das Übertragen und Verteilen elektrischer Energie und damit der Aus- und Umbau der Stromnetze auf allen Spannungsebenen von zentraler Bedeutung für die Energiewende. Mit dem Ausstieg aus der Kernenergie, der Reduktion konventioneller Kraftwerke und dem Ausbau der erneuerbaren Energien erfolgt nicht nur ein Wandel der Energietechnologien, sondern es entsteht auch eine räumliche Trennung von Stromerzeugung und -verbrauch. Um dennoch eine stabile Energieversorgung als Grundlage für Wachstum, Wohlstand und Wirtschaftskraft zu erhalten, müssen die Netze in der Lage sein, dynamisch und adäquat auf die veränderten Rahmenbedingungen reagieren zu können und damit intelligenter werden. Hierzu zählt beispielsweise die Aufgabe, Strom aus Windkraftanlagen im dünner besiedelten Norden nach Süddeutschland transportieren zu können. Wegen des fluktierend bereitgestellten Stroms aus Wind- und PV-Anlagen müssen die Verteilnetze widerstandsfähiger, flexibler und schneller agieren können, als das bis dato erforderlich war.

Lösungen für Übertragungs- und Verteilnetze sind von hohen Investitionskosten und langen Amortisationszeiten geprägt. Wegen der notwendigen Planungs- und regulatorischen Genehmigungsprozesse von einzelnen Maßnahmen, wie zum Beispiel dem Leitungsneubau, muss für das Umsetzen neuer Projekte ein langer Vorlauf eingeplant werden. Somit ist der Prozess von der Entwicklung bis zur praktischen Implementierung länger als bei anderen Bereichen des Energiesystems. Dennoch ist klar: Der Charakter der Netzinfrastruktur wird sich in den nächsten Jahrzehnten stark wandeln und die notwendigen Lösungen benötigen ausdauernde Anstrengungen in Forschung und Entwicklung.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Eine flächendeckende und unterbrechungsfreie Stromversorgung ist ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Das Gewährleisten dieser Sicherheit zu jedem Zeitpunkt ist ein wesentlicher Anspruch an das Energiesystem in Deutschland und zugleich der Antrieb verschiedener Forschungsprojekte, die sich an dieser übergeordneten Aufgabe ausrichten. Hierzu sind 2015 einige vielversprechende Vorhaben gestartet.



Falls es je zu einem Systemausfall in größerem Maßstab kommen sollte, ist ein zügiger Netzwiederaufbau essentiell. Durch die Energiewende stehen die bisherigen Konzepte nun auf dem Prüfstand, da sie an einem von konventionellen Kraftwerken dominierten Stromsystem ausgerichtet sind. Mit dem Projekt Netz:Kraft (siehe auch "Highlight", Seite 79) fördert das BMWi das Entwickeln neuer Lösungen für den Netzwiederaufbau, die die künftige Struktur mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien berücksichtigen. Aber auch die Infrastruktur der Verteilnetze selbst, mit der die Versorgungssicherheit durch die Flexibilisierung der Netze erhöht werden kann, ist ein Thema für Forschung und Entwicklung. Hier liegt der Fokus auf der Integration geeigneter Informations- und Telekommunikationstechnik. Der Forschungsverbund "Das proaktive Verteilnetz" (siehe auch "Proaktives Verteilnetz", Seite 78) beispielsweise will die Verteilnetze ertüchtigen, Spannungsebenen-übergreifend Last- und Erzeugungsmanagement zu ermöglichen.

Der Fokus bei den Speichertechnologien liegt auf dem Erlangen der Marktreife. Im Vordergrund stehen hierfür die Kosten und damit verbunden die Wirtschaftlichkeit, das Leistungsvermögen und die Fähigkeit, die Systeme in Serie produzieren zu können. Dabei liegt die Kunst darin, Lösungen zu entwickeln, die alle Kriterien gleichzeitig bedienen. Insbesondere die Wirtschaftlichkeit ist allerdings stark von den konkreten Anwendungsbedingungen abhängig, sodass sich diese in der Regel nicht pauschal bestimmen lässt.

Ein wichtiger Meilenstein bei der Entwicklung innovativer Speichertechnologien war die Inbetriebnahme der größten Wasserstoffanlage der Welt, dem Energiepark Mainz (siehe auch Bericht "Innovation durch Forschung" für das Jahr 2014, Thema, Seite 74). Seit Sommer 2015 wandelt und speichert die von den Stadtwerken Mainz, den Unternehmen Linde und Siemens sowie der Hochschule RheinMain entwickelte Anlage aus regenerativem Strom erneuerbaren Wasserstoff, der sich vor Ort lagern, in Trailer füllen oder zur späteren Strom- und Wärmeerzeugung direkt ins Erdgasnetz speisen lässt. Das Besondere: Im Gegensatz zu anderen kleineren Pilotprojekten kann die Anlage dabei eine Leistung von bis zu 6 Megawatt Strom aufnehmen und liefert 1.000 Kubikmeter Wasserstoff pro Stunde. Damit

könnten beispielweise 2.000 Brennstoffzellen-PKW versorgt werden. Das ist derzeit weltweit einzigartig. Die Mainzer Wasserstoffanlage ist ein vierjähriges Pilotprojekt, das mit knapp 9 Millionen Euro durch das BMWi gefördert wird. In den kommenden Jahren wird nun der wirtschaftliche Betrieb erprobt.

Das Verbundvorhaben Flex4Energy beschäftigt sich im Bereich der Systemintegration mit der Dynamik des künftigen Energiesystems (siehe auch "Highlight", Seite 86) und untersucht die Variabilität von Speichersystemen, steuerbaren Lasten und Verbrauchern. Hierzu entwickeln die Projektpartner eine Handelsplattform für Flexibilitätspotenziale auf der Verteilnetzebene, um so Abweichungen zwischen Erzeugung und Verbrauch durch Flexibilitätsoptionen ausgleichen zu können. Entscheidend für das Energiesystem der Zukunft ist aber auch die Fähigkeit, antizipieren zu können, welche Mengen an Strom und Wärme wann wo benötigt werden und wie viel Strom und Wärme wann wo erzeugt werden wird. Hierfür sind zuverlässige Vorhersagen notwendig. Ein wichtiges Forschungsprojekt hierzu ist beispielsweise das Verbundvorhaben EWeLiNE (siehe auch "Im Fokus", Seite 84), das sich mit dem Einfluss des Wetters auf die Stabilität von Stromnetzen beschäftigt. Die Wissenschaftler erarbeiten hierfür Prognosewerkzeuge und wollen energiewirtschaftliche Informationen in die Wettermodellrechnungen integrieren.

Strategie der Forschungsförderung

Für das Fördern neuer Innovationen zu Energiespeichern hat die Bundesregierung mit der Forschungsinitiative Energiespeicher eine wichtige Grundlage geschaffen. Insgesamt unterstützt das BMWi gemeinsam mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit dieser Maßnahme über 280 Forschungsvorhaben. Am 22. und 23. April 2015 hat in Berlin das 2. Statusseminar der Forschungsinitiative mit 277 Teilnehmern stattgefunden. An den zwei Konferenztagen haben 82 Verbundprojekte ihre wissenschaftlichen Arbeiten in 16 Fachsessions präsentiert und die Gelegenheit für ein Zwischenfazit genutzt. Unabhängig von notwendigen Technologieentwicklungen hat die Veranstaltung gezeigt, dass für eine Integration der verschiedenen Speicher in das Energiesystem aus Sicht vieler Teilnehmer die Frage der Wirtschaftlichkeit und die Suche nach geeigneten Geschäftsmodellen in den Fokus der Betrachtung rücken muss.

Im Anschluss an die Forschungsinitiative fördert das BMWi weiterhin die Forschung an Energiespeichern innerhalb der aktuellen Förderbekanntmachung vom Dezember 2014. Damit will das Ministerium die anwendungsnahe Weiterentwicklung der Systeme vorantreiben. Denn nach wie vor ist in Bezug auf die Lebensdauer, die Zahl der Be- und Entladevorgänge, die Kosten und viele weitere Stellschrauben noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf vorhanden. Die Förderung des BMWi umfasst konkret elektrochemische Speicher, Druckluft- und Schwungradmassenspeicher und thermische Speicher, aber auch übergeordnete Themen, wie beispielsweise das Lastmanagement.

Im Schwerpunkt "Netze für die Stromversorgung der Zukunft" fördert das BMWi Innovationen, welche die Stromnetzinfrastruktur ertüchtigen, hohe Anteile erneuerbarer Energie zu integrieren, und zugleich eine zuverlässige und bezahlbare Versorgung ressourceneffizient und umweltfreundlich garantieren. Der Förderfokus liegt auf energieeffizienten Netztechnologien, Lösungen für eine intelligente Netzbetriebsführung sowie eine optimierte Netzplanung. Mit dem Umbau der Stromnetze ist auch die Systemintegration der erneuerbaren Energien eng verbunden. Dementsprechend unterstützt das BMWi auch zu Fragestellungen in diesem Bereich gezielt Projekte.

Darüber hinaus unterstützt das BMWi innerhalb der Forschungsinitiative "Zukünftige Stromnetze" gemeinsam mit dem BMBF Forschung und Entwicklung neuer Verfahren, Konzepte und Materialien. Die ersten Projekte der Forschungsinitiative sind im August 2014 gestartet. Für den Herbst 2016 planen die beteiligten Ministerien ein Statusseminar mit Teilnehmern aus allen Vorhaben, um erste Ergebnisse zu diskutieren und einen Blick in die Zukunft zu wagen. Insgesamt umfasst die Fördermaßnahme 312 Forschungsprojekte. Das BMWi fördert 248 Projekte, das BMBF 64 der Vorhaben. Zu den vom BMWi geförderten Forschungsverbünden gehört Veredele. Das Projekt beschäftigt sich mit regionalisierten Verteilnetzen. Das Forscherteam legt seinen Schwerpunkt auf die Stabilität von Regelungen in Verteilnetzen bei einem hohen Anteil regelfähiger, dezentraler Erzeuger. Die Koordination hat der Institutsteil Angewandte Systemtechnik (AST) des Fraunhofer IOSB übernommen. Das BMWi unterstützt das Vorhaben mit 3,3 Millionen Euro.

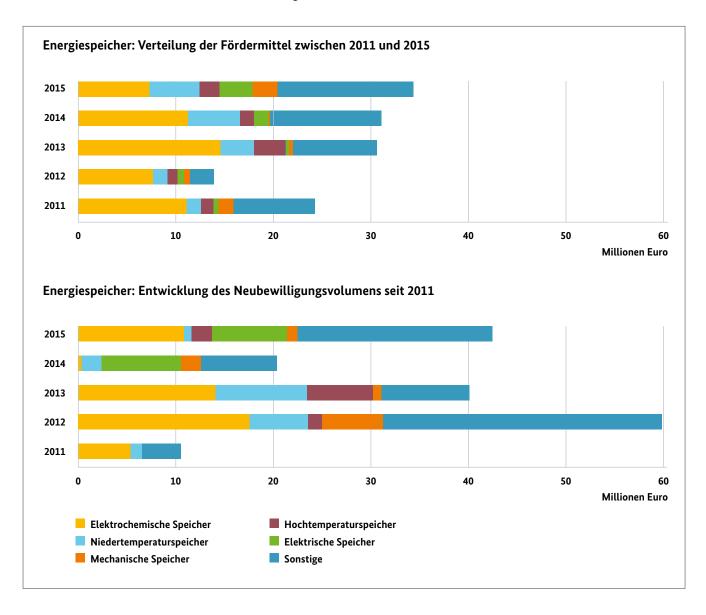
Mit einem Förderaufruf zur Leistungselektronik von Stromnetzen hat das BMWi die Bedeutung technologischer Entwicklungen in diesem Bereich weiter unterstrichen.

Aus dem Aufruf sind zahlreiche Projektideen (Skizzen) hervorgegangen. In einem nächsten Schritt können die in der Skizzenphase erfolgreichen Unternehmen, Forschungszentren und Universitäten nun einen formellen Antrag auf Förderung durch das Bundesministerium stellen. Die ersten Projekte aus dem Förderaufruf sollen im Laufe des Jahres 2016 starten.

Parallel zu dem Förderaufruf wurde am 12. Mai 2015 das Forschungsnetzwerk Stromnetze gegründet. Das durch das BMWi initiierte Bündnis umfasst rund 130 Mitglieder und will Wissenschaftler sowie Vertreter aus Industrie, Kommunen und Politik zum Dialog zusammenführen. Das Netzwerk ist in verschiedenen Arbeitsgruppen organisiert, innerhalb derer sich die Teilnehmer zu den wichtigsten

Fragen rund um Forschung und Entwicklung im Bereich der Stromnetze intensiv austauschen. Der Zusammenschluss soll als Basis für den projektübergreifenden Austausch der Wissenschaftler dienen. Darüber hinaus erhofft sich das BMWi Erkenntnisse, die an geeigneter Stelle in Maßnahmen zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Stromnetze rückfließen können.

Im Bereich der Energieverteilung, -speicherung und -integration hat das BMWi im Jahr 2015 221 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 120,7 Millionen Euro neu bewilligt (2014: 209 neue Projekte mit einem Volumen von rund 106,4 Millionen Euro). Für 682 laufende Forschungsvorhaben hat das Ministerium rund 79,1 Millionen Euro aufgewendet (2014: rund 73,4 Millionen Euro).



Energiespeicher

IM FOKUS

Thermochemische Speicher für die Wärme- und Kälteversorgung

Neben dem Speichern von Strom ist auch das Vorhalten von Wärme und Kälte notwendig. Denn beim Gesamtenergieverbrauch hat die Wärme den größten Anteil. Um eine ganzjährige Versorgung von Gebäuden und Quartieren künftig zuverlässig und kostengünstig zu gewährleisten, sind thermochemische Speicher eine vielversprechende Möglichkeit.

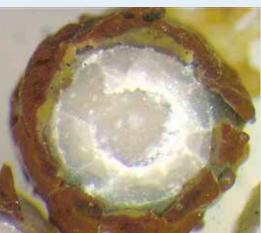
Thermochemische Speicher nutzen Sorptionsprozesse oder umkehrbare chemische Reaktionen. Ihr Potenzial ist die Möglichkeit, Angebot und Nachfrage dank einer verlustfreien Speicherung zu entkoppeln. Zudem verfügen sie über sehr hohe theoretische Speicherdichten und können die Temperaturniveaus beim Be- und Entladen dem Bedarf anpassen. Daher spielen thermochemische Speicher für die Versorgungssicherheit und den Wärmetransport eine wichtige Rolle. Um diese technisch und wirtschaftlich fit für die Praxis zu machen, fördert das BMWi verschiedenste Forschungsprojekte hierzu.

Eines der vom BMWi geförderten Vorhaben zu thermochemischen Speichern ist **HyAktiv**. In dem Projekt forschen Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE gemeinsam mit DINEX, einem Hersteller von Abgas- und Emissionssystemen, zu der Herstellung von Aktivkohlen aus nachwachsenden Roh-

stoffen und der Hydrophilisierung dieser Aktivkohleformkörper zur Verbesserung der Leistung von Adsorptionsspeichern. Der Fokus des Projektteams liegt auf der Optimierung und Anpassung der Sorptionseigenschaften auf die spezifischen Anwendungsbedingungen in einem Wärmespeicher. Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 880.000 Euro.

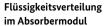
Im Projekt **BERTI** forschen Wissenschaftler des Instituts für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) gemeinsam mit der Universität Siegen zu chemischer Wärmespeicherung mit Branntkalk (Calziumoxid, CaO). Der Fokus liegt auf der Bewegung des Speichermaterials und der Entwicklung einer effizienten Prozess- und Reaktionsführung. Mit Hilfe eines bewegten Reaktionsbetts sollen die Wärmekapazität und die Wärmeleistung des Speichers unabhängig voneinander ausgelegt werden können. In dem Vorhaben wollen die Forscher zudem nachweisen, dass sich die Reaktionspartner getrennt voneinander und damit verlustfrei lagern lassen. Durch die damit getrennte Zuführung des Feststoffs zum Reaktor soll die Kapazität von der thermischen Leistung separiert werden, um auf diese Weise deutliche Kostenreduktionen bei der Speicherung zu erreichen. Das BMWi fördert Berti mit rund 1,1 Millionen Euro.





Aktivkohle aus dem Forschungsprojekt HyAktiv (links)

Gekapseltes Speichermaterial aus dem Forschungsprojekt BERTI





Auswahl geförderter Projekte

Flüssigsorptionsspeichersystem für Kühl-, Heiz- und Trocknungsprozesse

Sorptionswärmespeicher ermöglichen hohe Energiedichten und ein nahezu verlustfreies Speichern über einen langen Zeitraum. Im Vorhaben **SorpStor** hat die Hochschule für Technik Stuttgart sich dieses Prinzip zu Nutze gemacht und ein offenes, luftgeführtes, thermochemisches Flüssigsorptionsspeichersystem für Kühl-, Heiz- und Trocknungsanwendungen entwickelt, das sich durch Prozessabwärme oder solarthermische Energie speisen lässt. Dazu haben Wissenschaftler der Hochschule gemeinsam mit dem Projektpartner Wolf, einem Hersteller von Energiesparsystemen, verschiedene anorganische und organische Salzlösungen auf ihr Potenzial zur Energiespeicherung untersucht. Für die Forscher waren zudem das Erarbeiten von Be- und Entladestrategien für den Flüssigsorptionsspeicher eine zentrale Fragestellung, da dies entscheidend für ein effizientes Vorhalten der Wärme ist.

Aufbauend auf Laboruntersuchungen zu den Sorbenzien und Analysen zu Speicherdichte und Prozessführung, sind Versuchsmuster bestehend aus Regenerator, Absorber und Flüssigsorptionsspeicher entstanden. Anhand der an diesen Einzelmodulen und an einem Kollektormodul durchgeführten Leistungstests haben die Wissenschaftler

Komplettsysteme aus Flüssigsorptionsspeichereinheiten mit Be- und Entladestrategie für das Speichern thermischer Antriebsenergie über Stunden, Tage oder Wochen aufgebaut. Begleitend ist eine Kosten-Nutzen-Analyse und eine wirtschaftliche Bewertung des Komplettsystems erfolgt. Bis 2017 will der Verbund den Speicher zur Marktreife führen. Zudem soll das System künftig auch in bereits auf dem Markt verfügbare, luftgeführte Klima- und Heizungsgeräte integrierbar sein. Das BMWi fördert das Vorhaben innerhalb der Forschungsinitiative Energiespeicher mit rund 630.000 Euro.

Thermochemischer Langzeitwärmespeicher für das Beheizen von Wohnhäusern

Die Stärke thermochemischer Wärmespeicher (Sorptionsspeicher) ist ihre hohe und nahezu verlustfreie spezifische Speicherkapazität. Daher können sie in Zukunft eine wichtige Basis für eine ganzjährige Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energien bilden.

Die Universität Stuttgart hat im Projekt **EnErChem** mit drei Partnern einen thermochemischen Sorptionsspeicher für das Beheizen von Ein- und Mehrfamilienhäusern entwickelt und erprobt. Dieser hält Wärme mit Hilfe von Zeolith-Kugeln vor. Daher waren umfassende Arbeiten zu neuen hocheffizienten Speichermaterialien auf Basis von

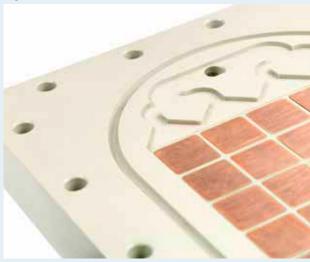
HIGHLIGHT

Zink-Luft-Energiespeicher mit hohen Stromdichten weiterentwickelt

Zink-Luft-Energiespeicher besitzen für stationäre Anwendungen viele Vorteile. Der hohe spezifische Energieinhalt, die geringen Kosten für Aktivmaterialien, die hohe Verfügbarkeit von Zink, die sicherheitstechnische Unbedenklichkeit sowie die gute Umweltverträglichkeit der Materialien könnten bei voller Entfaltung zu einer optimalen Speichertechnologie führen. Auf dem Weg dorthin gibt es noch einige Herausforderungen zu meistern, wie beispielsweise die bislang ungenügende Zahl der erreichbaren Lade- und Entladezyklen bei technisch relevanten Stromdichten zu erhöhen und die Energie-effizienz der verwendeten Zellen zu steigern.

Covestro Deutschland (früher Bayer MaterialScience) und die Grillo-Werke haben gemeinsam mit der Technischen Universität Clausthal, der Universität Duisburg-Essen, dem Zentrum für Brennstoffzellentechnik, der Universität des Saarlandes und der Hochschule Niederrhein im Verbundprojekt **ZnPlus** unterschiedliche Aspekte der Zink(Zn)-Luft-Technologie untersucht, um ein wettbewerbsfähiges und bis zum Megawatt-Bereich skalierbares Zellendesign zu entwickeln. Dafür haben die Projektpartner unterschiedliche Zn-Luft-Zellen aufgebaut und bewertet und ein modulares Zell-System

Segmentierte Zelle



konstruiert, mit dem unterschiedliche Betriebskonzepte mit austauschbaren Komponenten charakterisiert werden konnten. Dabei wurden vorteilhafte Materialien für den Entlade- und Ladestromabnehmer ermittelt, die Passivierung der festen Zn-Elektroden im Detail untersucht und optimale Betriebsparameter für die Zellenentladung identifiziert.

Die von Covestro für die Chloralkalielektrolyse entwickelte Sauerstoffverzehrkathode (SVK) hat sich bei den getesteten Zn-Luft-Zellen technisch bewährt. Beim Vergleich zwischen Zellen mit fester Zn-Anode einerseits sowie fließendem Zn-Slurry mit separatem Stromabnehmer andererseits zeigte sich, dass mit der Slurry-Anode die höheren Stromdichten bis zu 4 kA/m² erreicht wurden. Die Zink-Slurry-Elektrode wurde in unterschiedlichen Zusammensetzungen untersucht. Es wurde eine starke Korrelation zwischen der Leistungsfähigkeit der Batterie und der Komposition der Elektroden festgestellt.

Die weitere Leistungsoptimierung der bevorzugten Zn-Slurry-Zelle lief über die Slurry-Formulierung. Dafür wurde ein statistischer Versuchsplan mit 120 Slurry-Zusammensetzungen durchgeführt, woraus vielversprechende Formulierungen zur Steigerung der Stabilität und der Entladbarkeit der Slurry resultierten. Parallel dazu wurde das komplexe Fließverhalten der Slurry numerisch und analytisch untersucht, um den Zusammenhang zwischen Zellleistung und Strömungsbedingungen aufzuklären und somit optimierte Betriebsbedingungen zu finden.

Die zukünftige Entwicklung fokussiert auf die Kostenoptimierung und Langzeitprüfung der Zn-Slurry-Zelle. In einem Nachfolgeprojekt soll ein robustes Multizellenmodul aufgebaut und unter anwendungsnahen Bedingungen validiert werden. Das BMWi hat die Forschungen zu ZnPlus mit rund 2,5 Millionen Euro unterstützt. Das Vorhaben ist Teil der Forschungsinitiative Energiespeicher der Bundesregierung.



Salzimprägnierte Zeolithe aus dem Forschungsvorhaben EnErChem

Zeolithen und Salzen ein wesentlicher Kern des Vorhabens. Bezüglich ihrer thermochemischen Eigenschaften erwiesen sich dabei Komposite aus Calcium-getauschtem Zeolith 13XBFK und Calciumchlorid als besonders vielversprechend. Insgesamt konnten die Forscher die Energiespeicherdichte des Materials deutlich erhöhen. Darüber hinaus lagen weitere Schwerpunkte auf einem Konzept für einen externen und damit unabhängig skalierbaren Reaktor und auf der Entwicklung industrieller Fertigungsmethoden für die Materialien.

In einer Demonstrationsanlage haben die Forscher abschließend das erarbeitete Verfahrenskonzept technisch umgesetzt und den thermochemischen Energiespeicher als Teil der Heizungsanlage unter realen Nutzungsbedingungen getestet. Hierbei haben die Wissenschaftler die Eignung für einen Einsatz als saisonaler Wärmespeicher für solarthermische Anlagen sowie als Speicher für KWK- und für Photovoltaikanlagen untersucht. An dem Verbund haben sich die Universität Leipzig, Vaillant und das Chemiewerk Bad Köstritz mitbeteiligt. Das BMWi hat das Vorhaben innerhalb der Forschungsinitiative Energiespeicher mit rund 1,8 Millionen Euro Fördermitteln unterstützt.

Sicherheit und Zuverlässigkeit von PV-Anlagen mit elektrischen Speichersystemen

Photovoltaikanlagen werden in Zukunft immer öfter mit Stromspeichern kombiniert werden. Damit rücken auch Sicherheitsfragen für derartige Installationen stärker in den Vordergrund.

Wissenschaftler forschen im Verbundvorhaben SPEISI zur Sicherheit und Zuverlässigkeit von PV-Anlagen mit Speichersystemen und berücksichtigen dabei insbesondere Brandrisiken und Löschstrategien. Das Vorhaben baut auf einem Vorgängerprojekt zur Bewertung des Brandrisikos von PV-Anlagen auf, innerhalb dessen ein Sicherheitskonzept sowie ein Leitfaden zur Risikominimierung entstanden sind. Die Koordination hat der TÜV Rheinland übernommen.

Wesentlicher Schwerpunkt ist die Analyse der Risiken, die bei unterschiedlichsten Einsatzszenarien im Schadensfall durch elektrische Energieheimspeicher von PV-Anlagen entstehen. Dabei wollen die Wissenschaftler mögliche Schwachstellen identifizieren, unter anderem bei den Anwendungsregeln, dem Handling, der Installation und dem Betrieb. Weiter erarbeiten die Verbundpartner Herangehensweisen für den richtigen Umgang mit Speichersystemen im Notfall für Einsatz- und Rettungskräfte. Im Vordergrund stehen dabei mögliche Brandgefahren und dafür geeignete Löschstrategien. Zudem wollen die Forscher Kriterien zur Bestimmung der Performance von Photovoltaik-Speichersystemen entwickeln.

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE sowie die Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung forschen gemeinsam mit dem TÜV Rheinland in dem Verbundprojekt. Das BMWi fördert das Verbundvorhaben mit rund 3,8 Millionen Euro.

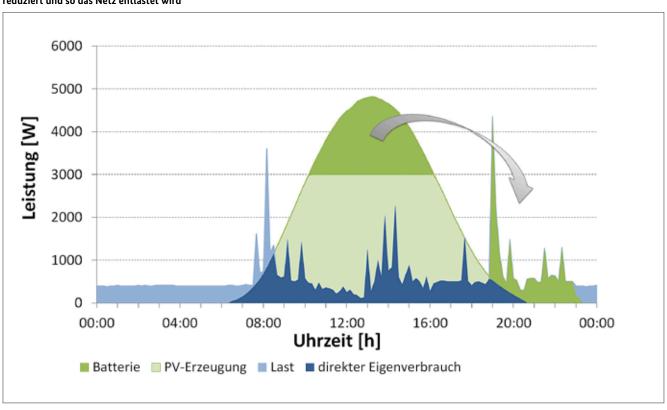
Die Rolle von Batteriespeichern für netzgekoppelte PV-Anlagen für Haushalte und Netze

Mit der steigenden Attraktivität des Eigenverbrauchs von Strom aus PV-Anlagen angesichts wachsender Elektrizitätskosten rücken Energiespeicher stärker in den Vordergrund. Dabei stellt sich die Frage nach der Wirkung der Speicher auf das Stromnetz und nach der optimalen Speichergröße für den individuellen Haushalt. Diese Thematiken haben die Institute ISEA und IFHT der RWTH Aachen University und das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) innerhalb des Forschungsprojekts **PV-Nutzen** untersucht.

Die Wissenschaftler haben hierzu die Rolle von Batteriespeichern in Haushalten mit netzgekoppelten Photovoltaikanlagen betrachtet und den betriebswirtschaftlichen,

Das Bild zeigt einen idealen Speicherbetrieb, bei dem die Einspeiseleistung der PV-Anlage maximal reduziert und so das Netz entlastet wird volkswirtschaftlichen, technischen und ökologischen Nutzen der Speicher herausgearbeitet. Eine wesentliche Erkenntnis war demnach, dass durch die Kombination von Photovoltaikanlagen und Batteriespeichern für den Eigenverbrauch mit Hilfe der so genannten Persistenz-Prognose durch eine intelligente Programmierung des Speichers das Netz entlastet werden kann, da somit kurzfristige Einspeisespitzen im Netz deutlich verringert werden.

Innerhalb des Projekts wurde zudem ein kostenloser PV-Speicherrechner entwickelt, um die ideale Speichergröße für Haushalte zu berechnen. Mit diesem Werkzeug können Nutzer die Wirtschaftlichkeit eines ausgewählten Systems und auch dessen Eigenverbrauchsquote berechnen. Dabei fließen sämtliche Parameter, wie Strom- und Batteriepreis oder der Einspeisetarif, in die Kalkulation mit ein und können auf Wunsch vom Nutzer an seine individuelle Situation angepasst werden. Das BMWi hat PV-Nutzen innerhalb der Forschungsinitiative Energiespeicher mit rund 870.000 Euro gefördert.



Stromnetze

IM FOKUS

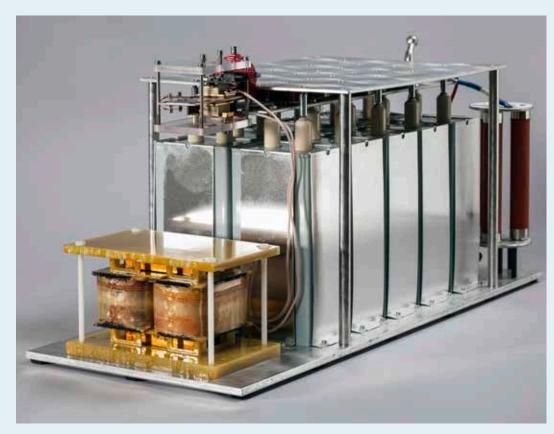
Leistungselektronik für Stromnetze

Ein wesentlicher Baustein einer modernen Energieübertragung und -verteilung stellt die Leistungselektronik dar. Im Frühjahr 2015 hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie hierzu einen Förderaufruf veröffentlicht, um weitere Forschungs- und Entwicklungsprojekte in diesem Bereich anzuregen. Das BMWi fördert innerhalb des 6. Energieforschungsprogramms zur Leistungselektronik bereits verschiedene Forschungsprojekte.

Ein Projekt hierzu ist **SiC-BiNet**. Das vom BMWi mit rund 1,5 Millionen Euro Fördermitteln unterstützte Vorhaben erforscht bidirektionale Mittelspannungsumrichter mit Hochvolt-SiC-Bauelementen. Auf diese Weise soll die Integration erneuerbarer Energien und innerstädtischer Speicher in innovativen Netzstrukturen

verbessert und gesteigert werden. Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines Demonstrators eines hochkompakten einphasigen bidirektionalen AC/DC-Umrichters mit Hochvolt-Siliciumcarbid-Bauelementen. Die Leistung des Demonstrators soll bei rund 100 Kilovoltampere und der Wirkungsgrad bei über 96 Prozent liegen. Die Ergebnisse sollen nach Projektabschluss auf unterschiedliche Anwendungen (AC+DC-Netzkopplung, Speicherintegration in das 20-Kilovolt-Netz und Integration von regenerativen Kraftwerken in das 15-Kilovolt-Bahnnetz) übertragbar sein und Rückschlüsse auf die Tauglichkeit in den unterschiedlichen Anwendungen zulassen. Der Verbund aus drei Partnern wird koordiniert durch das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.

Das Foto zeigt einen Versuchsaufbau zur Vermessung der SiC-Transistoren



Ein weiteres Vorhaben zur Leistungselektronik ist NET-Control und wird durch das BMWi im Rahmen der Forschungsinitiative "Zukunftsfähige Stromnetze" mit rund 1,1 Millionen Euro Zuwendungen unterstützt. Die Koordination der vier beteiligten Verbundpartner hat KSB, ein Hersteller von hydromechatronischen Systemen, übernommen. Innerhalb des Projekts wollen die Wissenschaftler eine innovative Leistungselektronik für die netzstabilisierende Wirkung von hydromechatronischen Prozessanlagen entwickeln. Diese soll nicht nur zur Netzstabilisierung beitragen, sondern auch die Netzeffizienz steigern. Dabei soll eine Stand-alone-Standardlösung einer intelligenten und datenkommunizierenden Systemleistungselektronik entstehen. Echtzeitregelalgorithmen sollen für das gezielte Einstellen

von Wirk- und Blindleistung an einem Gesamtsystem von elektrischen (Groß-)Verbrauchern der Produktionsoder Versorgungstechnik sorgen. Denn gerade Nutzer größerer Leistungen haben einen signifikanten Bedarf nach hochdynamischen Netzdienstleistungen. Die Arbeitsschwerpunkte liegen auf der Netzbetriebsführung, einem flexiblem Verbrauch und dem Lastmanagement sowie auf dezentralen Automatisierungskonzepten und intelligenten Subsystemen. Die entwickelten Strategien, Komponenten und Algorithmen wollen die Forscher am konkreten Beispiel eines Trinkwasserversorgungssystems erproben.



Pump Meter aus dem Vorhaben NET-Control

Auswahl geförderter Projekte

Regionalisierung der Energieversorgung auf Verteilnetzebene

Das Einspeisen erneuerbarer Energien erfolgt dezentral. Um den Ausbau von Stromfernleitungen zu begrenzen, sind neue Ansätze auf kommunaler Ebene für die lokale Umwandlung, Speicherung und Nutzung erforderlich.

Die Wissenschaftler des Vorhabens **REgEnKibo** forschen zur Regionalisierung der Energieversorgung auf Verteilnetzebene am Modellstandort Kirchheimbolanden in Rheinland-Pfalz. Die Forscher wollen das Strom- und Gasnetz der Stadt modellieren, mit Hilfe von Echtzeitdaten validieren und anschließend zusammenführen, um eine intelligente Netztechnik und -infrastruktur für die regionale Energieversorgung zu entwickeln. Der Regelungsausgleich von elektrischer Energie zwischen Übertragungsnetz und Verteilnetz soll dabei möglichst gering gehalten werden und so den Netzausbau reduzieren. Darüber hinaus erwarten die Partner Einsparungen für Privathaushalte, den öffentlichen Bereich sowie im Gewerbe durch energieeffiziente stromund wärmegeführte Energieanlagen, die den Austausch von Regelenergie weiter verringern.

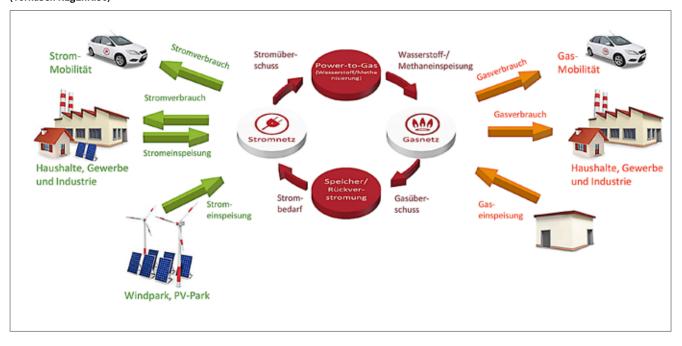
Das BMWi fördert das durch den Energieversorger e-rp GmbH koordinierte Projekt mit rund 2,1 Millionen Euro innerhalb der Forschungsinitiative "Zukunftsfähige Stromnetze". Weitere Partner sind das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), die Fachhochschule Bingen, der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) und die Viessmann Gruppe.

Proaktives Verteilnetz

Der Anstieg dezentral fluktuierender Einspeisung auf Nieder-, Mittel- und Hochspannungsebene beeinflusst zunehmend das Systemverhalten und erfordert eine aktivere Rolle der Verteilnetzbetreiber. Somit entsteht ein höherer Bedarf an Informations-, Kontroll- und Steuerungsmöglichkeiten.

Der Forschungsverbund **Das proaktive Verteilnetz** von RWE widmet sich der Entwicklung und Demonstration einer ressourceneffizienten und optimierten Verteilnetzplattform für die Integration erneuerbarer Energie und von Smart-Market-Aufgaben. Hierzu wollen die beteiligten Partner ein umfangreiches, zustandsbasiertes und Spannungsebenen-übergreifendes Last-, Erzeugungs- und Informationsmanagement nutzen. Dieses soll alle marktseitigen Anforderungen berücksichtigen und so ein optimales Zusammenwirken von Smart Grid und Smart Market

Schnittstelle zwischen Strom- und Gasnetz (Vorhaben REgEnKibo)



HIGHLIGHT

Erneuerbare unterstützen Netzwiederaufbau

Die Energiewende ändert die Anforderungen an die Systemdienstleistungen der Netzbetreiber und der angeschlossenen Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen. Eine dieser Dienstleistungen ist der Netzwiederaufbau nach einem vollständigen oder großflächigen Stromausfall. Die hierfür vorhandenen Konzepte müssen nun an eine Kraftwerksstruktur mit hohen Anteilen an Erneuerbare-Energie-Anlagen angepasst werden.

Das Vorhaben **Netz:Kraft** widmet sich dem Netzwiederaufbau unter Berücksichtigung künftiger Kraftwerksstrukturen. Unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES Kassel wollen die Forscher bestehende Konzepte der Übertragungsnetzbetreiber weiterentwickeln und stärker als bisher Erneuerbare-Energie-Anlagen einbinden. Zudem wollen sie untersuchen, wie so genannte Versorgungsinseln den Wiederaufbau aktiv unterstützen können.

Normalerweise benötigen thermische Kraftwerke große Mengen elektrischer Energie aus dem umgebenden Übertragungsnetz. Erst nach dem Hochfahren können sie elektrische Leistung für ihren Eigenbedarf und die öffentliche Versorgung bereitstellen. Nach einem großflächigen Stromausfall fahren Übertragungsnetzbetreiber hingegen so genannte schwarzstartfähige Kraftwerke hoch. Diese können den Betrieb ohne externe Versorgung selbständig wieder aufnehmen.

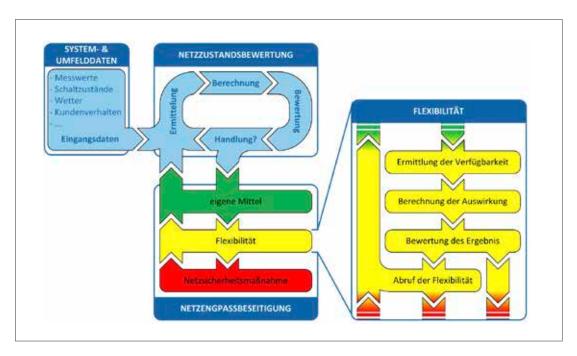
Für den erfolgreichen Wiederaufbau ist eine Beurteilung des Netzzustands notwendig. Der Anstieg dezentraler Erneuerbare-Energie-Anlagen auf allen Spannungsebenen gestaltet dies jedoch komplizierter. Die Projektpartner erweitern daher die aktuellen Konzepte, indem sie das Verhalten der Erneuerbare-Energie-Anlagen beim Wiederzuschalten stärker berücksichtigen. Hierbei überprüfen sie auch Einsatz, Verfügbarkeit und Zusammenwirken von Informations- und Kommunikationstechnologien bei einem Blackout. Außerdem ermitteln die Forscher, wie große Wind- und Solarparks und Hochspannungsgleichstromnetze aktiv zum Netzwiederauf-

bau beitragen. Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 8,1 Millionen Euro innerhalb der Forschungsinitiative "Zukunftsfähige Stromnetze". Die zwölf Projektpartner setzen sich aus Netzbetreibern, Herstellern, Beratungsunternehmen sowie Forschungseinrichtungen zusammen.

Im Vorhaben LINDA entwickeln Forscher ein auf mehrere Spannungsebenen im Verteilnetz skalierbares Konzept, welches einen stabilen Inselnetzbetrieb ermöglichen soll. Bei lang anhaltenden Ausfällen sollen dezentrale, schwarzstartfähige Erzeugungsanlagen eine Notversorgung für kritische Infrastruktur, wie Krankenhäuser, Wasserver- und entsorgung oder Schwerpunkt-Umspannwerke, in lokalen Inselnetzen sicherstellen. Aufgrund des volatilen Verhaltens dezentraler regenerativer Energieanlagen muss die Inselnetzsteuerung besonders robust sein und deshalb ohne eine Kommunikationsanbindung der Anlagen gelingen.

Die Funktionsfähigkeit des Konzepts überprüfen die Wissenschaftler in mehreren Feldversuchen im Verteilnetz. An dem vom Unternehmen LEW Verteilnetz koordinierten Vorhaben beteiligen sich acht Projektpartner. Das BMWi fördert LINDA innerhalb der Forschungsinitiative "Zukunftsfähige Stromnetze" mit rund 1,3 Millionen Euro.





ermöglichen. Als Grundlage für die Interaktionen von Netz- und Marktakteuren dient das Konzept der Flexibilitätsampel, welches hierzu insbesondere im Bereich der technischen Abläufe und Komponenten ausgestaltet und demonstriert wird.

Übergeordnetes Projektziel ist die Entwicklung eines offenen, diskriminierungsfreien, standardisierten und übertragbaren Gesamtsystems für die Stromversorgung. Damit wollen die Forscher die bestmögliche Nutzung der vorhandenen Kapazitäten bei größtmöglicher Betriebssicherheit und geringen Ausbaukosten erreichen. Die aktive Rolle des Verteilnetzes soll im Wesentlichen die Erfassung und Analyse noch weitgehend unbekannter Netzzustände beinhalten. Darauf aufbauend sollen Markt- und Netzakteure situationsabhängig koordiniert werden, um die Zahl direkter Netzeingriffe zu minimieren und die vorhandene Flexibilität des Verteilnetzes optimal zu nutzen. So können Systemdienstleistungen aus dem Netz heraus erbracht sowie eine teilautomatisierte Netzführung erreicht werden. Insgesamt sind sechs Projektpartner beteiligt. Das Vorhaben ist Teil der Forschungsinitiative "Zukunftsfähige Stromnetze" der Bundesregierung. Das BMWi unterstützt die Forschung mit rund 2,1 Millionen Euro.

Intelligente Automatisierung des Verteilnetzes

Konventioneller Netzausbau ist kostenintensiv und erfordert eine lange Planung und Durchführung. Somit sind alternative Lösungen gefragt, um den Anforderungen durch die vermehrte Nutzung erneuerbarer Energien dauerhaft zu genügen.

Ingenieure und Wissenschaftler entwickeln im Projekt Green Access Konzepte für eine Spannungsebenen-übergreifende Verteilnetzautomatisierung im Sinne eines Plug-&-Automate-Systems. Das Vorhaben wird von zehn Konsortialpartnern getragen. Der Energieversorger EWE aus Oldenburg koordiniert das Projekt.

Ziel ist das Entwickeln und Erproben eines adaptiven Smart-Grid-Automatisierungskonzepts für Mittel- und Niederspannungsnetze. Der Forschungsansatz folgt dem Plug-&-Automate-Prinzip: Die Netz- und Steuerungskomponenten sollen dabei in die Lage versetzt werden, automatisiert miteinander kommunizieren zu können. Darüber hinaus arbeitet das Team an verbesserten adaptiven Überwachungs- und Regelungsalgorithmen, intelligenten Leitsystemen und an netzdienlichen Betriebskomponenten. Der Verteilnetzbetrieb soll befähigt werden, sich eigenständig und selbstlernend auf künftige Last- und Einspeiseveränderungen, betriebliche Umschaltmaßnahmen und Änderungen der Netztopologie einzustellen. Außerdem soll

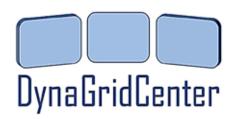


der Initialisierungs- und Konfigurationsaufwand für Netzund Steuerungskomponenten auf ein Minimum reduziert werden. Die Forscher widmen sich auch der Frage, wie intelligent Verteilnetze künftig werden sollten und welcher Automatisierungs- und Vernetzungsgrad wirtschaftlich darstellbar ist. Ihre Erkenntnisse wollen sie in einem Feldtest überprüfen. Das Vorhaben soll damit einen Beitrag zu einer technisch und wirtschaftlich effizienten zukünftigen Netzinfrastruktur leisten. Das BMWi fördert dies innerhalb der Forschungsinitiative "Zukunftsfähige Stromnetze" mit rund 4,1 Millionen Euro.

Dynamische Leitwarten für intelligenten Stromtransport

Dem Netzausbau kommt eine Schlüsselrolle bei der Integration erneuerbarer Energien in das deutsche Energieversorgungssystem zu. Dies stellt veränderte Anforderungen an die Energieübertragung und erfordert neuartige Netzüberwachungs- und Regelungsstrategien.

Das Projekt **DynaGridCenter** untersucht den Ausbau herkömmlicher Übertragungsnetzleitstellen zu zukunftssicheren, dynamischen Leitwarten, um einen intelligenten Stromtransport zu ermöglichen. Der von Siemens koordinierte Verbund will hierfür die Anforderungen an zukünf-



Die Projektpartner von Green Access beim Kick-off-Termin: EWE, EWE NETZ, BTC, EWE-Forschungszentrum für Energietechnologie – NEXT ENERGY, OFFIS – Institut für Informatik, Bilfinger Mauell, SAG, SMA Solar Technology sowie die Bergische Universität Wuppertal und das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

tige Übertragungsnetzleitwarten erforschen, einen dynamischen Netzleitsystemdemonstrator für den zuverlässigen Betrieb von AC/DC-Transportnetzen entwickeln und mit seinen neuen Funktionen erproben. Der Demonstrator ist ein verteiltes System bestehend aus einem interaktiven Netzsimulator auf dem Gelände der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, welcher durch die dynamische Leitwarte auf dem Gelände der Technischen Universität Ilmenau überwacht und gesteuert wird.

Die Forschungsarbeiten umfassen die Beobachtung, Erkennung und Beherrschung dynamischer Phänomene in komplexen elektrischen Netzen wie dem Hoch- und Höchstspannungsnetz in Deutschland. Um solche Vorgänge beobachten zu können, sind zeitsynchrone schnelle Messungen notwendig. Dies führt zu immensen Datenströmen, die in den Leitwarten nicht mehr ohne Hilfe interpretierbar sind. Darum müssen die Daten automatisch ausgewertet werden, um die Netzsicherheit korrekt einschätzen zu können. In der dynamischen Leitwarte werden dann adaptiv Maßnahmen eingeleitet, die genau auf den aktuellen Systemzustand angepasst sind. Die Projektergebnisse sollen dazu führen, die erhöhte Netzdynamik optimal beherrschbar zu machen und die gewohnte Versorgungssicherheit auch künftig zu gewährleisten. An dem Vorhaben sind neben Siemens fünf Hochschulen und Forschungseinrichtungen beteiligt. Das BMWi fördert den Verbund mit rund 5,3 Millionen Euro.

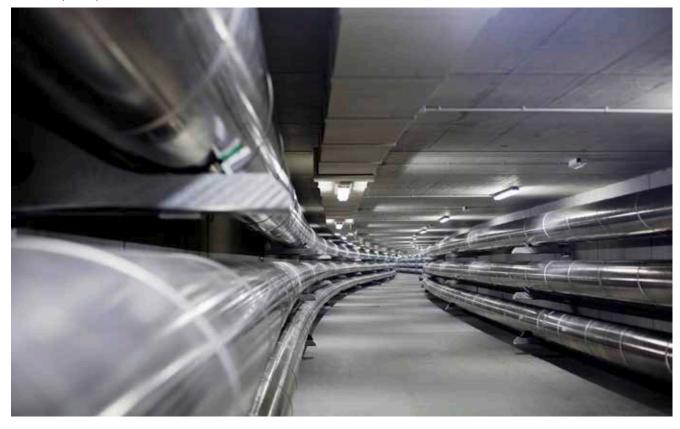
DCCTL: Kompakte Übertragungsleitungen für hohe Gleichspannungen

Im Zuge der Energiewende sind Energieerzeugung und Verbrauch immer stärker entkoppelt. Um eine zuverlässige Versorgung zu sichern, ist daher ein Ausbau des Stromnetzes notwendig. Doch nicht überall sind neue Übertragungskapazitäten als Freileitung umsetzbar, teilweise müssen diese unterirdisch realisiert werden.

Gasisolierte Übertragungsleitungen (GIL) für Gleichspannung stellen dafür eine erfolgversprechende Lösung dar. Dem widmet sich das Projekt **DCCTL** (Direct Current Compact Transmission Line), das die Weiterentwicklung kompakter gasisolierter Leitungen für Gleichspannungen von 500 Kilovolt zum Ziel hat. Damit soll der technologische Grundstein für eine hocheffiziente und kostengünstige Übertragung von bis zu 5 Gigawatt Strom pro System gelegt werden. Gasisolierte Übertragungsleitungen sind vergleichsweise platzsparend und darüber hinaus unterund überirdisch installierbar. Bislang kommen sie nur für Wechselspannungssysteme zum Einsatz. Die an dem Vorhaben beteiligten Wissenschaftler wollen die GIL-Technologie nun auch für Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) nutzbar machen. Eine Versuchsanlage ist für 2016 in Planung.

DCCTL kann bei der Gestaltung der künftigen Energieübertragungssysteme in Deutschland eine wichtige Rolle einnehmen. Ein Vorteil dieser Technologie ist, dass sie trotz hoher mechanischer und thermischer Belastungen vergleichsweise wartungsarm sein kann. Damit kann das Projekt einen wichtigen Beitrag zum Netzausbau leisten. In dem Projekt arbeiten unter der Führung von Siemens unter anderem die Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, die Technische Universität Berlin und die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden. Das BMWi unterstützt das Vorhaben mit rund 4,4 Millionen Euro.

Eine in einem Tunnel installierte gasisolierte Leitung für Drehstrom (AC GIL) von Siemens



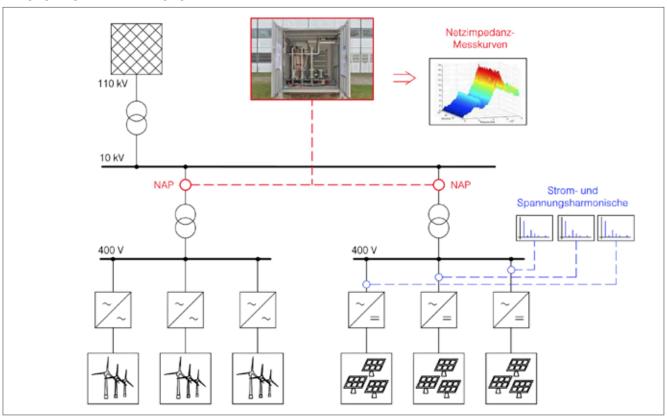
Optimierte Effizienz und Netzverträglichkeit

Mit der Energiewende steigt der Anteil an Leistungselektronik im Netz. In PV-Anlagen wandeln Wechselrichter Gleich- in Wechselstrom um. Windkraftanlagen nutzen Frequenzumrichter, um die Dreh- an die Netzfrequenz anzupassen. Diese Umrichter erzeugen jedoch Oberschwingungsströme, die Einfluss auf die Strom- und Spannungsqualität haben. Mit den jetzigen Bewertungsverfahren lassen sich vorhandene Netzkapazitäten oft nicht optimal nutzen.

Forscher im Projekt **NetzHarmonie** wollen daher die derzeitigen Verfahren hinterfragen und verbessern, um die Planungssicherheit zu erhöhen und ungenutzte Netzkapazitäten zum Anschluss von Erneuerbarer-Energie-Anlagen in allen Netzebenen zu erschließen. An erster Stelle steht, dass weder unzulässige Störungen an anderen Anlagen und Geräten auftreten, noch die kosteneffiziente Integration erneuerbarer Energien in das Stromnetz behindert wird.

Projektgrafik zur optimierten Effizienz und Netzverträglichkeit bei der Integration von Erzeugungsanlagen aus Oberschwingungssicht In Messkampagnen sollen die Ausbreitung und Überlagerung von Oberschwingungsströmen innerhalb einer Spannungsebene und über die Netzebenen hinweg erfasst werden. Dazu werden die Oberschwingungspegel durch synchronisierte Messgeräte an verschiedenen Punkten im Netz erfasst. Periodengenaue zeitgleiche Messungen erlauben dann Aussagen über die Ausbreitungsmechanismen der Oberschwingungen.

Darüber hinaus wird auch die frequenzabhängige Netzimpedanz (Wechselstromwiderstand) im regulären Betrieb des Mittelspannungsnetzes vermessen. Dies schafft ein besseres Verständnis des Netzaufbaus und der Auslösung von Spannungsverzerrungen. So lässt sich feststellen, ob regenerative Stromeinspeiser und deren Leistungselektronik oder das Netz die Verzerrungen verursachen. Des Weiteren sollen Umrichter so eingestellt werden können, dass die Oberschwingungsbelastung am Netzverknüpfungspunkt sinkt. Das Vorhaben wird von der Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (FGW) koordiniert und mit 11 weiteren Partnern aus Industrie und Forschung durchgeführt. Das BMWi fördert NetzHarmonie innerhalb der Forschungsinitiative "Zukunftsfähige Stromnetze" mit rund 5 Millionen Euro.



Systemintegration

IM FOKUS

Wettervorhersagen für stabile Stromnetze

Das Wetter hat direkten Einfluss auf Stromnetze mit einem hohen Anteil dezentraler, von Wind oder Sonne abhängiger Erzeuger. Für den sicheren Betrieb und weiteren Ausbau dieser Netze ist es notwendig, Meteorologie und Energiewirtschaft zu verzahnen. Dieser Fragestellung widmen sich das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES und der Deutsche Wetterdienst (DWD) innerhalb des Projekts EWeLiNE. Mit den Übertragungsnetzbetreibern Amprion, TenneT und 50Hertz Transmission wollen sie neue Prognosewerkzeuge entwickeln und energiewirtschaftliche Informationen in die Wettermodellrechnungen integrieren. Das BMWi fördert dies mit rund 7 Millionen Euro. Für den vorliegenden Bericht haben Dr. Kristina Lundgren, wissenschaftliche Koordinatorin des Projekts EWeLiNE beim Deutschen Wetterdienst (DWD) (links), Dr. Malte Siefert, Research Fellow des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, und weitere Partner ihre Motivation und Ziele dargestellt.

Warum beteiligen Sie sich an dem Forschungsvorhaben? Dr. Malte Siefert (Fraunhofer IWES): Prognosefehler steigen mit dem Ausbau von Photovoltaik und Windenergie. Schon jetzt können diese für den folgenden Tag die Größe der vorgehaltenen Regelleistung erreichen. Für eine zuverlässige Versorgung sind deutlich verbesserte Leistungsprognosen zwingend erforderlich. Bei EWeLiNE bringen wir die richtigen Partner zusammen, um zielgerichtet Verbesserungen entlang der Prozesskette von der Wettermodellerstellung bis zur Anwendung in der Leitwarte zu testen.

Dr. Kristina Lundgren (DWD): Da verbesserte Wettervorhersagen für stabile Stromnetze unverzichtbar sind, widmen wir uns verstärkt diesem Thema. Wir entwickeln neue Produkte, welche die Netzplanung grundlegend unterstützen.

Welche Fragen untersuchen Sie konkret?

Lundgren: Vor allem, welche Wetterereignisse erhebliche Probleme verursachen und wie unsere Systeme diese besser erfassen können. Weiterhin erforschen wir, inwieweit Messungen direkt von den Windenergie- und Photovoltaikanlagen zu verbesserten Wettervorhersagen führen können.



Dr. Kristina Lundgren, wissenschaftliche Koordinatorin des Projekts EWeLiNE beim Deutschen Wetterdienst (DWD) (links). Dr. Malte Siefert, Research Fellow des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES

Siefert: Die zentrale Frage ist: Wie können wir die Leistungsprognosen verbessern und die extremen Fehler deutlich reduzieren? Des Weiteren evaluieren wir den Nutzen neuartiger Prognosesysteme, die Fehler im Voraus bewertbar machen.

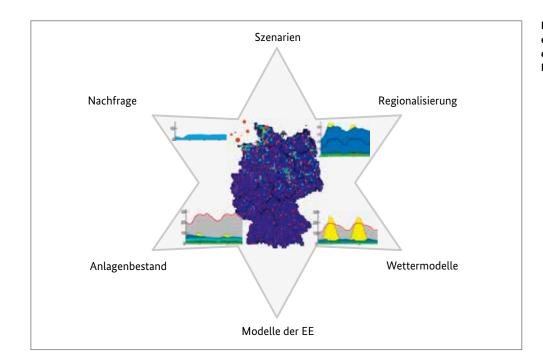
Dominique Ernst (TenneT): Unsere Kernaufgaben liegen in der Datengrundlage sowie in der Definition der für die Netzbetreiber relevanten Anwenderfälle für eine sichere Systemführung und EEG-Stromvermarktung. Weiterhin übermitteln wir außergewöhnliches Einspeiseverhalten aufgrund extremer Wetterereignisse und deren Wirkung auf die Prognose.

Welche Fortschritte konnten Sie bereits erzielen?

Lundgren: Die gute Zusammenarbeit hat zu einem tiefen Einblick in die Bedeutung der Meteorologie für die Netzsicherheit geführt. Ein wichtiger Fortschritt ist das Erstellen automatisierter Produkte, welche auf kritische Wetterereignisse hinweisen.

Siefert: Mit neuen oder der Kombination verschiedener Verfahren und Wettermodelle konnten wir die Vorhersagen deutlich verbessern. Diese werden nun live in den Leitwarten der Übertragungsnetzbetreiber dargestellt und wir erproben, wie diese den Netzbetrieb unterstützen können.

Mathias Zirkelbach (50Hertz Transmission): Die Entwicklung des Demonstrators und dessen Anwendungsmöglichkeiten wurden vorgestellt und für eine Testimplementierung vorbereitet. Besondere Wetterverhältnisse wurden identifiziert, analysiert und für die Modelle bereitgestellt. Zudem wurden Wettermodelllaufzeiten auf die Anwenderfälle angepasst.



Das Vorhaben STERN erstellt Szenarien für die regionalisierten Residuallastzeitreihen

Auswahl geförderter Projekte

Residuallasten exakt abbilden

Für das Gelingen der Energiewende ist entscheidend, die vorwiegend dezentrale und fluktuierende Erzeugung aus erneuerbaren Energien optimal in die Stromnetze zu integrieren. Damit der dafür notwendige Netzausbaubedarf so exakt wie möglich ermittelt werden kann, ist detailliertes Wissen über das räumliche und zeitliche Verhalten der Residuallast unabdingbar. Residuallast ist die nachgefragte Leistung abzüglich der zeitgleichen Erzeugungsleistung fluktuierender Energien. Im Forschungsprojekt STERN wollen Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in Kassel diese Residuallasten sicher ermitteln und damit einen wichtigen Beitrag für den bedarfsgerechten Ausbau der Stromnetze leisten.

Die Forscher entwickeln bereits vorhandene Modelle zur Simulation von Residuallastzeitreihen weiter und passen diese an die Anforderungen der Netzausbaubedarfsberechnungen seitens der Netzbetreiber an. Ziel ist es, die zukünftige Einspeisung durch erneuerbare Energien und die sich daraus ergebende Residuallast für jeden der rund 360 Höchstspannungsnetzknoten des Übertragungsnetzes möglichst exakt abbilden zu können. Außerdem wollen die Wissenschaftler den kleinräumigen, detaillierten Zubau der erneuerbaren Energien und deren Stromeinspeisung für Verteilnetzstudien simulieren. Die Modelle wollen die Forscher so gestalten, dass Varianten der Szenarioannahmen wie verschiedene Wetterjahre, Ausbauszenarien oder Netzanordnungen mit geringem Aufwand berücksichtigt

werden können. Das BMWi fördert STERN innerhalb der Forschungsinitiative "Zukunftsfähige Stromnetze" mit rund 580.000 Euro.

Erneuerbare Energien stabilisieren das Netz

Um die Stromnetze in Zukunft mit einem deutlich höheren Anteil erneuerbarer Erzeugungsanlagen zu betreiben, müssen diese aktiv zur Gewährleistung der transienten Stabilität beitragen. In dem Forschungsvorhaben **Transstabil-EE** wollen die Projektpartner unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES neue Regelungsverfahren für große Wind- und Solarparks entwickeln, dank derer die erneuerbaren Erzeugungsanlagen aktiv zur Netzstabilität beitragen können.

Transiente Stabilität ist das Vermögen des Netzes, nach einer schweren Störung – dem Ausfall einer wichtigen Hochspannungsleitung, eines großen Erzeugers oder Verbrauchers – wieder in einen stabilen Zustand zurückzukehren. Traditionell stellen diese Leistungen Synchrongeneratoren der konventionellen Kraftwerke sicher. Die Forscher wollen nun die erneuerbaren Erzeugungsanlagen an der Frequenzund Spannungshaltung beteiligen. Wind- und Solarparks sollen insbesondere im Störungsfall über einen begrenzten Zeitraum selbst die lokale Netzspannung bilden und stabilisieren. Die dafür erforderlichen netzstabilisierenden Regelungsverfahren sollen in vielen verteilten Einheiten implementiert werden, die im Störungsfall ohne Kommunikation miteinander die globale Stabilität des Verbundnetzes oder abgespaltener Teilnetze gewährleisten.

HIGHLIGHT

Mehr Flexibilität im Stromnetz

Je mehr dezentrale Photovoltaik- und Windenergieanlagen in das Stromnetz einspeisen, desto mehr müssen bereits auf Verteilnetzebene die Abweichungen zwischen Erzeugung und Verbrauch durch Flexibilitätsoptionen ausgeglichen werden. Bisher werden Ungleichgewichte zwischen Stromerzeugung und -verbrauch nur auf den bestehenden Regelenergiemärkten im Übertragungsnetz ausbalanciert.

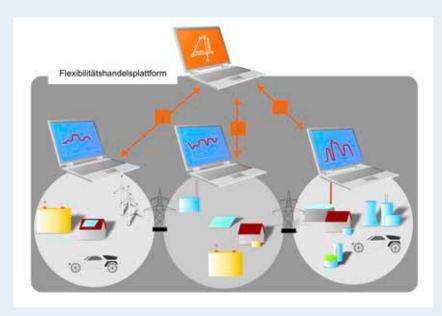
Im Forschungsvorhaben **Flex4Energy** wollen die Projektpartner unter Koordination von StoREgio eine Handelsplattform für Flexibilitätspotenziale auf Verteilnetzebene entwickeln. Die Flexibilitätspotenziale können dabei in Form von Speichersystemen sowie steuerbaren Lasten oder Verbrauchern bereitgestellt werden.

Ungleichgewichte zwischen Stromerzeugung und -verbrauch führen zu Schwankungen von Spannung und Frequenz im Netz. Mit zunehmendem Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung steigt der Regelbedarf stark an. Da der überwiegende Anteil erneuerbarer Energien auf Verteilnetzebene eingespeist wird, können regionale Ausgleichsmechanismen den Regelbedarf im Übertragungsnetz verringern und diese entlasten. Die Projektpartner wollen einen solchen Ausgleichsmechanismus in Form einer Cloud-basierten Handelsplattform schaffen, an die sich Anbieter und Nachfrager von Flexibilitätspotenzialen über eine gesicherte Kommunikationsverbindung anschließen können. Ein Flexibilitätspotenzial entsteht zum Beispiel

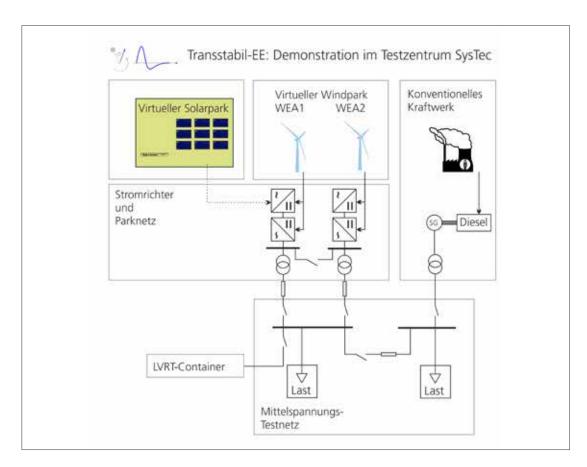
durch die Installation eines Speichersystems, das in seiner primären Anwendung nicht permanent ausgelastet ist. In den Leerlaufzeiten des Speichersystems kann es seine Dienste über die Handelsplattform anbieten. Die dadurch erwirtschafteten Deckungsbeiträge verbessern die Wirtschaftlichkeit der Investition in das Speichersystem.

Zentrales Instrument der Handelsplattform ist ein Flexibilitätsmanager. Der Flexibilitätsmanager handelt die auf der Plattform angebotenen und nachgefragten Flexibilitätspotenziale und versucht, für die jeweiligen Partner dabei ein wirtschaftliches Optimum zu erzielen. Neu ist dabei auch die Berücksichtigung der aktuellen Netzsituation in den Handelsstrategien. So soll vermieden werden, dass Energielieferungen zwischen zwei Handelspartnern zu Netzengpässen führen. Einen weiteren Entwicklungsschwerpunkt legt das Projekt im Bereich Sicherheit. In einem kommunikativ stark vernetzten Energiesystem sind Schutz vor unberechtigtem Zugriff sowie die Stabilität des Systems gegenüber Teilausfällen von kritischer Bedeutung.

An dem Projekt beteiligen sich neben Storegio der Energieversorger ENTEGA, das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, die Hochschule Darmstadt sowie der Speichersystem-Hersteller ads-tec. Das BMWi fördert Flex4Energy mit rund 2,8 Millionen Euro.



Grafische Darstellung der Flexibilitätshandelsplattform aus dem Vorhaben Flex4Energy



Transstabil-EE:
Darstellung des
Versuchsaufbaus
eines Windparks am
Mittelspannungstestnetz

Die Wissenschaftler wollen diesen Beitrag erneuerbarer Energien zur Netzstabilisierung im Testzentrum für intelligente Netze SysTec des Fraunhofer IWES umsetzen und erproben. So können sie die innovativen Regelungen in realitätsnaher Umgebung testen. Das Projekt trägt damit zur Integration eines hohen Anteils von Wind- und Solarenergie in die Netze bei und sichert zugleich deren Stabilität. Neben dem Fraunhofer IWES beteiligen sich SMA Solar Technologie, die Universität Kassel und die Universität Rostock an dem Vorhaben. Das BMWi fördert Transstabil-EE mit rund 1,9 Millionen Euro.

Mit Solarstromspeichern das Netz entlasten

Die Bundesregierung hat zusammen mit der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) ein Marktanreizprogramm für Batteriespeicher in netzgekoppelten Photovoltaik (PV)-Anlagen aufgelegt. Im Forschungsvorhaben Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher untersucht die RWTH Aachen University die Wirkung der PV-Speichersysteme, um die Auswirkungen der Systeme, insbesondere auf das Stromnetz, quantifizieren und bewerten zu können. Die Forscher wollen so auch die volkswirtschaftlichen Effekte infolge eines steigenden solaren Eigenverbrauches untersuchen.

Mit den PV-Speichern will die Bundesregierung das Netz und den Strommarkt entlasten. Diese Ziele können erreicht werden, wenn in Zukunft die überwiegende Zahl der neuen PV-Systeme zusätzlich mit einem Speicher ausgestattet wird. Die realen Auswirkungen einzelner Maßnahmen können im Vorfeld jedoch nur ungefähr abgeschätzt werden. Deshalb führen die Wissenschaftler innerhalb des Projekts ein Mess- und Evaluierungsprogramm durch, um statistische Auswertungen über die Anlagengrößen, eingesetzte Technologien sowie Speicherkapazitäten zu ermöglichen. So können auch die Potenziale, Schwierigkeiten und Wirkungsweisen von PV-Speichersystemen im realen Betriebsumfeld untersucht werden. Darüber hinaus wollen die Forscher mit den gewonnenen Daten auch bisherige Modell- und Simulationsansätze validieren, verbessern und für weitergehende Analysen optimieren.

Die gewonnenen Erkenntnisse bereiten die Forscher für die Öffentlichkeit auf einem Webportal auf. Außerdem veröffentlichen sie einmal jährlich einen Bericht, um die breite Datenbasis für Industrie, Wissenschaft und Politik zugänglich zu machen. Aktuelle Ergebnisse der Begleitforschung zeigen, dass Mitte 2015 bereits etwa 25.000 dezentrale Speicher in Betrieb waren. Dabei kann eine stetige Preisdegression, insbesondere bei Speichersystemen mit Lithium-Ionen-Batterien, beobachtet werden, die diese Systeme seit Mitte 2014 in den Fokus von Herstellern und Verbrauchern rückt. Das BMWi fördert das Mess- und Evaluierungsprogramm mit rund 730.000 Euro.

Energieoptimierte Gebäude und Quartiere



Fast 40 Prozent der Primärenergie entfallen auf die eigenen vier Wände, Büros, Schwimmbäder, Schulen etc.: Gebäude und Quartiere verbrauchen Energie zum Heizen und Kühlen sowie für Warmwasser und Beleuchtung. Mit Blick auf die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung liegen hier große Einsparpotenziale. Moderne Heizungs- und Kühltechnik, energieoptimierte Gebäudehüllen sowie erneuerbare Wärme sind wichtige Schlüssel für den Erfolg der Energiewende in Deutschland. In Zukunft wird es vor allem darum gehen, innovative Technologien und Konzepte für Neubauten und im Bestand weiter zu optimieren und intelligent miteinander zu vernetzen. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) initiierte Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren schafft hierfür die notwendigen Synergien, indem es Akteure und Themen verbindet. Damit wird es zur wichtigen Schnittstelle zwischen Forschung, Wirtschaft und Politik mit dem Ziel, den Ergebnistransfer in die Praxis zu beschleunigen.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Die Bundesregierung hat sich für 2050 das ambitionierte Ziel gesetzt, einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen, und dazu die Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) vorgelegt. Die darin formulierten Maßnahmen haben das Ziel, den Energieverbrauch in Gebäuden künftig weiter zu senken und gleichzeitig den Ausbau erneuerbarer Energien voranzutreiben. Wie wird Deutschland 2050 wohnen? Die Vision sind Gebäude und Quartiere als intelligent vernetzte Energieeinheiten.

Die Energiewende kann nur auf Grundlage einer erfolgreichen Wärmewende gelingen (siehe auch "Im Fokus", Seite 90). In den vergangenen Jahren hatten die erneuerbaren Energien in Deutschland einen Anteil von weniger als 15 Prozent an der gesamten Wärmeversorgung im Gegensatz zu rund 30 Prozent an der Brutto-Stromversorgung. Im Vergleich zum Stromsektor ist die Wende im Wärmesektor wesentlich schwieriger umsetzbar. Dieser ist geprägt von einer großen Heterogenität und hohen Komplexität, was Eigentümer und Betreiber, Heiztechnologien und Anlagengrößen sowie Gebäudetypen und Anwendungsfelder angeht.

Bislang sind in Deutschland nur 13 Prozent aller Heizungen auf dem Stand der Technik; mehr als drei Viertel der rund 18 Millionen Anlagen sind älter als zehn Jahre und verfeuern nach wie vor fossile Rohstoffe wie Öl, Gas und Kohle. Die Potenziale für die Wärmewende, die in deutschen Heizungskellern in Form von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) oder Einbindung erneuerbarer Energien schlummern, sind enorm. Die dezentralen und verbrauchsnahen KWK-Anlagen sind netzentlastend und -stabilisierend zugleich und leisten schon heute einen unverzichtbaren Beitrag. Vielfach ermöglicht jedoch erst die Infrastruktur der Wärmeverteilung (Nah- oder Fernwärme) die sinnvolle Einbindung von KWK und erneuerbaren Energien in die Wärmeversorgung von Städten bzw. Stadtquartieren.

Im Januar 2016 hat das BMWi das neue Anreizprogramm Energieeffizienz (APEE) mit den Förderkomponenten "Heizungs- und Lüftungspaket" gestartet. Das Ziel ist eine umfassende Modernisierungsoffensive im Heizungskeller – eine große Chance für die Integration von solarer Wärme. Dazu trägt auch der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) bei. Als eine Maßnahme des NAPE wird seit Januar 2016 durch die Bezirksschornsteinfeger ein Effizienzlabel auf alle Heizkessel angebracht, die älter als 15 Jahre sind – in den nächsten Jahren betrifft das rund 13 Millionen alte Heizkessel. Das Heizungslabel soll einen Anreiz schaffen, in moderne effizientere Geräte zu investieren.

Die Solarthermie besitzt sowohl national als auch weltweit ein großes Potenzial. Eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE prognostiziert, dass bis 2050 ein Drittel der dezentralen Heizungsanlagen und zwei Drittel der zentralen Anlagen in Wärmenetzen mit Solarthermie ausgestattet sein könnten. Der weltweite Markt für Solarthermie wächst kontinuierlich an. Nach Auswertungen durch das "Solar Heating & Cooling Programme" (SHC) der Internationalen Energieagentur (IEA) waren Ende des Jahres 2013 weltweit rund 375 Gigawatt thermische Leistung durch Solarkollektoren installiert. Gegenüber 2012 ist der Markt um 1,8 Prozent gewachsen.

Viele der rund 19 Millionen Wohnhäuser und drei Millionen Nichtwohngebäude sind in Deutschland nur teiloder gar nicht saniert. Hier könnten bis zu 80 Prozent des Energiebedarfs eingespart werden. Dieses Potenzial gilt es weiter in Forschung und Entwicklung zu erschließen. Die 10-Punkte-Energie-Agenda des BMWi führt einen Sanierungsfahrplan für Deutschland als ein wichtiges Pro-

jekt der Energiewende auf. Er ist ein erster Beitrag der 2015 vorgelegten **Energieeffizienzstrategie Gebäude**, die den gesamten Gebäudebestand in Deutschland in den Blick nimmt und die grundlegenden energiepolitischen Weichenstellungen beinhaltet.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Als erfolgreiches Beispiel für den Beitrag der Projektförderung des BMWi im Gebäudebereich ist etwa das Förderprojekt **Stadtquartier Neckarpark** hervorzuheben. Auf der Brachfläche des ehemaligen Güterbahnhofs Bad Cannstatt bei Stuttgart wurde ein neues Stadtquartier mit rund 450 Wohnungen, Hotels sowie Gewerbe geplant und errichtet, das mit aus Abwasser gewonnener Wärme beheizt wird. Mit einem Fördervolumen von rund 4,3 Millionen Euro steht es exemplarisch für ambitionierte Forschungsprojekte mit beschleunigtem Ergebnistransfer in die Praxis. Das Vorhaben zeigt, wie eine hocheffiziente, wirtschaftlich sinnvolle und sichere Energieversorgung sowie die optimale Nutzung vorhandener Infrastruktur in unseren Städten umgesetzt werden können.

Städte und Gemeinden sind aufgefordert, die Klimaschutzziele der Bundesregierung in ihren Stadtentwicklungsprozessen umzusetzen. Hochschulen und andere campusartige Liegenschaften können durch ihre zentrale Verwaltung, ihre fachliche Expertise und ihren heterogenen Gebäudebestand eine Vorreiterrolle einnehmen und wichtige Impulse für die jeweilige gesamtstädtische Entwicklung liefern. Neue Forschungsansätze unterstützt das BMWi hier beispielsweise im Förderschwerpunkt EnEff:Campus (siehe Förderschwerpunkt EnEff:Campus, Seite 100) mit einem Fördervolumen von rund 5,1 Millionen Euro. So hat die Leuphana Universität Lüneburg bereits im Jahr 2002 den "klimaneutralen Campus" als Ziel beschlossen. Das Universitätsgelände wird seitdem städtebaulich und energetisch weiterentwickelt. Ziel ist, die Energieversorgung auf erneuerbare Energien umzustellen und dabei die Niedrig-Exergie-Heizsysteme und einen saisonalen Wärmespeicher einzubinden.

Dieses und zahlreiche andere Modellprojekte liefern der durch das BMWi geförderten Begleitforschung sowohl im Bereich "Energieoptimiertes Bauen EnOB" als auch "Energieeffiziente Stadt EnEff:Stadt" und "Energieeffiziente Wärmeversorgung EnEff:Wärme" umfangreiche wissenschaftliche Daten.

IM FOKUS

Die Wärmewende – auf dem Weg zu einer effizienten und klimaneutralen Wärmeversorgung

Der Wärme/Kälte-Sektor ist für mehr als die Hälfte des **Endenergieverbrauchs in Deutschland verantwortlich** und somit wichtiges Handlungsfeld der Energiewende. Ziele und Wege zur Erschließung der Potenziale in diesem Bereich hat die Bundesregierung in ihrem "Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz" (NAPE) formuliert. 20 Millionen Tonnen CO₂ sollen bis 2020 eingespart werden, allein ein Viertel davon durch Effizienzmaßnahmen. Zudem soll der Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 nahezu klimaneutral werden - also möglichst kein CO2 mehr freisetzen - und rund 80 Prozent weniger Energie benötigen als noch im Jahr 2008. Somit ist klar: In Wohn- und Gewerbebauten schlummern wesentliche Einsparmöglichkeiten bei der Wärme- und Kälteversorgung, die es zu wecken gilt. Daher spricht man auch von der Wärmewende.

Was macht die Wärmewende zu einem wichtigen Baustein für die Energiewende? Fast 40 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland entfallen auf Gebäude. Zudem sind viele der über 19 Millionen Wohnhäuser und drei Millionen Nichtwohngebäude energetisch nur teil- oder gar nicht saniert, also weit unter ihren Effizienzmöglichkeiten. Hinzu kommt: Bei der Mehrheit der Bestandsgebäude stehen in den kommenden Jahrzehnten Instandhaltungsarbeiten an, welche zeitgleich energetische Verbesserungen ermöglichen. Denn ob Solarthermieanlage, Biomasseheizung, Wärmeschutzmaßnahmen oder effiziente Wärmepumpen jede dieser Technologien spart CO₂-Emissionen und Energiekosten ein. Allein durch Umrüstung auf Heizungsanlagen und neue Heizungspumpen ließen sich schon bis zum Jahr 2020 2,5 Millionen Tonnen CO₂ bei der Wärmeversorgung reduzieren. Seit April 2015 fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) daher verstärkt Privathaushalte, Unternehmen und Kommunen, die ihren Wärmebedarf durch erneuerbare Energien decken.

Forschung und Entwicklung für "erneuerbare" Wärme

Noch ist Forschung und Entwicklung notwendig auf dem Weg zu einer erneuerbaren Wärmeversorgung. Denn während im Stromsektor erneuerbare Energien als feste Größe etabliert sind, gibt es im Wärmesektor noch Nachholbedarf. Hier ist die überwiegende Mehrheit der Anlagen von fossilen Trägern abhängig.

Fernwärmeleitungen der Stadtwerke Jena



So liegt der Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmeversorgung noch bei unter 15 Prozent.

Das BMWi fördert daher innerhalb des 6. Energieforschungsprogramms Forschung und Entwicklung zu Konzepten und Lösungen für die Wärmewende. So unterstützt das Ministerium innerhalb des Förderkonzepts "EnEff:Wärme – Forschung für energieeffiziente Wärme- und Kältenetze" Projekte, die unterschiedliche Aspekte dieses Themengebietes untersuchen und weiterentwickeln. Diese konzentrieren sich einerseits auf konkrete Innovationen bei Komponenten und Systemen und beschäftigen sich andererseits mit Versorgungsstrategien unter den neuen Prämissen beim künftigen Bedarf. Dieser wird durch demografische Veränderungen, die zu einem höheren Anteil von Ein-Personen-Haushalten führen, aber auch durch technische Einflussfaktoren, wie zum Beispiel eine verbesserte Isolierung der Wärmenetze und der Gebäude, beeinflusst.

Integrales Energie- und Wärmekonzept für Jena 2050

Im Oktober 2015 wurde das Modellprojekt **EWK Jena 2050** abgeschlossen. Im Zuge dessen ist ein integrales Energie- und Wärmekonzept für die Stadt Jena entstanden. Damit soll bis 2050 hauptsächlich der Umbau des Wärmeversorgungssystems umgesetzt werden. Das Konzept trägt dem veränderten Abnehmerverhalten

Rechnung, unter anderem bedingt durch den demografischen Wandel und eine bessere wärmetechnische Ausstattung. Bis 2050 rechnen die Jenaer Stadtwerke deswegen mit einem Rückgang des Wärmebedarfs um 16 bis 34 Prozent. Der neue Zukunftsplan schließt diese Herausforderungen nun ebenso mit ein, wie effiziente zentrale und/oder dezentrale Wärmeerzeugungsanlagen sowie erneuerbare Energieträger für die Wärme- und Stromversorgung. Der integrale Ansatz soll eine flexible Anpassung an die Nachfrage ermöglichen und auch künftige Investitionsentscheidungen für energetische Gebäude- und Quartierssanierungen besser steuerbar machen. Das BMWi hat das Vorhaben der Stadtwerke Energie Jena-Pößneck mit rund 850.000 Euro gefördert.

und Kühlsystemen das Kostensenkungspotenzial beim Ausbau der Solarisierung von Fernwärmenetzen durch Standardisierungsmaßnahmen. Denn noch fehlen Standards, um Solarthermie-Anlagen mit dem Fernwärmenetz zu koppeln. Dabei bieten diese Netze bereits heute die Infrastruktur zum Verteilen und teilweise Speichern erneuerbarer Energien und zeichnen sich – genau wie die Solarthermie – durch vergleichsweise geringe betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten aus. Um die bislang getrennt agierenden Bereiche sinnvoll zu verbinden, will das Projektteam neue technische Lösungen identifizieren und das noch recht hohe Investitionskostenniveau senken. Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 860.000 Euro.

Solarisierung von Fernwärmenetzen

Solaranlagen zur Fernwärmeunterstützung sind mittlere und große Anlagen bis in den Megawattbereich. Bis 2020 prognostiziert der AGFW – Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK – hierfür einen Bedarf von 800.000 m² Kollektorfläche in Wärmenetzen in Deutschland. Für die Energieeffizienzgewinne dieser Installationen sind Design und Betriebsweise entscheidende Faktoren. Im Forschungsprojekt SolStand untersuchen die Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung der Technischen Universtät Dresden und die Firma Viessmann als Hersteller von Heiz-, Industrie-

Systemischer Ansatz statt Einzellösungen

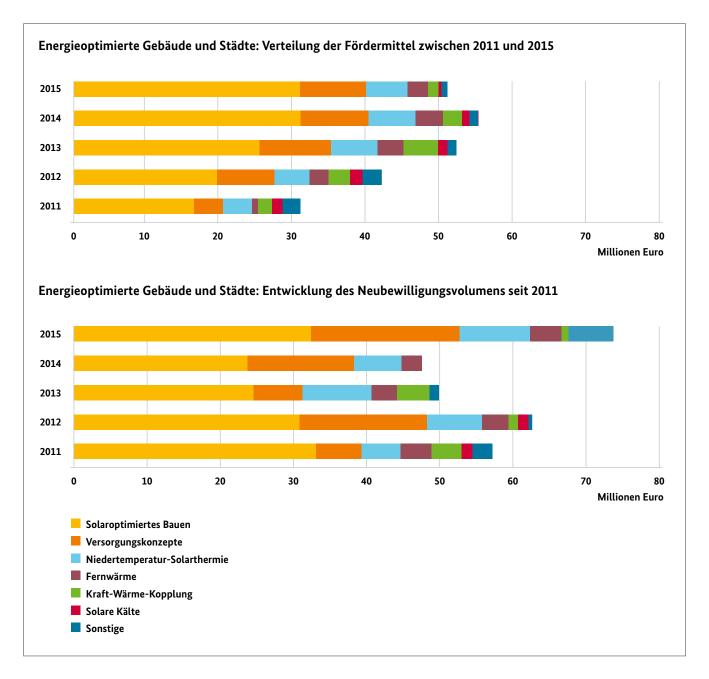
Der Blick auf das große Ganze ist ein wesentliches Merkmal der Forschung und Entwicklung für energieeffiziente Gebäude und Quartiere. Das beginnt mit der Tatsache, dass die Wärmeversorgung eine Vielzahl verschiedener Technologien einschließt und eine heterogene Akteurslandschaft anspricht. Hinzu kommt, dass Akteure teilweise mehrere Rollen zeitgleich einnehmen. Wie beispielsweise Gebäudeeigentümer, die einerseits Konsumenten sind und andererseits als Anlagenbetreiber zum Produzenten werden. Das BMWi setzt daher gezielt auf eine systemische Betrachtung, um so Synergieeffekte aus der Interaktion zwischen den Akteuren, Komponenten und Strategien zu erzielen.

Kollektorfeld Wettesingen: Vakuumröhrenkollektoren 200-T SPL von Viessmann



Mit Beginn des Jahres 2016 sind die Begleitforschungen EnOB, EnEff:Stadt, EnEff:Wärme und Niedertemperatur-Solarthermie in einem neuen begleitenden Forschungsprojekt zusammengeführt. Der Fokus liegt auf einer übergreifenden und systemorientierten Begleitforschung, die künftig alle geförderten Demonstrationsprojekte betrachtet und darüber hinaus auch innovative Technologien aus Forschung und Entwicklung berücksichtigt (siehe "Im Fokus", Seite 94)

Als Teil des Forschungsbereichs Gebäude und Quartiere hat die Niedertemperatur-Solarthermie ihre klassischen Anwendungsfelder im Erwärmen von Wasser sowie dem solaren Beitrag zur Heizungsanlage in Ein- und Mehrfamilienhäusern. Hier hat die Technologie einen hohen technischen Reifegrad erreicht. Die Wärmekosten müssen jedoch nach wie vor deutlich reduziert werden. Mit Blick auf die Wärmewende rücken für die Solarthermie in Forschung und Entwicklung umfassendere Themen in den Vordergrund: die Integration von Solarthermie in Wärmesysteme, die Solarisierung von Wärmenetzen sowie die Weiterent-



wicklung von Solaraktivhäusern bzw. Nullenergiehäusern. Eines der vielversprechendsten Konzepte, um den von der Europäischen Union geforderten Fast-Nullenergie-Standard zu erreichen, haben das SolarAktivHaus in Freiberg (siehe auch Highlight, Seite 96) oder auch das Niedrigst-Energie-Hotel (siehe auch "Sanierung zum Niedrigst-Energie-Hotel", Seite 95) in München. Solaraktivhäuser sind per Definition mit Solarkollektoranlagen ausgestattet, mit denen mindestens 50 Prozent der Heizungsleistung durch solare Wärme abgedeckt wird. Nullenergiehäuser gleichen ihren externen Energiebezug im Jahresmittel durch den eigenen Energiegewinn, etwa durch Solaranlagen, aus.

In Karlsruhe (Deutschland), Salzburg (Österreich) und Winterthur (Schweiz) werden Energieeffizienz-Projekte in trinationaler Zusammenarbeit evaluiert. In der länderübergreifenden Kooperation tauschen die drei D-A-CH-Städte mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen auf der nationalen Politikebene ihre Erfahrungen aus, lernen voneinander und setzen innovative Projekte sowie Ideen im Bereich Energieeffizienz um. Solche internationalen Forschungskooperationen gewinnen zunehmend an Bedeutung. In diesem Zusammenhang sind die beiden Working Parties "Renewable Energies" und "Energy End Use Technologies" der Internationalen Energieagentur (IEA) zu nennen: Hier forschen und diskutieren Wissenschaftler in zahlreichen Technologieinitiativen etwa zu den Bereichen energieeffiziente Gebäude, Smart Grids, Fernwärmenetze, Energiespeicher und Wärmepumpen. Der Bereich Energy in Buildings and Communities (Energieeffizienz in Gebäuden und Quartieren) ist dabei das größte Programm mit deutscher Beteiligung bei der IEA.

Strategie der Forschungsförderung

Das Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz durch innovative Technologien und ihren intelligenten, systemisch konzipierten Einsatz in Gebäuden und Quartieren zu nutzen und weiter auszubauen, ist das Ziel der vom BMWi geförderten Forschungsinitiativen Energieoptimiertes Bauen (EnOB), Energieeffiziente Stadt (EnEff:Stadt) und Energieeffiziente Wärmeversorgung (EnEff:Wärme) einschließlich der Forschung zu thermischen Energiespeichern und zu Niedertemperatur-Solarthermie. Mit dem Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren haben alle darunter laufenden Forschungsaktivitäten ein gemeinsames Dach bekommen und werden in einer Gesamtstrategie synergetisch zusammengeführt.

Das vom BMWi gegründete Forschungsnetzwerk bündelt die anwendungsorientierten Fördermaßnahmen zur Entwicklung von Innovationen im Bereich Gebäude und Quartiere für die Baupraxis. Es dient als offenes Angebot an alle interessierten Fachleute, ihr Wissen und ihre Sichtweise in die Diskussion mit anderen Beteiligten einzubringen. Weiter ist das Netzwerk ein Teil der forschungspolitischen Flankierung zur "Energiewende-Plattform Gebäude" und der "Energieeffizienzstrategie Gebäude" der Bundesregierung.

Im Frühjahr 2015 haben sich mehr als 200 Teilnehmer aus Forschung, Wirtschaft und Politik zur ersten Jahreskonferenz des Forschungsnetzwerks getroffen. Die in den Arbeitsgruppen des Forschungsnetzwerks beteiligten Akteure haben ein differenziertes Vorschlagskompendium zu der im Frühjahr 2016 veröffentlichten ressortübergreifenden Förderinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt vorgelegt. Das geplante Fördervolumen liegt bei rund 150 Millionen Euro. Neben technologischen Innovationen werden Prozesse und moderne Planungswerkzeuge beim Neubau, der Sanierung oder auch im laufenden Gebäudebetrieb in den Fokus gerückt. Der offene Ideenaustausch und die vielfältigen Anregungen des Forschungsnetzwerks werden auch künftigen Förderstrategien in der Energieforschung inhaltliche Impulse geben. Mit seiner breitgefächerten Expertise hat das Forschungsnetzwerk einen festen Platz in der Energieforschungspolitik bekommen. Es wird auch in Zukunft ein wichtiger Impulsgeber für Förderstrategien und eine Plattform für den Innovationstransfer sein. Mit ihm stärkt das BMWi nachhaltig die Innovationskraft in Deutschland im Bereich energieoptimierter Gebäude und Quartiere.

Im gesamten Bereich energieoptimierte Gebäude und Quartiere hat das BMWi im Jahr 2015 159 neue Projekte mit einem Fördermittelansatz von rund 73,5 Millionen Euro (2014: rund 47,2 Millionen Euro) bewilligt. In laufende Vorhaben flossen innerhalb des Jahres 2015 rund 51,2 Millionen Euro (2014: rund 55,2 Millionen Euro).

IM FOKUS

Begleitforschung im Forschungsbereich "Energie in Gebäuden und Quartieren"

Die Forschung zu energieoptimierten Gebäuden und Quartieren wird durch eine wissenschaftliche Begleitforschung unterstützt. Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller, Leiter des Instituts für Gebäude- und Raumklimatechnik der RWTH Aachen University, ist Projektleiter der Begleitforschung BF2016 und stellt deren Rolle und Ziele vor.

Herr Professor Müller, was sind die Aufgaben der Begleitforschung?

Müller: Durch ein systematisches Erheben des Forschungsbedarfs, eine methodisch abgesicherte Querauswertung laufender und abgeschlossener Projekte sowie das Bereitstellen von Werkzeugen und Erkenntnissen für alle Akteure wird unter Einbeziehung neuer Lehrformate ein substanzieller Beitrag zur nachhaltigen Verwendung der zur Verfügung gestellten Mittel geleistet. In der Begleitforschung sollen neben rein technischwirtschaftlichen Fragestellungen auch die sozioökonomischen Rahmenbedingungen analysiert werden. Denn der Erfolg eines Projekts wird nicht ausschließlich von der Technik oder den eingesetzten Werkzeugen bestimmt. Vielmehr muss auch dem Planungsprozess, der Projektstruktur, den rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sowie dem soziologischen Mehrwert, der Akzeptanz aller Beteiligten und der kommunalen Wirkung Rechnung getragen werden. Daher üben sozioökonomische Aspekte direkten und indirekten Einfluss auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse sowie deren Breitenwirksamkeit aus.

Welche Ziele haben Sie sich gesetzt?

Müller: Die Begleitforschung konzentriert sich auf vier wesentliche Bausteine. Der erste Baustein ist das klare Formulieren von Forschungsfragestellungen in der Gebäudeenergietechnik, die sich aus dem Stand der Technik und den Zielen der Bundesregierung ergeben. Der zweite Baustein umfasst eine datenbasierte Trendanalyse, auf deren Basis aktuelle technische Entwicklungen und ihre möglichen Potenziale bewertet werden können. Eine systematische Querauswertung aller laufenden Projekte des BMWi ist der dritte und vom Arbeitsumfang anspruchsvollste Baustein. Ziel ist es, projektübergreifende Erkenntnisse abzuleiten und anhand bestehender Daten zu überprüfen. Der vierte Baustein ist eine Überarbeitung des Berichtswesens, der eine höhere Transparenz und eine bessere Nachnutzung von Forschungsergebnissen sicherstellen soll. Diese Bausteine und das enge Einbinden von Kommunen, Verbänden



Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller, RWTH Aachen University

und das Nutzen von Plattformen, wie dem Forschungsnetzwerk, sollen die Transformation des Energiesystems unterstützen.

Wo möchten Sie besondere Schwerpunkte setzen?

Müller: Ein neues Element wird die interaktive Projektlandkarte. Jedes Projekt wird mit seinen Kennwerten in eine Datenbank eingepflegt. Neben den Stammdaten werden dort wesentliche Eckpunkte des Forschungsvorhabens sowie Kernergebnisse mit Verknüpfungen zu weiterführenden Informationen angezeigt. Es werden übergreifende und projektgruppenrelevante Kennzahlen entwickelt und in die Vorhabenbeschreibungen eingebunden. Spezielle Filterfunktionen erlauben eine gezielte Suche nach ausgewählten Parametern und Fragestellungen. Der Detaillierungsgrad kann für die verschiedenen Nutzergruppen einzeln festgelegt werden. Damit entsteht ein interaktives Tool, das eine klar strukturierte Übersicht ermöglicht.

Was sind aus Ihrer Sicht die größten Herausforderungen?

Müller: Die größte Aufgabe ist die Analyse aller laufenden Forschungsförderaktivitäten des BMWi. Es müssen die Projekte gefunden und unterstützt werden, die wegweisende Erkenntnisse bereitstellen. Wir müssen mit allen Beteiligten nach Pfaden suchen, erfolgreiche Forschungsansätze schneller in die Praxis zu überführen. Das Energiesystem steht an einem Wendepunkt, denn der Umstieg auf erneuerbare Energien muss in einem relativ kurzen Zeitraum geschafft werden. Die Erzeugung wird dezentraler und volatiler, Verbraucher müssen sich flexibel an die Erzeugungsleistung anpassen und die Energiespeichertechnik gewinnt einen ganz neuen Stellenwert.

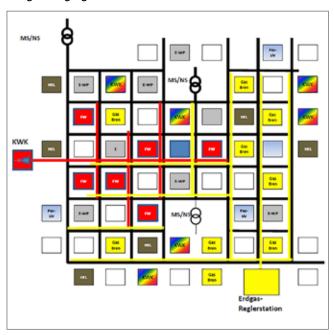
Auswahl geförderter Projekte

Hybride Planungsverfahren für städtische Verteilnetze

Die steigende Dezentralisierung der Strom- und Wärmeerzeugung durch die Energiewende ist bisher in den Planungsmethoden städtischer Energienetze noch nicht ausreichend abgebildet. Ziel des Forschungsprojekts Hybrides Planungsverfahren zur energieeffizienten Wärme- und Stromversorgung von städtischen Verteilnetzen (HYPV) ist daher die Entwicklung von Planungsund Optimierungsmethoden für die hybride Auslegung kommunaler Energieerzeugungs- und Verteilstrukturen. Koordinator des Verbunds ist das Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr .

Die Verfahren sollen die Anforderungen eines geänderten Strommarkts mit einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien berücksichtigen und den Rückgang im Wärmebedarf in die Planung von Netzen und in die Technologieförderung miteinbeziehen. Zudem sollen die Methoden die Reduktion von ${\rm CO_2}$ -Emissionen und des (fossilen) Primärenergieeinsatzes unterstützen. Dies wollen die

Netzschema für die hybride Auslegung kommunaler Energieerzeugungs- und Verteilstrukturen



Forscher durch ein mehrstufiges mathematisches Optimierungsmodell, basierend auf einem Strangmodell, erreichen. Jeder Strang entspricht dabei einem Straßenabschnitt. Die Gebäude entlang eines Abschnitts werden mit ihrem Strom- und Wärmebedarf mit Hilfe der heutigen und künftigen Heiztechnologien einbezogen. Die Dimensionierung der Netze basiert somit auf der präzisen Darstellung des Bedarfs der zu versorgenden Gebäude.

Mit dem Modell soll künftig der optimale Strom- und Wärmeerzeugungsmix für eine Kommune bestimmbar sein. Die Methoden werden daher innerhalb des Projekts auf die Versorgungsstrukturen der Städte Konstanz, Sindelfingen und Düsseldorf angewandt und sichern so einen hohen Praxisbezug. An dem Verbund sind die Hochschule Konstanz für Technik, Wirtschaft und Gestaltung und die Universität Konstanz beteiligt. Das BMWi fördert das Projekt innerhalb des Förderkonzepts "Energieeffiziente Stadt EnEff:Stadt" mit rund 950.000 Euro.

Sanierung zum Niedrigst-Energie-Hotel

Mit dem Projekt **Niedrigst-Energie-Hotel München** soll – koordiniert durch die Hochschule Rosenheim – ein Konzept für ein besonders energieeffizientes und nachhaltiges Hotel überprüft werden. Das Gebäude ist 1970 errichtet und 2011 in einer Kooperation des Betreibers Derag Livinghotels mit dem Anlagenhersteller COLT International im Passivhaus-Standard grundlegend saniert worden. Die Heizung, Kühlung und Trinkwassererwärmung werden nun weitestgehend durch erneuerbare Energien und per Wärmerückgewinnung bereitgestellt. Durch die Maßnahmen sollen die Betriebskosten spürbar sinken und insbesondere die Trinkwasserhygiene kosteneffizienter gestaltet werden.

Die Sanierung umfasst eine neu entwickelte Klimaanlage mit vollintegrierter dezentraler Trinkwassererwärmung als Kernelement. Die anlagentechnische Konzeption besteht aus Mikrowärmepumpen für jedes Zimmer zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung. Wärmequelle für die Wärmepumpen ist ein zentrales Kaltwasserverteilnetz (circa 14 Grad Celsius), das gleichzeitig die Kühldecken versorgt. Zudem sind Solarthermieanlagen, eine Wärmerückgewinnung aus einer Grauwasserrecyclinganlage und große Pufferspeicher, als Warm- und Kaltwasserspeicher, darin integriert. Bis Sommer 2016 erfolgt ein intensives zweijähriges Monitoring. Der Betrieb des Anlagensystems hat sich dabei bisher als robust erwiesen.

HIGHLIGHT

SolarAktivHaus: Ein Konzept zum Erreichen des "Nearly-Zero-Energy"-Standards

Für zukünftige Gebäude gelten hohe Energiestandards – so sieht der von der EU geforderte Fast-Nullenergie-Standard ("Nearly-Zero-Energy"-Standard) vor, dass demnächst neu errichtete Gebäude in der Jahresbilanz nur geringfügig mehr Energie verbrauchen, als sie auch erzeugen können. Ein vielversprechendes Konzept, um den Fast-Nullenergie-Standard zu erreichen, ist das Solar-AktivHaus. In dessen Fokus steht der Wärmebedarf eines Gebäudes. Innerhalb des Projekts HeizSolar wurde dieses Konzept unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE nun erstmals detailliert wissenschaftlich analysiert.

Eine thermische Solaranlage bildet das Herzstück der SolarAktivHäuser. Diese besteht aus einem vergleichsweise großen Sonnenkollektorfeld, das die Sonnenwärme auffängt, sowie aus einem großvolumigen Warmwasserspeicher, der sich auch über mehrere Stockwerke erstrecken kann. Die Gebäudehülle selbst ist energetisch hochwertig. Durch passive Elemente, wie etwa große Fensterflächen auf der Südseite, wird weitere Wärme aus der Sonne aufgefangen. Ein Gebäude zu 100 Prozent solar zu beheizen ist grundsätzlich möglich, in der Regel wird die Heizungstechnik jedoch durch eine brenn-stoffbasierte, zusätzliche Komponente ergänzt.

Unterschiedliche Ausführungsvarianten und Nutzungskonzepte, wie Einfamilien-, Mehrfamilien- oder auch Bürogebäude, wurden im Forschungsprojekt HeizSolar zwischen November 2011 und Juni 2015 vermessen und deren Funktionsweise detailliert analysiert. Mit Hilfe des Speichers erfolgte insbesondere in den Übergangszeiten die Wärmeversorgung bis zu mehrere Wochen lang rein solar.

Die Projektpartner haben Simulationsmodelle erstellt, die mit den Messdaten validiert und für die Berechnung einer kostenoptimalen Auslegung herangezogen wurden. Für typische Einfamilienhäuser, die bis zu 60 Prozent ihres Wärmebedarfs mit thermischer Solarenergie decken, reicht demnach ein Speicher mit 3 Kubikmetern statt des bisher üblichen Speichers mit 6 bis 10 Kubikmetern Volumen. Der geringere solare Ertrag kann zum Beispiel kompensiert werden, indem die Kollektorfläche von 40 auf 60 Quadratmeter erhöht wird.

Zukünftiger Forschungsbedarf besteht insbesondere bei der Integration der Photovoltaik in das Konzept des SolarAktivHauses. Neben dem Fraunhofer ISE waren Solar- und Wärmetechnik Stuttgart, die Technische Universität Ilmenau sowie das Sonnenhaus-Institut am Forschungsprojekt HeizSolar beteiligt. Das BMWi hat das Projekt mit rund 1,5 Millionen Euro gefördert.

Das Solaroffice Seebronn ist ein SolarAktivHaus



Mit dem Monitoring, den Detailauswertungen zur Anlagentechnik und zum Raumkomfort wollen die Wissenschaftler überprüfen, wie sich Nur-Strom-Konzepte in Zukunft realisieren lassen. Das Ergebnis soll der grundsätzlichen Bewertung solcher Konzepte dienen und in die weitere Betrachtung der innovativen Wärmepumpentechnik einfließen. Das dezentrale Energiesystem des Hotels wurde mit dem Bayerischen Energiepreis 2014 ausgezeichnet. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 590.000 Euro.

Feldtests zu Absorptionskältetechnik für KWKK-Systeme

Das Klimatisieren von Gebäuden wird auch in Deutschland zunehmend üblich. Doch dies ist nicht nur Komfortkühlung, auch die Arbeitsplatzrichtlinien oder die Kühlung technischer Lasten (Labore, RZ, Medizintechnik etc.) spielen hierbei eine Rolle und stellen neue Herausforderungen an die zukünftige Kälteversorgung. Eine energieeffiziente Option hierfür sind Absorptionskühlsysteme auf der Basis von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK). In dem Vorhaben Feldtest Absorptionskältetechnik erprobt die Technische Universität Berlin thermisch angetriebene Absorptionskälteanlagen für Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-

Systeme (KWKK) im Betrieb. Die Wissenschaftler wollen die effiziente Abwärmenutzung erforschen und demonstrieren, dass sich die Anlagen als Wärmepumpen eignen und eine Laufzeitverlängerung von KWK-Anlagen durch Wärmenutzung im Sommer erreicht werden kann.

Das Vorhaben schließt an die in dem Projekt "EnEff:Wärme - Absorptionskältetechnik für Niedertemperaturantrieb" im Laborstandard entwickelten Systeme für die fernwärmeund solarbasierte Kälteversorgung an. Die 25 im Projekt installierten Anlagen weisen eine Gesamtleistung von circa 2,3 Megawatt auf und verteilen sich bundesweit auf 16 Standorte. Die Forscher erwarten für die Anlagen eine 30 Prozent höhere Leistungsdichte als das aktuell auf dem Markt verfügbare Angebot. Zudem sollen die Investitionskosten um 50 Prozent niedriger liegen, die elektrische Effizienz verdoppelt werden und zugleich die Betriebskosten sinken. Durch den Einsatz der hocheffizienten Absorptionstechnologie kombiniert mit Fernwärme soll insgesamt die Primärenergieeffizienz der KWKK-Kette gesteigert werden. An dem Verbund sind außer der Technischen Universität Berlin die Technische Universität Dresden, der Bundesindustrieverband Technische Gebäudeausrüstung und die AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung beteiligt. Das BMWi fördert das Projekt innerhalb der Forschungsinitiative EnEff:Wärme mit rund 4,4 Millionen Euro.

Absorptionskühlsysteme aus dem Vorhaben FAKS



EnTool: Planungssoftware für energieoptimierte Gebäude

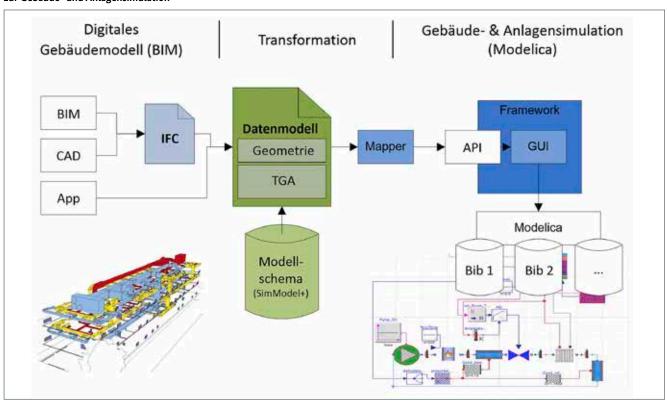
Der flächendeckende Einsatz moderner simulationsgestützter Planungswerkzeuge gewinnt stetig an Bedeutung. Auf diese Weise soll die energetische Optimierung von Gebäuden, Quartieren und Städten und ihrer Versorgungsstrukturen im Planungsprozess und im praktischen Einsatz erreicht werden. Das BMWi unterstützt Forschung und Entwicklung zu Planwerkzeugen mit der Forschungsinitiative EnTool im Forschungsschwerpunkt "Energieoptimiertes Bauen EnOB".

In dem Vorhaben EnTool/EnEff-BIM forschen Wissenschaftler der RWTH Aachen University zur Planung, Auslegung und Betriebsoptimierung von energieeffizienten Neu- und Bestandsbauten durch Modellierung und Simulation basierend auf Bauwerkinformationsmodellen (BIM). An dem Verbund sind zudem das Beratungsunternehmen AEC3 Deutschland, die Universität der Künste Berlin, das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

beteiligt. Dabei sollen Bauwerksmodelle zu dynamischen Modellen zur Gebäude- und Anlagensimulation weiterentwickelt werden. Die Forscher betrachten verschiedene Modellierungstiefen und Techniken für eine modell- und datenseitige Kopplung von Simulationen. Das Projekt besitzt durch die ergänzende Mitarbeit am "IEA EBC Annex 60" eine hohe internationale Sichtbarkeit. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 2 Millionen Euro.

Das Vorhaben EnTool:CoSim hingegen beschäftigt sich mit der FMI-Kopplungstechnologie für verschiedene Simulationswerkzeuge, die für die energietechnische Bewertung von Gebäuden und die Auslegung komplexer gebäudetechnischer Energieversorgungsanlagen zum Einsatz kommen. Auf diese Weise soll bisher meist isolierte Expertise gebündelt werden, um einen einheitlichen, standardisierbaren Rahmen für den Entwurfs- und Planungsprozess zu schaffen. An dem von der Technischen Universität Dresden koordinierten Verbund sind die ITI Gesellschaft für ingenieurtechnische Informationsverarbeitung, das Energiedienstleistungsunternehmen EA Systems Dresden und das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS beteiligt. Das BMWi unterstützt das Vorhaben mit rund 1,6 Millionen Euro Fördermitteln.

Projektmodell des Vorhabens EnEff-BIM zur Gebäude- und Anlagensimulation



HIGHLIGHT

LowEx: Netzreaktive Gebäude entlasten Stromnetze

Durch den stetig steigenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien im Energiesystem rückt das Demand-Side-Management elektrischer Verbraucher immer stärker in den Fokus. Bei diesem Ansatz wird der Stromverbrauch kurzfristig erhöht oder reduziert, je nachdem, ob zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine besonders hohe bzw. besonders niedrige Nachfrage nach Strom im Energiesystem besteht. Auch gebäudetechnische Anlagen, wie etwa Wärmepumpen, Kältemaschinen und Block-Heizkraftwerke (BHKW) in Verbindung mit thermischen Speichern, können für Demand-Side-Management genutzt werden, indem der Zeitpunkt des Strombezugs zur Wärmeund Kältebereitstellung in die energetische Bewertung von Gebäuden und die Entwicklung innovativer Regelstrategien einbezogen wird.

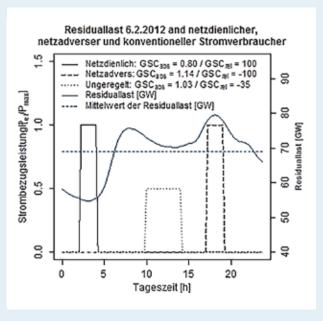
Wissenschaftler führen im Verbundvorhaben Netzreaktive Gebäude eine umfassende Untersuchung zu Gebäuden als Teil des Energiesystems durch, um daraus eine konsistente Bewertungsmethodik zu entwickeln. Diese soll es Planern und Entscheidungsträgern ermöglichen, einzelne Gebäude und Gebäudegruppen energetisch, exergetisch und energiewirtschaftlich einzuschätzen. Zusätzlich erarbeiten die Forscher Vorschläge, wie sich die Ergebnisse in das bestehende Normungs- und Verordnungsgefüge implementieren lassen. Eine wesentliche Forschungsfrage des Verbunds ist, wie sich Gebäude und Gebäudegruppen in einem intelligenten Stromnetz der Zukunft verhalten und wie sie die Netzstabilität positiv beeinflussen können.

Zunächst haben die Wissenschaftler eine ganzheitliche Bewertung der Bauphysik und der Gebäudeenergiesysteme durchgeführt. Hierfür hat das Projektteam vier stromnetzbasierte Größen analysiert und verglichen: den EEX-Day-ahead-Preis, die Residuallast, den kumulierten Energieverbrauch (nicht-erneuerbarer Anteil) sowie den Anteil von Wind- und Photovoltaikstrom im Elektrizitätsmix in Bezug auf die Tages- und Jahreszeit. Auf Basis dessen haben die Forscher zwei einheitliche und dimensionslose Kennzahlen, die "Grid Support

Coefficients" GSCabs und GSCrel, entwickelt, mit welchen sich die Netzdienlichkeit elektrischer Verbraucher und Erzeuger in Bezug auf das übergeordnete Energiesystem bewerten lässt. So können Höhe und Zeitpunkt des Strombezugs zur Wärme- und Kältebereitstellung in eine energetische Bewertung von Gebäuden und die Entwicklung innovativer Regelstrategien einbezogen werden. Weiterhin wurden Bewertungsansätze für die Effizienz der Speicherung überschüssigen Wind- und Sonnenstroms im Gebäude sowie für die Auslastung der Netze auf Niederspannungsebene erarbeitet.

Die Koordination hat das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE übernommen. Darüber hinaus sind das E.ON Energy Research Center (Lehrstuhl für Gebäudeund Raumklimatechnik) der RWTH Aachen University und das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP Teil des Verbunds. Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 2,8 Millionen Euro.

"Netzdienliches" (schwarz), "netzadverses" (grau) und ungeregeltes (hellgrau) Strombezugsprofil in Bezug auf die Residuallast, dargestellt für einen Beispieltag





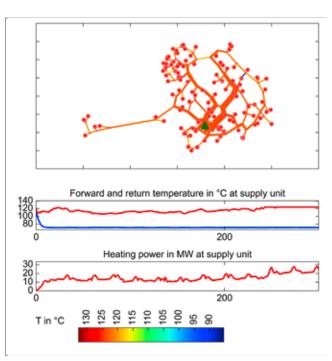


Förderschwerpunkt EnEff:Campus

Hochschulen und Forschungseinrichtungen sind Innovationsgeber. Auch für die Energiewende in Gebäuden und Quartieren können sie dank ihrer zentralen Verwaltung und heterogenen Gebäudestruktur eine Rolle als Wegbereiter für Energieeffizienz übernehmen. Unter dem Förderschwerpunkt **EnEff:Campus** unterstützt das BMWi daher mehrere Projekte zu diesem Thema.

Eines der Vorhaben ist das Projekt EnEff:Campus blueMAP: An der Technischen Universität Braunschweig ist ein integraler energetischer Masterplan entstanden und damit ein Pilotprojekt für Planungs- und Optimierungsmethoden zur energetischen Sanierung innerstädtischer Quartiere. Ein interdisziplinäres Team hat Maßnahmen entwickelt, um bis 2020 eine nachhaltige Energieversorgung des Campus mit seinem heterogenen Gebäudebestand und damit Primärenergieeinsparungen von 40 Prozent zu erreichen. Das BMWi hat das Vorhaben mit rund 1,2 Millionen Euro gefördert.

Im Projekt EnEff:Campus Potsdam-Telegrafenberg des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) ist ein Konzept für die energetische Optimierung eines Campus mit 56 Neu- und Bestandsbauten entstanden. Ziel waren Energieeinsparungen von rund 50 Prozent. Hierfür sind innovative Gebäude- und Anlagenlösungen geplant und entwickelt worden. An dem durch das BMWi mit rund 1,9 Millionen Euro geförderten Vorhaben war zudem die Technische Universität Dresden beteiligt.



Grafik aus dem Vorhaben EnEff:Campus der RWTH Aachen University und des Forschungszentrums Jülich

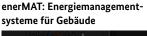
In dem Vorhaben EnEff:Campus – RWTH/FZJ hat die RWTH Aachen University gemeinsam mit dem Forschungszentrum Jülich ein Simulationswerkzeug am Beispiel realer Liegenschaften entwickelt. Dieses Planungshilfsmittel dient der integralen und dynamischen Optimierung der gesamten Energieversorgung mit Erzeugeranlagen, Gebäuden sowie Wärme- und Kältenetzen. Mit Hilfe von Modellen sollen so ganzheitliche Konzepte entstehen, um Energieeinsparungen möglichst effizient planbar zu machen. Das BMWi hat dies mit rund 1,1 Millionen Euro gefördert.

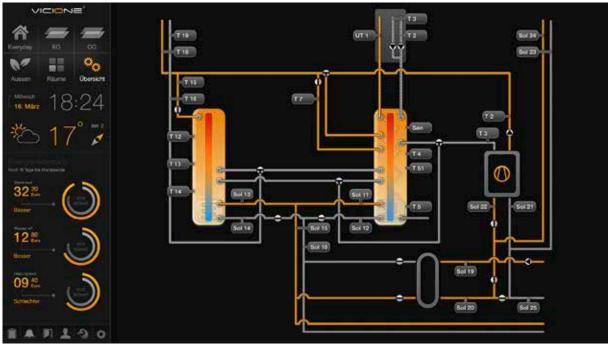
Intelligente Regelung: Ganzheitliche Energiemanagementsysteme für Gebäude

Für die Steuerung der technischen Ausrüstung von Gebäuden (TGA) und für die Regelung eines optimalen Gebäudebetriebs, beispielsweise im Hinblick auf den Energieverbrauch, kommen globale Gebäudemanagementsysteme zum Einsatz. Mit intelligenten Regelungslösungen dieser Art lässt sich der Energieverbrauch von Gebäuden senken. Um dies zu erreichen, hat das Forschungsvorhaben enerMAT die Weiterentwicklung und Verbreitung energiesparender und umweltschonender Gebäudemanagementtechniken zum Ziel. Mit dem erarbeiteten Ansatz kann der Energie-

verbrauch von Gewerbe- und Wohnhäusern deutlich reduziert werden. Hierfür haben die fünf beteiligten Verbundpartner einen modellbasierten Entwurf für ganzheitliche Energiemanagementsysteme für Gebäude (Building Energy Management Systems, BEMS) aufgesetzt. Die Wissenschaftler haben Konzepte und Verfahren erarbeitet, welche Energieeinsparungen beim Gebäudebetrieb durch die ganzheitliche Planung und Realisierung von energieeffizienter Gebäudesteuerung und -automatisierung ermöglichen. Dabei setzt die Softwarelösung in der Projektierungsphase derartiger Energiemanagement-Systeme an. Auf diese Weise sollen Anwender frühzeitig in die Lage versetzt werden, fundierte Entscheidungen über Investitions- und Betriebskosten, Energieeinsparungen und Komfort treffen zu können.

Das Vorhaben gehört zum Forschungsbereich "EnBop – Energetische Betriebsoptimierung" im Förderschwerpunkt EnOB – Forschung für energieoptimiertes Bauen. Die Koordination hat als Automationsspezialist die NSC übernommen. Weiter haben Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS, der ITI Gesellschaft für ingenieurtechnische Informationsverarbeitung, der Provedo Software und des Bauunternehmens FASA in dem Projekt mitgearbeitet. Das BMWi hat enerMAT mit rund 4,4 Millionen Euro gefördert.





Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen



Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (IGHD) gehören zu den großen Energieverbrauchern in Deutschland. Damit spielen sie eine zentrale Rolle, wenn es um den Erfolg der Energiewende geht. Die Einsparpotenziale sind in diesen Sektoren besonders hoch: Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert daher die Forschung energieeffizienter und ressourcenschonender Techniken in diesem Bereich. Mit dem so gewonnenen Know-how in Forschung und Entwicklung wird auch die Position der deutschen Industrie im internationalen Wettbewerb weiter gestärkt.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Wachstum, Beschäftigung und Wettbewerbsfähigkeit in der Industrie sind immer mehr mit der Energieeffizienz und Ressourcenschonung der einzelnen Unternehmen verknüpft: Wer keine Energie spart oder keine energiesparenden Produkte und Verfahren anbietet, ist auf Dauer nicht konkurrenzfähig und kann sich künftig auf dem Markt auch nicht behaupten. Deshalb ist die intensive Erforschung neuer sowie das Weiterentwickeln noch nicht am Markt etablierter Technologien im Bereich der Energieeffizienz unabdingbar und für die industrielle Produktion immer wichtiger. Dabei liegen die größten Einsparpotenziale im Einsatz energieeffizienter Antriebe, Pumpen, Öfen, effizienter Beleuchtung sowie Lüftungs- und Druckluftsysteme.

Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (IGHD) gehören zu den großen Energieverbrauchern in Deutschland, obwohl sich seine Stellung in der Gesamtbilanz in den vergangenen Jahren verbessert hat: In gut zwei Jahrzehnten hat sich sein Anteil am Endenergieverbrauch von 50 Prozent (1990) auf 44 Prozent (2013) verringert. Anfänglich wird dies auf die Wiedervereinigung und den damit verbundenen Strukturwandel in den neuen Bundesländern zurückgeführt. Mittlerweile werden die Effekte nachhaltig überlagert durch die Umsetzung neuer und weiterentwickelter Effizienztechnologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette in der industriellen Produktion.

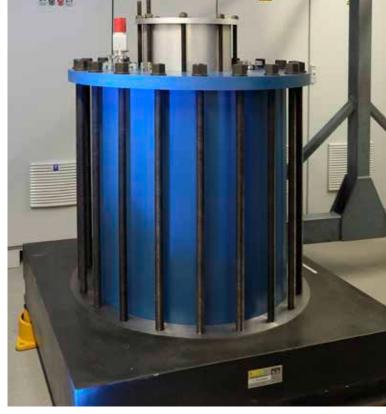
Die energieintensiven Industrien spielen für die Umsetzung der Energiewende eine zentrale Rolle. Sie liefern weiter unverzichtbare Grund- und Werkstoffe für wichtige Zukunftsbranchen in Deutschland. Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung legt fest, die Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen als Förderschwerpunkt zu steigern. Dabei ist es im besonderen Interesse des BMWi, die Anwendung der Forschungsergebnisse in der Breite des Industriesektors sicherzustellen.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

In vielen Industrieprozessen geht bisher ein hoher Teil der eingesetzten Primärenergie als Abwärme verloren. Wird diese weiter genutzt, können die Energieeffizienz gesteigert und gleichzeitig die CO₂-Emissionen reduziert werden. Das BMWi fördert im Forschungsfeld Abwärmenutzung mit Projekten wie **ThermoHEUSLER** und **HighTEG** die Entwicklung so genannter thermoelektrischer Module, die aus Industrieabwärme elektrischen Strom gewinnen. Noch ist die Herstellung der hierzu benötigten Materialien und Systeme kostenintensiv und umständlich. Den Forschern ist es auf diesem Wege gelungen, die bisher nur im Gramm-Maßstab verfügbaren Metalllegierungen im Kilogrammmaßstab unter Beibehaltung der Leistungsparameter herzustellen – ein großer Schritt in Richtung Industriereife. Das Energieeinsparpotenzial durch Nutzung industrieller Abwärme wird über alle Branchen jährlich auf circa 130 Terawattstunden geschätzt. Hier gilt es nun durch Forschung und Entwicklung, die im Labor erreichten Effizienzwerte auch in der technischen Anwendung nutzbar zu machen.

Insbesondere Querschnittstechnologien gelten als erfolgversprechende Ansatzpunkte für eine industrielle, rationelle Energieverwendung. Hierzu zählen neben der Abwärmenutzung aus Thermoprozessen, dem Einsatz von solarer Prozesswärme und innovativen Mess-, Steuer- und Regelungstechniken auch die Prozessbeschleunigung in der chemischen Industrie.

Ziel im Forschungsfeld chemische Prozesstechnik ist es, energie- und ressourceneffiziente Verfahren schneller vom Labor in die Produktion zu überführen. Dazu forschen in der **ENPRO-Initiative** vier Forschungsverbünde sowie ein Einzelprojekt mit einer Fördersumme von rund 7 Millionen Euro (siehe auch "Im Fokus", Seite 106). Über die Plattform ENPRO-Connect arbeiten die industriellen Akteure – wie Bayer, BASF, EVONIK – zusammen und tauschen sich über ihre Ergebnisse intensiv aus. Im Jahr 2015 gab es hier erste Zwischenergebnisse, die wichtige

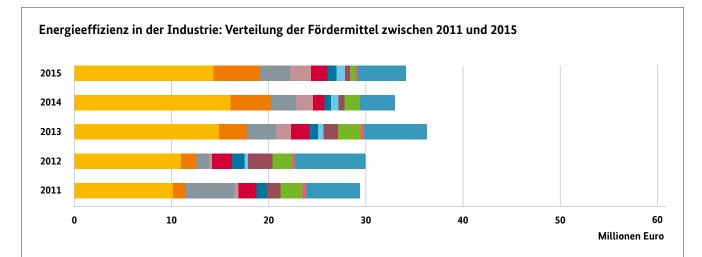


Schwungmassenspeicher der ETA-Fabrik in Darmstadt

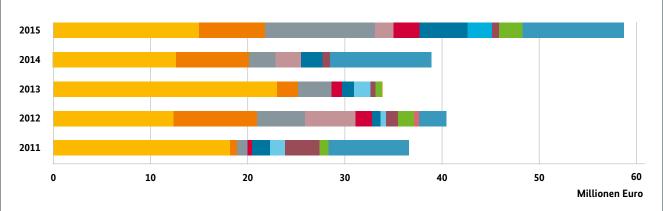
Bausteine zur Energieeffizienz liefern und durch die enge Vernetzung der Industrie im Bereich der Prozess- und Anlagentechnik und -steuerung weiter verbreitet werden.

Im Forschungsfeld Produktiontechnik richten Entscheidungsträger den Blick auf die energetischen Zusammenhänge in Prozessketten, um auch dann noch wirkungsvolle Effekte zu erzielen, wenn die Optionen zur Optimierung von Einzelprozessen ausgeschöpft sind. Das BMWi unterstützt Wissenschaftler beim Bau der Demonstrationsanlage ETA-Fabrik auf dem Campus der Technischen Universität Darmstadt, die im März 2016 eröffnet wurde (siehe Bild auf Seite 102). Hier betrachten Forscher am Beispiel einer Metallbearbeitung das energetische Zusammenwirken der Aggregate in der gesamten Fabrik, wobei auch die Gebäudehülle und -ausrüstung berücksichtigt werden, sodass insgesamt voraussichtlich 40 Prozent Energie gespart werden kann.

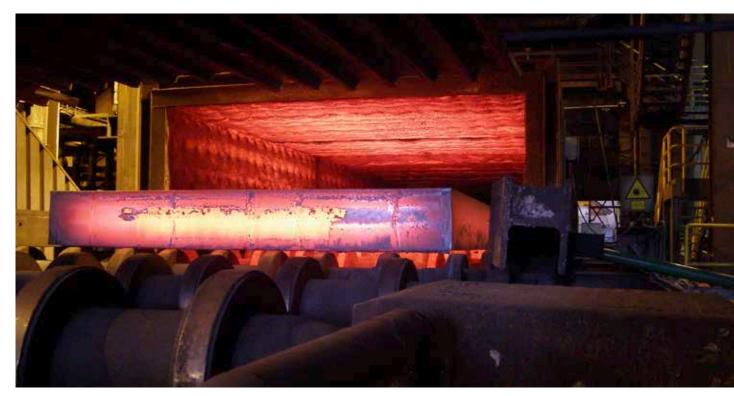
Mechanische Reibung ist bei bewegten Teilen allgegenwärtig und ursächlich für erhebliche Energieverluste. Den Bereich der effizienzoptimierten Schicht-Schmierungssysteme an Bau- und Erntemaschinen untersuchen Wissen-



Energieeffizienz in der Industrie: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2011



- Maschinenbau, Fahrzeugbau, Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik, EBM-Waren
- Chemische Industrie, Herstellung von Kunststoff- & Gummiwaren
- Wärmepumpen, Kältemittel
- Mechanische und thermische Trennverfahren
- Gewinnung & Verarbeitung von Steinen und Erden, Feinkeramik, Glasgewerbe
- Wärmetauscher
- NE-Metallindustrie
- Eisen- und Stahlindustrie
- Industrieöfen
- Solare Prozesswärme
- Sonstige



Der Forschungsverbund INTEGA widmet sich dem industriellen Erproben thermoelektrischer Generatoren zur Stromerzeugung aus Abwärme für einen Einsatz in der Stahlindustrie

schaftler im Verbund **CHEOPS3** (siehe auch Highlight, Seite 109) seit Oktober 2015 intensiv. Dabei greifen sie auf die Erfahrung aus den verwandten Fördervorhaben **PEGASUS I** und **II** zurück und setzen so die BMWi-Aktivitäten im Forschungsfeld Tribologie fort. Die genannten Forschungsprojekte stehen exemplarisch für eine Vielfalt entwickelter Innovationen, mit denen Reibungsverluste reduziert und so Primärenergie künftig effizienter genutzt werden kann.

Strategie der Forschungsförderung

In Zukunft wird die Energieeffizienz im Sektor Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (IGHD) ein wichtiger Maßstab für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Industrie und ihre Innovationskraft sein. Deshalb ist hier die Steigerung der Energieeffizienz eine wirtschafts- und energiepolitische Schlüsselfrage. Bis 2020 könnten im Bereich IGHD rund 44 Milliarden Kilowattstunden allein an elektrischem Strom eingespart werden.

Den Förderbereich kennzeichnet ein breites thematisches und technologisches Förderspektrum. Die Forschungsfragen zu strategischen Schlüsselthemen werden in Forschungsfeldern gebündelt, die langfristig angelegt sind und so über einen Austausch der Akteure über die Grenzen des Verbundvorhabens hinaus ein flexibles und abgestimmtes Vorgehen in der Förderung sicherstellen. Neben die Förderung der Forschungsfelder tritt die Unterstützung innovativer Einzelvorhaben, um so flexibel aktuellen Forschungsbedarf aufzugreifen und in die Umsetzung zu bringen.

Die Projektförderung durch das BMWi zur Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistung belief sich für insgesamt 339 laufende Projekte in 2015 auf rund 34,1 Millionen Euro (2014: rund 32,9 Millionen Euro). Gleichzeitig sind 115 Projekte mit einer Gesamtbewilligungssumme von insgesamt rund 58,5 Millionen Euro (2014: rund 38,6 Millionen Euro) neu bewilligt.

IM FOKUS

Miniaturisierung zur Effizienzsteigerung in der chemischen Industrie

In der chemischen Prozesstechnik unterscheiden sich je nach Produktionsmaßstab die geeigneten Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz. Bei Großanlagen zielen diese vor allem auf die Apparate- und Anlagentechnik ab. Bei mittelgroßen Anlagen können Modularisierungen Einsparungen generieren. Kleinere Fertigungen haben ihr größtes Potenzial hingegen in der Umstellung von chargenweiser auf eine kontinuierliche Produktion. Im Forschungsfeld chemische Prozesstechnik wird diesen Fragen nachgegangen.

Durch die Miniaturisierung bekannter Grundoperationen chemischer Prozesse lassen sich Reaktionen kontinuierlich und damit schneller und besser steuerbar durchführen als im Großmaßstab. Dies begünstigt eine energieeffiziente Produktion. Hinzu kommt, dass im Fall besonders reaktiver Komponenten das Risiko einer Havarie sinkt. Die Mikroreaktortechnik besitzt durch ihre geringen Betriebskosten großes Marktpotenzial und lässt zudem ein schonendes Ressourcenmanagement bei der Herstellung zu.

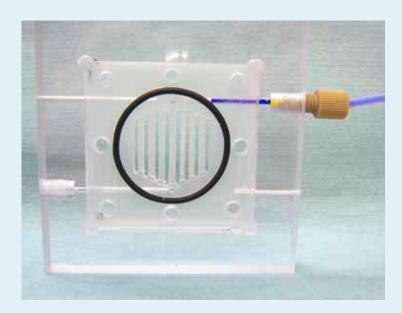
Einsatzfelder sind zunächst die Produktion von Spezialchemikalien oder Pharmazeutika in kleineren Betrieben. Derzeit überprüft ein Konsortium innerhalb der ENPRO-Initiative (siehe Bericht "Innovation durch Forschung" für das Jahr 2014, Seite 111), ob in der großindustriellen Herstellung von Chemikalien ebenfalls Mikroverfahrenstechniken einsetzbar wären, insbesondere in Bezug auf die Sicherheit und Ergebnisqualität. Heute schon setzen einige Unternehmen diese Technik in kleinem Umfang im Experimentierstadium ein und verzeichnen damit bereits gesteigerte Ausbeuten.

Eine wichtige Voraussetzung für die Anwendbarkeit von Mikroverfahrenstechniken in der großindustriellen Produktion ist die Miniaturisierung entlang der gesamten Prozesskette. So kommt die Überlegenheit der Mikroverfahren in der Regel nur dann zum Tragen, wenn alle Schritte und nicht nur einzelne Elemente miniaturisiert werden. Das BMWi fördert daher gezielt drei vorwett-

bewerblich ausgerichtete Forschungsverbünde, die sich in den Bereichen Elektrochemie, Chromatographie und Trenntechnik – und damit in voneinander entkoppelten Märkten – mit der Weiterentwicklung der Miniaturisierung auseinandersetzen. Im Fokus der BMWi-Projektförderung stehen dabei Spezialunternehmen mit der Fragestellung, ob die jeweiligen Verfahrensprozesse grundsätzlich miniaturisierbar sind. Diesen Nachweis haben alle drei oben genannten Verbundvorhaben erbracht. In Anschlussprojekten wollen die Wissenschaftler nun unter anderem an der Überführung der Prozessschritte in die Routine arbeiten.

Die ENPRO-Initiative untersucht nun auf Basis dieser Ergebnisse, welche der großskaligen Prozesse auf diese Weise miniaturisierbar sein können. Unabhängig davon werden die Ergebnisse aller drei Projekte aber auch individuell verwertbar sein. Die Kombination der Projektergebnisse kann allerdings ein wertvolles Gesamtergebnis für die chemische Industrie und damit für die Stärkung des Standorts Deutschlands im internationalen Wettbewerb entstehen lassen.

Der Forschungsverbund EProMiT hat sich der Verbesserung der Aufarbeitungs- und damit der Energieeffizienz chemischer Prozesse gewidmet, indem Grundoperationen der Flüssig-Flüssig-Extraktion, Chromatographie, Destillation und die Kristallisation durch mikrostrukturierte Trenntechnik effizienter gestaltet wurden. Die Wissenschaftler haben hierfür mikrofluidische Trennmodule und -verfahren entwickelt und im Labormaßstab getestet. Diese sollen die kontinuierliche Auftrennung von Gemischen aus biotechnologischen und chemischen Verfahren ermöglichen. Die Module und Verfahren können nun flexibel in bestehende Produktionsverfahren der Lebensmittel- und Pharmabranche integriert werden. Das BMWi hat diese Forschungen mit rund 1,7 Millionen Euro gefördert. Die Koordination wurde von der Technischen Universität Clausthal übernommen.



EnEl-Mi: Zwischenschicht während eines Dichtigkeit-Tests

Wissenschaftler des Verbundprojekts µKontE haben an der Umstellung von Produktionsprozessen mit dem Ziel geforscht, die Herstellung chemischer Produkte in Chargen auf ein kontinuierliches Verfahren durch die Nutzung mini- und mikroverfahrenstechnischer Komponenten umzustellen. Anhand von Beispielprozessen konnten die Projektpartner zeigen, dass der Wechsel auf eine kontinuierliche Produktion zu Energieeinsparungen und damit zu Kostenreduktionen und zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit führen kann. Das BMWi hat die von der Technischen Universität Braunschweig koordinierten Verbundforschungen mit rund 1,8 Millionen Euro Fördermitteln unterstützt.

Im Forschungsprojekt **EnEl-Mi** hat ein durch Invenios Europe koordinierter Verbund zu energieeffizienten elektrochemischen Verfahren der $\mathrm{CO_2}$ -Umwandlung durch Mikroreaktoren geforscht. Die Wissenschaftler haben mikroverfahrenstechnische Reaktoren und Trennkonzepte für die elektrochemische Reduktion von $\mathrm{CO_2}$ aus Produktionsabgasströmen entwickelt. Dank des Ausnutzens mikroskopischer Effekte im Mini-Reaktor soll so klimaschädliches $\mathrm{CO_2}$ als Rohstoff genutzt und der Einsatz fossilen Kohlenstoffs in der chemischen Pro-

duktion reduziert werden. Diese Verfahrenstechnik ist bisher nicht für elektrochemische Prozesse und den stofflichen Umsatz größerer Mengen verfügbar. In dem Projekt ist ein technisches Konzept für den Bau kleinerer Demonstrationsanlagen entstanden, das es zulässt, deren Eignung im Bypass-Betrieb zu überprüfen. Ein an die Ergebnisse anschließendes Nachfolgeprojekt des vom BMWi mit rund 900.000 Euro geförderten Vorhabens ist im Februar 2016 gestartet.

Koordiniert durch die DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie wird über eine Austauschplattform anwendungsübergreifend die Passfähigkeit der Ergebnisse sowie der Wissens- und Ergebnistransfer zwischen den Teilnehmern der ENPRO-Initiative sichergestellt.

Auswahl geförderter Projekte

Energieeffiziente Abluftbehandlung

Durch das Behandeln von Restabfall in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) entsteht Abluft. Diese muss nach der 30. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) erfasst und einer Abluftbehandlung zugeführt werden. Um die Grenzwerte (Staub, Kohlenstoff und Lachgas etc.) einzuhalten, werden derzeit energieintensive Reinigungsanlagen eingesetzt. Diese können bis zu 70 Prozent des gesamten spezifischen Energieverbrauchs einer MBA ausmachen.

Dem hat sich das Projekt Energieeffiziente Abluftbehandlung – EnAB gewidmet, um die Energieeffizienz und den Verfahrenswirkungsgrad von MBAs zu steigern. Wissenschaftler haben gemeinsam mit einem Anlagenbetreiber und einem Industriepartner versucht, den spezifischen Energieverbrauch in einer MBA im Landkreis Aurich deutlich zu senken, und dazu vor Ort Versuchskampagnen im großtechnischen Maßstab durchgeführt. Zusätzlich ist

Die MBA Großefehn diente den Wissenschaftlern für Versuchskampagnen zur Abluftbehandlung

ein modifiziertes Abluftmanagement mit alternativen Reinigungstechnologien im Technikumsmaßstab zum Einsatz gekommen.

Bereits durch partielle Modifikationen konnte in der MBA der spezifische Primärenergieverbrauch in der Verfahrensführung und in der Abluftbehandlung von 99 auf 89 Kilowattstunden pro Tonne behandeltem Abfall gesenkt und somit 600.000 Kilowattstunden pro Jahr eingespart werden. Bei Übertragung auf die gesamte Anlage könnte sich nach ersten Abschätzungen der Primärenergiebedarf von 6 Millionen Kilowattstunden pro Jahr um mehr als 30 Prozent reduzieren. Langfristig wollen die Forscher zudem eine angepasste Verfahrens- und Abluftbehandlungstechnik für MBAs vorantreiben.

Das Projekt hat das Institut für Aufbereitung und Recycling der RWTH Aachen University koordiniert. Zudem waren die Universität Stuttgart, PlasmaAir sowie die MKW – Materialkreislauf- und Kompostwirtschaft als Anlagenbetreiber beteiligt. Das BMWi hat den Verbund mit rund 1,5 Millionen Euro gefördert. Die Forschungen werden in einem Anschlussvorhaben "Energieeffiziente Abluftbehandlung 2 – EnAB 2" weitergeführt.



HIGHLIGHT

Trocken- und minimalmengen-geschmierte tribologische Systeme

Die Lager in Bau- und Erntemaschinen arbeiten wegen der typisch geringen Umdrehungszahl nicht im hydrodynamischen Bereich (Vollschmierung), sondern werden in einem Trocken- oder Mischschmierungsregime betrieben. Dadurch entsteht eine hohe Reibung, die einen erhöhten Verschleiß und Energieverbrauch erzeugt.

Wissenschaftler des Projekts Charakterisierung von effizienzoptimierten Schicht-Schmierungssystemen (CHEOPS3) forschen als Verbund in diesem Feld, koordiniert durch das Unternehmen iwis Motorsysteme. Der Fokus liegt auf der Optimierung tribologischer Systeme in Getrieben, Lagern und Ketten. Unter Tribosystemen versteht man maschinenbaulich miteinander wechselwirkende Oberflächen, die in relativer Bewegung zueinander stehen. Durch Haft-, Gleit- und Rollreibung entstehen dabei Energieverluste. Um diese zu reduzieren, kommen Schmiermittel zum Einsatz, die gerade in langsam laufenden Systemen schwierig aufzutragen sind. Die Forschungsarbeiten zielen darauf ab, dass die Tribosysteme künftig keine oder nur eine minimale oder einmalig initiale Schmierung durch Öle oder Fette benötigen. Dafür will das Projektteam geeignete Schichtsysteme (wie DLC (diamond like carbon)-, Gradienten-, dotierte, metallbasierte und Hybridschichten sowie Gleitlacke) entwickeln, auf Werkstoffmaterialien aufbringen und auf ihr tribologisches Verhalten hin untersuchen. Die später so behandelten Bauteile sollen nahezu wartungsfrei werden. Die Partner erwarten durch die konsequente Reibungsreduktion, den teilweisen Verzicht auf Schmiermittel, die vereinfachte Bauteilegeometrie und

nicht mehr notwendige Dichtung eine verbesserte Energie- und Ressourceneffizienz.

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS übernimmt innerhalb des Vorhabens einen Teil der Entwicklung der Beschichtungstechnologie. Hierzu greifen die Forscher auf die Erfahrung aus den Fördervorhaben PEGASUS I und II zurück (siehe Bericht "Innovation durch Forschung" für das Jahr 2014, Seite 110). Diese hatten sich mit der Supraschmierfähigkeit maschinenbaulicher Teile durch diamantähnliche Kohlenstoffschichten (DLC) und spezielle Schmiermittelkomponenten im Automobilbereich beschäftigt. Als Alternative zu DLC-Schichten entwickelt das Institut für Oberflächentechnik (IOT) der RWTH Aachen University nitridische Hartstoffschichten und optimiert diese für den Einsatz in minimalmengen-geschmierten oder trockenlaufenden tribologischen Systemen der industriellen Projektpartner.

Bei einer Ergebnisverwertung im Maschinenbau erwarten die Wissenschaftler durch Trocken- beziehungsweise Minimalmengenschmierung eine verbesserte Servicefreundlichkeit sowie eine Reduktion des Energieverlusts von bis zu 50 Prozent. Zudem gehen die Partner durch den geringeren Verschleiß von erhöhter Lebensdauer der Bauteile und somit weiteren Energieeffizienzsteigerungen aus. An dem Projekt sind zwölf Partner beteiligt, darunter Forschungszentren und Universitäten sowie Automobil- und Zulieferunternehmen. Das BMWi fördert den Verbund mit rund 7 Millionen Euro.



Formhonwerkzeug aus dem Forschungsprojekt Hybrides Honen

Hybrides Honverfahren zur energieeffizienten Herstellung reibungsreduzierter Kurbeltriebe

Als Feinbearbeitungsverfahren von Zylinderinnenkonturen ist das Honen bei der Produktion von Hubkolbenmaschinen (Motoren oder Verdichter) ein wichtiger Prozessschritt. Diese Art der zerspanenden Endbearbeitung erfolgt bisher durch konventionelle Honprozesse und -werkzeuge mit dem Ziel, Zylinderformen herzustellen. Mit einem Verzugskörper, der so genannten Honbrille, wird die Formhaltigkeit der Bohrungskontur auch bei dem montierten Zylinderkopf sichergestellt. Dies führt zu einem großen Materialund Prozessaufwand und damit zu einem hohen Energieeinsatz bei der Herstellung.

Im Vorhaben **Hybrides Honen** wollen die Verbundpartner daher ein neues Werkzeug mit hochdynamischen piezogesteuerten Schneiden und das entsprechende Fertigungsverfahren entwickeln. Ziel ist, nach der Konturerfassung und der Generierung der prozessbestimmenden Daten eine Erarbeitung anforderungsgerechter 3D-Honkonturen zu ermöglichen. Hierzu betrachten die Wissenschaftler und Ingenieure das Gesamtkonzept aus Maschine, Werkzeug, Prozess und Messtechnik.

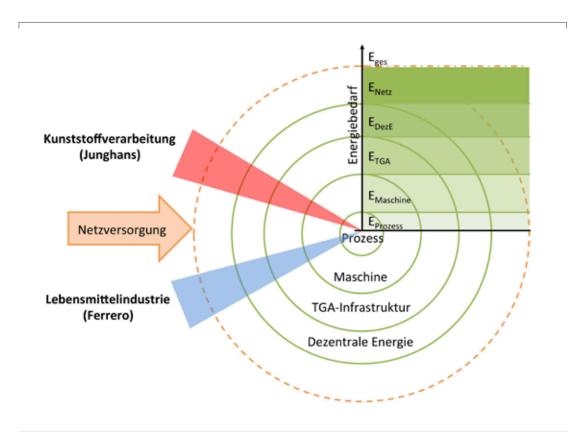
Im Ergebnis sollen durch die neuartige Werkzeugkonstruktion und Honprozessführung die Nachteile des bisher eingesetzten konventionellen Verfahrens überwunden werden. Durch die genauere Fertigung würde in Zukunft ein energieeffizienterer Betrieb von Hubkolbenmaschinen möglich, da diese mit weniger Reibung und Ölverlusten laufen könnten. Insgesamt können also nicht nur Energieeinsparungen innerhalb des industriellen Fertigungsprozesses, sondern auch im späteren Betrieb der gefertigten Kolbenmaschinen erreicht werden. Die Koordination des Verbundvorhabens aus sechs Partnern hat die Nagel Maschinenund Werkzeugfabrik inne. Das BMWi fördert die Arbeiten mit rund 1,8 Millionen Euro.

Energieeffizienz in der Lebensmittelund Kunststoffindustrie durch übergeordnete Steuerung der Energieströme

Intelligentes Energiemanagement hat das Potenzial, signifikante Einsparungen in den Betriebskosten von Industrieunternehmen und zugleich positive Effekte für die Umwelt zu bewirken. Durch eine übergeordnete Steuerung und Regelung der Energieflüsse wollen die Verbundpartner im Forschungsvorhaben **Smart Consumer** den Energiebedarf in der Produktion – an zwei Beispielen der Kunststoffverarbeitung und in der Lebensmittelbranche – deutlich reduzieren. Die Projektkoordination hat die Universität Kassel übernommen. Konkret erarbeiten die Wissenschaftler einen Ansatz, um die Energieeffizienz im Maschinenbestand durch die systemische Kopplung von Energieströmen in der Fertigung, der technischen Gebäudeausrüstung und der

Energieversorgung mit Hilfe intelligenter Mess-, Steuerund Regeltechnik zu erhöhen. In Kombination mit einer simulationsgestützten, übergeordneten Steuerung, die in diesem Projekt entwickelt werden soll, wird die Grundlage für den so genannten Smart (Industrial) Consumer geschaffen.

Im Teilprojekt Smart KWK liegt der Fokus auf der Verbesserung der Energieversorgung von kunststoffverarbeitenden Betrieben. Das zweite Teilprojekt Smart Klima widmet sich der Energieeinsparung in der Lebensmittelproduktion durch zielgerichtete Kühlung und Klimatisierung nur noch dort, wo es erforderlich ist, ohne die Qualitätsanforderungen zu beeinträchtigen. An dem Vorhaben sind insgesamt sechs Partner aus den Branchen Lebensmittel, Kunststoff und Energie beteiligt. Das Projekt wird vom BMWi mit rund 5,3 Millionen Euro gefördert.



Schema zum Verbundprojekt Smart Consumer

HIGHLIGHT

Energieeffiziente Stofftrennung durch organophile Nanofiltration

Bei der Aufarbeitung chemischer und pharmazeutischer Produkte kommen oftmals thermische Trennverfahren zum Einsatz. Diese sind – trotz der Weiterentwicklung der Apparate und intelligenter Technologieverschaltung – nach wie vor sehr energieintensiv. Damit machen diese Verfahren meist den Hauptanteil des Energieverbrauchs der Produktionsprozesse aus.

Wissenschaftler des Forschungsprojekts **ESIMEM** untersuchen Lösungen für eine energieeffiziente Stofftrennung in der chemischen und pharmazeutischen Industrie durch Membranverfahren. Dies wollen die Forscher mit der so genannten organophilen Nanofiltration erreichen. Dabei handelt es sich um ein Verfahren mit druckbeaufschlagten Membranen, die selektiv auf molekularer Ebene sind und so eine Stofftrennung ermöglichen. Der Vorteil dieses Ansatzes ist, dass der Prozess

ohne Phasenänderung und auch bei milden Temperaturen durchgeführt werden kann. Daraus resultiert ein geringerer Energiebedarf im Vergleich zu thermischen Verfahren, und die Stofftrennung kann produktschonender erfolgen.

Membrantrennverfahren bieten ein erhebliches Energieund CO₂-Einsparpotenzial. Geeignete Membranen sind zwar bereits entwickelt, kommen aber praktisch nur in Einzelfällen und bei Spezialanwendungen zum Einsatz, da die für eine Prozessauslegung notwendigen Charakteristiken und Eigenschaften des Trennverhaltens der Membranen noch nicht ausreichend erforscht sind. Wegen dieser fehlenden Grundlagen wird das Potenzial bisher nicht oder nur unvollständig genutzt, um die Prozess- und Produktqualität nicht zu gefährden. Mit ESIMEM wollen die Wissenschaftler nun den Zugang zu



dieser innovativen hocheffizienten Technologie schaffen, indem sie die notwendigen Grundlagen und Werkzeuge systematisch erarbeiten und erproben. Hierzu müssen die Forscher Prüfverfahren definieren und charakteristische Eigenschaften der unterschiedlichen Membrantypen messen, um unter anderem verlässliche Aussagen zu Trennschärfe, Druckverlust, Materialbeständigkeit und den Standzeiten der jeweiligen Membranen für einen Prozess treffen zu können. Zudem sollen systematische Untersuchungen zur Entwicklung von Simulations- und Auslegungswerkzeugen durchgeführt werden.

Die Verbundpartner rechnen durch den Einsatz der organophilen Nanofiltration mit Energieeinsparungen bei Trennprozessen zwischen 20 und 60 Prozent. Somit leistet das Vorhaben einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Energieeffizienz in der Industrie. Die Koordination liegt bei Evonik Resource Efficiency. Das Vorhaben ist als Gemeinschaftsprojekt von Industrie und Hochschulen aus der ProcessNet-Initiative "Wanted Technologies" hervorgegangen. An dem Verbund sind zudem zwei Forschungszentren und drei Universitäten sowie zwei Industrie- und ein Pharmaunternehmen beteiligt. Das BMWi fördert ESIMEM mit rund 1,3 Millionen Euro.

Prozess der energieeffizienten Stofftrennung durch organophile Nanofiltration

Erprobung eines virtuellen Kraftwerks mit Mini- und Mikro-KWK-Systemen

Im Projekt Regionales Virtuelles Kraftwerk entsteht beispielhaft ein regionales Kraftwerk auf Basis eines virtuellen Verbunds von Mini- und Mikro-KWK-Anlagen. Wissenschaftler der Technischen Universität Dresden planen, bauen, betreiben und überwachen die Anlage gemeinsam mit dem Energieversorger EWE aus Oldenburg. Das virtuelle Kraftwerk soll als Handels- und Betriebsführungssoftware implementiert werden. Hierzu testen und entwickeln die Projektpartner steuerungs- und regelungstechnische Konzepte (Hardware und Software) zum intelligenten Betrieb eines solchen KWK-Verbunds. Dabei bauen die Forscher auf die Ergebnisse theoretischer Untersuchungen zu einem virtuellen Kraftwerk aus einem Vorgängervorhaben auf.

Zusätzlich wird das Wärmemanagement in Gebäuden betrachtet. Daraus wollen die Wissenschaftler besondere Freiheitsgrade für eine flexible Betriebsführung durch geeignete Speichersysteme in Kombination mit Prognosewerkzeugen erarbeiten. So soll der Strom- und Wärmemarkt auf regionaler Ebene miteinander verknüpft werden, um primärenergetische Einsparungen zu realisieren.

Projektziel ist die systemverträgliche und zeitgleiche Einbindung verschiedener, regional verfügbarer, erneuerbarer und anderer effizienter Energieerzeuger. Das Vorhaben ist so angelegt, dass es prinzipiell technologieneutral ist, also alle Energie-Erzeugungseinheiten eingebunden werden können. Die Forscher wollen außerdem Synergieeffekte zwischen den Technologien durch einen systemübergreifenden Ansatz (Gebäude, Wärme, Speicher, Strom) ausnutzen. So leistet der Verbund einen wertvollen Beitrag zur Senkung des Energieeinsatzes im kommunalen Bereich und zur Steigerung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit von Mini-/Mikro-KWK-Systemen in Gebäuden und Verteilnetzen.

Das Vorhaben wird von der Technischen Universität Dresden koordiniert. Das BMWi fördert dies innerhalb des Forschungsschwerpunkts EnEff:Wärme mit rund 1,3 Millionen Euro.

Elektromobilität



Die Bundesregierung hat sich bis zum Jahr 2020 das Ziel gesetzt, eine Million E-Fahrzeuge auf Deutschlands Straßen zu bringen. Deutschland soll zum Leitmarkt und Leitanbieter werden, wenn es um elektrisch betriebene Fahrzeuge geht. Die Elektromobilität ist Teil der Energiewende im Verkehr und ein wichtiger Baustein für eine klimafreundliche, energieeffiziente mobile Zukunft. E-Autos sind leise, sparsam und lokal abgasfrei.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Das Angebot an E-Fahrzeugen reicht für Kunden bereits heute vom Klein- bis zum Sportwagen: Bis Ende 2015 sind 29 Serienmodelle deutscher Hersteller auf dem Markt gewesen und es sollen noch weitere folgen. Eine solche Produktfülle kann bisher keine andere Nation vorweisen. sodass in Deutschland durch die kontinuierlich wachsende Modellvielfalt in den kommenden Jahren ein kräftiger Anstieg der Verkaufszahlen zu verzeichnen sein wird. Im Vergleich zu anderen wichtigen Automobilnationen wie den USA, China, Japan und Frankreich hat sich Deutschland in diesem Wettstreit eine gute Ausgangsposition erarbeitet. Aktuell sind hierzulande 45.000 E-Autos zugelassen: Dabei lag der Anteil bei den Neuzulassungen 2015 bei 0,3 Prozent. Zum Vergleich: In Norwegen sind es 25 Prozent. Um die Akzeptanz und das Image von E-Autos in Deutschland zu stärken, ist im Juni 2015 das Elektromobilitätsgesetz

in Kraft getreten. Damit können elektrisch betriebenen Fahrzeugen besondere Rechte im Straßenverkehr gewährt werden, wie besondere Parkplätze an Ladestationen, kostenlose Parkplätze oder die Möglichkeit, auf Busspuren zu fahren.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Um international im Bereich Elektromobilität weiterhin konkurrenzfähig zu bleiben, müssen die Kosten von E-Autos reduziert und ihre Leistungsfähigkeit gesteigert werden. Das sind die wesentlichsten Herausforderungen, an denen sowohl die Industrie als auch das wissenschaftliche Umfeld mit höchster Motivation arbeiten: "Doppelte Reichweite, halber Preis" lautet die Devise. Die Forscher sind überzeugt, dass die Batterietechnologien bis 2020 erheblich besser werden, sodass sich mit E-Autos schon

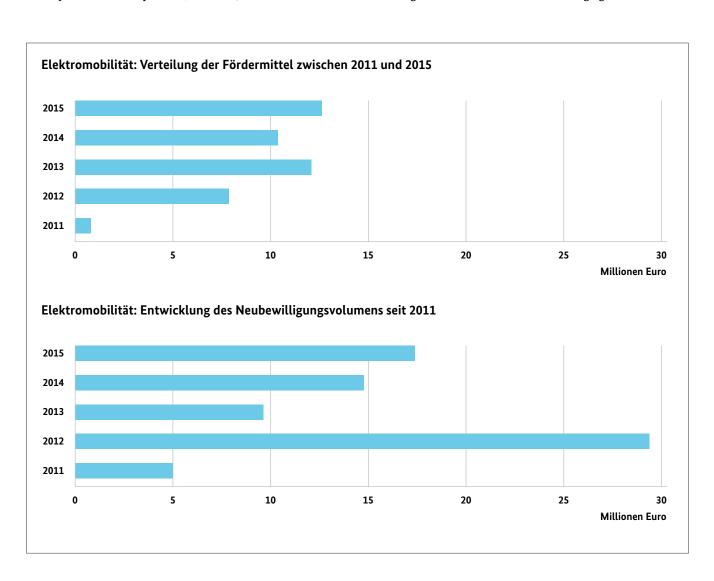
bald mehr als eine Fahrt zur Arbeit zurücklegen lässt, ohne gleich wieder an die nächste Ladesäule denken zu müssen. Exemplarisch ist für den Bereich Hochenergie-Lithium-Batterien das gerade abgeschlossene Verbundprojekt Alpha-Laion zu nennen, das seit seinem Beginn im Jahr 2012 vom BMWi mit insgesamt rund 12,9 Millionen Euro gefördert wurde. Wirtschaft und Wissenschaft knüpfen hier weiter an und forschen derzeit im Vorhaben LiMo an den Produktionsverfahren einer nächsten Batteriegeneration. Weiterer Leuchtturm in Forschung und Entwicklung ist das Projekt NEXHOS (siehe auch "Hochvoltspeicher-Baukasten der nächsten Generation in Leichtbauweise", Seite 116): Hier wird erforscht, wie ein Hochvoltspeicher-Baukasten in Leichtbauweise aufgebaut sein muss, um alle Anforderungen im PKW zu erfüllen. Im Konsortium DriveBattery2015 (siehe auch "Intelligente Steuerungs- und Verschaltungskonzepte für Batteriesysteme", Seite 117) wollen die Forscher

neben Reichweite, Leistungsdichte, Zuverlässigkeit und Lebensdauer auch die Sicherheit der Systeme verbessern.

Die Projektförderung durch die Energieforschung des BMWi belief sich im Bereich Elektromobilität 2015 auf rund 12,6 Millionen Euro (2014: 10,4 Millionen Euro) für insgesamt 57 Projekte. 25 Projekte mit einer Förderung von insgesamt rund 17,4 Millionen Euro über die gesamte Projektlaufzeit (2014: rund 14,9 Millionen Euro) wurden 2015 neu angestoßen.

Strategie der Forschungsförderung

In Deutschland haben alle beteiligten Akteure in den vergangenen Jahren eine solide Basis für eine gute Entwicklung elektrisch betriebener Fahrzeuge geschaffen.



Um der Elektromobilität zum Durchbruch zu verhelfen, benötigen die neuen Fahrzeuge eine Vielzahl an technologisch innovativen Komponenten und Systemen. Die Energieforschung des BMWi legt aus ihrer Zuständigkeit heraus den Schwerpunkt ihrer Förderung auf die Traktionsbatterie und ist dazu auch in den entsprechenden Gremien der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) vertreten. Damit verbundene Themen sind die Entwicklung von Technologien zur Ladeinfrastruktur und deren Einbindung ins Stromnetz. Für den erfolgreichen Start ins E-Mobile-Zeitalter ist dabei auch interessant, wie die Akkus von Elektrofahrzeugen nicht nur Strom zum Fahren aus dem Stromnetz zapfen, sondern immer dann wieder an das Netz zurückgeben, wenn sie zum Beispiel zu Hause parken und im Stromnetz zu wenig erneuerbarer Strom zur Verfügung steht (Stichwort: Smart Home). Da hierfür auch Pufferspeicher gebraucht werden, entstehen weitere Synergien zwischen der Entwicklung von mobil und stationär einzusetzenden Speichern.

Es reicht künftig nicht aus, eine technisch überlegene Zelle zu haben, sie muss auch wirtschaftlich bestehen können. Gerade die Kosten des Energiespeichers sind die wichtigsten marktbestimmenden Kennzahlen, um die Elektromobilität auf Dauer zukunftsfähig zu machen.

Elektroauto an einer Ladestation



Auswahl geförderter Projekte

Hochvoltspeicher-Baukasten der nächsten Generation in Leichtbauweise

Die wesentlichen Herausforderungen für den Markterfolg von Hochvoltspeichersystemen für Elektrofahrzeuge sind Energiedichte und Kosten. Im Projekt Next Generation Hochvoltspeicher in Leichtbauweise – **NEXHOS** – erforscht ein Verbund, koordiniert durch BMW, ein neuartiges Konzept für Lithium-Ionen-Hochvolt-Speichersysteme in Leichtbauweise.



Der Fokus liegt auf der Entwicklung innovativer Leichtbau-Werkstoffe, den zugehörigen Fertigungstechnologien sowie einer funktionsorientierten Auslegung des Speichersystems, um eine optimale Funktionalität der Komponenten zu gewährleisten. Der weitere Schwerpunkt liegt auf der systematischen Funktionsoptimierung des Gesamtsystems. Ziel ist ein neuartiges Speicherkonzept mit Kunststoffgehäusekomponenten, die Strukturaufgaben übernehmen und als Technologieträger für einen Prozess- und Komponentenbaukasten für zukünftige Plug-in- und BEV-Fahrzeuge herangezogen werden können. Weiter ist die Erhöhung der Automatisierungstiefe in der Hochvoltspeichermontage ein Kernthema, da hier ein wesentlicher Kostenhebel in Bezug auf aktuell manuell durchgeführte Prozessschritte liegt.

Die Verbundpartner decken mit ihren Forschungsarbeiten nahezu die gesamte Wertschöpfungskette ab, um so ein optimales Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erreichen, ohne den Bezug zu aktuellen Entwicklungsansätzen zu verlieren. Die Wissenschaftler wollen eine deutliche Gewichts- und Funktionsoptimierung mehrerer Speicher-Komponenten

mit dem Ziel darstellen, durch den Einsatz innovativer Technologien die Fertigungskostenpotenziale zu ermitteln und das Kostenreduzierungspotenzial für die Kernkomponenten von Elektrofahrzeugen aufzuzeigen. An dem Industrieverbund sind sieben Unternehmen aus der Automobil- sowie der Chemie- und Elektrotechnikbranche, eine Universität und ein Forschungszentrum beteiligt. Das BMWi hat das Projekt mit rund 9 Millionen Euro gefördert.

Intelligente Steuerungs- und Verschaltungskonzepte für Batteriesysteme

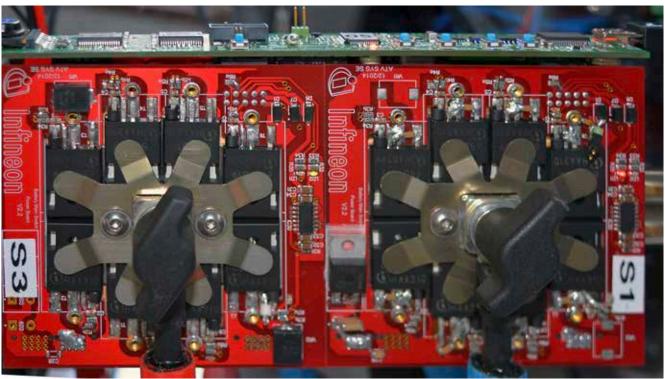
Die Batterie ist die entscheidende Komponente für die Elektrifizierung des Antriebs von Fahrzeugen. Ein Konsortium um das Forschungsvorhaben **DriveBattery2015** hat sich zum Ziel gesetzt, mit der Entwicklung intelligenter Steuerungs- und Verschaltungskonzepte für vielzellige und modulare Batteriesysteme einen weiteren wichtigen Entwicklungsschritt umzusetzen. Das Ziel der Wissenschaftler ist es, auf diese Weise die Sicherheit, Reichweite, Leistungsdichte, Zuverlässigkeit und Lebensdauer sowie nicht zuletzt die Kostenstruktur der Systeme weiter zu verbessern. Koordinator des Verbunds ist Infineon Technologies. Insgesamt

Die erste Konzeptversion eines Batteriehauptschalters aus dem Projekt DriveBattery2015

sind drei Universitäten und neun Industriepartner in dem Projekt engagiert. Das Vorhaben gliedert sich in zwei Phasen. Der erste Abschnitt ist bereits abgeschlossen.

Ein konkretes Beispiel der Ergebnisse von Phase 1 ist die Konzeptversion eines Batteriehauptschalters auf Halbleiterbasis (siehe Abbildung). Im Vergleich zu den üblichen mechanischen Schaltern kann dieser um einen Faktor > 1.000 schneller abschalten und damit das Batteriesystem vor Schädigung im Kurzschlussfall schützen. Weitere Ergebnisse der Phase 1 umfassen die Untersuchung von Verschaltungsoptionen, Balancing-Strategien, erweiterte BMS Online-Analysemethoden, Konzepte für verbesserte Crashsicherheit und den Aufbau eines Batterieprüfstandes.

DriveBattery2015 setzt auf die Integration führender Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette – von der Komponentenherstellung über Systemlieferanten bis hin zu Automobilherstellern, um so grundlegende und praxisrelevante System- und Komponenteninnovationen zu ermöglichen. Durch diese Struktur soll zudem sichergestellt werden, dass die Ergebnisse in die Entwicklung standardisierbarer und marktfähiger Produkte einfließen. Die zweite Projektphase wird durch das BMWi mit rund 5,5 Millionen Euro gefördert.



Systemanalyse



Die Strom- und Wärmeversorgung in Deutschland angesichts sich verändernder Rahmenbedingungen sicher, kosten- und ressourceneffizient zu gestalten, ist die große Herausforderung der Energiewende. Dies erfordert umfangreiches Detailwissen, um die komplexen Strukturen und Wechselwirkungen des Energiesystems nachvollziehen zu können und Rückschlüsse für künftige Entwicklungen abzuleiten. Die Systemanalyse ermöglicht diese Einblicke mit ihren Modellen und Simulationen und zeigt so methodisch fundiert potenzielle Entwicklungspfade auf.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Energiesysteme – ob in Deutschland oder weltweit – zeichnen sich durch einen hohen Grad an Heterogenität und Komplexität aus. Viele Parameter treten miteinander auf unterschiedlichste Weise in Wechselwirkung und müssen vor dem Hintergrund der Energiewende auf intelligente Weise neu miteinander verknüpft werden. Sowohl auf Erzeuger- als auch auf Verbraucherseite nehmen eine stetig wachsende Zahl Marktteilnehmer Einfluss auf das Gesamtgefüge und erhöhen damit auch die Menge der Stellschrauben im System. Eine Herausforderung, die mit der Umgestaltung der Versorgungssysteme weiter zunimmt. So wächst nicht nur die Zahl an Marktteilnehmern und Akteuren, sondern auch die Menge und Art an dezentralen Stromerzeugern und Energieumwandlern, wie Photovoltaik-, Windkraft- oder Biogasanlagen, im System kontinu-

ierlich. Zudem müssen die dezentralen erneuerbaren Energietechnologien auf eine Weise in das sich wandelnde System integriert werden, die bezahlbare Energiekosten für private und gewerbliche Verbraucher ermöglicht, Versorgungsicherheit gewährleistet und die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen auf dem Weltmarkt erhält.

Mit der Energiewende verschwimmt die Grenze zwischen Erzeuger- und Konsumentenebene zusehends. So nimmt beispielsweise ein Eigenheimbesitzer mit einer Photovoltaikanlage auf dem Dach seines Hauses beide Rollen gleichzeitig ein, da er einerseits Strom erzeugt und andererseits in Zeiten niedriger Sonneneinstrahlung Strom aus dem Netz abruft. Hinzu kommt, dass Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung sowie zur (dezentralen) Speicherung von Strom und Wärme dazu führen, dass sich auch der Strom- und Wärmemarkt zunehmend verzahnen (Sektorkopplung).

Aus dieser Auflösung der klassischen Rollenverteilung heraus entsteht die Aufgabe, das Energiesystem in Balance zu halten, um eine flächendeckende Versorgungssicherheit auch in Zukunft zu garantieren.

Hier setzt die Systemanalyse als Forschungsdisziplin an: Mit wissenschaftlich fundierten Modellen, Simulationen und Vorhersagen leistet sie einen Beitrag, um Entwicklungen einzuschätzen und den Einfluss und die Wechselwirklungen zwischen neuen Technologien und Anwendungen transparent und nachvollziehbar zu machen. Auf diese Weise lassen sich belastbare Aussagen zur Wirkung kurz-, mittel- und auch langfristiger Maßnahmen im Energiesystem treffen. Dies ermöglicht einerseits eine transparentere Betrachtung des immer komplexer werdenden Energiesystems und erleichtert andererseits die Zukunftsplanung für die Energiewirtschaft. Mit dem steigenden Anteil volatiler, dezentraler Energieanlagen im Gesamtsystem erhöhen sich allerdings auch die Anforderungen an die Werkzeuge der Systemanalyse.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Genau wie moderne technologische Ansätze entwickelt sich auch die Systemanalyse als Forschungsdisziplin stetig weiter und wird um neue mathematische, ökonomische und informationstechnische Methoden ergänzt. Zudem wird das Feld im Zuge der zunehmenden Systemkomplexität von einer großen Heterogenität der eingesetzten Daten, Datenquellen, Simulationswerkzeuge und Modelle geprägt. Somit liegt eine große Herausforderung aktuell darin, zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Analysen Transparenz herzustellen und das wissenschaftliche Qualitätsmanagement zu verbessern. Oftmals ist es nur schwer möglich, Modelle und Analysen sinnvoll miteinander zu vergleichen, auch wenn sie sich oberflächlich betrachtet mit ähnlich gelagerten Fragestellungen auseinandersetzen. Doch die Vergleichbarkeit ist schlussendlich eine wichtige Voraussetzung für die Glaubwürdigkeit systemanalytischer Arbeiten und unterstützt damit die zügige Markteinführung neuer Technologien und innovativer Verfahren, da sie ihre Wirkung auf das Energiesystem einzuschätzen hilft.

Mit der Vergleichbarkeit von modellbasierten Szenarioanalysen setzt sich unter anderem das Forschungsprojekt **RegMex** (siehe auch "Modellexperimente und -vergleiche zur Simulation von Wegen zur regenerativen Energieversorgung", Seite 125) auseinander. Die daran beteiligten Wissenschaftler wollen mit dem neu gestarteten Projekt die Qualitätssicherung der Energiesystemmodellierung in Deutschland verbessern.

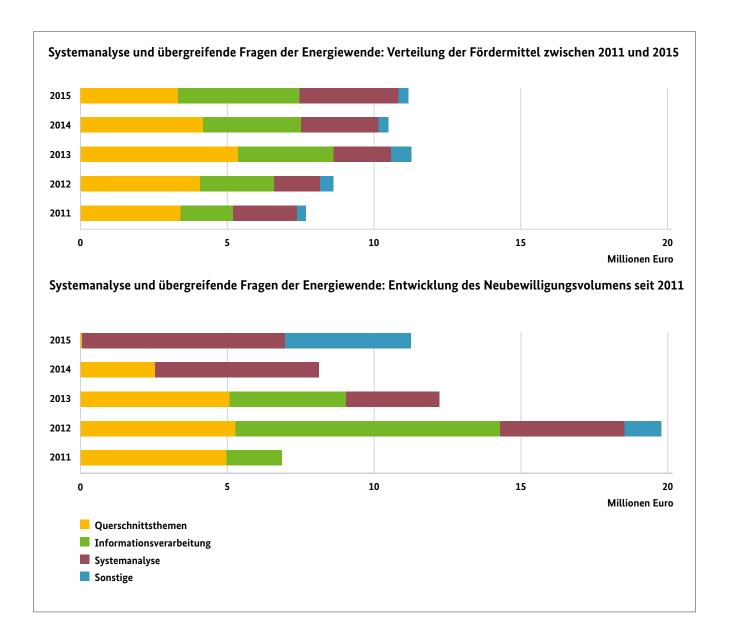
Einheitliche Referenzdatensätze, eine gemeinschaftlich genutzte und gepflegte Datenbasis, das gemeinsame Definieren von Standards und Benchmarks sowie das Schaffen von technischen Schnittstellen zwischen den Softwareprogrammen und Methoden sind wichtige Voraussetzungen für Transparenz, Vergleichbarkeit und ein wissenschaftliches Qualitätsmanagement. Daher fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Forschungsprojekte, die sich mit diesen Aspekten auseinandersetzen. Mit dem Projekt open_eGo ist 2015 ein wichtiges Vorhaben gestartet, das sich dieser Thematik widmet (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 124). Dabei soll ein transparentes, Netzebenen-übergreifendes Planungsinstrument entstehen und in eine öffentlich zugängliche Online-Forschungsplattform integriert werden.

Strategie der Forschungsförderung

Im Dezember 2014 hat das BMWi einen Konsultationsprozess begonnen, um neue Forschungsschwerpunkte innerhalb der Systemanalyse zu identifizieren und zu beraten, aber auch mit dem Anliegen, die Vergleichbarkeit und Transparenz von Modellergebnissen zu fördern. Auf dieser Grundlage ist im März 2015 das Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse entstanden (siehe auch "Im Fokus", Seite 121). Mit dem Initiieren dieser Akteursplattform unterstützt das BMWi maßgeblich die Zusammenarbeit und den Dialog zwischen den Wissenschaftlern untereinander, aber auch den Austausch zwischen Politik, Forschung und Praxis.

Parallel zum Start des Netzwerks hat das BMWi einen Förderaufruf zur Systemanalyse veröffentlicht. Dieser ergänzt die Förderbekanntmachung des Ministeriums zur angewandten Energieforschung vom Dezember 2014.

22 Forschungsverbünde haben Anträge auf eine Förderung durch das BMWi eingereicht. Im vergangenen Jahr ist mit BEAM-ME bereits das erste Verbundvorhaben aus dem Aufruf gestartet. Die beteiligten Wissenschaftler entwickeln Beschleunigungsstrategien der anwendungsorientierten Mathematik und Informatik für optimierende Energiesystemmodelle, um damit der zunehmenden Komplexität systemanalytischer Modelle und Methoden zu begegnen.



Weiterhin stehen methodische und analytische Arbeiten zur künftigen Ausgestaltung des Energiesystems im Mittelpunkt der Projektförderung im Förderschwerpunkt "En:SYS Systemanalyse für die Energieforschung". Die Forschungsförderung in diesem Bereich deckt sowohl ingenieurwissenschaftliche und ökonomische als auch sozialwissenschaftliche, mathematische und informationstechnische Projekte ab. Das BMWi unterstützt fachlichthematische Analysen, unter anderem zu Energiespeichern, Stromnetzen oder Elektromobilität sowie zu Technikbewertung, Technikakzeptanz und Hemmnisanalysen.

Eine klare Priorität kommt jedoch der methodischen Weiter- und Neuentwicklung von Energiemodellen zu. Hierzu zählen mathematische und informationstechnische Verfahren, Energieträgerkopplung oder Unsicherheiten. Einen hohen Stellenwert haben zudem auch Vorhaben, die sich mit der Datenbasis oder Kohärenz der Modelle beschäftigen, sowie Projekte, die quantitative Modelle erarbeiten,

die mögliche Entwicklungen des Energiesystems simulieren und die verschiedenen Energietechnologien gesamtwirtschaftlich bewerten.

Im Jahr 2015 hat das BMWi im Bereich der Systemanalyse 99 laufende Vorhaben gefördert und 27 Forschungsprojekte neu bewilligt. Für die laufenden Projekte hat das Ministerium rund 11,2 Millionen Euro Fördermittel (2014: rund 10,5 Millionen Euro) aufgewendet. Die Neubewilligungen haben einen Gesamtfördermittelansatz von rund 11,2 Millionen Euro (2014: rund 8,2 Millionen Euro). Dabei macht sich der Mittelaufwuchs für die Projektförderung in der Energieforschung im Forschungsfeld der Systemanalyse besonders bemerkbar.

Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse

Im Frühjahr 2015 hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie ein langfristig angelegtes Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse ins Leben gerufen, das die Forschungsaktivitäten in diesem Bereich bündeln und koordinieren soll. Das Netzwerk soll die heterogene Akteurslandschaft dieses Forschungsfeldes unter einem Dach zusammenführen und den Dialog zwischen Politik, Forschung und Praxis intensivieren. Zudem sollen in diesem Akteurskreis künftige Förderstrategien beraten werden. Im Dezember 2015 fand die Auftaktsitzung mit rund 120 Teilnehmern statt.

Das Forschungsnetzwerk und dessen Arbeitsgruppen sind eingebettet in den Kontext der "Energiewende Plattform Forschung und Innovation" des BMWi. Mit der Koordination der Netzwerkaktivitäten und dem Mitgliedermanagement hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie den Projektträger Jülich beauftragt. Wichtiges Ziel des Netzwerks ist, die Transparenz und Vergleichbarkeit der Modellierungswerkzeuge zu verbessern und die Sicherung einer wissenschaftlichen Qualitätskontrolle zu unterstützen. Denn gerade das weite Feld der Energiesystemanalyse ist von einer Vielzahl unterschiedlichster Analyseinstrumente und Lösungswege geprägt.

Seit dem Start im Frühjahr 2015 haben sich rund 160 Mitglieder für das Forschungsnetzwerk registriert. Sie bilden ein breites Spektrum von universitären Einrichtungen, Hochschulen, Forschungszentren und -institutionen sowie Unternehmen ab. Die Arbeitsschwerpunkte der Mitglieder umfassen unter anderem die Themen Energiemärkte und regulatorische Rahmenbedingungen, sektorübergreifende Modellierung, grenz-übergreifende und internationale Wechselwirkungen sowie soziologische und sozioökonomische Modellierung. Methodische Schwerpunkte, welche im Netzwerk untersucht werden sollen, sind zum Beispiel Vergleichbarkeit und Transparenz, Komplexitätsreduktion (durch Mathematik und Informatik), Nutzung von (Super-) Computing sowie Stabilität, Robustheit und Sensitivitätsuntersuchungen.

Der Start des Forschungsnetzwerks im März 2015 wurde durch einen Förderaufruf des BMWi zu Themen der Energiesystemanalyse begleitet. Innerhalb der zweimonatigen Frist wurden 60 Skizzen für potenzielle Forschungsvorhaben eingereicht und anschließend durch den Projektträger Jülich bewertet. Daraus sind insgesamt 22 Forschungsprojekte hervorgegangen, mehr als ein Drittel der Vorhaben sind bereits gestartet.

Am 7. Dezember 2015 fand die Auftaktkonferenz des Netzwerks im Konferenzzentrum des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie in Berlin statt. Rund 120 Teilnehmer diskutierten in einem offenen Forum an verschiedensten Themenständen über die weitere Ausgestaltung und Struktur des Forschungsnetzwerks. Zudem hat die Veranstaltung einen intensiven Austausch zu grundsätzlichen Fragestellungen innerhalb des Förderschwerpunkts angeregt.

Dr.-Ing. Rodoula Tryfonidou, Referentin des BMWi bei der Auftaktkonferenz des Forschungsnetzwerks am 7. Dezember 2015 in der Aula des BMWi in Berlin



Auswahl geförderter Projekte

Reboundeffekte bei der Sanierung von Bestandsgebäuden

Als Folge einer energetischen Sanierung geht man bei Bestandsgebäuden von einer nicht unerheblichen Energiekosteneinsparung aus. Diese fällt jedoch in der Realität oftmals deutlich geringer aus als prognostiziert. Die Gründe für diese Diskrepanz können vielfältig sein. So kann mit der Umsetzung von Effizienzmaßnahmen ein verändertes Nutzerverhalten einhergehen. Einerseits steigt der Wohnkomfort, andererseits sinkt der Energiekonsum nicht in der erwarteten Höhe.

Dieses Phänomen haben Wissenschaftler des Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate des E.ON Energy Research Centers der RWTH Aachen University untersucht. Die Forscher haben die Energieperformance von Bestandsgebäuden vor und nach einer Sanierung in einem Feldversuch analysiert. Im Mittelpunkt der Forschung steht die ganzheitliche Sanierung dreier Gebäude aus den 50er Jahren mit sieben unterschiedlichen Sanierungskonzepten. Die Konzepte unterscheiden sich in der

Ausführung der Dämmung der Gebäudehülle und den technischen Anlagen. Im Zuge der Sanierung wurde zudem ein hochauflösendes Monitoring installiert. Die Wissenschaftler fanden heraus, dass den geringer ausgefallenen Energieeinsparungen sowohl technische Gründe, wie Installations- und Systemfehler, als auch soziale Faktoren, wie das Nutzerverhalten, zu Grunde liegen. Hierzu sollen nun Koeffizienten und Nutzertypologien entstehen, die bei zukünftigen Berechnungen von Einsparpotenzialen berücksichtigt werden können.

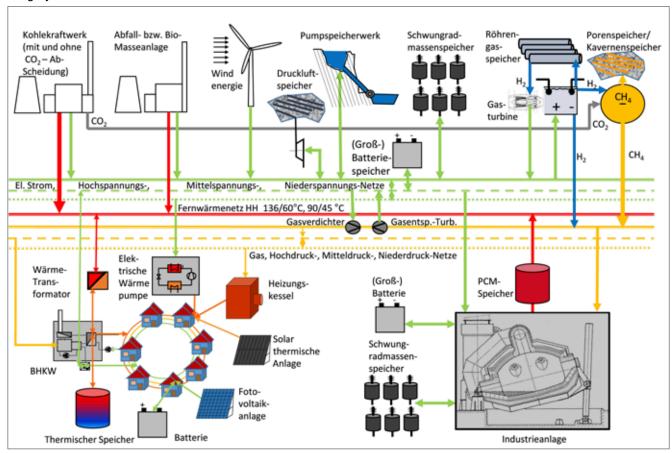
Parallel dazu analysierte das Institute for Future Consumer Needs and Behavior (FCN) der RWTH Aachen University das Energieverbrauchsverhalten der Bewohner von energieeffizienten Gebäuden. Dabei sind die Wissenschaftler zu der Erkenntnis gelangt, dass ein verbesserter Informationsfluss zwischen Planern und Nutzern im Vorfeld und die Einbeziehung aller Interessengruppen in den Gesamtprozess der Sanierung und die Entwicklung der Systeme wichtige Voraussetzungen sind, um die Energieeffizienzmaßnahmen erfolgreich in die Praxis zu implementieren.

Das BMWi hat das Vorhaben "Auswirkungen des Reboundeffekts bei der Sanierung von Bestandsgebäuden" mit rund 640.000 Euro gefördert. Die Analyse des Energieverbrauchsverhaltens unterstützte das Bundesministerium mit rund 450.000 Euro Zuwendungen.

Westfassade vor und nach der Sanierung



Energiesystemmodell



Transientes Verhalten gekoppelter Energienetze mit hohem Anteil erneuerbarer Energien

Durch ein effizientes Einbinden erneuerbarer Energien in die Energieversorgung können die CO₂-Emissionen gesenkt und die Importabhängigkeit von fossilen Energieträgern reduziert werden. Hierfür sind technische Lösungen für ein erfolgreiches Energiemanagement erforderlich. Wissenschaftler der Technischen Universität Hamburg-Harburg entwickeln dazu im Forschungsprojekt **Transi-Ent.EE** Modelle auf Basis der Programmiersprache Modelica, um innovative und verlässliche Möglichkeiten für eine effiziente Integration erneuerbarer Energiequellen in eine existierende Energieversorgungsstruktur zu identifizieren und so die energetische Autarkie des Energiesystems zu maximieren.

Der Fokus des Vorhabens liegt auf dem Erstellen eines Gesamtmodells für die Stadt Hamburg, das verschiedene Szenarien in ihrem zeitlichen Verlauf abbilden kann und somit eine Basis für die Optimierung der Energieversorgung der Hansestadt liefert. Dafür werden – ausgehend von dem Istzustand – verschiedene Energieversorgungsszenarien, die sich hinsichtlich der Art der Strom- und Wärmebereitstellung (zentral oder dezentral) und des Anteils erneuerbarer Energien unterscheiden, modelliert und miteinander verglichen. Als Bewertungsgröße dienen die jährlichen CO₂-Emissionen der Stadt. Dabei berücksichtigt das Projektteam auch Randbedingungen wie Versorgungssicherheit, ökonomische Plausibilität und Verfügbarkeit einer Technik.

Die im Projekt entwickelten Modelle können nicht nur für die Hansestadt genutzt werden, sondern sollen künftig auch als Energiesystembibliothek in andere Gesamt- oder Teilmodelle von Versorgungssystemen einfließen.

Das BMWi unterstützt die Forschungen mit rund 900.000 Euro Zuwendungen.

HIGHLIGHT

Planungsinstrument zur Bestimmung des optimalen Netz- und Speicherausbaus in Deutschland

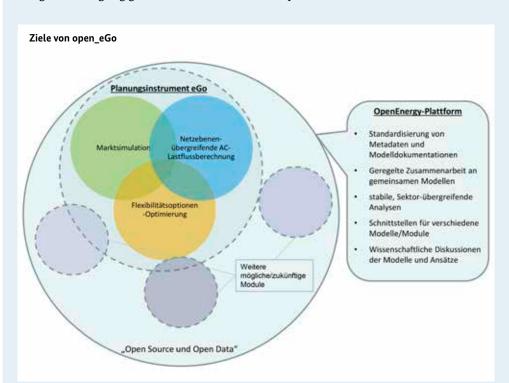
Mit über 800 verschiedenen Betreibern treffen in Bezug auf den Netzausbau in Deutschland vielfältigste Lösungsansätze und Modelle aufeinander. Auch der Bereich der Energiesystemanalyse und -modellierung ist gegenwärtig von proprietärer Modellentwicklung geprägt. In Bezug auf die Forschung zur Netzausbauplanung führt dies zu einem Mangel an Transparenz und Partizipationsmöglichkeiten für die beteiligten Akteure, denn bisher gibt es hierfür noch kein geeignetes Planungsinstrument, das eine volkswirtschaftlich optimale Nutzung von Flexibilitätsoptionen auf verschiedenen Ebenen berücksichtigen kann und zudem die Einbindung aller Anspruchsgruppen ermöglicht.

Wissenschaftler des von der Fachhochschule Flensburg koordinierten Vorhabens **open_eGo** wollen daher ein transparentes, Netzebenen-übergreifendes Planungsinstrument entwickeln, um so den optimalen Netz- und Speicherausbau in Deutschland bestimmen zu können. Das Werkzeug eGo soll anschließend in eine öffentlich zugängliche, virtuelle Forschungsplattform OpenEnergy-Plattform integriert werden. Diese wird ebenfalls innerhalb des Verbundprojekts entstehen. Damit soll den verschiedenen Akteuren der Energiewende aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik ein Baustein zur Mitwirkung zur Verfügung gestellt werden und die Transparenz

erhöht werden. Dazu soll auch die Offenlegung der verwendeten Datengrundlage für Berechnungen beitragen.

Die Verbundpartner wollen volkswirtschaftlich günstige Netzausbau-Szenarien modellieren unter Berücksichtigung alternativer Flexibilitätsoptionen, wie beispielsweise dem Einsatz von Speichern oder Redispatch-Maßnahmen. Hierzu wollen die Wissenschaftler unter anderem das Übertragungs- und Verteilnetz möglichst realitätsnah abbilden und für diese Ebenen die zukünftigen Konfigurationen von Netzausbau und Speichern ortsscharf bestimmen. Zudem wollen die Forscher ökonomische und netzbetriebliche Optimierung auf innovative Weise miteinander verknüpfen.

Das Projekt greift aktuelle Probleme der Netzausbauplanung auf, die im Zusammenhang mit der Energiewende stehen, und verknüpft diese mit einer effizienten Bündelung und Nutzung von Ressourcen im Bereich der makroökonomischen Energiesystemmodellierung. Das Vorhaben trägt dazu bei, im Bereich der Netzplanung weitere technische und wirtschaftliche Fortschritte in Bezug auf die Einspeisung eines hohen Anteils erneuerbarer Energien in bestehende Versorgungsinfrastrukturen zu erzielen.



An dem Verbund arbeiten neben der Fachhochschule Flensburg das Reiner Lemoine Institut, die Europa-Universität Flensburg, das EWE-Forschungszentrum für Energietechnologie und die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg mit. Das BMWi fördert die fünf Verbundpartner mit rund 1,8 Millionen Euro.



Elektroautos können künftig als Zwischenspeicher dienen

Modellexperimente und -vergleiche zur Simulation von Wegen zur regenerativen Energieversorgung

Im Zuge der Energiewende ist eine Vielzahl modellbasierter Szenarioanalysen zum Energiesystem entstanden. Diese erzielen teilweise sehr unterschiedliche Ergebnisse und sind somit schwer vergleichbar. Dies hemmt die systematische Weiterentwicklung des Zukunftswissens zur Energiewende und erschwert die gegenseitige Qualitätssicherung, sodass widersprüchliche Aussagen zur langfristigen Relevanz von Technologien und infrastrukturellen Leitlinien entstehen können. Das Projekt **RegMex** soll daher zur konzeptionellen Weiterentwicklung der Energiesystemmodellierung in Deutschland beitragen. Ziel ist die vergleichende Modellierung von Szenarien einer vollständig auf regenerativen Energien beruhenden Energieversorgung.

Neben dem fachlichen Wissenszuwachs zu möglichen Entwicklungspfaden des Energiesystems wollen die Forscher Methoden zur Qualitätssicherung und Vergleichbarkeit quantitativer Energiesystemszenarien vorantreiben. Hierzu sollen einheitliche Kategorien und Templates für die Modellierung entstehen, um aussagekräftige und vergleichbare Ergebnisse zu erzeugen. So wollen die Wissenschaftler Unterschiede bei den getroffenen Aussagen zum Flexibilitätsbedarf im zukünftigen Energiesystem besser verstehen und bewerten können. Darüber hinaus wollen die Forscher abgestimmte Energiewende-Szenarien mit Blick auf ausgewählte sektorenübergreifende Zusammenhänge sowie potenzielle (inter-) sektorale "Lockin"-Effekte mit unterschiedlichen Modellsettings analysieren, um daraus robuste Erkenntnisse und kritische Aspekte der Szenarioanalysen abzuleiten. Das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie koordiniert das Vorhaben. Weitere Partner sind das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und das Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Das BMWi fördert RegMex mit rund 420.000 Euro.

Netzintegration von Elektroautos als mobile Speicher

Batterien von Elektroautos können überschüssige Energie aus dem Stromnetz zwischenspeichern und bei hoher Nachfrage rückspeisen. Zu diesem Vehicle-to-Grid (V2G)-Ansatz hat das Institut für Energie- und Klimaforschung -Systemforschung und Technologische Entwicklung des Forschungszentrums Jülich im Projekt NET-INES verschiedene Be- und Entladestrategien und Vermarktungsoptionen untersucht. Die Wissenschaftler haben die technischen und ökonomischen Voraussetzungen für die Netzintegration mobiler elektrischer Energiespeicher aus Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen betrachtet und ihre Verwendung für Netzdienstleistungen evaluiert. Neben den Anforderungen an Batterie und Stromnetz wurde die Bereitschaft von Fahrzeughaltern untersucht, ihr Elektroauto für V2G zur Verfügung zu stellen oder beim Kauf einen V2G-Vertrag mit abzuschließen.

Ein Schwerpunkt war die Befragung von 611 Fahrzeughaltern, um die Motivation für eine Teilnahme an einem V2G-Verfahren zu bestimmen. Die Auswertung hat ergeben, dass die generelle Bereitschaft steigt, je geringer die Befürchtung ist, dass die Batterie beim Losfahren nicht ausreichend geladen ist. Des Weiteren ist das Interesse an V2G umso höher, je weniger die Halter fürchten, dass dies ihre Freiheit und Unabhängigkeit einschränkt. Weiterhin haben die Forscher untersucht, welche zusätzliche Alterung für die Fahrzeugbatterie zu erwarten ist und welchen Beitrag diese Speicherform für die Netzstabilität und die Integration fluktuierender Energien leisten kann. Darauf aufbauend ist ein potenzielles Geschäftsmodell entstanden, das die Bündelung der einzelnen Batterien zu elektrischen Großspeichern vorsieht und die Fahrzeughalter mit einer Überlassungsprämie entschädigt. Partner waren das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und die Technische Universität Berlin. Das BMWi hat das Projekt mit rund 1,1 Millionen Euro gefördert.

Internationale Zusammenarbeit



Der globale Charakter der Klimaveränderungen erfordert länderübergreifende Antworten und macht damit die internationale Zusammenarbeit in der Energieforschung zu einer wichtigen Erfolgsgröße für die Energiewende. Ganz nach dem Grundsatz "grenzenloser Energie" können auf transnationaler Ebene finanzielle und wissenschaftliche Ressourcen gezielt gebündelt werden, sodass effiziente und wirksame Innovationen für die Energiesysteme weltweit entstehen. Daher ist der weitere Ausbau internationaler Kooperationen als Leitlinie im Energieforschungsprogramm festgeschrieben.

Mit Blick auf die wissenschaftliche Praxis wird deutlich, dass die internationale Zusammenarbeit bei Forschungsprojekten zunehmend an Bedeutung gewinnt. Die Bundesrepublik Deutschland setzt sich daher auf vielfältigen Ebenen für einen verstärkten grenzüberschreitenden Austausch zu Klimaschutz und einem ressourcenschonenden und zukunftsgewandten Energieeinsatz ein. Dabei arbeitet die Bundesregierung sowohl regional als auch weltweit mit anderen Staaten an der Förderung von Innovationen, um das Umgestalten der Energiesysteme voranzutreiben. Die Strategie des BMWi setzt auf eine enge Zusammenarbeit innerhalb der Europäischen Union (EU) und auf Kooperationen im Kontext der Internationalen Energieagentur (IEA).

Energieforschung innerhalb der Europäischen Union

Die Europäische Union und ihre Mitgliedsstaaten setzen sich für eine umweltverträgliche, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung ein. Innovationen und deren intensive Förderung schaffen die Basis, um dieses Ziel auf gesamteuropäischer Ebene zu erreichen. Die strategische Ausrichtung der Unterstützung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekten schreibt der SET-Plan (Strategic Energy Technology Plan) fest. Dieser verfolgt einen integrierten Ansatz und gibt die Prioritäten für die Förderung vor.

Ein Beispiel für die Umsetzung des SET-Plans ist das so genannte Berliner Modell. Das Modell folgt einem einfachen Prozess und ermöglicht die Förderung von gemeinsamen multinationalen Forschungsprojekten mit Antragstellern aus mehreren europäischen Ländern. Dabei bewerben sich die beteiligten Wissenschaftler auf eine Förderung bei der jeweiligen Förderinstitution in ihrem eigenen Land. Die Förderinstitutionen stimmen sich entsprechend ab. Wichtig ist dabei die europäische Dimension des geplanten Projekts. Seit 2012 konnten einige Vorhaben nach diesem Modell erfolgreich auf den Weg gebracht werden, wie beispielsweise sechs transnationale Verbundprojekte zu Energieeffizienzthemen aus einer gemeinsamen Förderbekanntmachung mit Finnland im Jahr 2013. Zudem bestehen Kooperationen in den Themen Energieeffiziente Stadt sowie Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie mit Österreich und der Schweiz. Eines der nach dem Berliner Modell geförderten Vorhaben ist Smart Planning (siehe auch "Integration von Smart Grid und Smart Market in Planungsverfahren", Seite 128).

Die Grundlage der Fördermaßnahmen für Forschung und Innovation ist das nunmehr achte Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union, Horizont 2020. Das Programm gilt bis 2020 und ist mit rund 80 Milliarden Euro Fördermitteln das bisher größte Forschungs- und Innovationsprogramm der EU. Für die nicht-nukleare Energieforschung sind dabei für die gesamte Laufzeit von sieben Jahren rund 5,9 Milliarden Euro Finanzmittel eingeplant. Die Europäische Kommission veröffentlicht in diesem Zusammenhang jährlich Ausschreibungen ("Calls"), auf deren Basis sich Forschungseinrichtungen, Universitäten und Unternehmen auf eine Projektförderung bewerben können. Die Nationale Kontaktstelle Energie (NKS Energie) berät interessierte Antragsteller hierzu kostenlos im Auftrag des BMWi.

Um Reibungsverluste zwischen nationaler und europäischer Förderpolitik zu vermeiden und Synergien zu schaffen, begleitet das BMWi innerhalb von Horizont 2020 Europäische Technologieplattformen wie "Electricity Networks of the Future" oder "Hydrogen and Fuel Cells". Darüber hinaus beteiligt sich das Ministerium an so genannten ERA-Nets (zum Beispiel "Solar-ERA.Net", "Geothermal ERA"). In einem ERA-Net koordinieren und unterstützen Ministerien und Projektträger die Zusammenarbeit von nationalen und regionalen Forschungspartnern auf internationaler Ebene.

Durch Fortschritte bei den Energiesystemen und -technologien und aus einer verbesserten Energieeffizienz können wirtschaftliche Wettbewerbsvorteile und Exportmöglichkeiten für europäische Unternehmen erwachsen. Somit ist

eine EU-weite Energiewende auch eine ökonomische Chance mit positiven Wirkungen für Umwelt und Gesellschaft. Das Einbinden der Wirtschaft durch Industrie-Initiativen zu verschiedenen technologischen Themen ist daher ein wichtiger Baustein für die Umsetzung des SET-Plans.

Internationale Zusammenarbeit innerhalb der Internationalen Energieagentur

Die Internationale Energieagentur (IEA) vereint 29 Mitgliedsstaaten mit dem gemeinsamen Ziel, länderübergreifende Antworten für die wichtigsten Energiefragen zu finden. Eine wesentliche Basis sind die so genannten Technology Collaboration Programmes TCP (ehemals "Implementing Agreements") als Plattformen für internationale Forschungskooperationen. Sie dienen einem intensiven Austausch zwischen Wissenschaftlern und Entscheidungsträgern aller an dem jeweiligen TCP beteiligten Staaten. Die Bundesrepublik Deutschland ist in 26 TCPs vertreten und verleiht damit den thematischen Schwerpunkten ihrer förderpolitischen Maßnahmen eine internationale Komponente. Die Aktivitäten der Energieforschung werden durch das Committee on Energy Research and Technology (CERT) koordiniert. Die Bundesregierung wird in diesem Gremium durch das BMWi vertreten.

Das BMWi ermuntert Wissenschaftler aus Deutschland zu einer aktiven Mitarbeit in den TCPs, um durch den Austausch mit Forschern und Experten aus aller Welt neue Synergien und Impulse für die eigenen Arbeiten zu gewinnen und gemeinsame Herausforderungen und Lösungsansätze eruieren zu können. Ein Beispiel für das deutsche Engagement innerhalb der Internationalen Energieagentur ist das Forschungsprojekt "EnOB: LowEx-Bestandsgewerbebauten" (siehe auch "Niedrig-Exergie Wärme- und Kälte-Versorgungskonzepte für Bestandsgewerbebauten", Seite 128). Die Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg beteiligen sich innerhalb des Vorhabens an dem Task 47 "Sustainable Retrofit of Non-residential Buildings" des Solar Heating and Cooling Programme (SHC) der IEA.

Auswahl geförderter Projekte

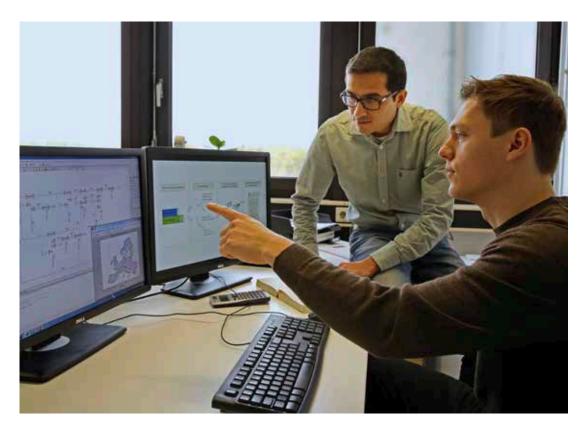
Integration von Smart Grid und Smart Market in Planungsverfahren

Smart-Grid-Technologien haben das Potenzial, den notwendigen konventionellen Netzausbau in Verteilnetzen zu verringern. Zudem schaffen Smart-Market-Mechanismen neue Dienstleistungen und Wertschöpfung, indem Lasten und dezentrale Stromeinspeiser gebündelt gesteuert werden. Für eine effiziente Netzentwicklung gilt es, das Optimum zwischen Smart-Market-Mechanismen und Smart Grids zu finden. Ziel des Vorhabens Smart Planning ist es daher, die technologischen Entwicklungen des Verteilnetzes (Smart Grid) sowie die markttechnische Ausgestaltung (Smart Market) bei der Planung der Verteilnetze zu berücksichtigen. Die Wissenschaftler wollen neue Methoden entwickeln, mit denen die Verteilnetze optimal und wirtschaftlich effizient geplant werden können. So soll ein ausgewogenes Mittel zwischen der Wertschöpfung durch die Smart-Market-Mechanismen und den Ausbau zu Smart Grids erreicht werden. Hierzu berücksichtigt das Projekt Einspeise- und Lastflexibilitäten. Neben den netzplanerischen Aspekten beleuchten die Wissenschaftler auch den Einfluss auf das Asset Management.

Das Einbinden europäischer Partner soll dazu beitragen, innerhalb Europas die Planungsgrundlagen für Verteilnetze zu harmonisieren und zu optimieren. Die Grundlage für das Planungsverfahren bilden Untersuchungsregionen aus den drei Teilnehmerländern Deutschland, Schweiz und den Niederlanden. So soll ein möglichst allgemeingültiges und übertragbares Ergebnis entstehen. Koordinator ist die Technische Universität Dortmund. Zudem ist von deutscher Seite das Energietechnikunternehmen ABB beteiligt. Weitere Verbundpartner sind Forscherteams aus den Niederlanden und der Schweiz. Durch seine internationale Ausrichtung trägt das Vorhaben zur Umsetzung des SET-Plans der Europäischen Union bei. Das BMWi fördert den deutschen Teil der Forschung im Rahmen des Berliner Modells für den SET-Plan mit rund 720.000 Euro.

Niedrig-Exergie Wärme- und Kälte-Versorgungskonzepte für Bestandsgewerbebauten

Die Hälfte aller Büro- und Verwaltungsgebäude in Deutschland verfügt über Kühl- oder Klimatisierungsvorrichtungen – dies erfordert meist einen hohen Energieeinsatz. Experten rechnen künftig in Deutschland und auch europaweit mit einem weiteren Anstieg der Kühllasten.



Baktash Nasiri und Christian Wagner, wissenschaftliche Mitarbeiter im Projektteam Smart Planning der Technischen Universität Dortmund



Laborgebäude auf dem Fraunhofer ISE-Campus mit gebäudeintegriertem 500 Kubikmeter Kaltwasserspeicher

Somit sind Gebäude- und Anlagenkonzepte gefragt, die den Kühlenergiebedarf der Klimatisierungslösungen senken, ohne den thermischen Raumkomfort negativ zu beeinflussen. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE untersuchen, implementieren und testen hierzu im Projekt EnOB: LowEx-Bestandsgewerbebauten neue Konzepte zur Sanierung, Wärme- und Kälteversorgung und energetischen Betriebsführung von typischen Campus-Gebäuden. Die Wissenschaftler betrachten dazu einen Bestands- und einen Neubau eines gewerblich genutzten Gebäudekomplexes am Standort in Freiburg. Bei der Sanierung wurden thermisch optimierte vorgefertigte Fassadenelemente mit dezentralen Gebäudetechniksystemen integriert und hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und Qualität analysiert. Sowohl der Bestands- als auch der Neubau werden von einem LowEx-Wärmepumpensystem mit einem großen unterirdischen Kältespeicher als Wärmequelle versorgt. Für das gesamte Versorgungssystem führen die Wissenschaftler ein intensives Messprogramm mit Fokus auf den Betrieb des Speichers und die Optimierung des hydraulischen Systems und der Wärmepumpe durch. Mit dem Forschungsprojekt beteiligt sich das Team an

Task 47 "Sustainable Retrofit of Non-residential Buildings" des Solar Heating and Cooling Programme (SHC) der Internationalen Energieagentur (IEA). Die Erkenntnisse des Vorhabens tragen zur Weiterentwicklung und Umsetzung innovativer Konzepte für die energetische Sanierung und Optimierung von Nichtwohngebäuden bei. Das BMWi fördert das Projekt innerhalb des Förderkonzepts "Energieoptimiertes Bauen EnOB" mit rund 1,3 Millionen Euro.

Statistischer Überblick

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. € in					Anzahl laufende Projekte in				
	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015
Windenergie	44,01	38,42	52,57	53,06	53,04	162	209	216	242	284
Photovoltaik	38,83	51,46	48,73	43,34	59,68	204	239	241	260	262
Solarthermische Kraftwerke	6,06	7,45	8,41	9,25	10,09	53	69	70	77	75
Tiefe Geothermie	11,60	20,82	17,10	15,55	13,38	90	113	123	106	94
Wasserkraft & Meeresenergie	0,49	0,98	1,25	1,21	1,68	5	8	9	15	19
Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien	21,22	23,00	27,82	26,74	26,22	183	208	214	233	277
Brennstoffzellen und Wasserstoff	21,32	17,82	21,54	22,82	19,74	88	112	111	105	119
Speicher	24,17	13,94	30,52	31,04	34,13	86	136	186	206	232
Netze	16,05	13,68	30,46	33,62	44,93	85	145	207	285	450
Energieeffizienz in Gebäuden und Städten	31,14	42,17	52,28	55,19	51,15	313	362	398	412	486
Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und bei Dienstleistungen	29,28	30,01	36,38	32,94	34,05	224	255	258	274	339
Elektromobilität*	0,65	7,82	12,07	10,40	12,61	5	24	40	44	57
Querschnittsthemen und Systemanalyse	7,67	8,60	11,30	10,47	11,18	83	83	87	89	99
Gesamt	252,49	276,16	350,41	345,61	371,89	1.581	1.963	2.160	2.348	2.793

^{*} Die Elektromobilität wird 2015 erstmals separat ausgewiesen. In den Vorjahren wurden die Vorhaben in den Bereichen Speicher, Brennstoffzellen und Wasserstoff sowie Systemanalyse ausgewiesen.

Förderthema		Neu bewill	gte Projekt	e in Mio. €	in	An	zahl neu	bewillig	te Projel	kte in
	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	201
Windenergie	81,21	78,31	36,75	38,51	85,39	68	75	56	63	103
Photovoltaik	66,43	65,43	33,99	66,91	78,64	90	80	35	90	97
Solarthermische Kraftwerke	8,89	18,02	8,65	7,44	3,76	16	25	14	22	16
Tiefe Geothermie	21,44	17,43	19,21	12,65	17,33	37	29	25	15	21
Wasserkraft & Meeresenergie	0,23	3,61	0,71	2,02	2,33	1	6	2	6	5
Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien	26,47	30,76	27,82	23,79	53,97	44	67	64	55	108
Brennstoffzellen und Wasserstoff	15,96	32,65	22,12	21,50	25,35	30	33	26	28	42
Speicher	10,37	59,78	40,26	20,52	42,79	15	86	60	46	58
Netze	25,88	46,32	43,04	71,03	77,92	25	78	73	152	163
Energieeffizienz in Gebäuden und Städten	56,74	62,38	49,48	47,19	73,48	93	112	88	98	159
Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und bei Dienstleistungen	36,55	40,56	33,84	38,60	58,48	60	71	49	83	115
Elektromobilität*	5,06	29,34	9,76	14,87	17,40	7	18	12	11	25
Querschnittsthemen und Systemanalyse	6,79	19,69	12,17	8,15	11,17	22	27	32	26	27
Gesamt	362,01	504,28	337,79	373,18	548,00	508	707	536	695	939

^{*} Die Elektromobilität wird 2015 erstmals separat ausgewiesen. In den Vorjahren wurden die Vorhaben in den Bereichen Speicher, Brennstoffzellen und Wasserstoff sowie Systemanalyse ausgewiesen.

Wichtige Links

www.bmwi.de

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

www.bmel.de

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

www.bmub.bund.de

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

www.bmbf.de

Bundesministerium für Bildung und Forschung

www.bmwi.de/go/energieforschung

Energieforschung des BMWi

www.ptj.de/angewandte-energieforschung

Geschäftsbereiche Energietechnologien und Erneuerbare Energien des Projektträgers Jülich

www.forschungsnetzwerk-energie.de

Forschungsnetzwerk Energie des BMWi

www.forschungsnetzwerk-energie.de/ gebaeude-und-quartiere

Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren des BMWi

www.forschungsnetzwerk-energie.de/systemanalyse

Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse

www.forschungsnetzwerk-energie.de/erneuerbare-energien

Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien

www.forschungsnetzwerk-energie.de/stromnetze

Forschungsnetzwerk Stromnetze

www.cooretec.de

Forschung und Entwicklung zukunftsfähiger Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen

www.forschung-energiespeicher.info

Forschungsinitiative Energiespeicher von BMWi und BMBF

www.forschung-stromnetze.info

Forschungsinitiative Zukunftsfähige Stromnetze von BMWi und BMBF

www.eneff-stadt.info

Förderprogramme EnEff:Stadt und EnEff:Wärme des BMWi – Forschung für Energieeffizienz

www.eneff-industrie.info

Förderprogramm EnEff:Industrie des BMWi – Forschung für die energieeffiziente Industrie

www.enob.info

Förderprogramm EnOB des BMWi – Forschung für energieoptimiertes Bauen

www.kraftwerkforschung.info

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

www.bine.info

BINE Informationsdienst zu Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien

www.enargus.de

Zentrales Informationssystem EnArgus

www.forschungsjahrbuch-energie.de

Online-Datenbank des BMWi-Forschungsjahrbuchs

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.foerderkatalog.de

Datenbank des Bundes über die von der Bundesregierung geförderten Projekte

www.iea.org

Internationale Energieagentur (IEA)

www.horizont2020.de

Rahmenprogramm der EU für Forschung und Innovation

www.nks-energie.de

Nationale Kontaktstelle Energie

www.rave-offshore.de

RAVE-Forschungsinitiative

www.dsttp.org

Deutsche Solarthermie-Technologieplattform

www.windplatform.eu

Europäische Windenergieinitiative (EWI)

www.eupvplatform.org

Solar Electricity Industrial Initiative (SEII)

www.solar-era.net

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

www.geothermaleranet.is

ERA-NET der Geothermie

