



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Die Energiewende – ein gutes Stück Arbeit

Innovation durch Forschung

*Erneuerbare Energien und Energieeffizienz:
Projekte und Ergebnisse der Forschungsförderung 2014*

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 2015

Druck

BMWi

Bildnachweis

DLR (CC-BY-3.0) (Titel), Bundesregierung/Bergmann (S. 5); Fotolia – kflgalore (S. 6); Fraunhofer IWES, Fotograf: Caspar Sessler, 2013 (S. 10); Fraunhofer IWES, Foto: Martina Buchholz (S. 15); Fotolia – halberg (S. 15); Institut für Maschinenelemente und Maschinengestaltung, RWTH Aachen (S. 16), Fotograf A.J. Schmidt; Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (S. 17), Herbert Hartmann/TTH (S. 18); Fotolia – Visions-AD (S. 19); Forschungsprojekt SystOp Offshore Wind, www.systop-wind.de (S. 20); Feliz Balzer (S. 21); Dong Energy Wind Power A/S (S. 22); Dr. Jochen Dierschke (S. 23); ISFH (S. 24); SMA (S. 27); Fraunhofer ISE (S. 28); SolarWorld AG (S. 29), Dr. Zhenhao Zhang, SINGULUS TECHNOLOGIES AG (S. 30); Hochschule Ulm (S. 31 oben); SolarWorld AG (S. 31 unten), ISFH (S. 32); istockphoto – prognone (S. 33); Ptj/Bierther (S. 35); DLR/Ralf Uhlig (S. 36); Solar Tower Technologies AG (S. 37); DLR (CC-BY 3.0) (S. 38/39); Ptj/Bierther (S. 40); TU Dresden, Fotograf: Christian Hüller (S. 42 oben); TU Dresden (S. 43); Baker Hughes (S. 44); BGR (S. 45); Fraunhofer IPT (S. 46); Baker Hughes (S. 47); Fotolia – gnskrw (S. 48); Fotolia – countrypixel (S. 49); NEMOS GmbH (S. 50/51); ALSTOM (S. 52); RWE (S. 53); ALSTOM (S. 55); Siemens AG (S. 56); Technische Universität Hamburg-Harburg (S. 57); RWE Power AG (S. 58/59); Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) (S. 60); istockphoto – janeff (S. 62); Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) (S. 63); Airbus Defense & Space (S. 64); Max-Planck-Gesellschaft (S. 65 links); Fraunhofer IZM (S. 65 rechts); Vaillant GmbH (S. 66); Eberspächer Climate Control Systems GmbH & Co. KG (S. 67 oben); SFC Energy AG (S. 67 unten); Linde AG (S. 68); Fotolia – checker (S. 70); DLR-Studie „PlanDelyKaD“ (S. 73); Stadtwerke Mainz (S. 74); Institut für Technische Chemie, Universität Leipzig (S. 75); E.ON (S. 76); Robert Bosch GmbH (S. 77); Volkswagen Varta Microbattery (S. 78); istockphoto – Beeldbawerking (S. 79); Universität Kassel (S. 80); N. Graß, Grass Power Electronics GmbH (S. 81); Projektgrafik der Smart Area Aachen, Stawag AG (S. 82); Fraunhofer ISE (S. 83); TU Berlin (S. 84); www.belectric.com (S. 85); Fraunhofer IWES (S. 86 oben); Fotolia – GIAG (S. 86 unten); Drewag NETZ/EME (S. 87); thinkstock – Suljo (S. 88); Fotolia – fotoXS (S. 90/91); Wista-Management GmbH (S. 92/93); Fotolia – LaCozza (S. 94); Technische Universität Dresden, Professur für Gebäudetechnik und Wärmeversorgung (S. 95); istockphoto – winhorse (S. 96); Petra Hoeglmeier, ZAE Bayern (S. 97); BINE Informationsdienst (S. 98); Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (S. 99); ZAE Bayern (S. 100); Fraunhofer ISE (S. 101); Fraunhofer UMSICHT (S. 102); Fels-Werke GmbH Goslar (S. 105); Deutsche Nanoschicht GmbH (S. 106); Salzgitter Flachstahl GmbH (S. 108); Leibniz Universität Hannover (S. 109); DECHEMA e.V. (S. 111); Technische Universität Darmstadt (S. 112); Universität Freiburg (S. 113); istockphoto – vschlichting (S. 114); Fotolia – Jürgen Fälchle (S. 116); BINE Informationsdienst des FIZ Karlsruhe (S. 117); Projektträger Jülich (Ptj) (S. 118); Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (S. 120); Fraunhofer IWES / Uwe Krengel (S. 121); thinkstock – denphumi (S. 122); Fotolia – ColourStudio.it (S. 124); Fotolia – rcfotostock (S. 125); ZAE Bayern (S. 126)



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



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Die Energiewende – ein gutes Stück Arbeit

Innovation durch Forschung

Erneuerbare Energien und Energieeffizienz:

Projekte und Ergebnisse der Forschungsförderung 2014

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Forschung und Entwicklung für die Energiewende	6
Windenergie	10
Solarenergie	24
Photovoltaik	24
Solarthermische Kraftwerke	33
Geothermie	40
Wasserkraft und Meeresenergie	48
Kraftwerkstechnik und CCS	52
Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie	60
Energiespeicher, Stromnetze und Integration erneuerbarer Energien	68
Energiespeicher	73
Stromnetze	80
Regenerative Kombikraftwerke / Virtuelle Kraftwerke	86
Systemdienstleistungen	87

Energieoptimierte Gebäude und Städte	88
Niedertemperatur-Solarthermie	100
Energieeffizienz in der Industrie	102
Systemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende	114
Internationale Zusammenarbeit	122
Wichtige Links	127
Statistischer Überblick	128

Vorwort

Mit der Energiewende hat sich Deutschland für ein sicheres, umweltverträgliches und wirtschaftlich erfolgreiches Energiesystem entschieden. Die Eckpunkte dieses weltweit einzigartigen Großprojekts stehen fest: Der Ausbau der erneuerbaren Energien macht uns unabhängiger von konventionellen Energieträgern. Gleichzeitig begrenzen wir durch den effizienten Umgang mit Energie den Gesamtenergieverbrauch auf ein vernünftiges Maß und senken den Ausstoß klimaschädlicher Treibhausgase.

Das Energiesystem der Zukunft wird sich von dem heutigen grundsätzlich unterscheiden. Manche Technologien, die zukünftig zum Einsatz kommen werden, sind heute technisch noch nicht verfügbar, scheinen wirtschaftlich nicht realisierbar oder sind vielleicht sogar noch ganz unbekannt. Damit die Energiewende gelingen kann, brauchen wir zukunftsweisende Forschung sowie herausragende Innovationen. Daher hat das Bundeswirtschaftsministerium die Energieforschung zum strategischen Element der Energiepolitik gemacht.

Auch der Blick der Wissenschaft richtet sich zunehmend auf das große Ganze, auf die komplexen Zusammenhänge im Energiesystem, welche neben den vielen isolierten Einzelfragen immer wichtiger werden. Daher war es konsequent, auch in der Organisation der Bundesregierung die angewandte Energieforschung im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie zusammenzuführen und damit alle Themen in den Bereichen Erneuerbare Energien und Energieeffizienz entlang der gesamten Energiekette zu bündeln. Dies erlaubt, die Mittel noch effizienter einzusetzen sowie auf übergeordnete und interdisziplinäre Forschungsfragen effektiver einzugehen.



Der vorliegende Jahresbericht informiert erstmals aus einem Guss über die gesamte angewandte Forschung moderner Energietechnologien. Dazu gehören aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung genauso wie Hintergrundinformationen zu den neuesten Technologie- und Marktentwicklungen sowie einschlägige Projekte, die die Bedeutung und Vielfalt der detaillierten Forschungsarbeiten illustrieren. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse geben Zuversicht, dass wir die bevorstehenden Herausforderungen meistern und die Energiewende zum Erfolg führen werden.

Ich wünsche Ihnen eine interessante und anregende Lektüre.

Ihr

Sigmar Gabriel

Bundesminister für Wirtschaft und Energie

Forschung und Entwicklung für die Energiewende



Das Energiekonzept der Bundesregierung aus dem Jahr 2010 sieht einen weitreichenden Umbau der Energieversorgung in Deutschland bis zum Jahr 2050 vor. Wesentliche Ziele dieses Konzepts sind die Reduzierung des Primärenergieverbrauchs um 50 Prozent und die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien auf 80 Prozent des Strombedarfs bzw. auf 60 Prozent des Bruttoendenergieverbrauchs.

Dieses Konzept der Energiewende wird bei erfolgreichem Verlauf zu einem Energiesystem im Jahr 2050 führen, das sich von der heutigen Struktur des Energieangebots, der Energieverteilung und Energienachfrage vollständig unterscheidet. Die für die Umsetzung dieser Konzepte dann zum Einsatz kommenden Technologien sind heute zum größten Teil entweder technisch nicht verfügbar oder wirtschaftlich nicht zu realisieren. Die Energieforschung ist daher ein strategisches Element der Energiepolitik, um mittel- bis langfristig die technologischen Innovationen für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende zu generieren.

Im Jahr 2011 wurde das 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ gestartet. Folgende übergeordnete Zielsetzungen werden mit dem Programm verfolgt:

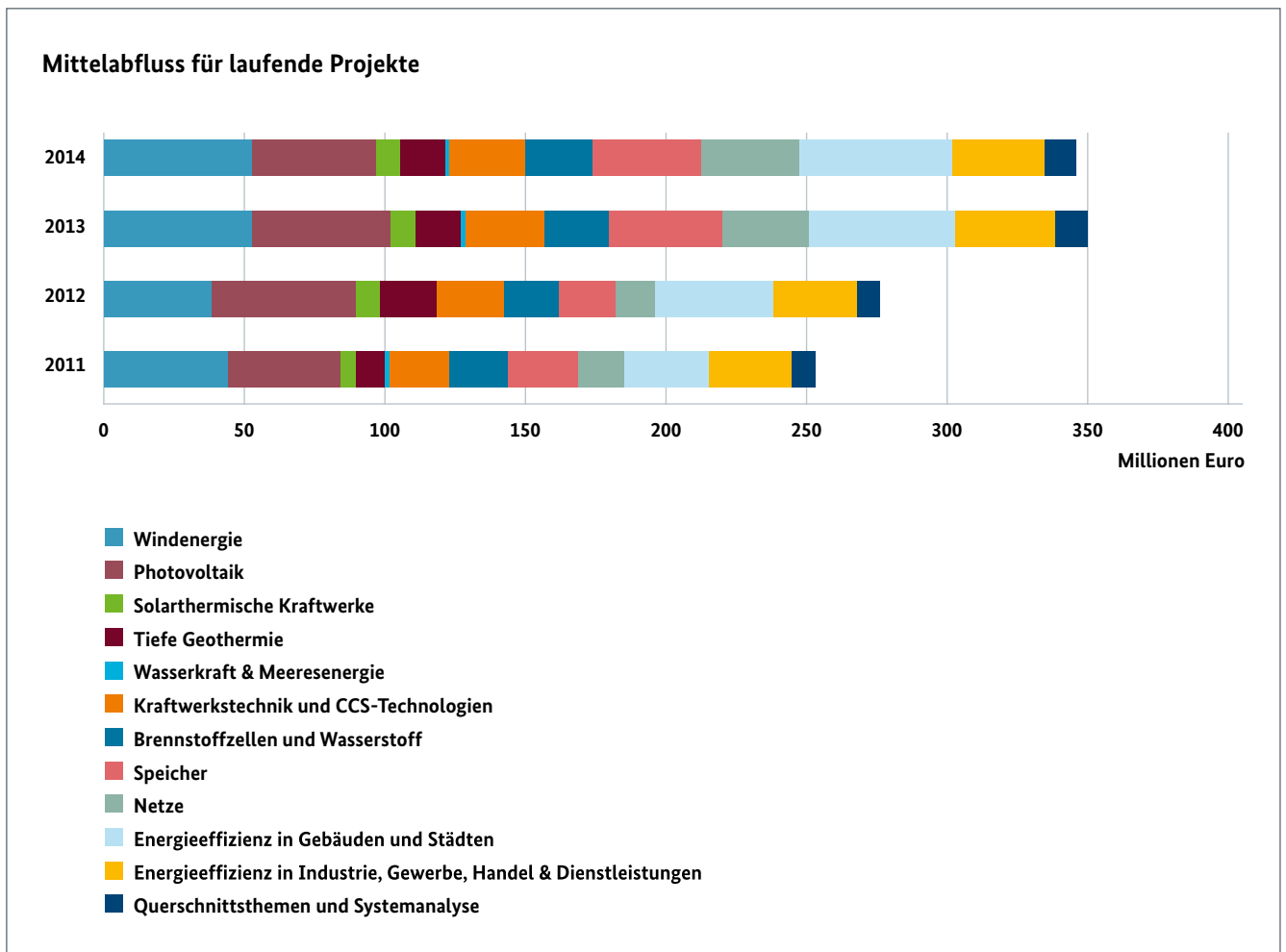
1. Beschleunigung des Modernisierungsprozesses der deutschen Energieversorgung
2. Stärkung der deutschen Wirtschaft im internationalen Wettbewerb
3. Sicherung und Erweiterung von technologischen Optionen

Das 6. Energieforschungsprogramm orientiert sich an den Vorgaben der Energiewende. Die höchste Priorität liegt bei der Steigerung der Energieeffizienz und bei den erneuerbaren Energietechnologien. In zweiter Linie schließen sich die Speicher- und Netztechnologien an, die bei wachsendem Einsatz der fluktuierenden erneuerbaren Energien künftig stark an Bedeutung zunehmen werden.

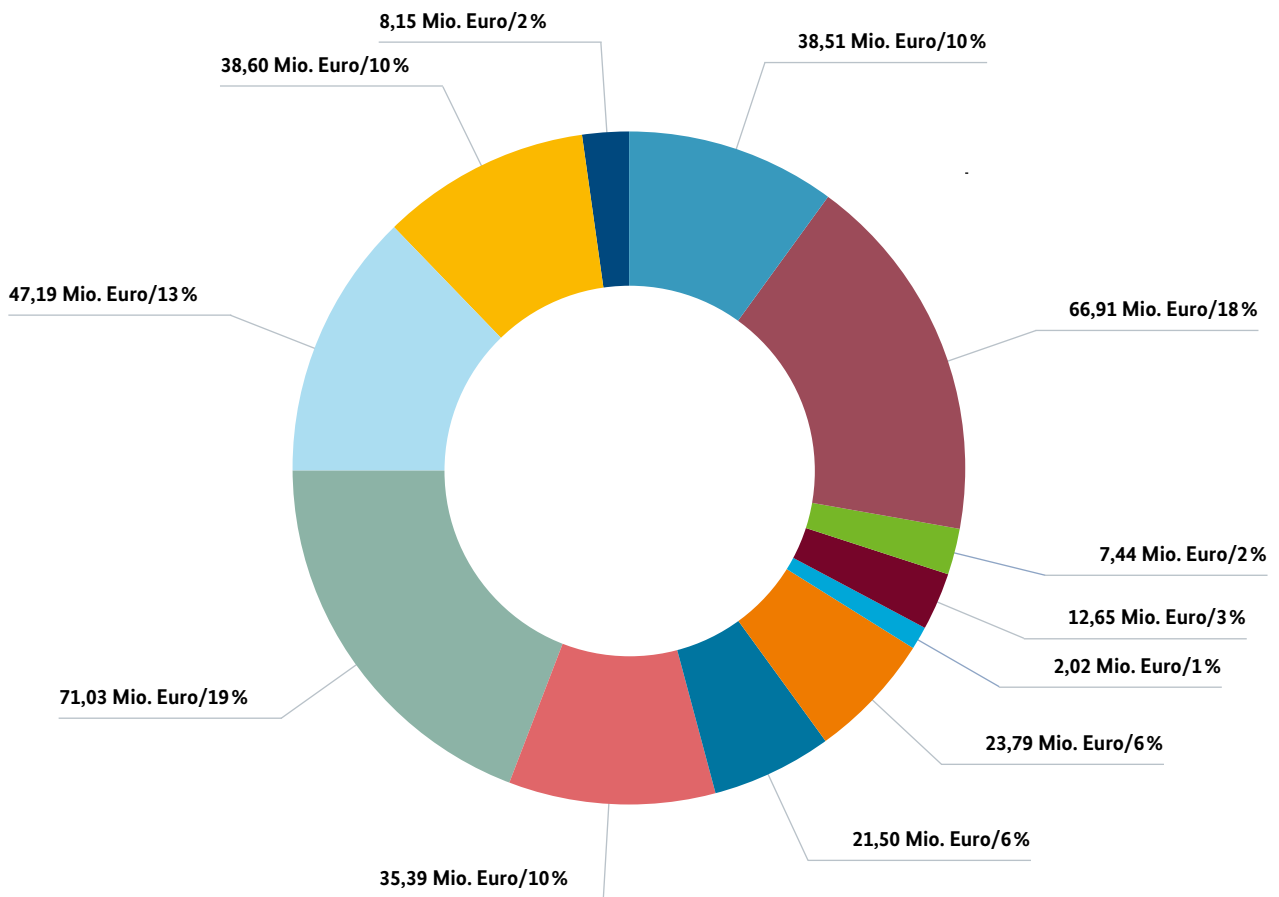
Die Bundesregierung setzt in dieser Legislaturperiode das 6. Energieforschungsprogramm konsequent fort, indem sie eine noch stärkere Ausrichtung auf die Energiewende als bisher vornimmt. Eine wesentliche Maßnahme ist die Bündelung der anwendungsnahen Projektförderung im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) als wichtiges Element der Energiepolitik. Dies eröffnet erhebliche zusätzliche Möglichkeiten zur Nutzung von Synergien zwischen Energiepolitik und Energieforschung einerseits und zwischen der Energieeffizienz und den erneuerbaren Energien andererseits. Darüber hinaus wurde eine Weiterentwicklung des Energieforschungsprogramms im Berichtszeitraum begonnen, wobei folgende Merkmale im Vordergrund stehen:

- ▶ Systemorientierte Forschungsansätze verstärkt aufgreifen
- ▶ Europäische Vernetzung durch Forschungsk Kooperationen ausbauen
- ▶ Kooperation mit den Bundesländern intensivieren
- ▶ Transparenz herstellen durch Einrichten eines zentralen Informationssystems EnArgus

Bei den systemorientierten Forschungsansätzen soll die technologieübergreifende Kopplung von weitestgehend entwickelten Einzelkomponenten zu einem Gesamtsystem im Vordergrund stehen. Die Weiterentwicklung und Integration von neuen Informations- und Kommunikationstechnologien, Fragen der Systemsicherheit und System-



Mittelvolumen für neu bewilligte Projekte 2014



- Windenergie
- Photovoltaik
- Solarthermische Kraftwerke
- Tiefe Geothermie
- Wasserkraft & Meeresenergie
- Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien
- Brennstoffzellen und Wasserstoff
- Speicher
- Netze
- Energieeffizienz in Gebäuden und Städten
- Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel & Dienstleistungen
- Querschnittsthemen und Systemanalyse

zuverlässigkeit sowie der Akzeptanz sind hierbei von zentraler Bedeutung.

Die europäische Zusammenarbeit wird unter dem Schirm des Strategischen Energietechnologie (SET)-Plans der EU-Kommission durchgeführt. Ziel des SET-Plans ist die stärkere Koordinierung von nationalen Maßnahmen untereinander sowie mit den Programmen der Europäischen Union. Dazu setzen Deutschland und seine Partner auf das „Berliner Modell“ zur zielgerichteten und unbürokratischen Umsetzung europäischer Forschungsk Kooperationen.

Bei Kooperationen mit den Bundesländern in ausgewählten Bereichen können sich unterschiedliche Förderkonditionen in idealer Weise ergänzen.

Zurzeit richtet das BMWi das zentrale Informationssystem EnArgus ein mit dem Ziel, eine größere Transparenz der staatlichen Förderpolitiken und eine bessere Bewertung von Technologieentwicklungen zu ermöglichen sowie einen möglichst umfassenden Überblick über die Forschungsaktivitäten in den Energietechnologien zu erreichen.

Beim BMWi liegt die Federführung für das 6. Energieforschungsprogramm und die Verantwortlichkeit für die Förderung der angewandten Forschung und technologischen Entwicklung in allen Energietechnologien (außer Bioenergie). Am Energieforschungsprogramm wirken zusätzlich das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), welches grundlegende Fragestellungen unterstützt, sowie das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) mit. BMEL fördert die Entwicklungen im Bereich der Bioenergie.

Die Grundlagen der Forschungsförderung sind im 6. Energieforschungsprogramm dargestellt. Mit dem jetzt vorliegenden Bericht wird die Reihe der Veröffentlichungen unter dem Titel „Innovation durch Forschung“ fortgesetzt. Dieser Jahresbericht ist der erste in der Reihe, der nach der Neuausrichtung der Energieforschung die gesamte Forschungsförderung des BMWi sowohl bei der Energieeffizienz als auch bei erneuerbaren Energien umfasst.

Im Bericht werden die Forschungsergebnisse des Jahres 2014 im Detail präsentiert. Sie tragen wie folgt zu den übergeordneten Zielen der Energiewende bei:

- ▶ Steigerung der Energieeffizienz bei der Umwandlung, Verteilung und Nutzung von Energie (Beitrag zur Senkung des Primärenergiebedarfs und zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien)
- ▶ Senkung der Treibhausgasemissionen (Beitrag zu den klimapolitischen Zielen)
- ▶ Reduzierung der Kosten der Technologien durch erhöhte Wirkungsgrade und optimierte Produktion sowie
- ▶ Steigerung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen und Forschungseinrichtungen bzw. Schaffung zukunftsfähiger, hochwertiger Arbeitsplätze. ■

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. Bereits heute liefert die Windenergie an Land den größten Beitrag zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Ein hohes Potenzial für den weiteren Ausbau der Windenergie bieten sowohl die verstärkte Nutzung des Windes auf dem Meer als auch die weitere Erschließung an geeigneten Landstandorten, insbesondere durch moderne, leistungsfähigere Anlagen.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Windenergieanlagen (WEA) haben am 12.12.2014 um 13:30 Uhr eine Leistung von 29,7 Gigawatt eingespeist. Am 22.12.2014 betrug die über 24 Stunden produzierte Strommenge rund 661 Gigawattstunden. Die Produktion der konventionellen Kraftwerke lag am selben Tag mit 678 Gigawattstunden nur knapp darüber. Sowohl Einspeisung als auch produzierte Strommenge sind neue Rekordwerte und unterstreichen die hohe Bedeutung der Windenergie für das Gelingen der Energiewende in Deutschland.

Im ersten Halbjahr 2014 ist der deutsche Markt für Windenergieanlagen (WEA) an Land, also onshore, deutlich gewachsen. In diesem Zeitraum wurden rund 650 neue WEA mit einer Leistung von 1.723 Megawatt in Deutschland errichtet. Das sind gut zwei Drittel mehr als im glei-

chen Zeitraum des Vorjahres. Der Trend hin zu größeren Anlagenleistungen wie auch längeren Rotorblättern setzt sich weiter fort. Zum Preis höherer Investitionskosten kann so die Volllaststundenzahl erhöht und damit die Einspeisung deutlich verstetigt werden. Außerdem können auch weniger windstarke Standorte erschlossen werden, so dass der Bedarf an Netzausbau deutlich reduziert werden kann. Am 31. Dezember 2014 waren in Deutschland an Land insgesamt 24.867 WEA in Betrieb, mit einer installierten Leistung von rund 38.116 Megawatt. Damit hat Deutschland einen neuen Zubaurekord bei WEA aufgestellt: 2014 ist so viel Windenergie-Leistung neu errichtet worden wie noch nie innerhalb eines Jahres. Das bedeutet für die Windenergie an Land in durchschnittlichen Windjahren einen weiteren Anstieg des Anteils an der Stromerzeugung auf dann bis zu zehn Prozent.

Auch der Ausbau der Windenergie auf dem Meer, also offshore, schreitet voran. Zum 31. Dezember 2014 speisten in der deutschen Nord- und Ostsee insgesamt 258 Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) mit einer Gesamtleistung von 1.049 Megawatt Strom ein. Damit konnte die Gigawatt-Marke überschritten werden. Insgesamt gingen auf See 142 OWEA mit einer Leistung von 528,9 Megawatt neu ans Netz. Damit hat sich der Zubau im Vergleich zum Vorjahr mehr als verdoppelt. Neben den schon angeschlossenen WEA wurden 2014 weitere 268 Anlagen mit 1.218 Megawatt Leistung bereits vollständig errichtet, speisten aber bis zum Jahresende noch nicht ins Netz ein. Die Gesamtleistung der 285 zum Ende 2014 errichteten, aber noch nicht angeschlossenen OWEA betrug 1.303 Megawatt. Außerdem stehen insgesamt 220 Fundamente für weitere Anlageninstallationen bereit.

Damit ist eine Offshore-Windenergieleistung von 3.275 Megawatt im Bau, fertiggestellt oder bereits am Netz. Das ist gut die Hälfte der von der Bundesregierung bis 2020 angestrebten 6.500 Megawatt Offshore-Leistung.

Weltweit hat sich der Markt im Jahr 2014 von dem Einbruch 2013 erholt. Zugpferd ist hier nach wie vor der asiatische Raum mit China an der Spitze. Aber auch in den USA geht der Ausbau nach dem Stillstand im vorangegangenen Jahr wieder voran. Für das gesamte Jahr 2014 beträgt die neu installierte Leistung hier rund 1.250 Megawatt. Weitere vielversprechende Märkte sind Südafrika, Brasilien, Mexiko und Indien.

Für das kommende Jahr kann davon ausgegangen werden, dass sich der Ausbau der Windenergie an Land in Deutschland auf einem stabilen Niveau entwickeln wird. Der von der Bundesregierung angestrebte Nettoausbaukorridor von 2.500 Megawatt pro Jahr plus abgebaute Kapazitäten bietet neue Möglichkeiten für innovative Produkte und weitere Leistungssteigerungen. Der Ausbau der Offshore-Windenergie wird sich 2015 voraussichtlich mindestens im Rahmen der von der Bundesregierung angestrebten zweiten Ausbaustufe von weiteren 1.500 Megawatt neu angeschlossener Leistung bewegen.

Deutsche Unternehmen, Universitäten und Forschungseinrichtungen gehören im Bereich der Windenergie weltweit zur Spitze. Innovationen sichern diese internationale Spitzenstellung. Die Forschung unterstützt deutsche Hersteller und Serviceanbieter, indem sie Lösungen für die spezifischen Anforderungen ausländischer Märkte entwickelt. Hierzu gehören Gründungsstrukturen für große

Meerestiefen ebenso wie Rotorblatt- und Anlagenkonzepte für kalte Klimazonen oder die ökologische Verträglichkeit der Anlagen und Installationsabläufe. Diese wichtige Forschung unterstützt das BMWi durch die Förderung von Projekten, die auf die Entwicklung von Konzepten für Auslandsmärkte abzielen, wobei die Verwertung der Forschungsergebnisse überwiegend in Deutschland erfolgt.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Die Onshore-Windenergie weist bereits einen hohen Reifegrad auf. So erreichen die Anlagen eine technische Verfügbarkeit von über 95 Prozent. Eine wesentliche Herausforderung bei der Weiterentwicklung der Anlagen sind die technischen Auswirkungen der immer größeren Rotordurchmesser in Kombination mit relativ kleinen Maschinen und großen Nabenhöhen. Hier konnte 2014 das Testzentrum Tragstrukturen Hannover eröffnet werden, das mit geeigneten Großversuchsgeräten und Laboren Erkenntnisse für die Auslegung von Gründungsstrukturen liefern soll. In Kombination mit den kurz vor der Fertigstellung stehenden Gondelprüfständen in Aachen (Center for Wind Power Drives – CWD) und Bremerhaven (Dynamic Nacelle Testing Laboratory – DyNaLab) sowie den vorhandenen Kapazitäten zur Rotorblattprüfung können wesentliche Analyse- und Entwicklungsschritte unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden.

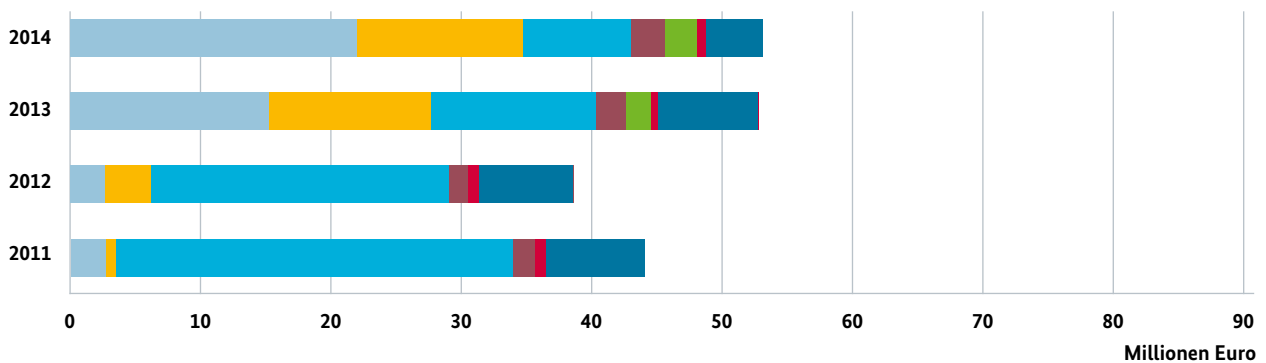
Im Bereich Offshore konnten dank der intensiven Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten der letzten Jahre Schallschutzmaßnahmen bei der Installation von OWEA-Fundamenten bis 25 Meter Wassertiefe entwickelt werden. Techniken wie der „Große Blasenschleier“, der Einsatz von Hüllrohren oder des so genannten Hydro-schalldämpfers ermöglichen die Einhaltung der durch den Gesetzgeber definierten Grenzwerte der Schallemission bei der Errichtung von OWEA, zum Beispiel im Windpark Butendiek. Da diese innovativen Techniken die Störfäche für Meeressäuger um bis zu 90 Prozent verringern, tragen sie maßgeblich zum Artenschutz in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone bei. Gleichzeitig werden weiterhin intensive Forschungstätigkeiten im Bereich neuartiger, schallarmer Gründungsstrukturen, wie bspw. Saugeimergründungen (Suction Buckets) oder dem Einvibrieren von Pfählen, initiiert, um den umweltverträglichen Ausbau der Offshore-Windenergienutzung weiterzuentwickeln.

Strategie der Forschungsförderung

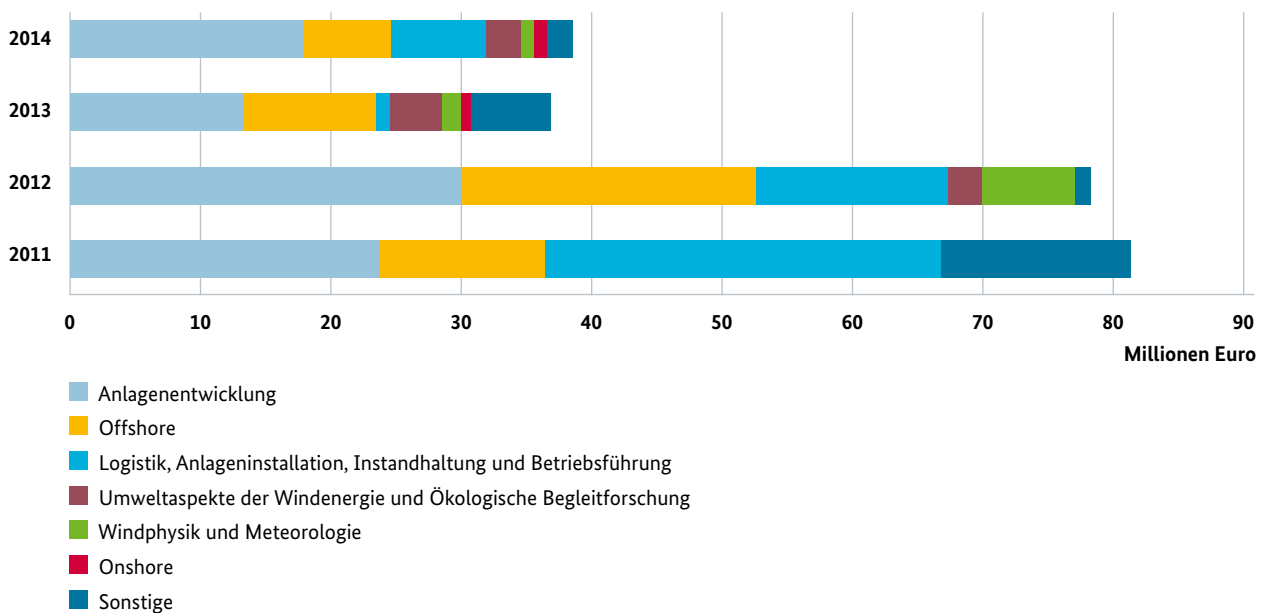
Die Nutzung der Windenergie kann in Deutschland den größten und wirtschaftlichsten Beitrag zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromproduktion liefern. Die Forschungsförderung des BMWi im Bereich Windenergie zielt deshalb insbesondere darauf ab, einen Beitrag zur Kostensenkung zu leisten.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

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

Windenergie: Verteilung der Fördermittel zwischen 2011 und 2014



Windenergie: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2011



Um die Stromerzeugung aus Windenergie besser vorher-sagbar zu machen und zu verstetigen, sind außerdem ein verbessertes Verständnis und eine verbesserte Nutzung der Ressource Wind notwendig. Hier werden zum einen verbesserte Verfahren zur Prognose der Winderträge in komplexem Gelände wie gebirgigem Terrain oder Wald-gebieten erforscht und zum anderen verbesserte Ver-fahren zur Simulation von Windlasten für die Auslegung von WEA entwickelt. Zudem werden neuartige Regelungs-konzepte für WEA und Windparks erforscht, um deren Energieertrag zu optimieren.

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

Von entscheidender Bedeutung für den weiteren Ausbau der Windenergienutzung ist die Integration des erzeugten Stroms in die öffentlichen Versorgungsnetze. Forschungs-relevant sind daher auch Fragen der Netzanbindung von Offshore-Windparks, des Last- und Erzeugungsma-nagements, windenergiespezifische Aspekte der Speiche-rung sowie die Verbesserung von Windprognosen.

Im Onshore-Bereich ist das Thema Akzeptanz besonders wichtig, gerade angesichts des ambitionierten Ausbaupfads.

Offshore wiederum stehen die weitere, signifikante Kosten-senkung bei Installation, Logistik, Betrieb und Wartung sowie die Minimierung ökologischer Auswirkungen im Fokus. Sowohl unter Kosten- als auch ökologischen Gesichts-punkten sind hier neuartige, schallarme Gründungskon-zepte wie Saugemmergründungen oder Schwerkraftfunda-mente wichtig. Ein weiterer signifikanter Kostentreiber im Bereich Offshore sind die hohen Kosten für Betriebs-führung und Wartung von Windparks, da diese auf hoher See nur mit hohem Aufwand und in beschränkten Zeit-fenstern erreichbar sind. Professionelle Softwarewerkzeuge

zur kosten- und risikooptimierten Planung der Betriebs-führung, welche vorhandenes Erfahrungswissen zusam-menführen, sollen hier Abhilfe schaffen.

Die aktuelle ökologische Begleitforschung zur Windenergie untersucht schwerpunktmäßig die Auswirkungen von Offshore-Windparks auf Vögel. Die neuen Erkenntnisse werden den Behörden zur Verfügung gestellt und fließen unmittelbar in die Genehmigungspraxis ein. Das schafft Planungssicherheit für die Betreiber und unterstützt so den umweltschonenden Ausbau der Windenergienutzung (siehe Seiten 22-23).

Insgesamt hat das BMWi im Bereich Windenergie 63 Pro-jekte mit einem Fördervolumen von rund 38,5 Millionen Euro neu bewilligt (2013: 36,8 Millionen Euro). Bereits lau-fende Forschungsvorhaben wurden auf dem hohen Niveau der Vorjahre mit rund 53 Millionen Euro (2013: 52,6 Millio-nen Euro) gefördert.

THEMA

Automatisierte Rotorblattfertigung: Qualität rauf, Kosten runter

Rotorblätter machen rund ein Fünftel der Gesamtkosten einer Windenergieanlage aus. Sie werden momentan fast vollständig in Handarbeit gefertigt. Forschung und Industrie untersuchen, an welcher Stelle Automatisierung rentabel ist und wie Rotorblätter dafür konstruiert sein müssen.

Welche Chancen bietet die automatisierte Fertigung von Rotorblättern?

Sayer: Im internationalen Wettbewerb stehen die Blathersteller vor der Herausforderung, die Kosten zu senken und gleichzeitig steigende Stückzahlen zu ermöglichen. Dem wollen wir mit der zunehmenden Industrialisierung der Prozesskette begegnen. Wir gehen davon aus, dass die Produktionskosten durch die industrialisierte Fertigung und Einsparungen im Personal- und Materialbereich um zehn Prozent gesenkt werden können. Die Industrialisierung findet aber nicht nur aus Kostengründen statt. Genauso wichtig ist die Qualitätsverbesserung der Blätter. Bei Prozessen, die eine hohe Wiederholgenauigkeit erfordern, kann Automatisierung Nacharbeiten vermeiden und die Qualität verbessern. Das verlängert die Lebensdauer der Rotorblätter und vermeidet unnötige Reparaturen. Und bei sehr großen Blättern kommt ein dritter Treiber hinzu: Die Fertigbarkeit an sich. Um beispielsweise die Materialien im Wurzelbereich von sehr großen Blättern in die Form zu legen, müssen die Arbeiter mit Hilfsmitteln arbeiten. Bei Blattlängen von 80 Metern werden die Arbeitsbedingungen immer schwieriger. Speziell entwickelte Maschinen können hier sicherer und zuverlässiger arbeiten.

Wie gehen Sie konkret vor?

Sayer: In dem Vorhaben BladeMaker entwickeln wir in einem Konsortium aus Industrie und Forschung Konzepte und Technologien für die industrialisierte Blattfertigung. Wir untersuchen die gesamte Fertigungskette der Rotorblattproduktion und kalkulieren das

wirtschaftliche Potenzial. Ausgangsbasis hierfür ist eine Vielzahl von technologischen Ansätzen, die auf unterschiedlichen Fertigungsstufen greifen: beginnend beim Formenbau, über die Faserablage und das Handling von Einzelbauteilen bis hin zur Nachbearbeitung der fertigen Blattrohlinge. Zunächst definieren wir die Prozesse, darauf aufbauend beschaffen wir die Hardware für die Prozessautomatisierung und entwickeln die Prozesstechnik.

Um die Technologie praktisch erproben zu können, entwickeln wir ein Referenz-Rotorblatt. Die zentralen Entwicklungen und Versuche wollen wir in dem geplanten BladeMaker-Demonstrationszentrum für die industrialisierte Fertigung von Rotorblättern durchführen. Hier können die Hersteller künftig mit eigenen Blattmodellen die Fertigungsstraße durchlaufen und dabei Einsparpotenziale ermitteln sowie neue Technologien entwickeln.

Ist eine Vollautomatisierung der Rotorblattproduktion denkbar?

Sayer: Ja, die ist technisch denkbar. Ich gehe aber nicht davon aus, dass dies im Moment wirtschaftlich darstellbar ist, denn nicht alle Prozesse eignen sich für eine Automatisierung. Beispielsweise ist für die Schalenbelegung eine vergleichsweise hohe Investition erforderlich, während die zu erwartenden Einsparungen gering sind. Letztlich hängt die Wirtschaftlichkeit immer auch von der jeweiligen Planungsbasis ab: Bei einer großen Fertigung von 3.000 Blättern im Jahr sind die wirtschaftliche Basis und die resultierenden Konzepte sicherlich andere, um über eine industrialisierte Fertigung nachzudenken, als bei 300 Blättern – und es kommen andere Fertigungsabläufe in Betracht. Wahrscheinlich ist, dass die Hersteller mit einer Teilautomatisierung beginnen und die Prozesse dann Schritt für Schritt weiter umstellen. Um die Wirtschaftlichkeit deutlich zu verbessern, entwickeln und untersuchen wir kostengünstige Automatisierungslösungen und Materialien bei gleicher Qualität und Belastbarkeit der Rotorblätter.



Dr. Florian Sayer, Leiter Rotorblatt am Fraunhofer IWES

Neben der Automatisierung verfolgen Sie das Ziel, Rotorblätter mit Intelligenz auszustatten, so genannten Smart Blades. Sind diese beiden Entwicklungen überhaupt miteinander vereinbar?

Sayer: Bei den Technologien für intelligente Blätter muss man zwischen den passiven und den aktiven Technologien unterscheiden. Bei passiven Technologien, beispielsweise Rotorblätter mit geometrischer und struktureller Biege-Torsions-Kopplung, hilft die Industrialisierung: Denn ich habe die einzelnen Prozessschritte besser im Griff und kann die Qualität steigern. Je verlässlicher ich in der Fertigung werde, desto eher kann ich solche intelligente Technologie ausreizen. Bei den aktiven Technologien, also zum Beispiel aktiven Hinterkanten, dauert die Kosten-Nutzen-Analyse noch an. Aber auch hier steht fest, dass durch industrialisierte Fertigung eine höhere Zuverlässigkeit und Qualität der Rotorblätter erreicht werden kann.



THEMA

Zwei Konzepte – zwei Meinungen: Mit oder ohne Getriebe?

Seit einigen Jahren stehen sich zwei grundlegende Bauweisen von Windenergieanlagen gegenüber: Anlagen mit und Anlagen ohne Getriebe. Beide sind auf dem Markt erhältlich, beide werden hinsichtlich Leistung, Zuverlässigkeit und Lebensdauer kontinuierlich weiterentwickelt. Professor Dr. Friedrich Klinger ist Pionier der getriebelosen Windenergieanlagen: Seit 1990 arbeitet er mit seiner Forschungsgruppe Windenergie, heute an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (HTW), an diesem Anlagenkonzept. Hingegen hat sich Professor Dr. Georg Jacobs, Leiter des Instituts für Maschinenelemente und Maschinengestaltung der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, in seinen Forschungsarbeiten auf die Weiterentwicklung von Windenergieanlagen mit Getriebe spezialisiert. Beide haben für den Forschungsjahresbericht des BMWi die Vorteile ihres Konzepts kurz vorgestellt.

Worin besteht Ihrer Meinung nach der technische Vorteil getriebeloser Windenergieanlagen?

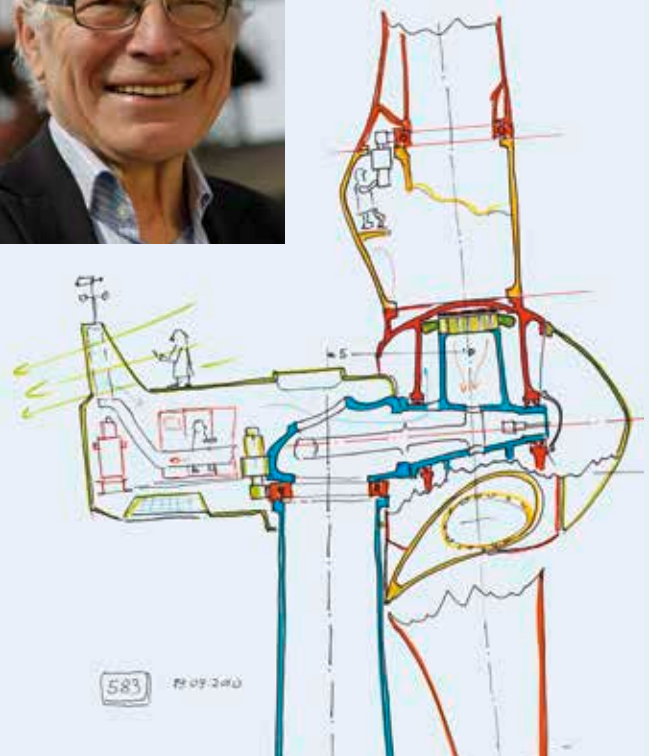
Klinger: Der Vorteil besteht darin, dass die Rotorleistung direkt auf den Generator übertragen wird, deshalb nennen wir das Konzept auch Direktantrieb. Das Getriebe zwischen Rotor und Generator fällt weg. Damit wird der Antriebsstrang zumindest bis zum Umrichter nahezu wartungsfrei. Die Anlage wird robuster, das Layout einfacher und die Zahl der Teile um mehr als die Hälfte reduziert. Im unteren Teillastbereich, bis circa 30 Prozent der Nennleistung, ist der Übertragungswirkungsgrad deutlich besser. Das hängt damit zusammen, dass für den hierbei genutzten „Synchrongenerator“ Permanentmagnete verwendet werden, so dass die bei Elektromagneten üblichen Leistungsverluste wegfallen. Unser Institut hat diese Bauart des Generators erstmals für Windenergieanlagen vorgeschlagen und so ausgeführt, dass der Rotor außen angeordnet ist. Damit fällt der Außendurchmesser des Generators kleiner aus.

Welche Weiterentwicklungen sind hierbei beispielsweise möglich?

Klinger: Es gibt Vorschläge, den Generator mit supraleitenden Spulen zu bauen, um ihn im Volumen zu reduzieren. Möglicherweise ist der Aufwand für Entwicklung und Fertigung zu hoch. Ein rein hydrostatischer Antriebsstrang wurde von Artemis Intelligent Power Ltd. und Mitsubishi Hitachi Power Systems Ltd. entwickelt und gebaut. Darin sind Getriebe und Umrichter durch ölhydraulische Pumpen und Motoren, die eine variable



Professor Dr. Friedrich Klinger und die aus seiner Feder stammende Skizze einer getriebelosen Windenergieanlage



Drehzahlübersetzung möglich machen, ersetzt. Eine Weiterentwicklung des getriebelosen Triebstrangs ist der Nabengenerator, an dem wir zurzeit arbeiten. Es ist der Versuch, den Generator in die Nabe einzubauen oder die Rotorblätter direkt auf den Außenläufer des Generators zu setzen. Damit sollen Gewicht und Verbindungsflansche eingespart werden.

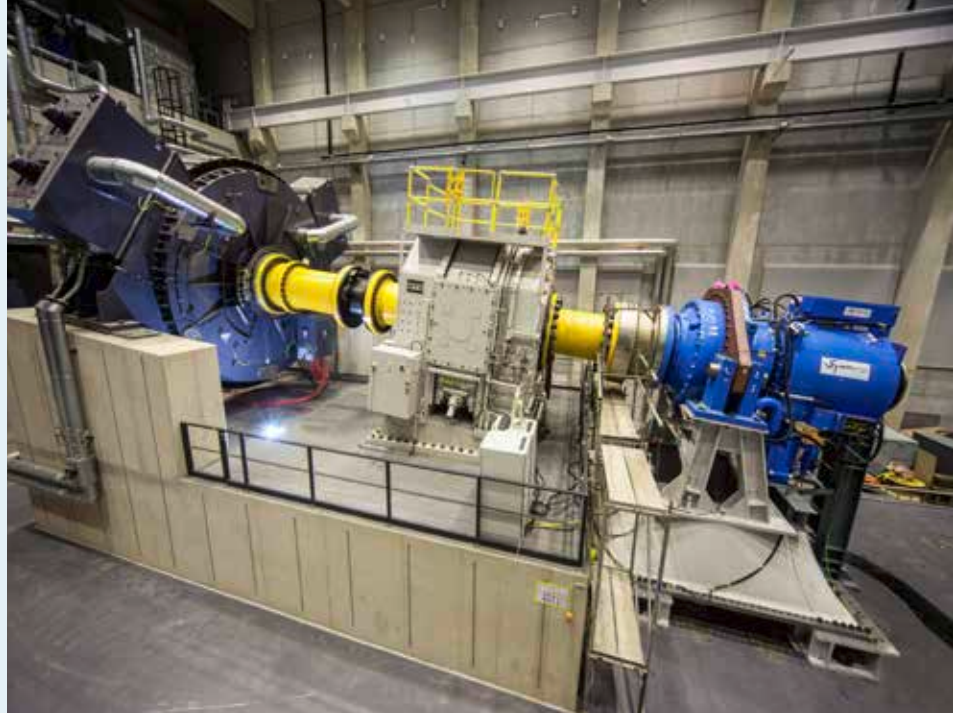
Wird sich diese Antriebsstrangtechnologie in den nächsten zehn bis zwanzig Jahren am Markt durchsetzen?

Klinger: Da die Verfügbarkeit und der Wartungsaufwand bei den großen Megawattmaschinen bei den Stromgestehungskosten eine immer größere Rolle spielen werden, werden sich Direktantriebe bei Windenergieanlagen langfristig durchsetzen, zumindest überwiegend. Auch bei einem Massenprodukt wie dem Fahrraddynamo hat es Jahrzehnte gedauert, bis die Lichtmaschine mit Reibradgetriebe durch den direktgetriebenen Nabendynamo überwiegend verdrängt wurde.



Professor Dr. Georg Jacobs.

Systemprüfstand für 4-Megawatt-Windenergieanlagen an der RWTH Aachen aus dem Ziel2-Projekt „Verbesserung des Betriebsverhaltens von On-Shore Windenergieanlagen mithilfe eines neuartigen Systemprüfstandes“



Worin besteht Ihrer Meinung nach der technische Vorteil von Windenergieanlagen mit Getriebe?

Jacobs: Der Rotor einer Windenergieanlage erntet etwa 50 Prozent der Strömungsleistung des Windes und wandelt diese in mechanische und anschließend mithilfe eines Generators in elektrische Leistung. Die Baugröße des erforderlichen Generators ist in erster Linie von dessen Drehzahl abhängig. Je geringer sie ist, desto größer fällt er aus und desto mehr kostenintensives Kupfer- und Magnetmaterial wird benötigt. Getriebe bieten die Möglichkeit, die physikalisch bedingte niedrige Rotordrehzahl anzuheben und so die Generatorgröße wirksam zu reduzieren. Am Beispiel moderner Onshore-Windenergieanlagen der 2,5-Megawatt-Klasse wird so die Rotordrehzahl von circa 14 Umdrehungen pro Minute auf eine Generator Drehzahl von 500–1650 Umdrehungen pro Minute angehoben.

Die Nutzung von Getrieben ist in weiten Bereichen der industriellen Antriebstechnik verbreitet, um die Baugröße von Generatoren und Pumpen sowie elektrischer und hydraulischer Motoren zu reduzieren und so Kosten zu sparen. Auch die großen Hersteller von Antriebskomponenten für Elektrofahrzeuge nutzen konsequent die Kostenvorteile schnell drehender elektrischer Motoren in Kombination mit mechanischen Getrieben.

Da insbesondere bei den Onshore-Windenergieanlagen der Kostendruck infolge des internationalen Wettbewerbs steigt, versuchen die Hersteller zunehmend, die in anderen Branchen etablierten Kostenvorteile auf die eigenen Produkte zu transferieren.

Welche Weiterentwicklungen sind hierbei beispielsweise möglich?

Jacobs: Voraussetzung für die oben beschriebene Entwicklung ist eine weitere Steigerung der Zuverlässigkeit der Getriebe von Windenergieanlagen. Die Zuverlässigkeit von Windenergieanlagen wird heute maßgeblich von der Funktion der Lagerstellen – nicht nur im Getriebe, sondern auch am Hauptlager des Rotors – beeinflusst. Um hier voranzukommen, müssen die Betriebsbedingungen, insbesondere die lokal wirkenden Lasten, analysiert und bei der Entwicklung und Erprobung der Wälzlager angemessen berücksichtigt werden.

Wird sich diese Antriebsstrangtechnologie in den nächsten zehn bis zwanzig Jahren am Markt durchsetzen?

Jacobs: Ja, weil zu erwarten ist, dass die Zuverlässigkeitssteigerung gelingt.

HIGHLIGHT

Europaweit einzigartiges Testzentrum für Tragstrukturen eröffnet

Im neuen Testzentrum für Gründungs- und Tragstrukturen von Windenergieanlagen sind ab sofort Belastungsversuche wie auf hoher See möglich. Die Prüfstände der neuen Großeinrichtung in Hannover sind europaweit einzigartig.

Windenergieanlagen (WEA) werden immer größer und leistungsstärker. Damit steigen auch die Belastungen für die einzelnen Bauteile der Anlagen. Insbesondere auf See, also offshore, müssen ihre Gründungen und tragenden Strukturen extremen Beanspruchungen standhalten: Windböen zerren an den Rotoren, Wellen prallen auf die Tragstrukturen und die Meeresströmung wallt kontinuierlich gegen die Gründung der WEA.

Bisher wurden diese Belastungen weitab der Küste in tiefen Gewässern getestet. Seit Herbst 2014 können die Forscher die tragenden Strukturen und Gründungen ihrer Anlagen im Labor untersuchen. Das neue Testzentrum Tragstrukturen Hannover (TTH) ermöglicht realitätsnahe Untersuchungen im großen Maßstab. So sinken die Kosten der Windenergienutzung, denn die Unternehmen können die Testergebnisse schnell in die Praxis umsetzen.

Die Wissenschaftler überprüfen die technische Zuverlässigkeit der Strukturen, indem sie die Bedingungen auf See realitätsnah simulieren. 20 Meter hoch ist die Versuchshalle. Sie bietet neben Laboren und Werkstätten insbesondere zwei europaweit einzigartige Großversuchsanlagen. In der so genannten Grundbauversuchsgrube untersuchen die Wissenschaftler, wie standfest die Gründungen der WEA sind. Die Tragstrukturen stehen in einem zehn Meter tiefen Becken. Es ist mit Wasser und wassergesättigtem Sand gefüllt und bildet den

Meeresboden ab. Hydraulikzylinder belasten die Tragstrukturen kontinuierlich auf Zug und auf Druck. So können die Forscher im Zeitraffer untersuchen, wie sich die Tragstruktur und der Baugrund im Umfeld der Tragstruktur bei andauernden zyklischen Belastungen – etwa durch die Meeresströmung – verhält.

Im zweiten Prüfstand, dem so genannten Spannfeld, testen Forscher einzelne Komponenten der Tragstrukturen, beispielsweise Grouted Joints. Diese Rohr-in-Rohr-Verbindungen koppeln bei Offshore-WEA die Gründung mit der Tragstruktur. Fester Feinkornmörtel füllt die Hohlräume zwischen dem Innen- und Außenrohr. Im TTH spannen die Wissenschaftler diese Komponenten in einen 18,5 Meter langen und 10 Meter breiten mehraxialen Versuchsstand. So untersuchen sie, ob der Mörtel durch die zyklische Belastung bröckelt und das Innenrohr durchrutscht.

Diese realitätsnahen Tests bieten Herstellern, Projektierern und Betreibern wichtige Hinweise zur Beanspruchung und Lebensdauer von Tragstrukturen. Sie können die Bauverfahren optimieren und innovative Tragstruktur-Designs schneller und kosteneffizienter in den Markt bringen.

Die Leibniz Universität Hannover betreibt das TTH, in dem das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES als Partner sowie das Zentrum für Windenergieforschung (ForWind) – ein Zusammenschluss der Universitäten Hannover, Oldenburg und Bremen – ihre Forschungsprojekte durchführen.

Das BMWi hat Bau und Inbetriebnahme des Testzentrums mit 17,8 Millionen Euro gefördert.

Das Testzentrum verfügt über zwei europaweit einzigartige Großversuchsanlagen zur Prüfung von Tragstrukturen für Windenergieanlagen: In der Grundbauversuchsgrube (vorn im Bild) können im Wasser stehende Tragstrukturen und Einrammprozesse untersucht werden. Auf dem Spannfeld (hinten im Bild) werden Tragstrukturen in großem Maßstab eingespannt, so dass mehraxiale Belastungen ausgeübt und das Ermüdungsverhalten geprüft werden können.



Realistische Strömungssimulationen sind entscheidend für die Standortbeurteilung und optimale Planung künftiger Offshore-Windparks



Auswahl geförderter Projekte

Standorte besser beurteilen

Vor dem Bau von Windenergieanlagen (WEA) und Windparks wird der potenziell interessante Standort zunächst auf seine Eignung hin beurteilt. Zur Vermessung der lokalen Windverhältnisse werden Windmessmasten aufgestellt, um zuverlässige Ertragsprognosen treffen zu können. Diese Messkampagnen dauern mindestens ein Jahr und verzögern den Aufbautermin. Das kostet Zeit und Geld. Die zunehmende Komplexität potenzieller Standorte vergrößert darüber hinaus den Bedarf an einer genauen und effizienten Bewertung des umliegenden Geländes.

In dem Verbundprojekt Anlagenströmungssimulation und Standortkalibrierung, kurz AssiSt, soll eine realistische Strömungssimulation der gesamten WEA unter unterschiedlichsten Standortgegebenheiten ermöglicht werden. Hierzu kalibrieren die Forscher die in den Software-Tools FLOWer und THETA verwendeten Turbulenzmodelle zugeschnitten auf den einzelnen Standort. Die Simulationen sollen dabei mit möglichst realistischen Einströmbedingungen, die mit Hilfe des meteorologischen Simulationsprogramms PALM gewonnen werden, durchgeführt werden. Die Vorhersagen werden anhand von Messdaten validiert, um dadurch eine zuverlässige, kostengünstige und rasche Standortbeurteilung zu ermöglichen. Durch die Erzielung einer hohen Vorhersagegenauigkeit können aufwändige Messungen reduziert werden. Dies würde die Planung beschleunigen und das standortspezifische Ertragsrisiko minimieren.

Die Simulationen sollen nicht nur für die Standortbeurteilung, sondern auch für die optimale Planung des Windparklayouts realistische Daten liefern. Zusätzlich wollen die Forscher das Gondeldesign verbessern und den Einfluss des plötzlichen Übergangs von einer einfachen geschichteten hin zu einer chaotisch-turbulenten Strömung an den Blättern der WEA aerodynamisch untersuchen. So möchten sie weitere Leistungssteigerungen erreichen.

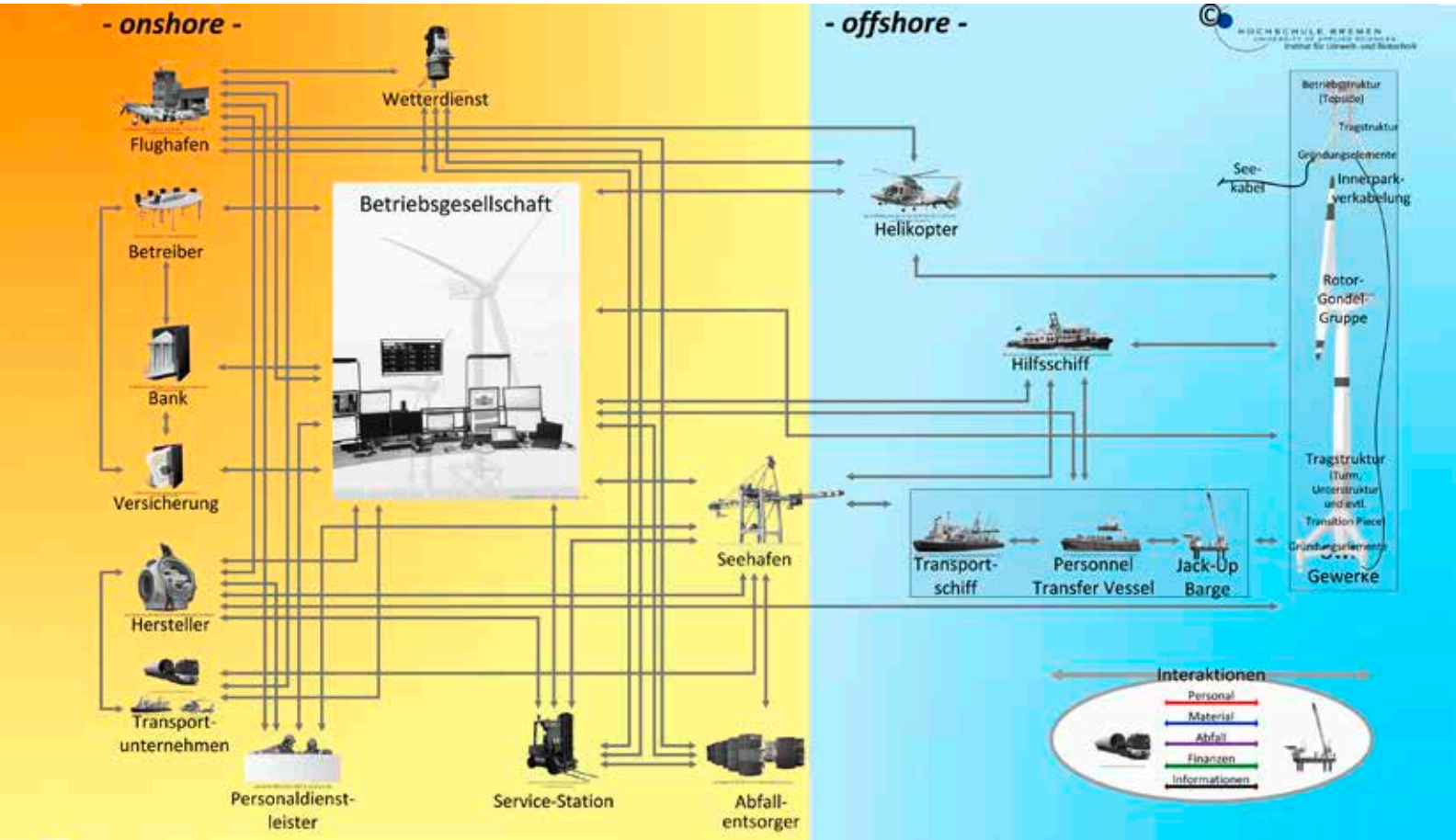
WRD Wobben Research & Development GmbH, die Konstruktions- und Entwicklungsabteilung des WEA-Herstellers ENERCON, koordiniert das Verbundvorhaben. Projektpartner sind die Universität Stuttgart, die Leibniz Universität Hannover sowie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Das BMWi fördert AssiSt mit rund 1,3 Millionen Euro.

Betrieb von Offshore-Windparks optimieren

Neben den technischen Anforderungen, die ein Windpark auf See erfüllen muss, sind effiziente Betriebs- und Instandhaltungsprozesse Voraussetzung für ein zuverlässiges und wirtschaftlich rentables Gesamtsystem.

Dieses als Leistungssystem Offshore-Windpark (OWP) bezeichnete Gesamtsystem beinhaltet viele verschiedene Prozesse. In dem Projekt **SystOp Offshore Wind** wurden die unterschiedlichen Komponenten und Schnittstellen sowie Material-, Personal- und Informationsflüsse und deren Zusammenwirken erfasst und analysiert. Ziel des Vorhabens war die Weiterentwicklung und Optimierung

Auszug aus dem Leistungssystem Offshore Windpark.



des Leistungssystems OWP durch standardisierte Maßnahmen und Strategien.

Auf Basis strukturierter Instandhaltungsprozesse identifizierten die Forscher anhand einer Risikoanalyse und mithilfe eines Simulationswerkzeugs kritische Prozesse und Schnittstellen im Betrieb von OWP. Mit einer auf Offshore-Wind angepassten Risikoanalysemethode können Windparkbetreiber mögliche Störungen des Prozessablaufs analysieren und erhalten Informationen zu Verzögerungsrisiken und Ressourcenmehraufwand. Gleichzeitig haben sie dank des Simulationstools die Möglichkeit, die verschiedenen Prozessalternativen zur Lösung der Probleme miteinander zu vergleichen. Die Ergebnisse werden in dem *German Offshore Wind Operation Guide (GOWOG) – Handlungsleitfaden für den Betriebsführer* beschrieben.

Außerdem entwickelten die Wissenschaftler das Referenzprozessmodell *German Wind Power Plant Model (GWPPM)*. Dieses Modell beschreibt Prozesse, die im Laufe eines Lebens-

zyklus eines OWP auftreten, und gibt Windparkbetreibern wichtige Hinweise für die Standardisierung der komplexen Abläufe beim Betrieb von Windparks auf hoher See.

Dieses Planungs- und Optimierungswerkzeug wendet standardisierte Qualitätssicherungsmethoden an. Betreiber, Projektplaner, Investoren und Versicherer können so effiziente und zuverlässige Instandhaltungsprozesse für OWP entwickeln, planen und beurteilen. Das erhöht die Verfügbarkeit und damit die Wirtschaftlichkeit der Offshore-Windenergie. SystOp Offshore Wind ist ein Verbundprojekt der Hochschule Bremen zusammen mit der Ingenieurgesellschaft IZP Dresden, der Universität Hamburg und der BTC Business Technology Consulting AG. Das Vorhaben wurde vom BMWi mit rund 750.000 Euro gefördert.

Im Nachfolgeprojekt **KrOW!** untersuchen die Verbundpartner gemeinsam mit der EWE AG die Kosten und den risikogesteuerten Betrieb von OWP. Die Forscher wollen ein Simulationstool für die strategische und operative Betriebs-

führung entwickeln. Dieses Werkzeug wird auch Aspekte des Qualitäts- und Umweltmanagements berücksichtigen. Außerdem soll ein Schulungswerkzeug für Entscheider sowie Betriebspersonal konzipiert werden. Alle Methoden validieren die Forscher im laufenden Betrieb eines OWP. Das BMWi fördert KrOW! mit rund 1,4 Millionen Euro.

Zahnrad Schäden nachhaltig vorbeugen

Windenergieanlagen (WEA) müssen hohen dynamischen Belastungen standhalten. In vielen Anlagen sind in den vergangenen Jahren gehäuft Lager- und Zahnrad Schäden aufgetreten. Ein Grund für diese Schäden können Qualitätsmängel an den Getriebebauteilen sein. Mit einer zuverlässigen und aussagefähigen Messtechnik soll solchen Schäden künftig nachhaltig vorgebeugt werden.

Ziel des Forschungsprojekts **EVeQT** ist die Erhöhung der Verfügbarkeit und die Qualitätsoptimierung von Triebstrangkomponenten und Verzahnungen für WEA und damit einhergehend die Senkung der spezifischen Kosten. Unter Koordination der Universität Bremen wollen die Verbundpartner zuverlässige Messungen von Großverzahnungen für WEA sicherstellen. Und dies sowohl in der Fertigung von Neu-Getrieberädern, bei der Bereitstellung

von Ersatzteilkomponenten als auch im späteren Betrieb. In Analogie zu den hoch entwickelten Getrieben der Automobilindustrie will das Konsortium damit in gleicher Weise technische und wirtschaftliche Innovationspotenziale erschließen.

Als Grundlage für zuverlässige Messungen bauen die Projektpartner eine vollständig rückgeführte Verfahrenskette auf. Diese Verfahrenskette beginnt bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), geht weiter über akkreditierte Laboratorien und reicht bis hin zur Industrie. Hierfür entwickeln die Wissenschaftler unter anderem neue Großverzahnungsnormale, angepasst an die Bedürfnisse der Industrie. So wollen sie die Voraussetzung dafür schaffen, künftige Bewertungsstellen für die Konformität von Großverzahnungen akkreditieren zu können. Die Universität Bremen (BIMAQ) möchte ein Labor für Großverzahnungen als zertifizierte Prüfstelle in Deutschland etablieren. Die Industrie könnte dann erstmals ihre großen Zahnräder und Zahnradnormale kalibrieren lassen und damit die Qualität ihrer Verzahnungsmessungen normgerecht nachweisen.

Verbundpartner sind die Universität Bremen, die Hexagon Metrology GmbH sowie die PTB. Das BMWi fördert **EVeQT** mit rund 2,3 Millionen Euro.



Im Projekt **EVeQT** entwickeltes werkstückähnliches Großverzahnungsnormale der PTB

HIGHLIGHT

Innovative Gründungsstruktur für Offshore-Windparks

Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) werden aktuell überwiegend auf Gründungen errichtet, die mit Hilfe des Impulsrammverfahrens am Meeresboden verankert werden. Das Installationsverfahren hat aufgrund der hohen Hydroschallemissionen negative Auswirkungen auf die Meeresumwelt.

Eine interessante Alternative zu Rammpfählen stellen Saugeimergründungen (engl.: Suction Bucket Foundations) dar. Diese bestehen aus einem oder mehreren nach unten offenen Stahlzylindern („Eimern“), die am unteren Ende der Tragstruktur befestigt sind. Die Stahlzylinder werden auf dem Meeresboden abgestellt. Saugpumpen erzeugen einen Unterdruck, wodurch die Stahlzylinder Stück für Stück in den Meeresboden eingesogen werden. Vorteile dieser innovativen Gründung: Das Fundament wird in einem einzigen Hub- und Montagevorgang installiert, so dass sich sowohl die Bauzeit als auch die damit verbundenen Kosten reduzieren. Außerdem sind keine schallintensiven Arbeiten notwendig, das sensible Meeresökosystem wird geschont.

Den Prototyp einer als Jacket-Konstruktion ausgeführten Saugeimergründung konnten Installateure des Projektentwicklers DONG Energy im Herbst 2014 erfolg-

reich im deutschen Nordsee-Windpark Borkum Riffgrund 1 installieren. Errichtung und Test des Prototyps werden gefördert durch die Förderinitiative „Offshore Wind Accelerator“ von Carbon Trust, einem in Großbritannien ansässigen, gemeinnützigen Unternehmen.

Das BMWi-geförderte Verbundvorhaben **Monitoring Suction Bucket Jacket** dockt an diesen Feldtest an. In diesem Projekt haben sich die Leibniz Universität Hannover, die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) sowie die DONG Energy Renewables Germany GmbH zusammengeschlossen. Beim Prototyp-Test werden umfangreiche Messdaten erhoben, die zur Validierung und Weiterentwicklung bereits existierender Berechnungsmethoden und Modelle zur Bemessung und Installation von Saugeimergründungen genutzt werden. Anhand der validierten Modelle sollen Struktur und Design der Saugeimergründungen optimiert und mittel- bis langfristig zertifizierungs- und genehmigungsfähig werden. Es wird erwartet, dass die Gründungskosten durch das neue Konzept um 15 bis 20 Prozent reduziert werden können. Hiervon würde die gesamte Offshore-Windindustrie profitieren.

Das BMWi fördert den Verbund „Monitoring SBJ“ mit rund 1,1 Millionen Euro.

Prototyp einer als Jacket-Konstruktion ausgeführten Saugeimergründung (engl. Suction Bucket Jacket)



Offshore-Windparks umweltverträglich bauen

Im Projekt **HELBIRD** untersucht die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel mögliche Auswirkungen von Offshore-Windparks (OWP) auf Seevögel und Meeressäuger. Die Forscher betrachten hierfür das Gebiet der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone nördlich von Helgoland. In diesem Bereich werden seit 2012 mehrere Windparks mit dazwischenliegenden, unbebauten Korridoren errichtet. Zum ersten Mal kann evaluiert werden, ob die Tiere die Korridore nutzen und falls ja, wie breit diese Korridore in zukünftigen Windpark-Clustern sein sollten. Gerade die unmittelbare Nähe zur Insel Helgoland, auf der viele für die Region charakteristische Seevogelarten brüten, ist für die Untersuchung geeignet.

Die Wissenschaftler erfassen die Verteilungsmuster und Flughöhen der Seevögel durch flugzeuggestützte Erfassungen mit hochauflösenden Video- und Digitalkameras. Anhand dieser Daten können sie mögliche Anlock- und Meideffekte von OWP für Seevögel und marine Säugetiere

quantifizieren. Die Forscher wollen die verschiedenen Erfassungsmethoden evaluieren und methodisch weiterentwickeln.

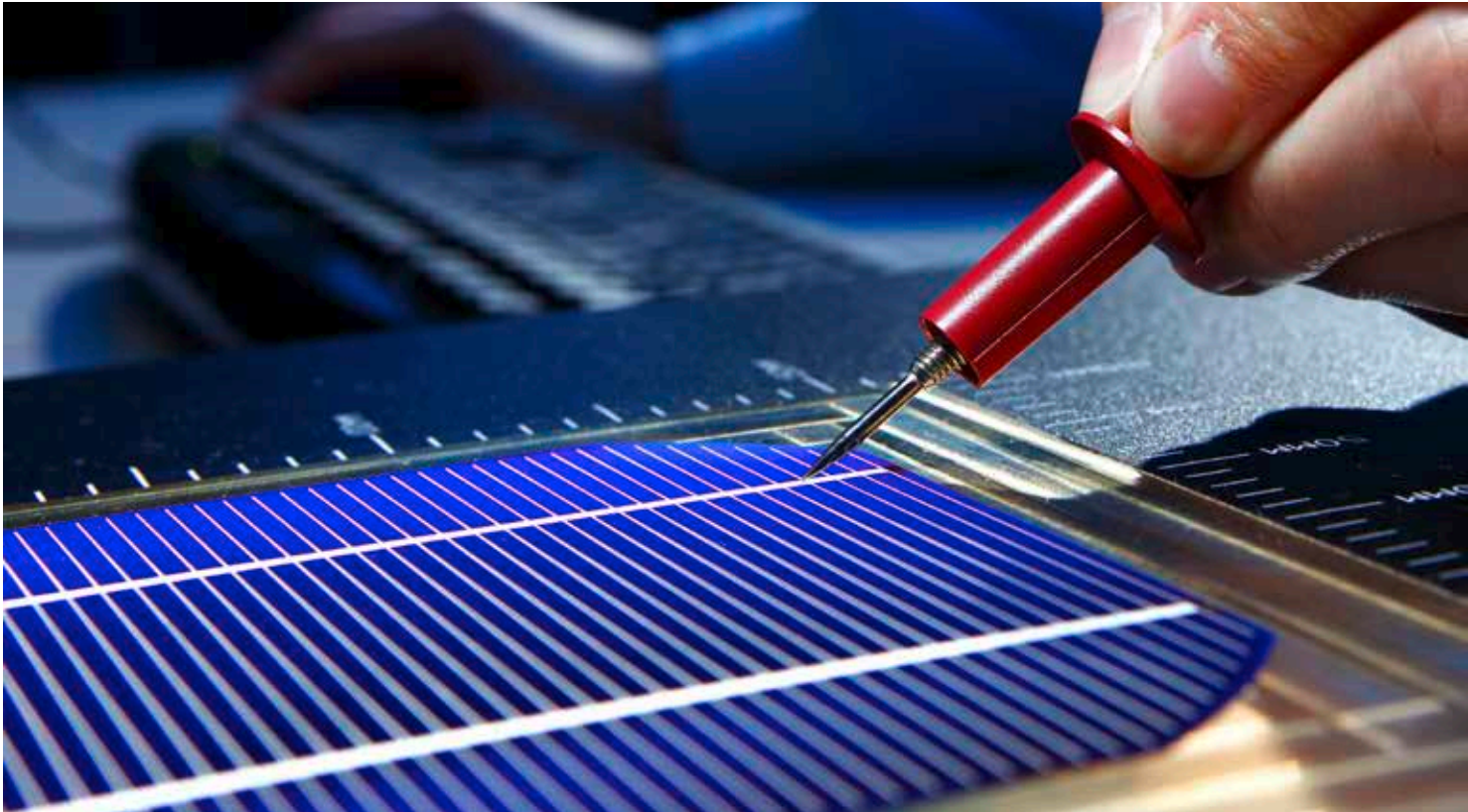
Darüber hinaus wollen die Wissenschaftler GPS-Datenlogger einsetzen, um die Verhaltens- und Flugmuster sowie die Raumnutzung von mehreren Helgoländer Brutvogelarten individuenbasiert und koloniebezogen zu untersuchen. Dabei können sie auf die Ergebnisse bereits durchgeführter Telemetriestudien mit Heringsmöwen und Basstölpeln zurückgreifen. So ist ein Vergleich mit der Situation vor dem Bau der OWP möglich.

Das Vorhaben trägt dazu bei, die von OWP ausgehenden möglichen Umweltauswirkungen auf Seevögel und Meeressäuger verstehen, bewerten und einordnen zu können. Die neuen Erkenntnisse werden den Behörden zur Verfügung gestellt und fließen unmittelbar in die Genehmigungspraxis ein. Das schafft Planungssicherheit für die Betreiber und unterstützt so den umweltschonenden Ausbau der Windenergie.

Das BMWi fördert HELBIRD mit rund 1,3 Millionen Euro. ■



Solarenergie



Solarstrom wird in Deutschland häufig mit der Photovoltaik gleichgesetzt. Diese Technik ist hierzulande einfach einsetzbar und wegen der Förderung über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) für viele Hausbesitzer attraktiv. Neben der Photovoltaik ist jedoch auch die solarthermische Stromerzeugung zu nennen. Diese kann in Deutschland selbst nicht genutzt werden, da sie mit konzentrierter Solarstrahlung arbeitet. Hierfür wiederum wird ein Klima mit hohem Direktstrahlungsanteil benötigt, wie es beispielsweise in Südeuropa, Nordafrika oder auch den USA vorherrscht. Daher werden solarthermische Kraftwerke hier ausschließlich für den Export in diese Länder entwickelt.

Photovoltaik

Es wird erwartet, dass die Photovoltaik zusammen mit der Windenergie zukünftig die Hauptlast der deutschen Stromversorgung übernimmt. Bereits 2014 trug sie rund 5,8 Prozent des deutschen Stromverbrauchs.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Nachdem das Jahr 2013 für die Photovoltaikindustrie wie erwartet schwierig verlief, lässt sich im Jahr 2014 eine leichte Trendwende erkennen. Auch wenn die Installationen in Deutschland mit 1,95 Gigawatt deutlich hinter den Erwartungen zurückgeblieben sind, wuchs der Weltmarkt

nach ersten Prognosen auf 40 bis 42 Gigawatt Zubau im Jahr 2014 an (2013: 37 Gigawatt). In Europa war Großbritannien der bestimmende Markt, weltweit insbesondere China, Japan und die USA. Das globale Wachstum bietet auch deutschen Unternehmen Chancen, sofern sie qualitativ hochwertige Produkte und konkurrenzfähige Preise bieten können.

In Deutschland ist nun noch ein großes Unternehmen tätig, das Solarzellen und -module für den Massenmarkt fertigt. Die Solar World Gruppe konnte nach Restrukturierung die Fertigung des Bosch-Geschäftsbereiches Solar Energy übernehmen und bereitet eine Fertigung in der Größenordnung von einem Gigawatt jährlich vor. Die Firma Q-Cells als Teil der koreanischen Hanwha Gruppe hat zum ersten März 2015 ihre Fertigung in Deutschland eingestellt. Forschung und Entwicklung sollen jedoch weiter

betrieben werden. Gut positioniert ist der deutsche Anlagenbau, derzeit mehr als 50 Unternehmen, der seinen Umsatz im Jahr 2014 wieder steigern konnte.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

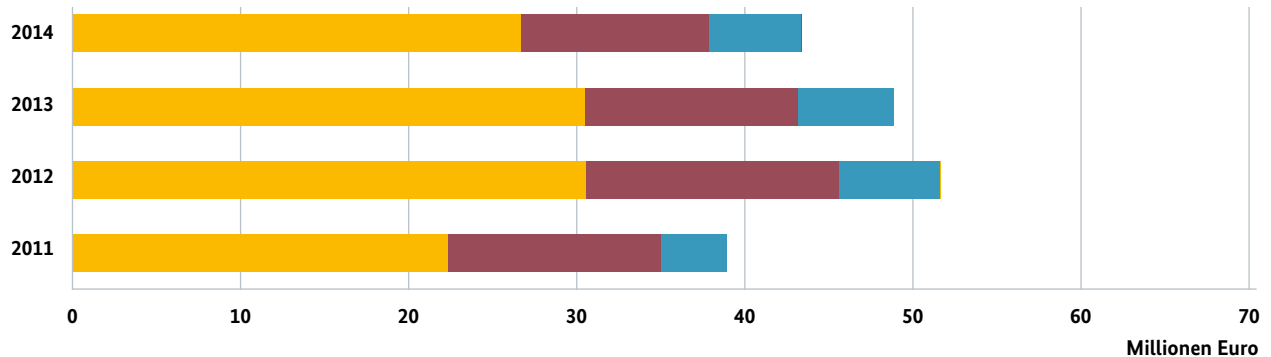
Nach wie vor ist essentiell, die Kosten für Photovoltaik-kraftwerke kontinuierlich zu reduzieren. Dabei geht kein Weg an Solarmodulen mit hohem Wirkungsgrad vorbei, sie sollen also so viel Strom wie möglich aus dem vorhandenen Sonnenlicht gewinnen.

Photovoltaikmodule auf Basis des kristallinen Siliziums sind nach wie vor der Standard am Markt. Aktuell wird die

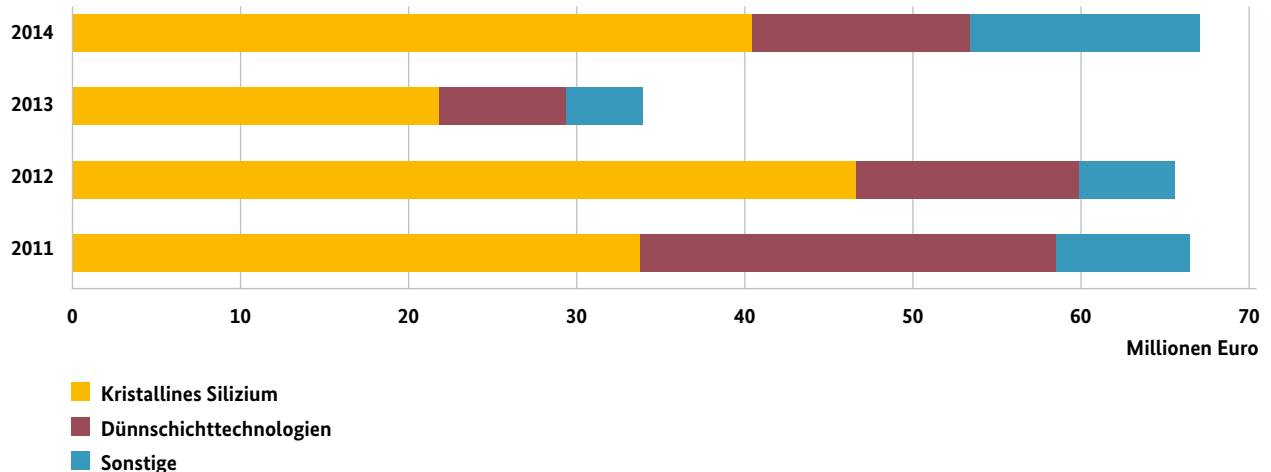
PERC-Technologie (Passivated Emitter and Rear Contact), bei der die sonnenabgewandte Rückseite der kristallinen Siliziumsolarzelle weiterentwickelt wurde, in der industriellen Fertigung etabliert. Sie erreicht Zellwirkungsgrade um 20 Prozent, im Gegensatz zu 18 Prozent bei der bisher üblichen Technologie. Weiterführende Konzepte sind in der Vorbereitung. Wesentlich ist es, diese auf industrietaugliche Anlagen zu übertragen.

Auch für Dünnschichttechnologien mit einem Halbleitermaterial aus chemischen Verbindungen unterschiedlicher Elemente wurde im Labor nachgewiesen, dass Wirkungsgrade über 20 Prozent möglich sind. In Deutschland konzentriert sich die Forschung auf die sogenannte CIGS-Technologie. Für diese Solarzellen konnte das Zentrum für

Photovoltaik: Verteilung der Fördermittel zwischen 2011 und 2014



Photovoltaik: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2011



- Kristallines Silizium
- Dünnschichttechnologien
- Sonstige

Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) 2014 den Weltrekord erneut steigern, er liegt jetzt bei 21,7 Prozent. Nun muss dieser Wert auf die industrielle Fertigung übertragen werden.

Für die Siliziumdünnschichttechnologie ist es bislang nicht gelungen, Wirkungsgrade oberhalb von 10 Prozent in der Fertigung zu realisieren. In der Folge ist die Entwicklung in Europa quasi zum Erliegen gekommen.

Ein weiterer Weltrekord konnte 2014 zur Konzentrierenden Photovoltaik (CPV) vermeldet werden. Hierbei wird das Sonnenlicht durch spezielle Linsen auf hochwertige Solarzellen konzentriert. Dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE gelang es, zusammen mit französischen Partnern eine Mehrfachzelle mit einem Wirkungsgrad von 46 Prozent zu erzielen.

Strategie der Forschungsförderung

Ziel der Förderung des BMWi ist es, die deutsche Photovoltaikindustrie, den Anlagenbau sowie die Zulieferfirmen bei der Entwicklung innovativer, konkurrenzfähiger Lösungen zu unterstützen und damit einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen der Energiewende zu leisten. Verbundvorhaben zwischen Forschungseinrichtungen und Industrie unter Führung Letzterer werden daher favorisiert. Ein wesentliches Instrument hierfür war die Innovationsallianz Photovoltaik, die gemeinsam vom BMWi und BMBF umgesetzt wurde. Erfolge dieser Strategie zeigen sich an einer Reihe von positiven Ergebnissen. Daher wurde 2014 von BMWi und BMBF die Initiative „Forschung und Entwicklung für Photovoltaik“ umgesetzt. Das BMWi stellte hierbei für 9 industriegeführte Verbundvorhaben zusammen 43 Millionen Euro zur Verfügung.

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

Aufgrund der oben ausgeführten Entwicklungspotenziale für die deutsche Industrie liegen die Schwerpunkte der Förderung insbesondere bei den Technologien zum kristallinen Silizium, aber auch zur CIGS-Dünnschicht-

technologie, der Konzentrierenden Photovoltaik und der Systemtechnik. Dies schließt auch die Beteiligung am europäischen Solar ERA-Net (European Research Area) ein.

Im Förderschwerpunkt Photovoltaik flossen im Jahr 2014 rund 43,3 Millionen Euro in laufende Vorhaben, was einen leichten Rückgang gegenüber dem Vorjahr (2013: 48,7 Millionen Euro) darstellt. Gleichzeitig haben sich die Mittel für neu bewilligte Projekte fast verdoppelt: Insgesamt hat das BMWi im Jahr 2014 im Bereich Photovoltaik 90 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 66,9 Millionen Euro (2013: rund 34 Millionen Euro) neu bewilligt – enthalten sind hier auch die Projekte der neuen Förderinitiative.

Auswahl geförderter Projekte

Weniger Diesel und mehr Photovoltaik für Inselnetzsysteme

Vom Verbundnetz unabhängige, sich selbst versorgende Stromsysteme – sogenannte Inselnetzsysteme – arbeiten zurzeit noch hauptsächlich mit Dieseleratoren. Dieser weltweite Markt, aktuell mit einem Umfang von rund 20 Gigawatt pro Jahr, soll durch nachhaltige Energieversorgungssysteme ersetzt bzw. ergänzt werden. Das Projekt **PV-Diesel** sieht hierfür vor allem die Photovoltaik (PV) vor, die in geeigneten Systemlösungen zusammen mit Dieseleratoren eine kostengünstige und zuverlässige Alternative darstellt. Zusammen arbeiten die SMA Solar Technology AG als Koordinator, die Märkisches Werk GmbH (MWH), die Fraunhofer-Institute für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES und für Solare Energiesysteme ISE sowie die Fachhochschule Köln vor allem an großen, meist aus mehreren Dieseleratoren und PV-Anlagen bestehenden Inselnetzsystemen im Multimegawatt-Bereich. Die Systemtechnik soll bei den Arbeiten im Vordergrund stehen.

Unter anderem entwickeln die Projektpartner einen speziell für den Einsatz in PV-Diesel-Inselnetzsystemen angepassten, spannungsgeführten Batteriewechselrichter der Megawattklasse, der mit unterschiedlichen Batterietechnologien kombiniert werden kann, sowie einen speziellen PV-Diesel-Hybrid-Controller, der als zentrale Steuerungseinheit das Zusammenspiel von Batteriewechselrichter, PV-Wechselrichter und Dieselerator optimiert. Bisher

PV-Dieselsystem mit PV, Batteriespeicher und Dieselgeneratoren für die autonome Versorgung eines kleinen netzfernen Betriebes (hier eine Mine)



sind auf dem Markt in diesem Leistungsbereich noch keine geeigneten Serien-Systemlösungen verfügbar, so dass der Dieselgenerator als Netzbildner rund um die Uhr laufen muss und nur ein kleiner Solarenergieanteil möglich ist. In dem Projekt soll das Inselnetzsystem als Ganzes optimiert werden, es soll zuverlässig und wirtschaftlich sein und der Anteil der Solarenergie an der Stromproduktion soll deutlich erhöht werden. Durch den angestrebten modularen Aufbau sollen die Systeme flexibel an unterschiedlichste Einsatzfälle angepasst werden können. Insgesamt sinkt der Dieselverbrauch moderner PV-Diesel-Systeme gegenüber heutigen Lösungen deutlich. Damit werden die Betriebskosten gesenkt und die Umwelt geschont. Das BMWi fördert das Projekt im Rahmen der Förderbekanntmachung „F&E für Photovoltaik“ mit rund 2,3 Millionen Euro.

Hocheffiziente Module für wirtschaftlichen Photovoltaikstrom

Drei sich ergänzende Ansätze sollen im Projekt **LAURA** die Stromgestehungskosten für kristalline Silizium-Module erheblich senken: die Entwicklung hocheffizienter Module, kostengünstiger Batteriespeicher und intelligenter Energiemanagementsysteme.

Die Projektpartner unter Koordination der SolarWorld Innovations GmbH, darunter die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, die Hochschule Mittweida, die MBJ Solutions GmbH, die Humboldt-Universität zu Berlin, das Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik sowie die Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, arbeiten an innovativen Modulkonzepten mit geringen elektrischen

und optischen Verlusten sowie verbesserter Qualität. Die Solarzellen darin sollen auf neue Weise verschaltet werden. Das Licht soll zudem besser eingekoppelt sowie innerhalb des Moduls gefangen werden. Zusammen mit Verbesserungen an der Solarzelle sollen bis zum Projektende Photovoltaikmodule mit einer zum gegenwärtigen Stand über zehn Prozent gesteigerten Leistung entstehen.

Einen weiteren Schwerpunkt stellt die Verbesserung der Modulqualität dar. Hierbei arbeiten die Projektpartner insbesondere an einer verbesserten Optik, an einer längeren Lebensdauer, an einer besseren Widerstandsfähigkeit gegen Wettereinflüsse durch verbesserte Materialeigenschaften sowie an einer geringeren Moduldegradation. Hierzu sollen beschleunigte Qualitätstests entwickelt werden, um die Entwicklungszyklen wesentlich zu reduzieren. Durch die verbesserte Modulleistung und Qualität sollen die Stromgestehungskosten deutlich gesenkt werden. Durch zusätzliches Speichern bzw. ein flexibles Energiemanagement lässt sich der Anteil des Eigenverbrauches von Strom aus Photovoltaik weiter steigern, mit positiver Auswirkung auf die Stromnetze. Hierfür entwickeln die Projektpartner kostengünstige Batteriespeicher auf Basis der Lithium-Ionen-Speichertechnologie. Zudem stellen sie Energiemanagementsysteme bereit, die sowohl Ertragsprognosen als auch Lastprofilanalysen einbinden. Das BMWi fördert das Projekt im Rahmen der Förderbekanntmachung „F&E für Photovoltaik“ mit rund 8 Millionen Euro.

THEMA

Feintuning für Hochleistungszellen

Herr Dr. Glunz, mit Ihren Forschungsarbeiten am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE wollen Sie die Herstellungskosten für Solarstrom weiter senken und so die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Photovoltaik-Industrie stärken. An welchen Stellschrauben drehen Sie hierfür?

Glunz: Wichtigster Hebel ist ganz klar der Wirkungsgrad. Viele der Kosten des Gesamtsystems sind flächenproportional, so dass sich eine Erhöhung des Wirkungsgrades sehr positiv auswirkt. Eine reine Reduzierung der Material- oder Herstellungskosten ist lange nicht so kosteneffektiv. Deswegen forschen wir so viele Photovoltaik-Firmen an effizienten Hochleistungszellen.

Besonders wichtig für uns ist die schnelle Überführung der Ergebnisse aus dem Labor in die industrielle Produktion. Deshalb bilden wir beim Fraunhofer ISE die gesamte Wertschöpfungskette ab: von der Kristallisation bis zur Modultechnologie. Aktuell sind noch Wirkungsgrade von unter 20 Prozent in der Produktion üblich. Das wollen wir mit neuen Solarzellkonzepten und innovativen Produktionsprozessen steigern.

Was sind die vielversprechendsten Ansätze?

Glunz: Eines unserer zentralen Forschungsthemen ist es, die Rekombination der durch das Licht erzeugten Ladungsträger in der Zelle so stark wie möglich zu reduzieren. Wir möchten verhindern, dass positive und negative Ladungsträger sich wieder neutralisieren, denn dann sind sie nicht mehr für den äußeren Stromkreis nutzbar. Deshalb sind wir aktiv bei der Einführung einer verbesserten Rückseitenpassivierung. Bei den gängigen Solarzellen ist die Rückseite mit Metall bedeckt und bildet damit eine riesige Defektfläche. Wir wollen diese Störstellen vermindern und bringen deshalb auf der Rückseite zunächst eine Siliziumdioxid- oder Aluminiumoxidschicht und darunter erst die Metallschicht auf. Die besondere Herausforderung liegt nun darin, die Schicht mit Öffnungen durchlässig zu machen, denn die positiven Ladungsträger müssen nach außen gelangen.

Welche Lösung können Sie der Industrie hier anbieten?

Glunz: Für dieses Feintuning an Solarzellen haben wir einen innovativen Fertigungsprozess entwickelt, auf den wir ein Patent haben. Zunächst tragen wir die Passivierungsschicht auf, dann das Metall und schließlich feuert ein Laser optimal platziert das Metall durch die isolierende Passivierungsschicht. Diese LFC-Technologie, das

steht für Laser Fired Contact, konnten wir bereits erfolgreich in industrielle Prozesse überführen.

Welche weiteren Erfolge konnten Sie in den vergangenen Jahren erzielen?

Glunz: Dank der Rückseitenverbesserung konnten wir 2004 den Weltrekord für multikristalline Solarzellen aufstellen und halten ihn seitdem. Um diesen Weltrekord von 20,4 Prozent Wirkungsgrad für eine im Labor gefertigte Solarzelle zu erreichen, haben wir zusätzlich die Strukturierung auf der Vorderseite der Zelle verbessert. Bei multikristallinem Silizium ist der perfekte Lichtfang aufgrund der verschiedenen Kristallorientierungen schwerer zu erreichen. Außerdem ist auch die Anzahl der elektrisch aktiven Defekte relativ hoch. Wir haben die Solarzelle deshalb deutlich verdünnt: Von über 200 auf 99 Mikrometer. Denn je dünner das Ausgangsmaterial ist, desto weniger spielen die Defekte darin eine Rolle. Die Idee ist die eine Sache, die Umsetzung erfordert dann viel Fingerspitzengefühl. Entscheidend für uns ist, dass unsere Forschungserfolge auch konkret genutzt werden können. Deshalb arbeiten wir eng mit deutschen Solarzellenproduzenten und Maschinenbauern zusammen. Diese gemeinsame Optimierung der Prozessschritte führt zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Zellen. Der Weltrekord unserer Laborzelle wird bestimmt bald geknackt.



Welche Ziele haben Sie sich für die kommenden Jahre gesteckt?

Glunz: Kurz- bis mittelfristig wollen wir Wirkungsgrade von 23 Prozent mit kostengünstigen Prozessen ermöglichen. Wir haben viele neue Technologien, um dies in der Produktion zu schaffen. Zum Beispiel der Wechsel von p- auf n-dotiertes Silizium. Dabei wird der komplette Aufbau der Zelle umgekehrt. So kann der Einfluss der Defekte weiter reduziert werden.

Siliziumsolarzellen haben jedoch einen maximalen Wirkungsgrad von 29,4 Prozent. Danach ist Schluss. Deshalb wollen wir eine siliziumbasierte Tandemtechnologie aufbauen. Wir möchten die Siliziumzelle weiter nutzen, aber oben eine zusätzliche Solarzelle mit einer größeren Bandlücke draufpacken. So können wir das breitbandige Lichtspektrum besser ausnutzen. Dafür gibt es mehrere Möglichkeiten: Zum einen Solarzellen aus III-V Halbleitern, die wir auf die Siliziumsolarzelle aufwachsen oder durch Wafer-Bonding verbinden. Hier werden zwei Wafer heiß zusammengepresst, damit wir einen Wirkungsgrad der Solarzelle von über 30 Prozent erreichen. Ich bin äußerst zuversichtlich, dass wir mit diesen innovativen Ansätzen die deutsche Photovoltaik-Industrie entlang der gesamten Wertschöpfungskette nach vorn bringen können. Denn was Innovation und Qualität betrifft, sind wir weltweit nach wie vor Vorreiter.



Dr. Stefan Glunz ist Bereichsleiter Solarzellen – Entwicklung und Charakterisierung am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Für seine Forschung im Bereich hocheffizienter Siliziumsolarzellen wurde er 2014 mit dem Becquerel-Preis der Europäischen Kommission ausgezeichnet.



100 SolarWorld-PV-Module auf dem Dach der Kita Kalenborn in Rheinland-Pfalz sparen im Jahr 9,7 Tonnen Treibhausgase, 17,6 Megawattstunden Strom werden erzeugt

PERC-Zellen als neue Solarzell-Generation

Seit mehr als einem Jahrzehnt stellt die sogenannte Al-BSF-Technologie (Aluminium Back-Surface-Field) die Basistechnologie für die Fertigung und Weiterentwicklung kristalliner Siliziumwafer-Solarzellen im industriellen Maßstab dar. Dabei bildet der Siliziumwafer den Kern der Zelle, auf seiner sonnenzugewandten Vorderseite befinden sich der Emitter, eine Emitter-passivierende Schicht und elektrische Kontakte. Auf seiner Rückseite befindet sich eine vollflächige Schicht Aluminium, die das Back-Surface-Field – ein elektrisches Feld – erzeugt und als elektrischer Kontakt der Zellrückseite dient. Im Verbundprojekt **HELENE** unter Koordination der SolarWorld Innovations GmbH soll nun die PERC-Technologie („Passivated Emitter and Rear Cell“) als neue Zellgeneration und direkte Nachfolgerin der Al-BSF-Technologie für die flächendeckende Markteinführung vorbereitet werden. Die PERC-Technologie ist nicht vollkommen neu, sie baut auf der beschriebenen Al-BSF-Technologie auf. Statt der vollflächigen Aluminiumschicht wird eine dielektrische Schicht auf der Zellrückseite aufgebracht, zum Beispiel aus Aluminiumoxid und Siliziumnitrid ($\text{AlO}_x/\text{SiN}_y$), so dass das Aluminium den Siliziumwafer nur noch lokal kontaktiert. Die Zellrückseite ist hierbei ebenfalls passiviert. Elektrische und optische Verluste werden reduziert, der Wirkungsgrad kann signifikant erhöht werden.

HIGHLIGHT

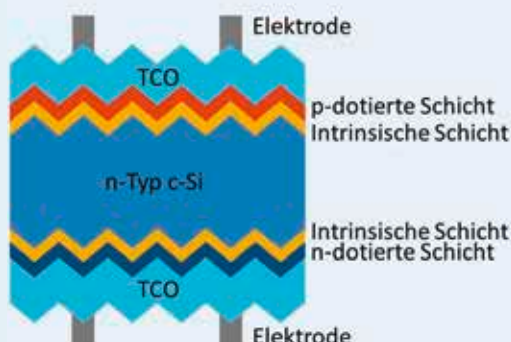
Heterojunctionzellen aus neuartigem Fertigungskonzept

Die Heterojunction-Technologie bietet ein hohes Potenzial für kostengünstige, hocheffiziente Solarzellen. Hierbei werden die Vorteile zweier unterschiedlicher Siliziumformen kombiniert. Ziel des Projekts INNOHET der SINGULUS TECHNOLOGIES AG, SINGULUS Stangl Solar GmbH und des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE ist es, ein neuartiges Fertigungskonzept für Heterojunctionzellen zu entwickeln, welches Stromgestehungskosten von weniger als zehn Cent pro Kilowattstunde bei Installationen in Mitteleuropa ermöglichen soll. Gleichzeitig entwickeln die Projektpartner die dazugehörige Anlagentechnologie.

Basis der klassischen Heterojunctionzelle bildet der rund 200 Mikrometer dicke kristalline Siliziumwafer; das Element Silizium nimmt hier eine regelmäßige Gitterstruktur ein. Auf Vorder- und Rückseite dieser Scheibe werden jeweils Schichten amorphen Siliziums aufgebracht, die mit rund zehn Nanometern Dicke nur gut ein Zehntausendstel davon betragen. Amorph bedeutet ungeordnet, da die Siliziumatome hierbei keine kristalline Gitterstruktur aufweisen.

Ein Vorteil der Heterojunctionzellen ist, dass relativ wenige Fertigungsschritte benötigt werden. Gleichzeitig ermöglichen sie hohe Wirkungsgrade, es wird also ein hoher Anteil der Sonnenstrahlung in Strom umgewandelt. Ihr Aufbau in einzelnen, sich voneinander grundlegend unterscheidenden Schichten erfordert jedoch eine besonders hohe Qualität der Oberflächen und Schichtgrenzflächen. Ein Ansatz des Projekts INNOHET liegt darin, die Prozesskette, vor allem die unnötigen und aufwändigen Reinigungsschritte, weiter zu minimieren. Hierfür entwickeln sie ein integriertes Anlagenkonzept, das auf einem Durchlaufverfahren basiert. Enthalten sein soll unter anderem eine Anlage mit neuartigem

Aufbau einer Heterojunctionzelle



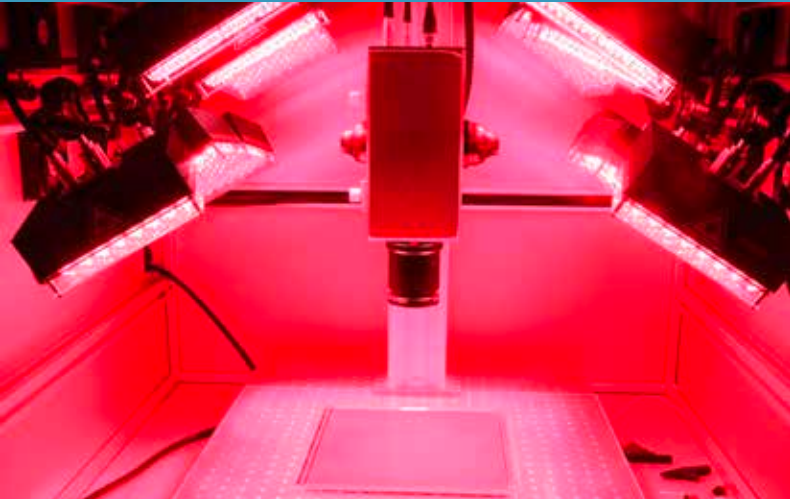
Transportsystem, in der die Wafer vor der Beschichtung gereinigt werden sollen. Hierbei sollen die Wafer statt auf den üblichen Transportrollen in Transporttaschen liegen und können somit berührungsfrei durch das Reinigungsbad geleitet werden.

Ein weiterer Ansatz ist es, alternative Beschichtungen zu entwickeln. So ist zum Beispiel die Dicke der wasserstoffreichen, amorphen Siliziumschicht, die bisher zur Passivierung direkt auf den Siliziumwafer aufgebracht wird, lediglich ein Kompromiss. In Bezug auf ihre Leitfähigkeit und Absorptionsverlust müsste sie dünner, in Bezug auf die maximale Spannung eher dicker ausfallen. Zudem arbeiten die Projektpartner daran, möglichst feine Kontaktstrukturen auf die Zellen aufzubringen, etwa durch Aufdampfen. Hierfür muss wiederum die Modultechnologie angepasst werden, da es bei den feinen Kontakten zu erhöhten Serienwiderstandsverlusten des abgeleiteten Stroms kommen kann. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 3,3 Millionen Euro.

Höhere Qualität durch bessere Kontrolle

Qualitätskontrolle in der Produktion bedeutet hochwertige Produkte und geringen Ausschuss, also geringere Kosten – zwei wichtige Wettbewerbsvorteile. Im Projekt optiCIGS haben sich mit der Manz CIGS Technology GmbH und der Bosch Solar CISTech GmbH zwei auf dem Gebiet der CIGS-Dünnschicht-Photovoltaik versierte Unternehmen mit den darin führenden Forschungsinstituten zusammengeschlossen, um die Qualitätskontrolle für diese Technologie signifikant zu verbessern. Deutschland hat auf diesem Gebiet einen Technologievorsprung, der weiter ausgebaut werden soll.

Bei der CIGS-Dünnschicht-Photovoltaik wird als Halbleitermaterial, das die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom ermöglicht, die chemische Verbindung Cu(In,Ga)(Se,S)_2 genutzt. CIGS steht also für die Elemente Kupfer, Indium, Gallium und Selen, manchmal auch ergänzt mit Schwefel. Generell sind bei den Dünnschichttechnologien die Solarzellen rund hundert Mal dünner als die den Markt dominierenden Siliziumwafer, was Material- und Energiekosten spart. Der Wirkungsgrad fällt jedoch bisher meist geringer aus. Das kann sich künftig ändern. CIGS-Zellen haben ein besonders hohes Wirkungsgradpotenzial, das es zu nutzen gilt. Die höchsten

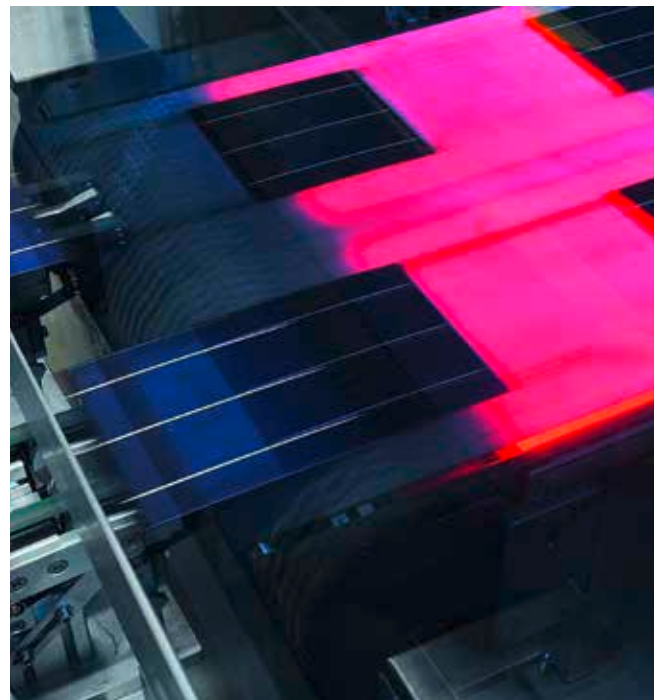


Messaufbau für die Aufnahme von Wärmebildern eines CIGS-Kleinmoduls mit einer speziellen LED-Beleuchtung an der Hochschule Ulm

Wirkungsgrade der CIGS-Dünnschicht der Forschungslabore liegen aktuell beim ZSW Stuttgart bei 21,7 Prozent auf kleiner Fläche, bei der industriellen Produktion sind bisher Modul-Wirkungsgrade um 14 Prozent üblich. Auch eine bessere Produktionskontrolle kann helfen, diese Lücke bewusst zu reduzieren.

Das Ziel des Projekts ist deshalb die Entwicklung von automatisierbaren bildgebenden Verfahren, die inline – also während der Produktion – und für unterschiedliche Teilschritte des Produktionsprozesses eingesetzt werden können, um fortlaufend die Qualität zu überprüfen und zu garantieren. Bildgebende Verfahren erfassen physikalische Größen wie etwa die Wärme eines Objektes an einem bestimmten Punkt und generieren daraus ein Bild. Ein Beispiel hierfür ist die Wärmebildkamera. So entsteht bei einem Defekt – sofern er elektrisch wirksam, also relevant ist – messbare bzw. sichtbare Wärme. Dadurch können Art, Ort und Intensität des Defektes erfasst werden. Ein weiteres bildgebendes Verfahren basiert auf der Elektrolumineszenz: Legt man eine elektrische Spannung an Solarzellen an, geben diese nicht sichtbares, infrarotes Licht (Lumineszenz) ab, das mit entsprechenden Kameras erfasst werden kann. Entstehen also während der Produktion Defekte, so können diese mit den neuen, bildgebenden Verfahren im Wärme- oder im Lumineszenzbild detektiert und lokalisiert werden. Diese lokale Zuordnung bis hin zur quantitativen Bewertung ist mit herkömmlichen Verfahren bisher nicht möglich. Auf Seiten der Forschungsinstitute sind das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung Bayern (ZAE), das Forschungszentrum Jülich (FZJ), die Hochschule Ulm sowie die Universität Oldenburg an den Arbeiten beteiligt. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 1,9 Millionen Euro.

Im Gegensatz zu ganz neuen Zellkonzepten kann die Industrie für die Fertigung der PERC-Zellen auf bereits vorhandenen Prozessen aufbauen, was vergleichsweise geringe Investitionskosten erfordert. Im Projekt HELENE werden die benötigten Anlagen, Materialien und Prozesse systematisch entwickelt und schrittweise in die Pilotlinie des Verbundkoordinators eingebunden. Des Weiteren entwickeln die Projektpartner erweiterte Simulations-, Charakterisierungs- und Messmethoden, welche die Verlustmechanismen der Zellen sowie den Zell-zu-Modul-Leistungsverlust beschreiben, erfassen und analysieren. Dabei sollen Wirkungsgrade über 19 Prozent für multi- und über 22 Prozent für monokristalline Siliziumzellen erreicht werden. Zusammen mit den Arbeiten an der Modultechnologie innerhalb des Projekts LAURA (siehe S. 27) sollen somit Stromgestehungskosten von unter zehn Cent pro Kilowattstunde ermöglicht werden. Weitere Projektpartner sind die Universität Konstanz, das Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, das Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik (CSP), die Centrotherm Photovoltaics AG sowie die Heraeus Precious Metals GmbH & Co. KG. Das BMWi fördert das Projekt im Rahmen der Förderbekanntmachung „F&E für Photovoltaik“ mit rund 9,9 Millionen Euro.



Inspektion kristalliner Solarzellen in einer industriellen Fertigungslinie



Die Rekord-PERC-Solarzelle des ISFH mit einem Wirkungsgrad von 21,2 Prozent

PERC-Zellen für Markteinführung optimiert

Das Institut für Solarenergieforschung Hameln GmbH (ISFH), nun auch Projektpartner bei HELENE (siehe S.31), hat bereits in seinem Projekt **HighScreen** einen industriellen Herstellungsprozess für PERC-Solarzellen im ISFH-Technikum SolarTeC optimiert. Durch stetige Prozessverbesserungen der Rückseitenpassivierung sowie der Metallkontakte konnte in Kombination mit einem innovativen 5-Busbar-Vorderseitendesign ein Rekordwirkungsgrad von 21,2 Prozent erzielt werden, welches weltweit der höchste Wirkungsgrad für eine industriell hergestellte PERC-Solarzelle ist. Dabei wurde monokristallines Silizium verwendet. Zu dem Rekordergebnis haben auch weiterentwickelte Silberpasten des Projektpartners Heraeus Precious Metals GmbH beigetragen. In Kooperation mit der Singulus Technologies AG hat das ISFH zudem eine neue ICP (Inductively Coupled Plasma)-Abscheidemethode für AlO_x/SiNy -Schichten entwickelt, welche nun von Singulus als Produktionsanlage mit sehr hohen Abscheideraten vertrieben wird. Um die Rückseite der PERC-Zellen optimal zu glätten, hat das ISFH zusammen mit der Rena GmbH darüber hinaus nasschemische Politurprozesse weiterentwickelt. Inzwischen werden PERC-Solarzellen bei dem Projektpartner SolarWorld AG und weiteren Zellherstellern weltweit erprobt und stehen kurz vor der großflächigen Markteinführung (siehe auch Projekt HELENE, S. 31). Das BMWi hat das Projekt mit rund 710.000 Euro gefördert.

Langzeitstabilität neuer Produkte zuverlässig vorhersagen

Innovative Photovoltaik-Module mit hohen Wirkungsgraden und geringen Fertigungskosten sind nur von Vorteil, wenn die Lebensdauer des Produkts und somit der Gesamtertrag auch höher ausfallen. Um Investoren diese Abwägung zu erleichtern, entwickeln die Projektpartner im Projekt **Fidelitas** unter der Koordination der TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH Methoden, durch welche die Degradation der Module durch Umwelteinflüsse sowie der Erfolg von Gegenmaßnahmen quantitativ vorhergesagt werden können. Innovative Schnelltests sollen bereits während der Entwicklung neuer Produkte mögliche lebenszeitverkürzende Bestandteile oder Bauweisen aufzeigen. Verbundpartner von Fidelitas sind unter anderem das Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik (CSP), das Institut für Solarenergieforschung Hameln GmbH (ISFH) und die Vetro Solar GmbH.

Aktuell mangelt es an zuverlässigen Modellen und Untersuchungsmethoden, um die Langzeitstabilität neuer Produkte vorherzusagen. Die vorhandenen Modelle beschränken sich auf Standorte in gemäßigtem Klima. Einige grundlegende Degradationsmechanismen sind zudem nicht ausreichend untersucht, die tatsächlichen Auswirkungen von Alterungsmechanismen sind nicht bekannt. Die Projektpartner arbeiten nun an einer Erweiterung der Modelle, die die genannten Defizite aufheben soll. Als Grundlage erstellen sie eine gesicherte Statistik über tatsächlich vorkommende Fehler an Photovoltaik-Modulen und klären die physikalischen und chemischen Grundlagen der Degradationsmechanismen weiter auf. Unter anderem untersuchen sie die Feuchtekorrosion der Solarzellen und UV-Lichtalterung. Standortsspezifische Einwirkungen durch Sandstürme oder Hagelschlag werden ebenfalls genau untersucht. Durch numerische FEM-Simulation (Finite-Elemente-Methode) werden die Alterungsmodelle für Photovoltaik-Module auf reale Belastungen in verschiedenen Klimaregionen übertragen. Ihre gewonnenen Erkenntnisse möchten die Projektpartner darüber hinaus nutzen, um ein zuverlässiges und langlebiges Modulkonzept vorzuschlagen und zu erforschen. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 3 Millionen Euro.



Solarthermische Kraftwerke

Solarthermische Kraftwerke haben in sonnenreichen Ländern eine hohe Bedeutung für den Wandel der Stromversorgung hin zu einem regenerativen, klimaneutralen System. Durch die Möglichkeit, den solarthermischen Kraftwerksteil mit einem fossil befeuerten zu kombinieren, also so genannte Hybridkraftwerke zu errichten, lässt sich die Solarisierung der Energieversorgung schrittweise gestalten. Das Marktpotenzial ist also enorm.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Der Weltmarkt für solarthermische Kraftwerke entwickelt sich weiterhin relativ verhalten. Gegenüber dem Vorjahr ist ein Zuwachs der installierten Kraftwerkskapazität von 0,6 Gigawatt zu verzeichnen. Weltweit sind damit momentan rund 4 Gigawatt Leistung installiert. Diese geringe Nachfrage nach solarthermischen Kraftwerken führte auch im Jahr 2014 zu einem deutlichen Abbau von Produktionskapazitäten. Technologisch halten die deutschen Komponentenhersteller und Zulieferer dennoch eine Spitzenposition.

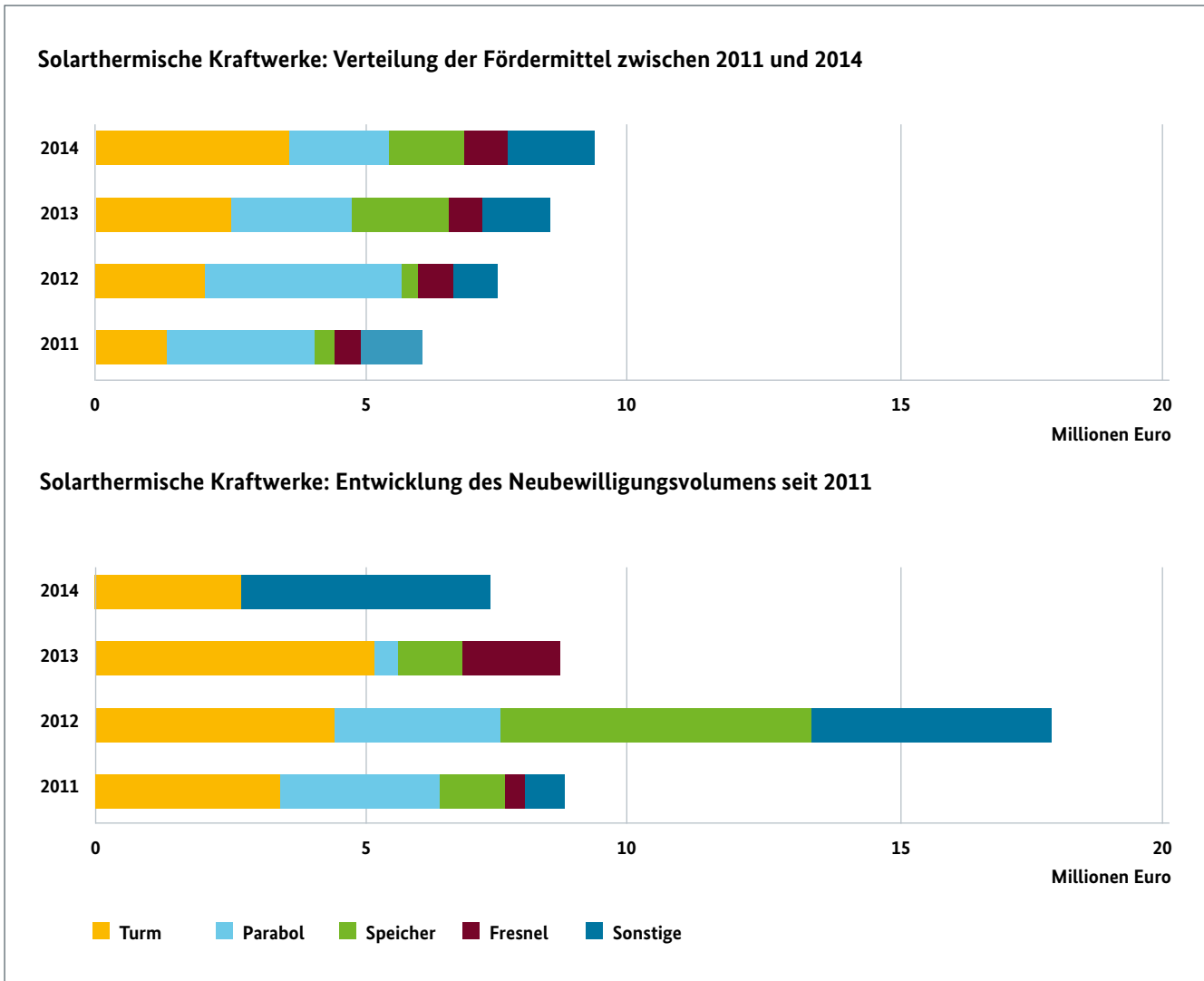
Der geringe Umsatz mit solarthermischen Kraftwerken führt dazu, dass Kostensenkungen, die sich bei einer größeren Produktzahl durch Skaleneffekte ergeben würden, nicht realisiert werden können. Ende 2014 wurde jedoch bekannt, dass die jüngste Generation von Parabolrinnen-

kraftwerken, die aktuell in Marokko realisiert wird, Stromgestehungskosten von 12 Cent pro Kilowattstunde erreichen soll – statt 17 Cent wie bei älteren Anlagen.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Die Parabolrinnentechnologie mit Thermoöl als Wärmeträgermedium kann als Stand der Technik bei den solarthermischen Kraftwerken betrachtet werden. Hierbei wird die Sonne durch parabolförmig gebogene Spiegel auf ein Rohr, den so genannten Receiver, konzentriert, in dem das Thermoöl zirkuliert und somit erhitzt wird. Wesentlicher Nachteil dieser Technik sind die mit 400 Grad Celsius relativ geringe Betriebstemperatur, der daraus resultierende geringere Kraftwerkswirkungsgrad und ein höheres erforderliches Speichervolumen. Mittelfristiges Ziel ist daher die Erhöhung der Betriebstemperatur auf über 500 Grad Celsius. Die gleichen Überlegungen gelten überdies für die Fresnel-Technologie, die segmentierte, ebene Spiegelreihen nutzt.

Zu Turmkraftwerken liegen noch deutlich weniger Erfahrungen vor als zur Parabolrinnentechnologie. Hierbei wird das Sonnenlicht durch mehrere aufgeständerte, großflächige Spiegel auf einen Receiver am oberen Ende eines Turms konzentriert. Aktuell sind mehrere Turmkraftwerke mit Wasserdampf oder Salz als Wärmeträgermedium in Bau oder Betrieb. Deutsche Firmen und Institute haben parallel dazu ein Turmkonzept mit Luft als Wärmeträger



entwickelt, das sich ideal als Komponente in ein Gas- und Dampfkraftwerk (GuD) integrieren lässt. Es besteht die Hoffnung, dass in Kürze ein Demonstrationsprojekt mit dieser Technik in der MENA-Region realisiert werden kann.

Strategie der Forschungsförderung

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 Salzschnmelzen als Wärmeträgermedium im Fokus der Forschungsförderung. Für Parabolrinnen- und Fresnel-Systeme sollen neue Demonstrationsanlagen bzw. Testplattformen die Entwicklung vorantreiben.

Für Turmkraftwerke sollen wegen der geringeren Erfahrungen zunächst Konzepte für den Einsatz von Salzschnmelzen erarbeitet werden. 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 2014 hat das BMWi 22 neue Projekte mit einem Gesamtvolumen von 7,4 Millionen Euro neu bewilligt (2013: rund 8,7 Millionen Euro). In laufende Projekte fließen derweil 9,3 Millionen Euro (2013: 8,4 Millionen Euro), was die kontinuierliche Steigerung der Fördermittel seit 2010 fortsetzt.

THEMA

„CSP ist unvermeidbar“

Die Photovoltaik (PV) hat die solarthermischen Kraftwerke (englisch: Concentrated Solar Power, CSP) als Sonnenstrom-Technologie sowohl bei den Kosten als auch den Zubauzahlen weit hinter sich gelassen. Doch wie sehen die Perspektiven der CSP aus? Professor Dr. Olaf Goebel ist Inhaber der Professur „Erneuerbare Energieerzeugung“ der Universität Hamm-Lippstadt. Zuvor war er als Head of Engineering bei Masdar Power tätig, unter seiner Leitung entstand unter anderem das seinerzeit weltweit größte solarthermische Kraftwerk „Shams 1“ in Abu Dhabi. Er sieht die CSP weiterhin als wichtige Ergänzung zur PV.

Wie schätzen Sie die aktuelle Situation für die CSP ein?

Goebel: Sie ist durchaus schwierig im Vergleich zu dem, wo wir vor acht Jahren standen. 2007 war in Spanien der große Boom ausgebrochen mit dem dortigen Subventionengesetz, wodurch sehr viele Kraftwerke gebaut worden sind. Viel mehr ist bisher jedoch nicht passiert. Die technische Entwicklung der PV ist weiter fortgeschritten, sowie deren economics of scale – es wird mehr im Jahr produziert, wodurch die Produktion billiger wird. Deshalb ist die CSP naturgemäß etwas hintenan, die Stromgestehungskosten sind teurer im Vergleich.

Worin sehen Sie dennoch eine Chance für diese Technologie?

Goebel: Der große systemimmanente Vorteil der CSP ist die Integration von Wärmespeichern. Ein Wärmespeicher ist viel billiger als ein Stromspeicher. Ein weiterer Vorteil ist: Die Energie wird vor der letzten Umwandlungsstufe gespeichert. Wenn wir zum Beispiel ein CSP-Kraftwerk von 100 Megawatt haben, und würden dieses mit einem Speicher ausrüsten, damit es doppelt so lange läuft, kann es nur die halbe Leistung abgeben. Das 100-Megawatt-Kraftwerk hat bei gleicher Energie nur noch einen Power-Block von 50 Megawatt und der ist viel billiger. Von dem gesparten Geld können wir den Speicher bezahlen. Bei PV und Windenergie gibt es keine halbfertige Energie. Wenn ich da einen Speicher haben möchte, muss ich Batterien kaufen, eine zusätzliche Investition.

Wann kommt der Speichervorteil zum Tragen?

Goebel: Sobald es einen Markt gibt, der verlangt, dass die Solarenergie nach Sonnenuntergang zur Verfügung steht. Dann ist die CSP billiger. Die PV kann sich nur in Märkten durchsetzen, wo der Strom willkommen ist, um



Professor Dr. Olaf Goebel,
Inhaber der Professur
„Erneuerbare Energieerzeugung“
der Universität
Hamm-Lippstadt

Kohle oder Gas zu sparen. Aber wenn ein Markt die Sonnenenergie abrufbarer, dispatchable auf englisch, haben muss, dann ist die CSP unvermeidbar. Mit der CSP kann ich – im Gegensatz zur PV – ein bestehendes Kohle- oder Gaskraftwerk abschaffen. Das CSP-Kraftwerk kann ich nämlich mit einem zusätzlichen Brenner so ausrüsten, dass es an Tagen ohne Sonne, an denen auch der Speicher nicht laden kann, mit Erdgas laufen kann. Das verteuert das Kraftwerk nur um ungefähr zwei Prozent.

Wann wird es diesen Markt geben?

Goebel: Dann, wenn die Märkte mit dem Solarstrom tagsüber übersättigt sind. Wenn Deutschland das richtige Klima hätte (d.h. genügend solare Direktstrahlung), wäre es jetzt so weit. Die Länder, die das Klima haben, sind von diesem Punkt aber noch weit entfernt. Die USA können noch knapp zehn Jahre lang im bisherigen Stil PV und Wind zubauen, bis sie an die gleichen Grenzen stoßen. Dann aber werden die Energieversorger sagen: Jetzt hätten wir gerne CSP. Die Frage ist nur: Haben wir dann noch eine CSP-Industrie?

Inwiefern kann Forschung und Entwicklung dabei helfen?

Goebel: Man kann versuchen, die Situation zu retten, indem man durch Forschung die Technologie verbilligt. Ein wichtiges Thema stellen zum Beispiel geschmolzene Salze als Wärmeträger dar. Bestimmte Länder müssen allerdings in der nahen Zukunft der Technik der solarthermischen Kraftwerke durch geeignete Anreizstrukturen einen Markt verschaffen. Wenn dann in ca. zehn Jahren der Markt wieder von allein anzieht, sollte man nicht da weitermachen müssen, wo man heute steht.

HIGHLIGHT

Wirtschaftliches Optimum für Solartürme mit Salz als Wärmeträgermedium

Zentraler Ansatzpunkt aktueller Forschungsprojekte zu solarthermischen Kraftwerken ist es, deren Wirtschaftlichkeit zu erhöhen und somit die Anzahl neuer Kraftwerksprojekte zu erhöhen (siehe auch Interview, Seite 35). Ein Entwicklungsschwerpunkt liegt auf geschmolzenen Salzen als Wärmeträgermedium. Sie können sehr hohe Temperaturen aufnehmen, was einen besonders effizienten Betrieb des konventionellen Kraftwerksteils – Dampferzeuger und Dampfturbine mit Generator – erlaubt.

Daher wurden die Salze in den vergangenen Jahren verstärkt als Wärmeträgermedium für solare Turmkraftwerke eingesetzt. Die erste Pilotanlage Gemasolar ging mit einer Leistung von rund 20 Megawatt bereits 2011 in Spanien ans Netz, aktuell wird in den USA das Kraftwerk Crescent Dunes mit 110 Megawatt gebaut.

Um die Wirtschaftlichkeit solarer Turmkraftwerke mit geschmolzenen Salzen als Wärmeträgermedium weiter zu erhöhen, sollen innerhalb des Verbundprojekts **HPMS** unter Koordination des Instituts für Solarforschung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) sämtliche Potenziale zur Kostensenkung ausgelotet werden. Die Projektpartner sehen diese vor allem in der Receiver-Technologie sowie innerhalb des solaren Hochtemperaturkreislaufs. Der Receiver befindet sich am oberen Teil des Solarturms und absorbiert die auf ihn konzentrierte Sonnenstrahlung. Die Wärmeenergie wird dabei auf das durch den Receiver fließende, geschmolzene Salz übertragen – dieses wird anschließend innerhalb des solaren Hochtemperaturkreislaufs zum Kraftwerksteil bzw. Speicherort weitergeleitet. Bisher werden ausschließlich extern bestrahlte Receiver eingesetzt, die rund um den Turm angebracht werden. Dadurch können die Spiegelsysteme am Boden flexibel angeordnet werden – allerdings ist das Konzept windempfindlich, abkühlendes Salz könnte in den Rohren erstarren. Alternativen sehen die Projektpartner etwa in sogenannten Cavity-Receivern, bei denen die Sonnenstrahlen in einem windgeschützten Hohlraum auf die Materialoberfläche treffen. Damit der Receiver besonders effizient bei hohen Temperaturen arbeiten kann, muss die Solarstrahlung von den Spiegeln über eine große Höhendistanz hinweg auf den Receiver konzentriert werden – gleichzeitig müssen die Wärmeverluste minimiert werden.

Dies soll im Verbundprojekt durch eine detaillierte Designoptimierung, den Einsatz neuer Beschichtungen sowie durch Auswahl eines geeigneten Werkstoffkonzepts gelingen. Innerhalb des Projekts suchen die Projektpartner durch Simulationen das vielversprechendste Receiverkonzept für den Einsatz geschmolzener Salze und planen auf dieser Basis ein Testreceiversystem für eine anschließende Projektphase. Insgesamt sollen für Receiver als auch Hochtemperaturkreislauf-Konzepte entwickelt werden, die über die gesamte Lebensdauer des Kraftwerks betrachtet das wirtschaftliche Optimum ermöglichen.

Weitere Projektpartner sind die Babcock Borsig Steinmüller GmbH, die Bilfinger Piping Technologies GmbH, die M+W Germany GmbH – Global Technology Services, die STEAG Energy Services GmbH, Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH und die Fachhochschule Aachen. Das Konsortium wird zudem von den assoziierten Partnern BASF SE und VDM Metals GmbH unterstützt. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 1,4 Millionen Euro.



Ein Beispiel für den aktuellen Stand der Technik: der Receiver des Salzturmkraftwerks „Crescent Dunes“ in den USA

Heliostat der Solar Tower Technologies AG mit fester Horizontalachsenaufhängung



Auswahl geförderter Projekte

Gesamtkonzept für weniger Energieverluste in Turmkraftwerken

Die Effizienz eines solarthermischen Turmkraftwerks wird darüber bestimmt, den größtmöglichen Anteil der Sonnenstrahlen in Strom umzusetzen. Verluste entstehen an jeder einzelnen Station, etwa direkt im Heliostatfeld, also an den Spiegeln, welche die Sonnenstrahlen auf den Receiver reflektieren. Die Heliostaten verschatten sich zum Beispiel gegenseitig, blockieren die Strahlen umliegender Heliostaten oder verfehlen den Receiver. Am Receiver selbst entstehen Verluste, indem er nur einen Teil der gebündelten Strahlen absorbiert oder einen Teil der absorbierten Wärmeenergie verliert. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE als Koordinator arbeitet zusammen mit der Solar Tower Technologies AG im Projekt Heliopack daran, diese Verluste durch ineinander übergreifende Arbeitspakete an Heliostaten, deren Nachführung, der Heliostatfeldauslegung und der Receiver-Technologie zu reduzieren.

Im Paket „HeliAct“ entwickeln die Projektpartner neuartige Heliostaten mit höherer optischer Genauigkeit. Ein weiterer Ansatz besteht darin, Heliostatfelder aus Heliostaten mit fester Horizontalachse anders auszulegen, was etwa zu einer höheren Aufstellichte rund um den Turm und zu einem verkleinerten Brennfleck am Receiver führen soll. Gleichzeitig arbeiten die Partner daran, die Kosten der Heliostaten zu minimieren. Im zweiten Arbeitspaket „HeliLoop“ liegt der Schwerpunkt der Arbeiten darauf,

genauere Nachführ- und Zielstrategien für die Heliostaten zu entwickeln. Hierfür werden beispielsweise kamerabasierte Verfahren untersucht. Bei „Heliorec“, dem dritten Arbeitspaket, entwickeln die Projektpartner ein Basis-Design für einen mit Salzschmelze arbeitenden Receiver sowie ein Absorbermodul für einen volumetrischen, also mit einem feinen keramischen Röhrensystem ausgestatteten Gas-Receiver. Die Konzepte zielen auf Betriebstemperaturen von etwa 550 bzw. bis zu 1.000 Grad Celsius. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 2 Millionen Euro.

Standards ermöglichen günstigere Finanzierung

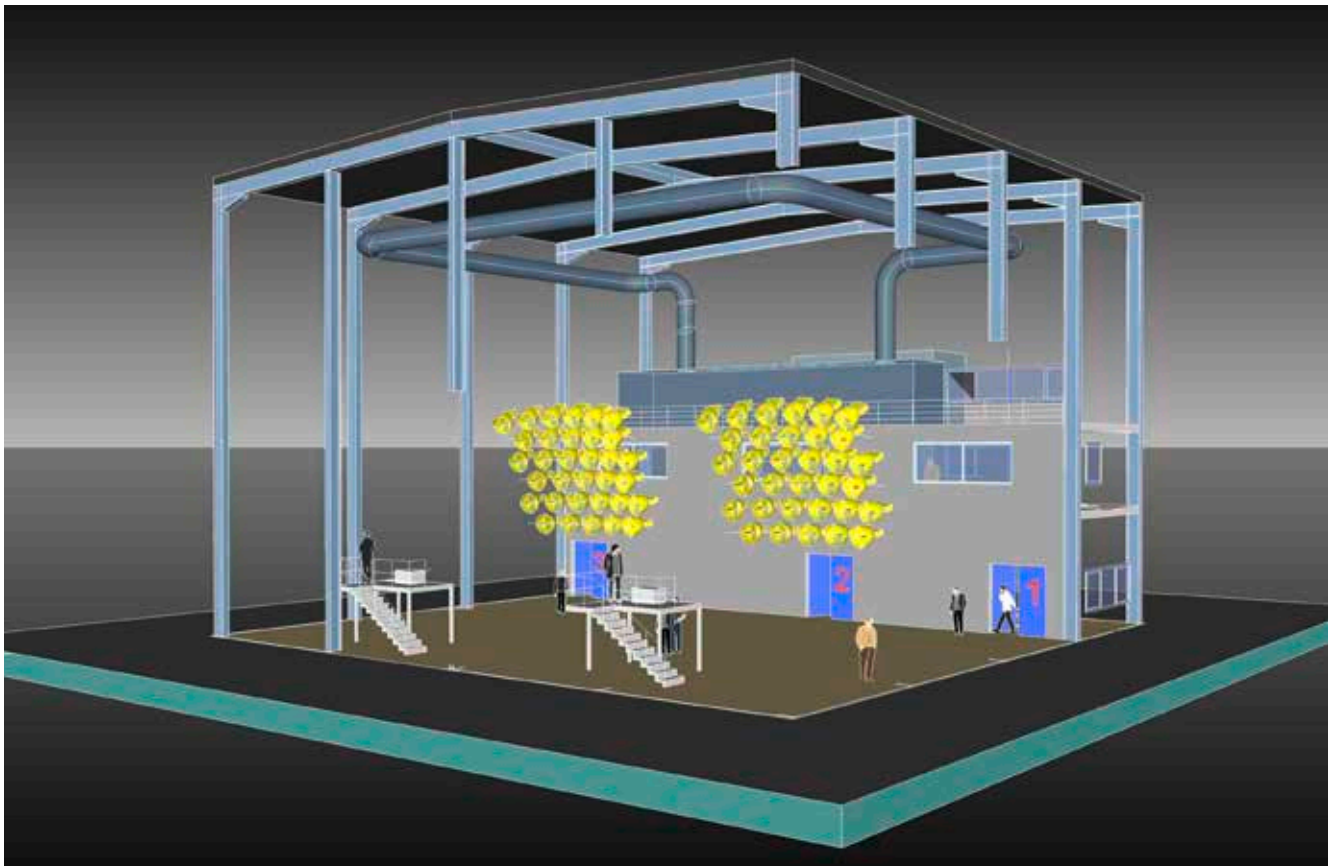
Welcher Stromertrag von einem geplanten solarthermischen Kraftwerk zu erwarten ist, spielt bei der Finanzierung des Projekts eine entscheidende Rolle. Bisher nutzt jedoch jedes Unternehmen sein eigenes, individuell erstelltes Verfahren, um den zukünftigen Stromertrag zu berechnen. Vergleichsrechnungen fallen daher unterschiedlich aus und verunsichern die Investoren, was sich in hohen Risikoaufschlägen äußert. Innerhalb des Projekts **CSP-Bankability** arbeiten daher das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), die Suntrace GmbH und die Fichtner GmbH & Co. KG unter Koordination des Instituts für Solarforschung (SF) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) an standardisierten Methoden, um die Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu verbessern und somit günstigere Finanzierungsbedingungen durchsetzen zu können. Die Projektpartner erarbeiten ein Handbuch, um die Methoden für die Ertragsprognose zu standardisieren.

In dem Handbuch sollen etwa alle für die Ertragsprognose zwingend zu berücksichtigenden Effekte beschrieben sein. Vergleicht man nämlich die bisher genutzten, unterschiedlichen Berechnungsverfahren, fällt unter anderem auf, dass einzelne Effekte wie etwa der Energieaufwand für das Anfahren ganz unterschiedlich berücksichtigt werden. Eingangs- sowie Ergebnisgrößen sind bisher unterschiedlich definiert. So ist mit der verfügbaren Strahlungsleistung in einem Fall die unmittelbar gemessene Direktstrahlung gemeint, in einem anderen Fall eher eine bereits winkelnormierte Größe. Das Handbuch soll sämtliche Parameter vereinheitlichen, die zuverlässigsten Messmethoden benennen und Definitionen festlegen. Wo es möglich ist, werden für sämtliche CSP-Technologien wie etwa Parabolrinnen-Anlagen oder solarthermische Turmkraftwerke einheitliche Definitionen und Berechnungsverfahren ausgearbeitet. Diese können technologiespezifisch ergänzt werden, auch hinsichtlich zukünftiger Technologien. Parallel treiben die Projektpartner durch ihre Beteiligung an einem Vorhaben der Internationalen Energieagentur die schnelle Umsetzung der Ergebnisse in internationale Normen voran. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 1,3 Millionen Euro.

Teststand: Künstliche Sonnenstrahlung mit hoher Leistung

Um zu entscheiden, welche Materialien und Schlüsselkomponenten in einem solarthermischen Kraftwerk verwendet werden sollen, muss im Vorfeld nachgewiesen werden sein, dass sie zuverlässig und langlebig funktionieren. Um diese Tests unabhängig von der Tageszeit und den Wetterbedingungen zu ermöglichen, entwickelt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) die weltweit größte künstliche Sonne: Im Projekt **MHLS** wird ein modularer Hochleistungsstrahler im Jülicher Technologiezentrum aufgebaut. Mit rund 80 elektrisch betriebenen Xenon-Kurzbogenlampen, deren Licht dem natürlichen Sonnenlicht sehr ähnlich ist, soll eine Strahlungsleistung bis zu 200 Kilowatt erreicht werden. Mit den hierdurch ermöglichten Tests kann die Entwicklung neuer Solartechniken beschleunigt werden.

Konstruktionsentwurf des Hochleistungsstrahlers: Er arbeitet mit elektrisch betriebenen Xenon-Kurzbogenlampen, deren Licht dem natürlichen Sonnenlicht sehr ähnlich ist



Im Leistungsbereich zwischen 100 und 200 Kilowatt ist der Bedarf gewachsen, systematische Bestrahlungsexperimente unter exakt reproduzierbaren Bedingungen durchzuführen. Die Testeinrichtung schließt daher nun eine Lücke zwischen dem Hochflussdichte-Sonnenofen (bis zu 25 Kilowatt) bzw. dem Hochleistungsstrahler (bis zu 20 Kilowatt) am DLR und experimentellen Solarturmanlagen mit sehr viel größeren Leistungen als 200 Kilowatt. Der Hochleistungsstrahler wird aus mehreren Modulen bestehen, welche einzeln oder gruppiert genutzt werden können. Hierdurch können mehrere kleine Experimente parallel oder ein Experiment in der Leistungsklasse bis 200 Kilowatt durchgeführt werden.

Das BMWi fördert das Projekt mit rund 1,1 Millionen Euro. Zusätzlich erhält das DLR für die notwendigen Investitionen 2,4 Millionen Euro vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW.

Xenon-Lampen des bereits existierenden, im Vergleich kleineren Hochleistungsstrahlers in Köln



Geothermie



Die Geothermie nutzt die stetig im Untergrund vorhandene Erdwärme. Im Vergleich zur schwankend verfügbaren Wind- und Sonnenenergie steht sie daher kontinuierlich zur Verfügung und leistet somit einen wichtigen Beitrag zum Energiemix der Zukunft. Die Erdwärme kann sowohl für die Stromproduktion als auch direkt als Wärme genutzt werden. Bei der durch das BMWi geförderten tiefen Geothermie wird prinzipiell Wärme aus geothermischen Reservoirs ab 400 Meter Tiefe verwendet. Üblich sind jedoch wesentlich tiefere Bohrungen von mehr als 1.000 Metern, durch die Thermalwässer mit mehr als 60 Grad Celsius an die Erdoberfläche gefördert werden. Zwei grundsätzliche Arten lassen sich unterscheiden: In der hydrothermalen Geothermie wird vorwiegend das im Untergrund enthaltene heiße Wasser direkt genutzt, bei der petrothermalen Geothermie dagegen die im trockenen Gestein gespeicherte Wärme.

Marktgesehen in Deutschland und weltweit

Deutschlands wichtigste Regionen im Hinblick auf die hydrothermale Geothermie sind das Norddeutsche Becken, der Oberrheingraben im Südwesten Deutschlands und das Süddeutsche Molassebecken am südlichen Rand Bayerns. In diesen Regionen ist der natürliche Temperaturanstieg mit zunehmender Tiefe besonders hoch, an manchen Stellen sind es bis zu 10 Kelvin pro 100 Meter, so dass in diesen Regionen auch Wassertemperaturen von über 100 Grad Celsius im Untergrund angetroffen werden.

Nach Angaben des Bundesverbands Geothermie e. V. (GtV) waren bis Juli 2014 deutschlandweit 26 geothermisch versorgte Heizwerke bzw. kombinierte Heizkraftwerke mit einer installierten Leistung von 300,4 Megawatt (thermisch) in Betrieb.

Zusätzlich zu den vier bereits etablierten Standorten Insheim, Landau, Unterhaching und Bruchsal (Bild oben) konnten im Jahr 2014 weitere Geothermieanlagen an den Standorten Dürnhhaar, Kirchstockach und Sauerlach (alle in Bayern) fertiggestellt werden. Derzeit stehen somit sieben Geothermie-Kraftwerke zur Stromproduktion bereit, die zusammen über eine installierte elektrische Leistung von 31,3 Megawatt verfügen. Weitere Anlagen beispielsweise in Taufkirchen oder Traunreut befinden sich im Bau.

Im Jahr 2014 wurden zudem wieder zahlreiche wissenschaftlich-technische Projekte erfolgreich abgeschlossen, was zu einem erheblichen Erkenntnisgewinn beigetragen hat. Um die tiefe Geothermie wirtschaftlich nutzen und das bestehende Wärmepotenzial entsprechend ausschöpfen zu können, sind jedoch noch weitere Forschungsanstrengungen notwendig.

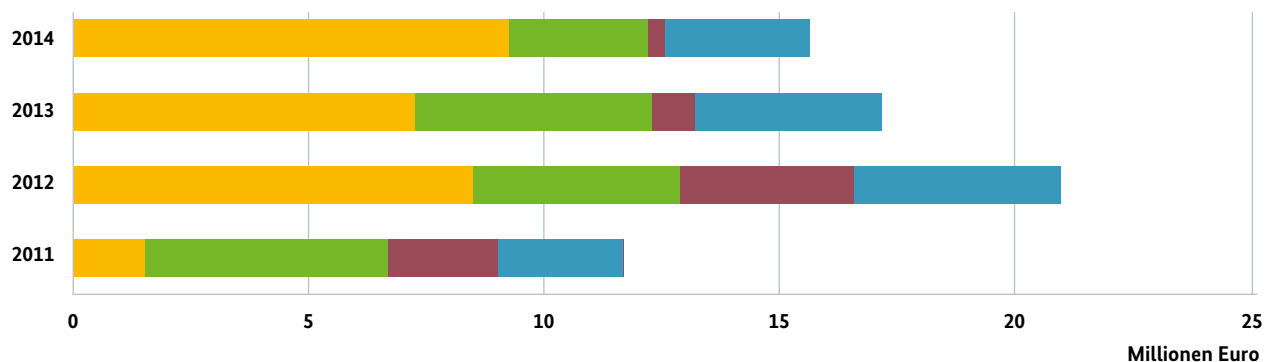
International liegt Deutschland nach Angaben des GtV mit einer installierten thermischen Leistung von rund 2.485 Megawatt weltweit auf Platz fünf bei der Wärmenutzung geothermischer Energie. Den ersten Platz nehmen die USA ein (12.611 Megawatt), gefolgt von China (8.898 Megawatt). Es folgen Schweden (4.460 Megawatt) und Norwegen (3.300 Megawatt). Die Statistik fasst die weltweit installierte tiefe

und oberflächennahe Geothermie zusammen und wird alle fünf Jahre erhoben. Eine Aktualisierung wird zur 2015 anstehenden Weltgeothermiekonferenz in Melbourne (Australien) erwartet.

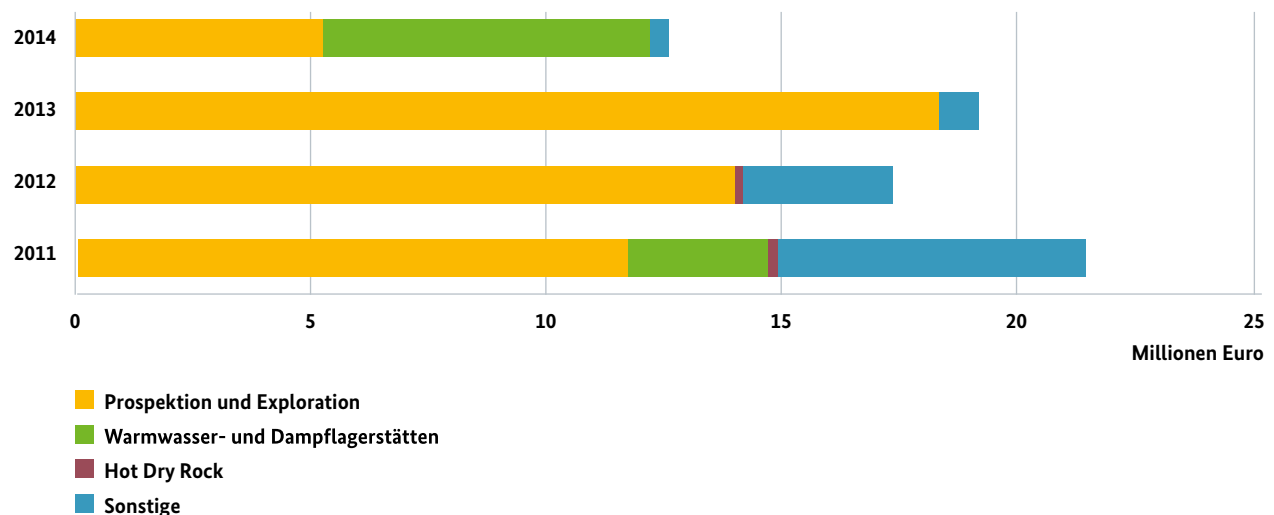
Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Um das Potenzial der Geothermie als kontinuierlich nutzbare erneuerbare Energiequelle zu erschließen, wurde bereits viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet. Bohrtechnologien und Anlagenbau, durch den die gewonnene Erdwärme in Nahwärmenetze eingespeist oder in Strom umgewandelt wird, werden kontinuierlich verbessert. Zudem werden besonders geeignete Regionen identifi-

Geothermie: Verteilung der Fördermittel zwischen 2011 und 2014



Geothermie: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2011



THEMA

Bohren mit Impulsen

Ob ein Geothermiekraftwerk wirtschaftlich betrieben werden kann, hängt entscheidend von den Kosten zum Abteufen der Bohrungen ab. Konventionelle Bohrwerkzeuge bohren speziell im Hartgestein langsam und verschleifen schnell. Dadurch steigen die Bohrkosten und das wirtschaftliche Risiko. Eine erfolgversprechende Alternative bietet das Elektroimpulsverfahren (EIV). Es nutzt die zerstörende Wirkung elektrischer Entladungen. Perspektivisch können so gegenüber konventionellen Bohrverfahren 30 Prozent der Bohrkosten eingespart werden.

Warum forschen Sie an alternativen Bohrsystemen für die Geothermie?

Kunze: Fast alle geothermisch interessanten Regionen in Deutschland befinden sich im kristallinen Hartgestein. Für diese Gesteinsarten sind die aus der Öl- und Gasindustrie entnommenen Werkzeuge allerdings nur bedingt geeignet. In Gesteinen wie Granit oder Gneis sind nach heutigem Stand nur Rollenmeißel mit speziellen Hard-Rock-Schneidkörpern einsetzbar. Sie werden mit hoher Kraft auf die Bohrlochsohle gepresst und in Rotation versetzt. Dieser Prozess führt zu einem hohen mechanischen Verschleiß der Schneidkörper. Die Meißel werden schnell stumpf. Dies führt dazu, dass die Bohrmeißel früh ausgetauscht und neue Meißel eingebaut werden müssen. Ein zeitaufwändiger und damit teurer Prozess.

Als Alternative forschen Sie an einem EIV-Bohrsystem. Wie funktioniert der Bohrfortschritt mittels Elektroimpulsverfahren?

Kunze: Die Elektroimpulse werden direkt im Bohrloch erzeugt. Zwischen zwei Elektroden unterschiedlichen elektrischen Potenzials erfolgt eine Entladung durch das Gestein – ähnlich wie bei einem Blitz. Das Spannungsniveau beträgt dabei zwischen 300.000 und 400.000 Volt. Diesen Blitz zwingen wir durch das Gestein. Der Blitz entlädt sich, zerreißt das Gestein und es kann gelöst werden. Genau wie in der konventionellen Bohrtechnik trage ich das Gestein dann ab und es geht ein Stück weiter in die Tiefe. Die Elektroden liegen dabei nur lose



Prof. Dr. Günter Kunze ist Leiter der Professur für Baumaschinen- und Fördertechnik an der TU Dresden

auf der Bohrlochsohle und müssen nicht rotieren. Das Phänomene an EIV ist, dass es keinerlei Verschleiß gibt. Das heißt, dass auch die nichtproduktiven Zeiten, in denen bei konventionellen Bohrverfahren die Werkzeuge ausgetauscht werden müssen, drastisch reduziert werden.

Welche weiteren Vorteile bietet das EIV?

Kunze: Wir prognostizieren für das neue System Bohrgeschwindigkeiten von mindestens zwei Metern pro Stunde. Damit bohrt das EIV, zum Beispiel im Granit, doppelt so schnell und bis zu zehnmal länger als konventionelle Meißel. Infolgedessen kann die Gesamtbohrzeit drastisch verkürzt werden. Das bedeutet, dass der Einsatz des EIV bis zu 30 Prozent der Bohrkosten einsparen kann im Vergleich zu konventionellen Bohrverfahren.

Welche Herausforderungen stellen sich und was sind die nächsten Schritte?

Kunze: Die größte Herausforderung besteht darin, die verschiedenen elektronischen Komponenten auf kleinstem Bauraum unterzubringen und zwar so, dass sie den harten Bedingungen im Bohrloch standhalten. Das Gehäuse und die Elektroden müssen Temperaturen von bis zu 200° C aushalten.

Außerdem gibt es im Bohrloch natürlich keine Steckdose. Wir müssen die Energie deshalb im Bohrstrang selbst erzeugen. Dies ist der nächste Schritt: Bisher haben wir die Energie über ein Kabel nach unten geführt, jetzt wollen wir ein Gesamtsystem entwickeln, das die Energie unmittelbar in bzw. an der Anlage selbst erzeugt.

Mit Elektroimpulsverfahren durchbohrter Gesteinsblock



ziert und erschlossen. Erfolge lassen sich insbesondere im bayerischen Molassebecken feststellen, wo die Wärmeversorgung aus tiefer Geothermie mittlerweile zuverlässig eingesetzt werden kann. Dort soll nun die durchschnittliche Leistung pro Kraftwerk weiter erhöht werden.

Die Bandbreite der geförderten Vorhaben 2014 ist groß: Neben Vorhaben, die das Fündigkeitsrisiko bei der Suche nach neuen geothermischen Reservoiren reduzieren sollen, befassen sich mehrere geförderte Vorhaben damit, alternative Bohrverfahren zu entwickeln oder die in der Geothermie eingesetzten Förderpumpen zu verbessern. Weitere Vorhaben arbeiten daran, das Verhalten geothermischer Reservoire zu untersuchen sowie bestehende Geothermieanlagen per Monitoring zu überwachen. Vorhaben, die sich mit Fragen der Werkstoffkorrosion oder dem Verhalten spezieller Anlagebauteile eines Geothermiekraftwerkes befassen, runden das Portfolio ab. Ziel der Forschungsarbeiten ist es, Betriebserfahrungen zu sammeln und somit den Betrieb künftiger Anlagen zu optimieren sowie das Investitionsrisiko und die Kosten der geothermischen Energiegewinnung insgesamt weiter zu senken.

Angesichts des erheblichen Potenzials und des erwarteten Beitrags der Geothermie zu einem künftig auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystem unterstützt das BMWi entsprechende Vorhaben.

Strategie der Forschungsförderung

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 momentan 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 2014 insgesamt 15 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 12,7 Millionen Euro neu bewilligt (2013: 19,2 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 15,6 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2013 17,1 Millionen Euro).

Auswahl geförderter Projekte

Innovatives Verrohrungssystem für Bohrlöcher

Das Entstehen eines Bohrlochs, das mehrere Kilometer in die Erde getrieben wird, verursacht hohe Kosten. Durch innovative Bohrverfahren sollen diese Kosten reduziert werden, da sie einen maßgeblichen Hinderungsgrund für einen weiteren Ausbau der tiefen Geothermie als Technologie zur Stromerzeugung in Deutschland bedeuten (siehe auch Themenkasten, Seite 42). Die Baker Hughes INTEQ GmbH konnte im Projekt **Geothermie-Verrohrungssystem** zeigen, wie die Bohrkosten theoretisch um bis zu 30 Prozent gesenkt werden können. Dabei verfolgten die Forscher einen ganzheitlichen Ansatz und untersuchten die drei Themenfelder Monobore-Konstruktion, Automatisierung des Bohrprozesses und Bohrlochsisicherheit sowie -integrität.

Ein mit konventioneller Technik erstelltes Bohrloch beginnt mit einem großen Durchmesser und verjüngt sich mit zunehmender Tiefe teleskopartig. Bei einer Monobore-Bohrlochkonstruktion hingegen wird ein gleichmäßiger Durchmesser des verrohrten Bohrlochs von oben bis unten erzeugt, indem die Verrohrung segmentweise als „Endlosrohr“ direkt während der Bohrung in das Bohrloch eingebracht wird. Da auf diese Weise bisher notwendige Rohrfahrten vermieden werden, können Bohrdauer und Materialeinsatz reduziert und Einsparungen von bis zu 15 Prozent erzielt werden. Die Herausforderung bei der Monobore-Konstruktion sind vor allem die untertägige Aufweitung des während der Bohrung eingebrachten Casing-Rohrs zur Stabilisierung des Bohrloches sowie die übertägige Verbindung der Rohre mit einem Schweißverfahren anstelle der sonst üblichen Gewindeverbinder.

Die Wissenschaftler konnten hier erhebliche Fortschritte erzielen. Die präzise Ausrichtung der Einzelkomponenten



Schweißroboter für Casing-Rohre

vor dem Schweißprozess und eine hohe Qualität der Verbindung stellten dabei besondere Herausforderungen dar. Im Projekt wurde gemeinsam mit der Leibniz Universität Hannover der Prototyp eines Schweißroboters entwickelt, welcher auf der MIAB-Schweißtechnik (Magnetically Impelled Arc Butt Welding Technology) basiert und die oben genannten Anforderungen erfüllt. Erste Tests an der Schweißeinrichtung im industriellen Originalmaßstab konnten die Projektpartner erfolgreich durchführen.

Außerdem erstellten die Forscher ein detailliertes Konzept für die Automatisierung der Bohr- und Verrohrungsprozesse. Mithilfe speziell entwickelter Algorithmen können auf Grundlage untertägiger Messdaten ermittelte optimale Einstellparameter wie Bohrandruck, Drehzahl und Spülrate automatisch auf die Bohranlage angewendet werden. Durch dieses Konzept kann der Bohrfortschritt um 50 bis

HIGHLIGHT

Bodenerschütterungen bei tiefer Geothermie – messen, verstehen, verringern

Um Geothermie für die Stromerzeugung zu nutzen, wird heißes Wasser aus mehreren Kilometern Tiefe hochgepumpt und nach der Nutzung wieder zurückgeleitet. Das Gleichgewicht im Untergrund kann durch diesen Eingriff gestört werden, wodurch es zu „induzierten“ – also durch den Menschen verursachten – seismisch nachweisbaren Erdbewegungen kommen kann.

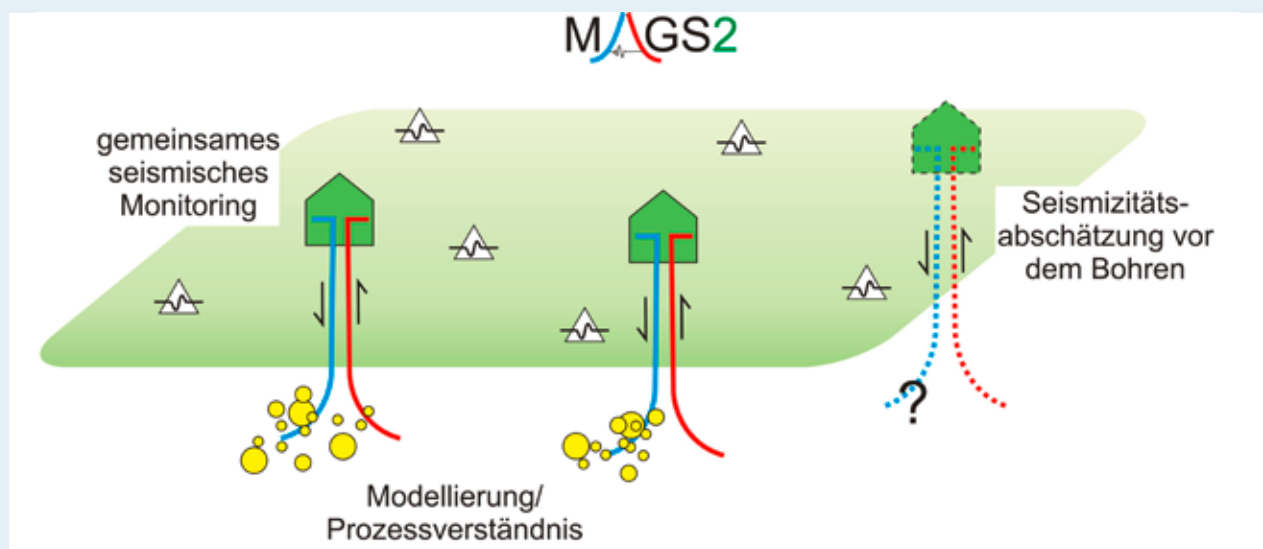
Diese sogenannte induzierte Seismizität ist in der Regel so gering, dass sie nur von hochempfindlichen Sensoren (Seismometern) gemessen wird. Jedoch gab es in der Nähe von Geothermiekraftwerken, etwa in Landau, Inenheim oder Unterhaching bereits Fälle, in denen kleine Erdbeben an der Erdoberfläche spürbar waren. Um das zu vermeiden, müssen die Ursachen, die sowohl im Untergrund selbst als auch in den Betriebsabläufen des Kraftwerks liegen, grundlegend untersucht und verstanden werden. Hieran forscht ein Verbund unter Koordination der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) unter dem Projektnamen MAGS2.

Innerhalb des Vorgängerprojekts MAGS wurde das Konzept der kontrollierten Wasserzirkulation verfolgt: Durch genaues Beobachten der Seismizität mittels empfindlicher Sensoren kann der Anlagenbetrieb angepasst werden, sobald bestimmte Maximalwerte erreicht werden. Zum Beispiel können die Pumpen heruntergeregelt werden. In MAGS2 entwickeln die Projektpartner das Konzept weiter – nicht nur eine einzelne Anlage soll betrachtet werden, sondern die Kombination mehrerer nahegelegener Anlagen, sogenannte komplexe Geother-

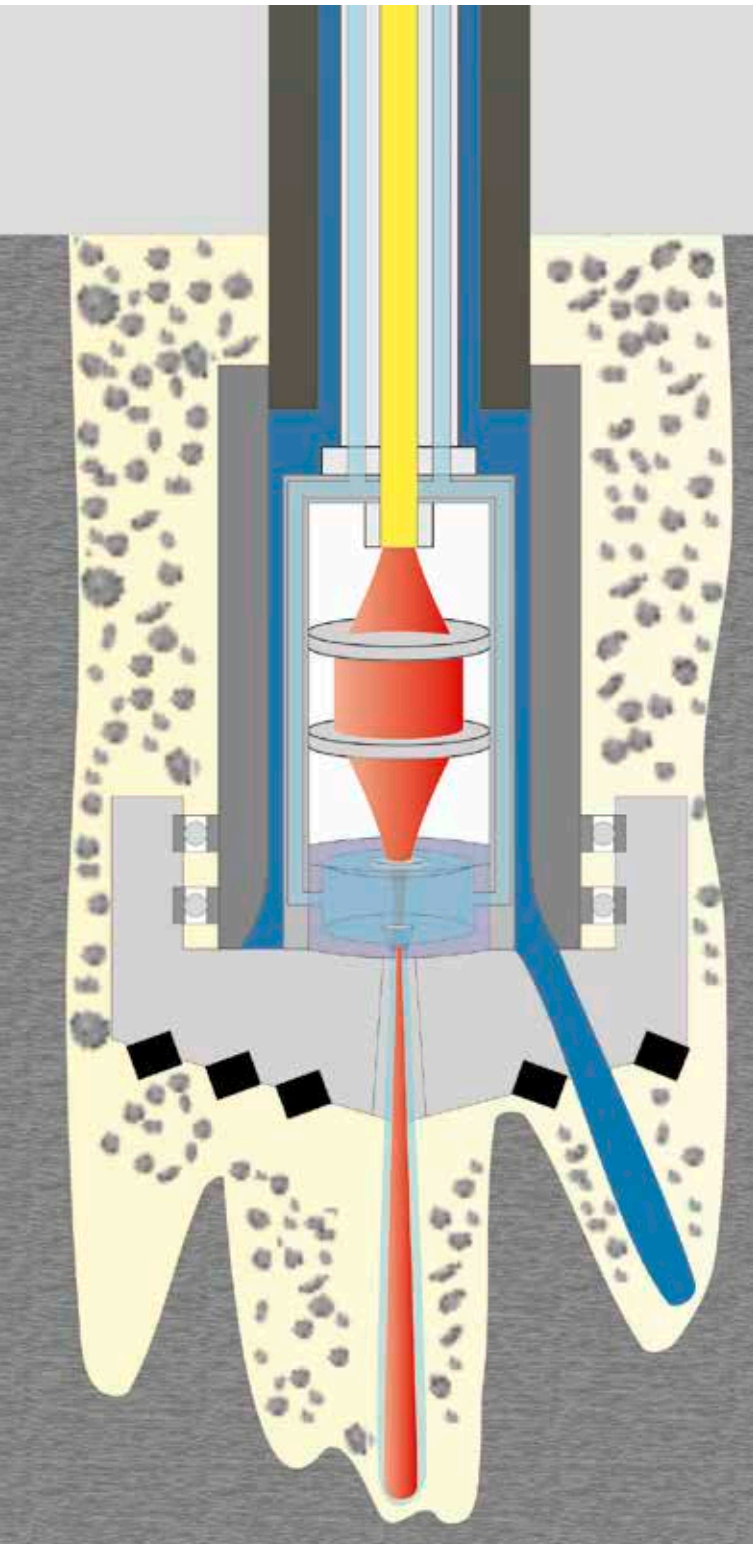
miefelder. Die Wissenschaftler untersuchen, inwiefern sich die Kraftwerke gegenseitig beeinflussen und ob ein Mindestabstand einzuhalten ist. Durch Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Seismometern verschiedener Betreiber soll ein komplexes Netzwerk erstellt werden, durch das alle verfügbaren Daten und Auswertungen möglichst in Echtzeit ausgetauscht werden können. Um die seismische Gefährdung besser zu verstehen und somit reduzieren zu können, sollen darüber hinaus die bisherigen Modelle, die beschreiben, wie die Erschütterung des Bodens mit der Entfernung zur Erdbebenquelle abnimmt, signifikant verbessert werden. Unter anderem schließen die Projektpartner nun auch die lokale Beschaffenheit des Untergrundes in die Berechnung mit ein. Durch die Projektarbeiten soll zudem ermöglicht werden, bereits vor dem Bohren einschätzen zu können, wie gefährdet ein Bereich für das Auftreten von Erdbeben ist.

Weitere Projektpartner von MAGS2 sind die Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), die Ruhr-Universität Bochum (RUB), die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), die Freie Universität Berlin, sowie das Energie-Forschungszentrum der Technischen Universität Clausthal und die Technische Universität Bergakademie Freiberg. Darüber hinaus beteiligen sich verschiedene Anlagenbetreiber sowie geologische Landesämter an den Arbeiten.

Das BMWi fördert das Projekt mit rund 3 Millionen Euro.



Prinzipskizze des neuen Bohrverfahrens aus dem Projekt LaserJetDrilling: Wasser- und Laserstrahlbohren werden hierbei kombiniert



100 Prozent erhöht werden. Konkret bedeutet dies bei einer für die Geothermie im süddeutschen Molassebecken typischen Endteufe von 4.500 Metern eine Kostenreduzierung von bis zu 10 Prozent.

Eng verknüpft mit diesem Automatisierungskonzept sind die Komponenten zur Überwachung und Steuerung der Bohrlochintegrität. Hier entwickelte Baker Algorithmen und Programme zur besseren Modellierung und Vorhersage der untertägigen Druckverhältnisse, sowohl im Gestein als auch in der Bohrspülung. Auf diese Weise kann die Gefahr von Bohrlochausbrüchen deutlich reduziert werden.

Das BMWi hat das Vorhaben mit rund 4 Millionen Euro gefördert.

Laser mit Wasserstrahl für schnelleres Bohren

Einen weiteren innovativen Ansatz, die Bohrkosten zu reduzieren, verfolgt das Verbundprojekt **LaserJetDrilling** unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT. Die Projektpartner planen, durch eine Kombination aus Wasser- und Laserstrahlbohren eine Alternative zu dem bisher größtenteils eingesetzten Rotary-Verfahren zu entwickeln. Beim Rotary-Verfahren rotiert ein Bohrermeißel am Ende eines langen, aus einzelnen Rohren zusammengesetzten Bohrerstrangs, wodurch das Gestein mechanisch zerkleinert wird. Der Vorgang selbst ist langsam, zudem entsteht ein hoher Verschleiß am Bohrerwerkzeug, wodurch der gesamte Bohrerstrang für den benötigten Austausch einige Male komplett ausgebaut werden muss.

Durch die Kombination aus Wasser- und Laserstrahlbohren sollen tiefe Bohrungen verschleißfrei und schnell durchgeführt werden können. Beide Verfahren ergänzen sich: Die Laserstrahlung ermöglicht, dass Festgestein schnell und effizient abgetragen werden kann, das Wasserstrahlbohren sichert besonders in lockerem Gestein einen schnellen Vortrieb. Zum Schutz der Laseroptiken vor Verunreinigungen wird der Laserstrahl innerhalb eines Wasserstrahls geführt. Das Prinzip des wasserstrahlgeführten Lasers wird bereits für Mikroanwendungen wie etwa das Schneiden von Siliziumwafern genutzt und von der Firma Synova S.A., einem assoziierten Partner des Projekts LaserJetDrilling, angeboten. Weitere Projektpartner sind die Herrenknecht Vertical GmbH, die IPG Laser GmbH, die KAMAT Pumpen GmbH & Co. KG sowie das International Geothermal



Typische Kalkablagerungen am Pumpeneinlass

Centre (IGC) der Hochschule Bochum. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 3 Millionen Euro.

Pumpensensor überwacht Betriebszustände

Im Betrieb einer geothermischen Anlage gelten die Förderpumpen als kritisches Element. Im Vergleich zu Anwendungen der Erdölförderung werden wesentlich höhere Volumenströme sowie Leistungen benötigt, zudem erschweren kristalline Ablagerungen des Thermalwassers wie etwa Kalk ihren Einsatz. Im Projekt **Tauchkreiselpumpe** arbeitet die Baker Hughes INTEQ GmbH daher daran, die Zuverlässigkeit elektrischer Tauchkreiselpumpen für den Einsatz im süddeutschen Molassebecken als auch im norddeutschen Becken zu verbessern. Kritische Komponenten der Pumpen sollen neu entwickelt und deren Wirksamkeit in langdauernden Labortests nachgewiesen werden. Für die Arbeiten greift das Unternehmen auch auf seinen Hochtemperaturteststand zurück, der innerhalb des Vorgängerprojekts „Optimierte Förderpumpen“ entwickelt wurde. Dieser erlaubt erstmalig den Langzeitbetrieb von bis zu 40 Meter langen Hochvolumen-Pumpen mit 2,5 Megawatt elektrischer Leistung bei Wassertemperaturen von maximal 190 Grad Celsius.

Ein Arbeitsschwerpunkt des neuen Projekts liegt darauf, einen speziell für die Geothermie angepassten Hochtemperatur-Pumpensensor zu entwickeln. Dieser Sensor wird unterhalb des Elektromotors installiert und zeichnet sich durch hohe Temperatur- und Spannungsfestigkeit aus. Kombiniert wird der Sensor zudem mit einem System aus mehreren Messpunkten für Schwingungen des Pumpenstrangs, wie sie etwa durch Unwuchten oder Spiel in den Radiallagern entstehen. Bisher werden diese lediglich am unteren Ende des Pumpenstranges gemessen. Zudem werden zusätzliche Messverfahren untersucht und bewertet, mit denen das Motoröl während des Pumpenbetriebs analysiert werden kann. Die verbesserte Untertage-Sensorik soll ermöglichen, kritische Betriebsparameter zu überwachen und dadurch schädliche Betriebszustände zu vermeiden.

Das BMWi fördert das Projekt mit rund 4,1 Millionen Euro. ■

Wasserkraft und Meeresenergie



Für die Stromproduktion aus Wasserkraft wird die Fließbewegung des Wassers – in erster Linie von Flüssen oder Stauseen – genutzt. Die Bewegungsenergie des Wassers wird dabei durch Turbinen oder Laufwasserräder in mechanische Energie umgesetzt, woraus dann mittels Generatoren Strom erzeugt wird. Im Bereich der Meere lassen sich grundsätzlich drei verschiedene Energiepotenziale nutzen: Meeresströmungen, verursacht durch regional unterschiedliche Sonneneinstrahlung. Gezeitenenergie, hervorgerufen durch die wirksame Massenanziehung zwischen Meer und Mond bzw. Sonne. Sowie Wellenenergie, die im Wesentlichen durch die Einwirkung des Windes auf die Wasseroberfläche entsteht.

Marktgesehen in Deutschland und weltweit

Zur Nutzung der Wellenenergie wurde eine Vielzahl von Anlagentypen entwickelt. Gut erprobt ist das Wellenkraftwerk auf Basis des Prinzips der schwingenden Wassersäule (engl. Oscillating Water Column, OWC). Dabei wird durch die sich auf und ab bewegende Wassersäule Luft in einem Rohr abwechselnd komprimiert und angesaugt. Der dadurch entstehende Luftstrom treibt eine Wells-Turbine an. Andere Typen von Wellenkraftwerken nutzen die Wellenenergie über Schwimmkörper, die sich mit den Wellen bewegen und über Gelenke, Seile oder hydraulische Zwischenstufen einen Generator antreiben.

Die Energie aus Meereswellen ist vielerorts und mit vergleichsweise kleinen Anlagen zu gewinnen. Zudem könnte die Installation von Wellenenergieanlagen in einer späteren Phase mit dem Betrieb von Windparks kombiniert werden. Durch die Kombination beider Technologien könnte das angeschlossene Stromnetz gleichmäßiger ausgelastet werden, da die Ertragsverläufe von Wind und Wellen sowohl zeitlich als auch räumlich entkoppelt sind. Bisherige Anlagen zur Umwandlung von Wellen- in elektrische Energie haben jedoch einen zu geringen Wirkungsgrad von etwa 35 Prozent. Um diesen Wirkungsgrad deutlich zu steigern, wurde das Thema 2014 durch die Forschungsförderung des BMWi aufgegriffen und ein Verbundvorhaben zur Fortentwicklung von Wellenkraftwerken bewilligt.

Neben einer zukünftigen Nutzung in der Deutschen Bucht werden aus dieser Technologie auch Exportchancen für deutsche Unternehmen erwartet.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Der Vorteil von Wasserkraft und Meeresenergie gegenüber der Windenergie und Photovoltaik besteht darin, dass die Energie zeitlich recht konstant bereitgestellt beziehungsweise zuverlässig vorausgesagt werden kann. Bei der Wasserkraft handelt es sich um eine bewährte Energiequelle. 2014 konnte in diesem Bereich die ökologische Verträglichkeit durch gezielte, durch das BMWi geförderte Forschungsvorhaben weiter verbessert werden. Die Nutzung der Meeresenergie verfügt über ein hohes Potenzial, befindet sich jedoch weltweit noch im Demonstrationsstadium.

Strategie der Forschungsförderung

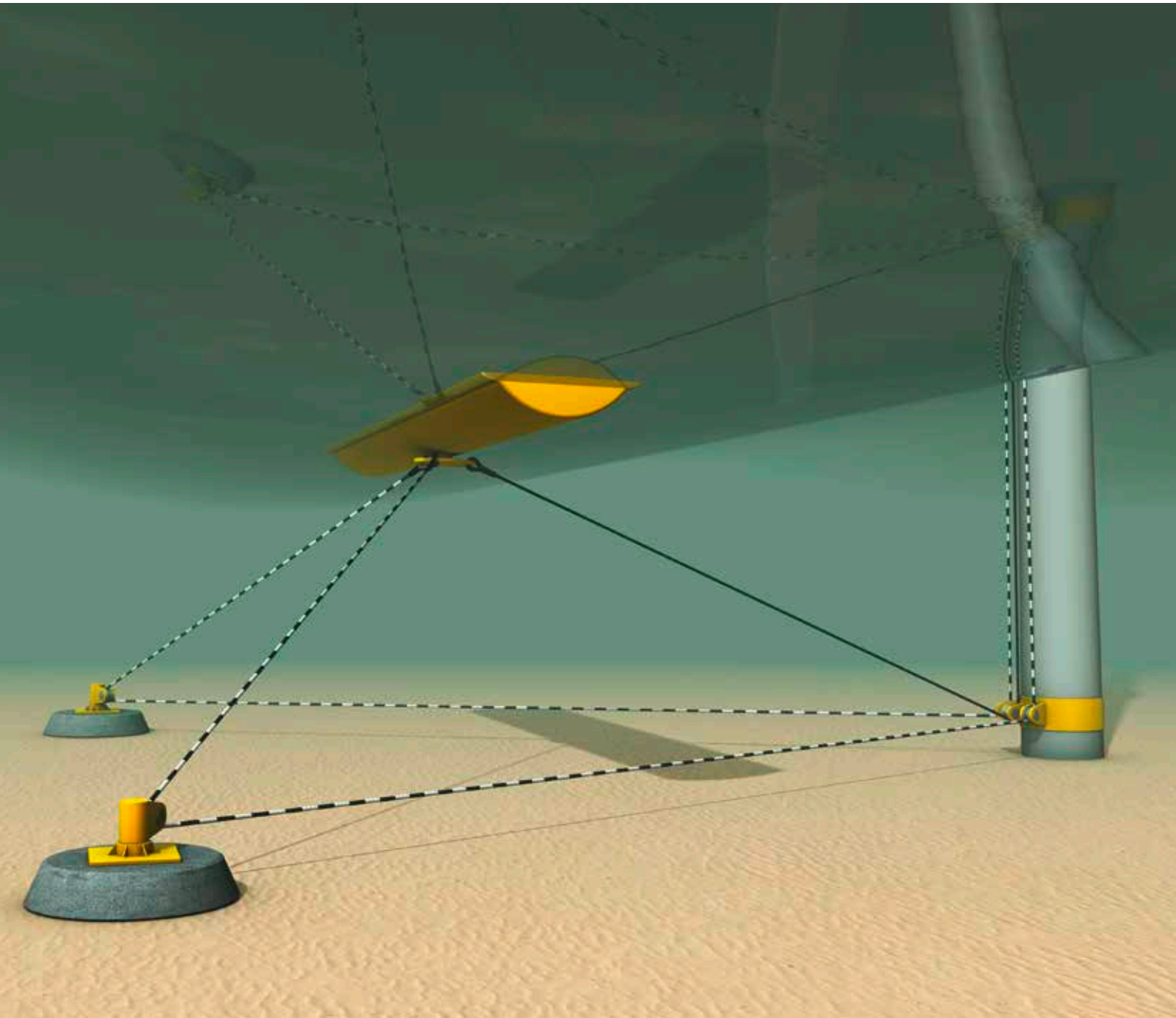
Die Technik im Bereich der Wasserkraft ist weitgehend ausgereift, ein Schwerpunkt der Forschungsförderung des BMWi liegt jedoch weiterhin auf der Verbesserung der ökologischen Verträglichkeit der Anlagen.

Um das Potenzial der Meeresenergie bei der Energiegewinnung künftig stärker zu nutzen, wird sich das BMWi in diesem Bereich künftig weiterhin engagieren und zur Realisierung entsprechender Vorhaben mit Demonstrationscharakter beitragen.

Im Bereich der Wasserkraft und Meeresenergie hat das BMWi 2014 insgesamt 6 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 2 Millionen Euro neu bewilligt. Gleichzeitig flossen rund 1,2 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben.



Rappbode-Talsperre



Seilkinematik des NEMOS
Wellenkraftwerks

Projektdarstellung

Hoher Wirkungsgrad durch hydromechanische Anpassung

Würde man in der ausschließlichen Wirtschaftszone der Deutschen Bucht die relativ kleinen Wellenenergieanlagen installieren, stünde zum Beispiel eine Leistung von bis zu 25 Kilowatt je Meter Wellenkamm zur Verfügung. Um den bisher zu geringen Wirkungsgrad dieser Technologie zu steigern, entwickeln die Partner NEMOS GmbH als Koordinator, die Schaeffler Technologies AG & Co. KG, die LIROS GmbH, das Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme (DST) und die Universität Duisburg-Essen innerhalb des Projekts **NEMOS** daher mit dem NEMOS-Anlagenkonzept ein Gesamtsystem, das den Wirkungsgrad auf über 65 Prozent steigern kann. Das Konzept basiert auf hydromechanischen Erkenntnissen und setzt diese kostengünstig um: Über eine Seilkinematik aus hochfesten Kunststoffseilen wird die Anlage entsprechend der Wellenrichtung ausgerichtet. Die Bewegungscharakteristik wird an die aktuelle Wellenhöhe und -länge angepasst, um den Ertrag zu optimieren. Darüber hinaus ist NEMOS bedarfsweise abtauchbar, um die Stromproduktion kurzfristig zu regeln sowie Schäden durch extremen Seegang zu vermeiden. Für eine hohe Lebensdauer und einen geringen Wartungsaufwand befinden sich alle empfindlichen Komponenten wie etwa Steuerung und Generator an einem vor Seewasser geschützten Bereich außerhalb des bewegten Systems.

Das Konzept wurde bereits in einem Maßstab von 1:5 im natürlichen Seegang getestet. Innerhalb des Projekts sollen sämtliche Komponenten hinsichtlich eines zuverlässigen Langzeitbetriebs in Großausführung weiterentwickelt werden. Schließlich wird die NEMOS-Wellenenergieanlage als Versuchsanlage im 1:1-Maßstab in der Nordsee installiert.

Das BMWi fördert das Projekt mit rund 1,7 Millionen Euro. ■

NEMOS Wellenkraftwerk im Maßstab 1:5 beim Test im natürlichen Seegang am dänischen Limfjord



Kraftwerkstechnik und CCS



Entsprechend den energiepolitischen Vorgaben soll die Nutzung der erneuerbaren Energien in Deutschland bis 2050 einen Anteil von 80 Prozent am Bruttostromverbrauch decken. Doch in absehbarer Zeit wird noch ein erheblicher Teil des deutschen Stromverbrauchs mit fossil befeuerten Kraftwerken erzeugt werden. Daher wird in Deutschland kontinuierlich an leistungsfähigeren Kraftwerken, dazugehörigen Materialien und Komponenten sowie auch CO₂-Abscheideverfahren, CO₂-Transportmöglichkeiten und -Systemen geforscht.

Marktgesehen in Deutschland und weltweit

2050 soll die Nutzung der erneuerbaren Energien in Deutschland einen Anteil von 80 Prozent am Bruttostromverbrauch decken. Allerdings lag der Anteil von Braun- und Steinkohle an der Bruttostromerzeugung zwischen 2005 und 2013 noch zwischen 41,5 und 46,4 Prozent, der von Erdgas zwischen 10,5 und 14,1 Prozent. Damit tragen die fossilen Energieträger nach wie vor wesentlich zur Stromerzeugung in Deutschland bei.

Allerdings sinkt die eingesetzte Menge an Braunkohle stetig. Der Grund liegt in der verbesserten Ausnutzung des Brennstoffs. Dies ist eine unmittelbare Folge des Austauschs von Altanlagen durch neue, moderne und effizientere Kraftwerke mit verbesserten Wirkungsgraden.

In der Kraftwerkstechnik sind deutsche Betreiber, Herstellerbetriebe und Forschungseinrichtungen weltweit führend. Obwohl in Deutschland derzeit kaum Neubauprojekte in der thermischen Kraftwerkstechnik absehbar sind, ist die stark exportorientierte Sparte an zahlreichen neuen Projekten vor allem auf dem asiatischen Markt beteiligt.

In Deutschland sorgen die fossil befeuerten Kraftwerke bei einem weiteren Ausbau der regenerativen Stromerzeugung vor allem mit der Abdeckung der Residuallast für die Versorgungssicherheit des heimischen Industriestandorts und dämpfen den Anstieg der Stromentstehungskosten. Residuallast ist die Menge an konstant bereitgestellter elektrischer Leistung ohne volatile Energieträger, wie zum Beispiel Windkraft.

Da es sich bei den erneuerbaren Energieträgern um fluktuierende Erzeugungstechnologien handelt, sind für eine gesicherte Energieversorgung bei begrenzten Speicherkapazitäten genügend thermische Kraftwerkskapazitäten nötig. Diese sorgen bei einem Abfall des Anteils erneuerbarer Energien für einen ausreichenden Versorgungsausgleich.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Um fossile Ressourcen zu schonen und CO₂-Emissionen zu minimieren, werden Gas- und Dampfkraftwerke (GuD) kontinuierlich optimiert. So werden heutzutage in modernen Braunkohlekraftwerken Wirkungsgrade von über 43 Prozent und in modernen Steinkohlekraftwerken Wirkungsgrade von 46 Prozent erreicht. Mit einem Gesamtwirkungsgrad von über 60 Prozent steht das weltweit effektivste und modernste GuD-Kraftwerk in Irsching.

Diese Erfolge ermöglichen die Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen an außeruniversitären Forschungseinrichtungen, Universitäten und der Industrie in Deutschland. Diese strategische Ausrichtung begann vor über 25 Jahren mit der Gründung der AG Turbo (siehe Themenkasten COORETEC), in der sich die vorwettbewerbliche, anwendungsorientierte Turbomaschinenforschung in Deutschland abstimmt und koordiniert. Mit Hilfe dieses Zusammenschlusses stieg der Weltmarktanteil der in Deutschland tätigen Turbomaschinenhersteller binnen 25 Jahren auf heute über 30 Prozent. Dabei ist es nicht zuletzt die Wirkungsgradsteigerung, die erfolgreich den CO₂-Ausstoß zu minimieren hilft: bei den stationären Gasturbinen auf fast 40 Prozent und im gemischten Prozess des Gas- und Dampfkraftwerks mit Abwärmenutzung auf 58 Prozent.

Vor nunmehr zehn Jahren gründete das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie zudem die COORETEC-Initiative (siehe Themenkasten), die Entwicklungserfordernisse identifiziert und Ideen neuer Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit ausgewiesener fachlicher Expertise diskutiert und initiiert.

Im Bereich von CCS (Carbon Capture and Storage) beschäftigen sich Forschungs- und Entwicklungsvorhaben beispielsweise mit CO₂-Speicherkonzepten, Risikoanalysen, Monitoring sowie verschiedenen Transportmöglichkeiten und -komponenten.

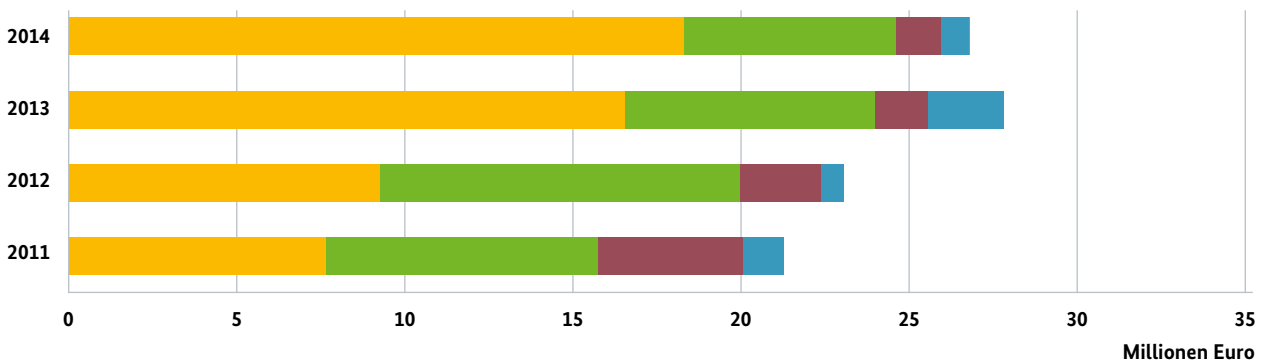
Strategie der Forschungsförderung

Durch den Ausbau regenerativer Energien steigen die Anforderungen an den Kraftwerksbetrieb, denn die Wirkungsgrade auch für Teil- und Mindestlastbetrieb sowie die Lebensdauer der Kraftwerke und ihrer Komponenten für

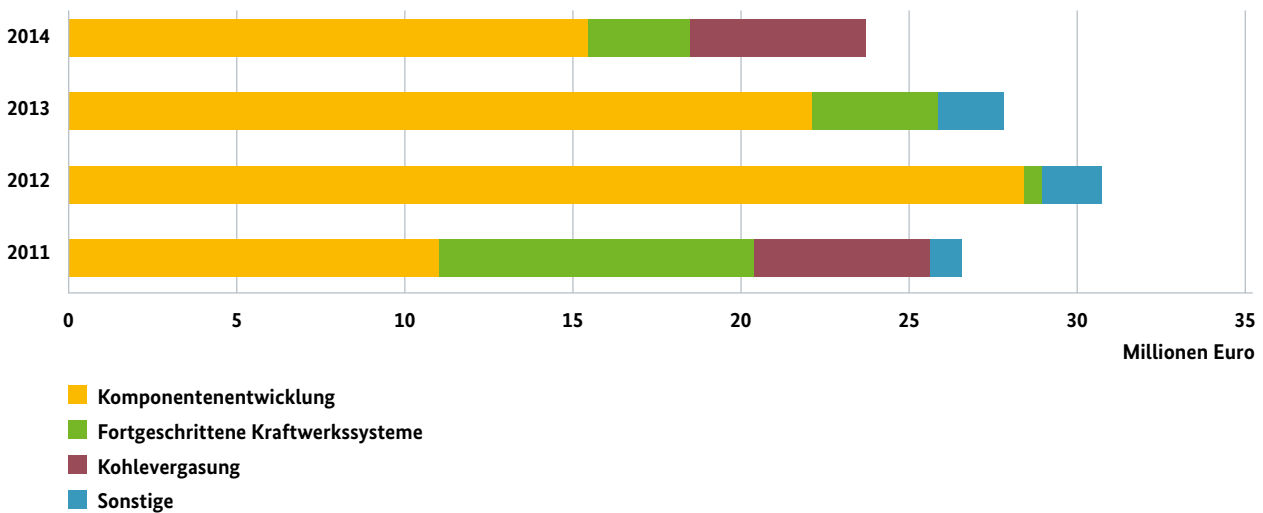


PCC-Pilotanlage zur CO₂-Wäsche in Niederaußem (siehe auch Seite 57)

Kraftwerkstechnik und CCS: Verteilung der Fördermittel zwischen 2011 und 2014



Kraftwerkstechnik und CCS: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2011



schnelle Lastwechsel müssen optimiert werden. Das bedeutet einerseits eine entsprechende Absicherung des Energiebedarfs bei Windstille, Bewölkung oder bei Nacht, und erfordert andererseits Retrofit-Maßnahmen oder Kraftwerksneubauten zur Anpassung an die veränderten Rahmenbedingungen. Dafür sind zusätzliche Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen erforderlich, welche stark wechselnde Betriebsweisen für GuD-Kraftwerke dauerhaft ermöglichen. Entsprechende Forschungsprogramme wurden hierzu initiiert. Darüber hinaus zeigen Erkenntnisse – auch aus dem laufenden Betrieb – weitere nötige Schritte auf. Hierzu gehört die gesamte Themenbandbreite von Materialuntersuchungen und -entwicklungen, Komponentenertüchtigungen und -entwicklungen, Langzeitstabilitäten, Lebensdauer- und Wartungsstrategien. Zur vollständig flexiblen Betriebsweise spielen auch die Einsatzfähigkeit unterschiedlicher Brennstoffe und damit brennstoffflexible Verbrennungssysteme eine wesentliche Rolle. Weitere Forschungsschwerpunkte sind der wirtschaftliche Betrieb fossiler Kraftwerke bei Laufzeiten von nur noch wenigen Tau-

send Vollast- und Teillast-Betriebsstunden im Jahr sowie die stoffliche Verwertung fossiler Rohstoffe bei verminderter Stromerzeugung.

Darüber hinaus spielt die Erforschung von Speichermöglichkeiten im Bereich thermischer Kraftwerke eine erhebliche Rolle. Denn bei starkem Wind und hoher Sonneneinstrahlung ist derzeit das Stromangebot größer als die Nachfrage. Dies führt zu Stromüberschüssen, die zu negativen Preisen abgegeben werden müssen.

Die Forschungsförderung durch das BMWi für den Bereich Kraftwerkstechnik und CCS belief sich 2014 für 233 laufende Projekte auf 26,7 Millionen Euro (2013: 27,8 Millionen Euro). Für die insgesamt 55 neubewilligten Projekte wurden 23,8 Millionen Euro (2013: 27,8 Millionen Euro) Förderung aufgewendet.

THEMA

10 Jahre COORETEC: Intelligente Kraftwerkstechnik

Das Reduzieren von CO₂-Emissionen ist eine große Herausforderung im Kontext des Klimawandels. Die Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen effizienter und emissionsärmer zu gestalten ist somit eine wichtige Aufgabe. Denn trotz des steigenden Anteils erneuerbarer Energien kann, angesichts des Bedarfs von Wirtschaft und Gesellschaft nach einer zuverlässigen und bezahlbaren Energieversorgung, nicht auf herkömmliche Quellen verzichtet werden. Dies gilt umso mehr, als durch das verstärkte Einspeisen erneuerbarer Energien Schwankungen im Netz entstehen und konventionelle Kraftwerke die Residuallast ausgleichen oder auch ein temporäres Ausbleiben erneuerbar erzeugter Energien kompensieren müssen.

Daher legte das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie mit der COORETEC-Initiative 2002 den Grundstein für das Erforschen und Entwickeln effizienter und emissionsarmer fossiler Stromerzeugung. COORETEC steht für CO₂-REDUKTIONSTECHNOLOGIEN und ist Teil des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung. Seit 2004 förderte das BMWi circa 500 Forschungsvorhaben im Umfang von rund 260 Millionen Euro. Der strategische Fokus liegt auf dem effizienten Umwandeln fossiler Energieträger in Kraftwerken sowie auf Technologien, die Abscheidung und Speicherung von CO₂ (CCS) ermöglichen.

Ein wichtiges Element von COORETEC ist der vom BMWi ins Leben gerufene Beirat. Dieser setzt sich zusammen aus Vertretern aus Industrie, Forschung und Politik und berät das Ministerium zu laufenden Fördermaßnahmen

sowie neuen Trends. Zusätzlich gibt der Beirat Empfehlungen zur strategischen Ausrichtung der Förderschwerpunkte. Neben den BMWi-Aktivitäten betrachtet das Gremium internationale Projekte sowie die Unterstützung der Grundlagenforschung durch das BMBF (Geotechnologienprogramm) und informiert sich über die Forschungsförderung der Länder.

Dem Beirat arbeiten vier Arbeitsgruppen zu. Die Leitung teilen sich je ein Sprecher aus der Wirtschaft und der Wissenschaft. Dies zeigt einmal mehr den Anspruch, Theorie und Praxis eng miteinander zu verbinden. Die Arbeitsgruppen beschäftigen sich unter anderem mit Technologien zur Wirkungsgradsteigerung und Flexibilisierung von Kraftwerken, mit Vergasungstechnologien zur Verstromung und stofflichen Nutzung von Kohle und anderen Brennstoffen sowie mit Technologien zur CO₂-Abtrennung, dem Transport und Speichern von CO₂.

Die Forschung der Arbeitsgemeinschaft Turbomaschinen (AG Turbo) ist mit dem Entwickeln von effizienten Turbomaschinen im Rahmen einer Querschnittsfunktion tätig, die eng mit allen vier Arbeitsgruppen von COORETEC zusammenarbeitet. Regelmäßige Statusseminare der Arbeitsgruppen und der AG-Turbo komplettieren die Struktur.

2014 feierte die COORETEC-Initiative ihr zehnjähriges Jubiläum. Dieses wurde im Rahmen eines Festsymposiums im BMWi in Berlin mit 130 Teilnehmern begangen. Auch dank COORETEC gelten deutsche Kraftwerkstechnologien heute mit als führend im weltweiten Vergleich.



HIGHLIGHT

Clean Energy Center (CEC): Klimaschonende Verbrennungstechnologie

Effizienter, leistungsstärker und emissionsärmer. Diese drei Schlagworte sind die Leitlinie des Verbundprojekts Clean Energy Center (CEC) unter der Federführung der Siemens AG. An den insgesamt 20 Einzelvorhaben beteiligen sich fachübergreifend neun Forschungseinrichtungen aus den Bereichen Kraftwerkstechnik und Materialwissenschaften. Kernstück ist das am 19. Februar 2015 in Betrieb gegangene Forschungs-, Entwicklungs- und Testzentrum für Gasturbinen-Brenner für eine klimaschonende Energieerzeugung.

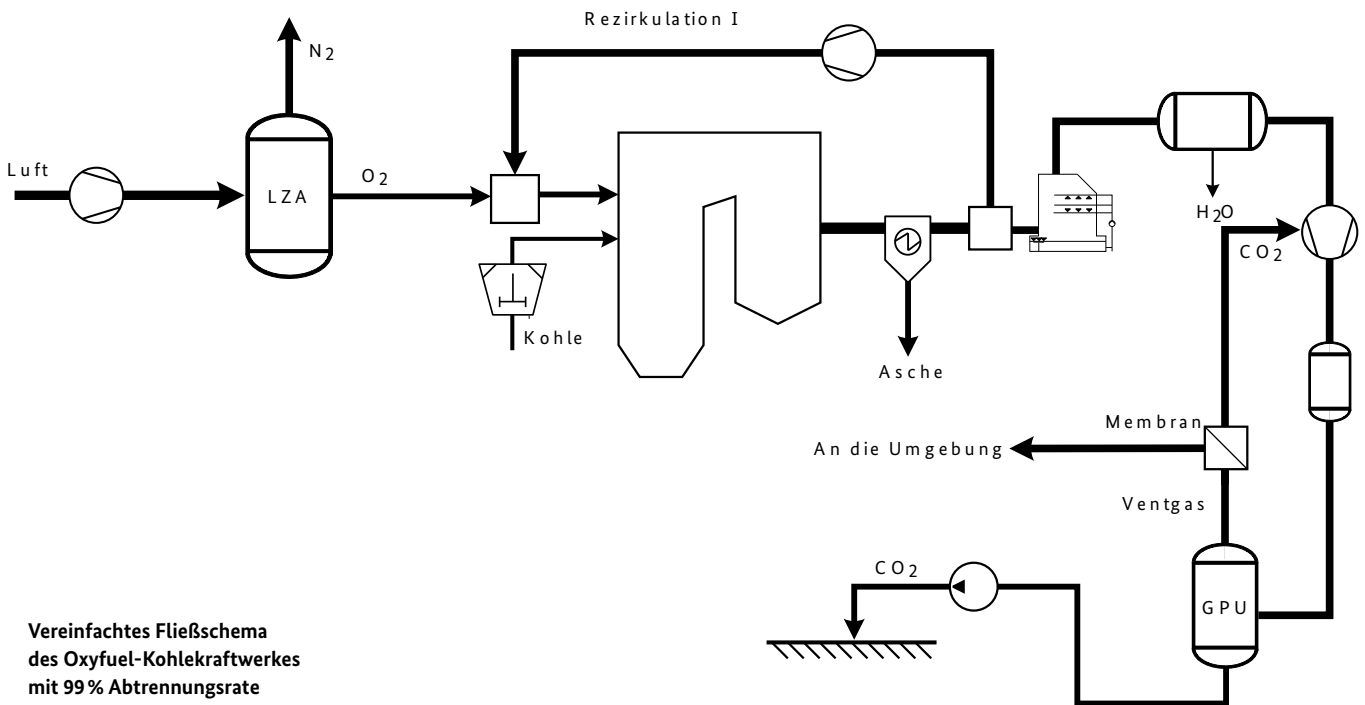
Der aktuelle Effizienzhöchstwert von Kombikraftwerken liegt bei einem Wirkungsgrad von 60,75 Prozent. Dieser wurde im Gas- und Dampfturbinenbetrieb eines Kraftwerks der Siemens AG nachgewiesen. Um den Wirkungsgrad moderner Verbrennungsturbinen weiter zu erhöhen, ist es notwendig, die bestehenden Technologien stetig zu verbessern. Denn gerade die Brenner sind ein entscheidender Punkt für die Steigerung der Effizienz von Gaskraftwerken. Hierzu können im Clean Energy Center nun Prototypen neu entwickelter Gasturbinenbrenner unter realistischen Einsatzbedingungen untersucht werden. Auf diese Weise sind die Ergebnisse belastbarer als bei der reinen Computersimulation von Verbrennungsvorgängen. Dies ermöglicht ein kontinuierliches Absenken der Betriebskosten der Turbinen und ein weiteres Reduzieren der Umweltbelastungen durch diese Art der Energiewandlung.

Das CEC verfügt insgesamt über drei Testzellen für Verbrennungsvorgänge. In diesen Zellen wird in den Gasturbinen Erdgas und Heizöl unter großem Druck mit Luft gemischt und von bis zu 24 identischen Brennern gezündet. Das daraus entstehende heiße und unter Druck stehende Luft-Gas-Gemisch versetzt den Turbinenrotor in Drehung. Dies treibt einen Generator zur Stromerzeugung an. Bei den Tests überprüfen die Wissenschaftler an den Brennern im Prüfstand verschiedene Parameter wie Leistung, Wirkungsgrad, Emissionen und die Flammenstabilität. Neben Erdgas und Heizöl können zudem Mischungen alternativer Brennstoffe wie Wasserstoff, Ethan, Propan und Butan bei den Verbrennungstests eingesetzt werden. Der Vorteil dieser Technologie ist, dass sich Gaskraftwerke flexibel starten und betreiben lassen. Allerdings gelten hierbei unterschiedliche Bedingungen für Verbrennungsvorgänge, je nachdem ob das Kraftwerk unter Teil- oder Vollast fährt.

Das Clean Energy Center befindet sich in Ludwigsfelde bei Berlin und schafft 25 zusätzliche qualifizierte Arbeitsplätze für die Region. Die Entscheidung für das brandenburgische Ludwigsfelde als Standort fiel dabei aufgrund der gesicherten Versorgung durch eine vorhandene Erdgasleitung und das Hochspannungsnetz. Das BMWi fördert die ersten beiden Phasen der Forschungsvorhaben mit rund 9,63 Millionen Euro Zuwendungen. Die bisherigen Kosten belaufen sich auf 19,26 Millionen Euro. Die Vorhaben laufen noch bis Dezember 2016. Derzeit ist die dritte Phase in Planung.



Das Clean Energy Center testet in drei Zellen klimaschonende Verbrennungsvorgänge



Vereinfachtes Fließschema
des Oxyfuel-Kohlekraftwerkes
mit 99% Abtrennungsrate

Auswahl geförderter Projekte

ADECOS: Oxyfuel-Komponentenentwicklung und Prozessoptimierung

Das Oxyfuel-Verfahren ist ein Verbrennungsprozess in einer Atmosphäre aus rezirkuliertem CO₂ und Sauerstoff. Die Technologie ermöglicht eine CO₂-arme Stromerzeugung aus Kohle, denn sie erleichtert eine CO₂-Abscheidung aus dem Rauchgas und dessen Weiterverwendung oder auch Speicherung, zum Beispiel in geologischen Formationen. Im Hinblick auf eine spätere Anwendbarkeit in der Praxis und im Maßstab größerer Anlagen kommt der Optimierung der einzelnen Oxyfuel-Prozesse und -Komponenten eine entscheidende Rolle zu.

Damit beschäftigt sich das Projekt ADECOS. ADECOS steht für „Advanced Development of the Coal-fired Oxyfuel Process with CO₂ Separation“. Das Verbundvorhaben ADECOS-Komponenten ist die aktuelle und zugleich dritte Phase in der gesamten ADECOS-Oxyfuel-Forschung. An dem Forschungsverbund sind die TU Hamburg-Harburg, die TU Dresden, das Forschungszentrum Jülich, die Hochschule Zittau-Görlitz und die Universität Stuttgart beteiligt. Das Projekt gliedert sich in drei Teilbereiche. Dazu zählt einerseits die Forschung an den Werkstoffen für Dampferzeugerheizflächen im Oxyfuel-Prozess, inklusive Untersuchungen zum Verschmutzungs- und Verschlackungsverhalten. Andererseits beschäftigt sich das Vorhaben mit der Gasbehandlung und betrachtet in einem dritten Teilbereich besonders die Themen Messtechnik und Betrieb.

Die ADECOS-Komponenten können in künftigen emissionsarmen Kraftwerken mit CO₂-Abtrennungsraten von bis zu 99 Prozent eine wichtige Rolle übernehmen. Mit einem Markt für diesen Kraftwerkstyp rechnen Experten ab 2020. Das Vorhaben ist Teil der COORETEC-Initiative (siehe Themenkasten) und wurde vom BMWi über den Projektzeitraum vom April 2011 bis März 2014 mit 1,15 Millionen Euro Zuwendungen gefördert. Das Gesamtvolumen belief sich auf 2,3 Millionen Euro.

PCC-Pilotanlage zur CO₂-Wäsche

Das Abtrennen von klimaschädlichem CO₂ aus Industrieabgasen stellt eine erfolversprechende Option zur Reduktion von Treibhausgasemissionen dar. Ein Forschungsverbund der RWE Power AG, BASF SE und der Linde Engineering Dresden GmbH entwickelte einen energetisch optimierten CO₂-Abtrennungsprozess aus Kraftwerksrauchgasen. Dieser ist ein deutlicher Fortschritt gegenüber der verfügbaren Technik. Den Prozess erproben die Verbundpartner unter realen Bedingungen in einem Braunkohle-Kraftwerk in Niederaußem bei Köln. Die Post Combustion Capture (PCC)-Pilotanlage ging im Juli 2009 in Betrieb und besitzt alle Elemente einer großtechnischen Carbon-Capture-Anlage. Dadurch und dank der ausgezeichneten Anlagenverfügbarkeit von 97 Prozent werden aussagekräftige Ergebnisse erzielt.

In dem Anschlussvorhaben POSTCAP-Folgeprojekt II (Förderphase III) untersuchen Wissenschaftler der drei Unternehmen nun seit März 2014 weitere Maßnahmen zu

einer verbesserten Aminwäscheteknik – eine wichtige Etappe auf dem Weg zu einer kommerzialisierten PCC-Technologie. Die Projektpartner wollen ein besseres Verständnis der Aerosolbildung erwerben, um mögliche Emissionen zu vermeiden. Zudem sollen der Energiebedarf und der Waschmittelverbrauch weiter sinken.

Die Wissenschaftler arbeiten an einer weiteren Reduktion der CO₂-Vermeidungskosten von CCS durch reduzierte Investitions- und Betriebskosten der Abtrenntechnik. Durch die positive und nochmals verbesserte Umweltbilanz soll auch die gesellschaftliche Akzeptanz der CCS-Technologie weiter steigen.

Zusätzliche Schwerpunkte sind Tests und Bewertungen zweier neuer Waschmittel-Varianten (OASE®-Blue) sowie Langzeittests mit der optimalen Variante. Hinzu kommen die Simulation eines Gasturbinen-Abgases, das als Rohgas in die CO₂-Wäsche eintritt, die Fortführung von Werkstofftests und technisch-wirtschaftlich-ökologische Konzeptverbesserungen zu großtechnischen CO₂-Wäschanlagen sowie eine Aktualisierung der Großanlagenstudien.

Keramikmembranen für die Gastrennung in fossilen Kraftwerken

Deutschland hat sich ehrgeizige Ziele für den Klimaschutz gesetzt. Für den Erfolg ist neben dem Ausbau erneuerbarer Energien auch eine Weiterentwicklung fossiler Kraftwerke hin zu weniger Emissionen und mehr Effizienz und Flexibilität entscheidend.

Darauf aufsetzend, forschte der Verbund METPORE II zur Abtrennung von Kohlendioxid aus Rauchgasen mit Hilfe von Keramik- und Polymer-Membranen. Das Projekt des Forschungszentrums Jülich, des Helmholtz-Zentrums Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH GKSS, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), des DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. sowie der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut nutzte dabei die Erkenntnisse aus den Arbeiten im Vorgängerprojekt METPORE I. Dort hatten die Wissenschaftler bereits begonnen, keramische metallgestützte Membranen für die Trennung von CO₂ und N₂ in den Rauchgasen von fossil gefeuerten Kraftwerksprozessen zu realisieren.

PCC-Pilotanlage zur CO₂-Wäsche in Niederaußem



Eines der Ziele von MEPORE II ist, durch das Nutzen von Membranen zur CO₂-Abtrennung anstelle von Wäschen die Energieverluste zu reduzieren und den Anfall toxischer Reststoffe zu vermeiden. Weiterhin lassen Membranen Vorteile hinsichtlich der Skalierbarkeit und des Einsatzes im Teillastbetrieb erwarten. Zudem wurde ein voll instrumentierter Prüfstand für Membranmodule für mehr als 700 Stunden im Rheinhafendampfkraftwerk Karlsruhe betrieben und die CO₂-Abtrennung aus realen Rauchgasen mit Membrantechnologie im Prototypen-Maßstab demonstriert. Die Auswertung der Ergebnisse dauert noch an. Eine erfolgreiche Umsetzung dieser Technologie bis in den Megawatt-Bereich hätte entscheidende positive Auswirkungen auf die Klimafreundlichkeit fossiler Kraftwerke.

Diese Strategie zur CO₂-Abtrennung aus Gasmischungen kann auch bei anderen Verfahren wie der Biogasaufbereitung eingesetzt werden. METPORE II ist ein Projekt der COORETEC-Initiative (siehe Themenkasten). Das BMWi unterstützte das Vorhaben mit 2,9 Millionen Euro Zuwendungen.



COOREFLEX-turbo: Start eines neuen Forschungsverbunds

Im Herbst 2014 startete die zweite Tranche von COOREFLEX-turbo, einem auf fünf Jahre angelegten Forschungsverbund der AG Turbo. Die Arbeitsgemeinschaft ist die deutsche Plattform für innovative Turbomaschinenforschung (siehe Themenkasten). Die AG Turbo besteht bereits seit nunmehr 28 Jahren und widmet sich der vorwettbewerblichen und anwendungsorientierten Forschung zu Turbomaschinen. Insbesondere liegt der Schwerpunkt auf Dampf- und Gasturbinen sowie Kompressoren. Diese dienen der Realisierung von Kombikraftwerken und dem Transport von CO₂. Aber auch bei der Druckluftspeicherung, Wasserstoff- und Biomasseverbrennung sowie für konzentrierte Solarthermie (CSP) können Turbomaschinen eine zentrale Rolle übernehmen.

In der Kraftwerksforschung stellt die AG Turbo ein weltweites Alleinstellungsmerkmal für die Bundesrepublik Deutschland dar und unterstützt nachhaltig die technologische und wirtschaftliche Vorreiterrolle des Landes. Turbomaschinen leisten einen wertvollen Beitrag zur Energiewende, da sie mit Blick auf die Effizienz und

Flexibilität der Stromerzeugung weiterhin unverzichtbar sind. Über COOREFLEX-turbo treibt die AG die Weiterentwicklung von Kraftwerksprozessen zu mehr Ressourcenschonung und verbessertem Klimaschutz voran.

Das Verbundvorhaben COOREFLEX-turbo besteht insgesamt aus 107 Einzelprojekten mit einem Gesamtvolumen von 66 Millionen Euro, davon sind 33 Millionen Euro Zuwendungen des BMWi. Die Umsetzung erfolgt in drei Tranchen. Die erste Tranche wurde Mitte 2013 vergeben, die zweite folgte im Herbst 2014, die letzte Tranche ist für Mitte 2015 anvisiert. Die Teilnehmer des Verbunds stammen aus der Industrie sowie von Hochschulen und Forschungszentren. Aktuell läuft bereits die Planung für ein Nachfolgeverbundvorhaben. ■

Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien



Brennstoffzellen stehen für eine Effizienztechnologie, die schon in kleinen Einheiten Elektrizität mit hohen Wirkungsgraden generiert. In Kraftfahrzeugen ermöglichen sie Elektromobilität mit einer vergleichbaren Reichweite zu herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennermotor. In der Hausenergieversorgung realisieren sie die gekoppelte, hocheffiziente Erzeugung von Strom und Wärme. In USV-Anlagen (unterbrechungsfreie Stromversorgung) oder netzfernen Anlagen erlauben sie netzunabhängig eine schnell verfügbare und bedarfsgerechte Stromerzeugung. Brennstoffzellen arbeiten mit Wasserstoff oder Erdgas als Energieträger und sind so lokal emissionsfrei. Wasserstoffherstellung durch Elektrolyse ist zudem eine gute Option, um elektrische Energieüberschüsse zu nutzen, und bildet damit ein Bindeglied zu den Speichertechnologien. Somit sind Brennstoffzellen ein wichtiger Baustein auf dem Weg zur Energiewende.

Marktgesehen in Deutschland und weltweit

Trotz ihrer Vorteile sind Brennstoffzellen noch zu teuer für einen breiten Markt. Dies gilt sowohl für stationäre Anwendungen als auch für mobile Anwendungen in Fahrzeugen. Aktuell ist der Betrieb daher nur mit Hilfe einer Förderung wirtschaftlich darstellbar. Noch fehlt ein deutlicher Schub in Richtung Kostensenkung. Dieser kann vermutlich erst durch eine Serienfertigung erreicht werden, zumal die Komponenten aktuell noch in zu geringen Stückzahlen gefertigt und eingekauft werden. Daher konnten Brennstoffzellen bisher vor allem Nischenmärkte erobern, wie

die Energieversorgung für Wohnmobile oder Yachten. Hierfür wurden bisher einige zehntausend Einheiten verkauft.

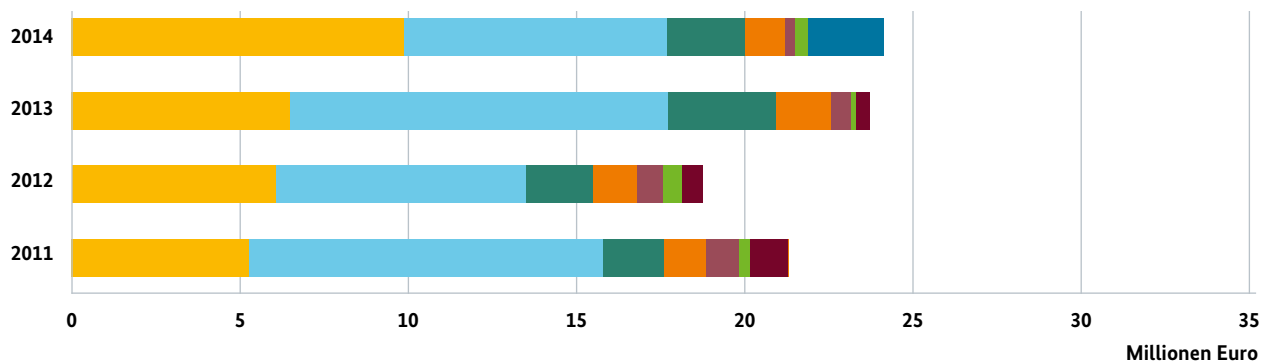
Seit circa zwei Jahren bieten einige Hersteller in Deutschland Brennstoffzellengeräte für die Energieversorgung von Haushalten und Gewerbegebäuden an. Weitere wollen folgen. Entsprechende Markteinführungsprogramme mit einem begrenzten Budget gibt es in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Hessen. In Japan ist die Verbreitung von Hausenergieversorgungsanlagen größer. Dort wurden im Rahmen des staatlich geförderten ENE-FARM-Programms schon über 100.000 Geräte installiert.

Im Automobilssektor ist laut Herstellern mit einer Markteinführung in Deutschland 2017 zu rechnen. Derzeit ist nur der Renault HyKangoo mit Brennstoffzelle zur Reichweitenverlängerung verfügbar. In anderen Märkten, wie Japan und Kalifornien, haben namhafte japanische und südkoreanische Hersteller bereits für 2015 beziehungsweise 2016 Brennstoffzellenfahrzeuge angekündigt.

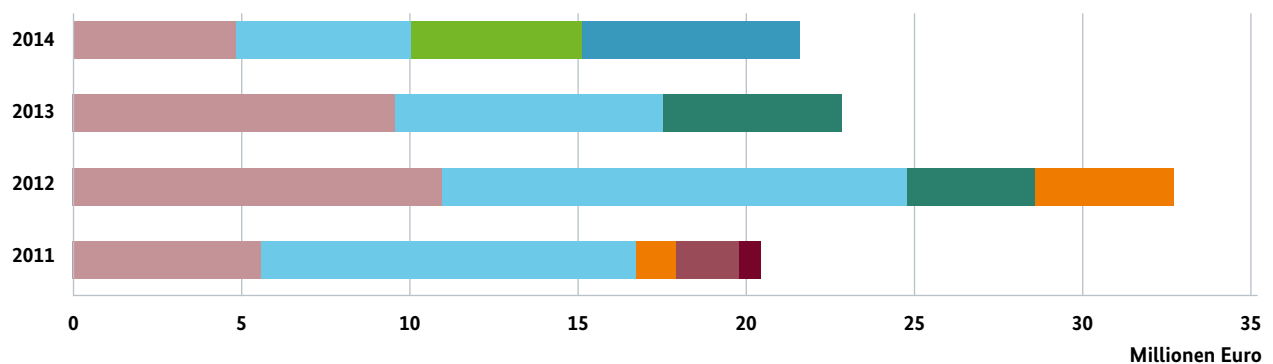
Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Die Forschungsförderung des BMWi für Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien ist ein wichtiger Baustein des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) der Bundesregierung. Die Projektförderung durch das BMWi belief sich 2014 auf 24,1 Millionen Euro (2013: 23,8 Millionen Euro) für insgesamt 112 Projekte. 28 Projekte mit einer Förderung von insgesamt 21,5 Millionen Euro (2013: 22,9 Millionen Euro) über die gesamte Projektlaufzeit wurden neu angestoßen.

Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie: Verteilung der Fördermittel zwischen 2011 und 2014



Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2011



- PEMFC
- NT-PEMFC
- SOFC
- Wasserstoffspeicher
- HT-PEMFC
- Wasserstoffherzeugung
- MCFC
- DMFC
- Sonstige

Mit der Förderung des NIP durch das BMWi und das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) wurden seit 2006 beachtliche technologische Fortschritte erreicht. Durch mehrere Hersteller entstanden Brennstoffzellenheizgeräte zur Hausenergieversorgung, die in Feldtests erprobt wurden und die hohen Anforderungen in puncto Lebensdauer und Zuverlässigkeit erfüllen.

Einige Hersteller setzen auf größere Einheiten für Gewerbe- oder Industriebetriebe zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Weitere Anwendungsfelder für KWK-Anlagen sind Schiffe und LKW. Beide benötigen eine Stromerzeugung im Standbetrieb. Hier hilft die Brennstoffzelle, CO₂- und Dieselrußemissionen zu reduzieren.

Mittlerweile erfüllen Brennstoffzellenfahrzeuge die Erwartungen an Lebensdauer und Betrieb, auch bei niedrigen Außentemperaturen. Von erheblicher industriepolitischer Bedeutung ist nun die Qualifizierung von Komponentenherstellern für Brennstoffzellenstapel (Stacks), Wasserstofftankstellen sowie für Wasserstofftanks in Deutschland. Bisherige Ankündigungen verschiedener Hersteller zur Markteinführung setzen die Verwendung von Technologien aus Japan, Südkorea oder Nordamerika voraus. Daher liegt ein Schwerpunkt der BMWi-Förderung in der Unterstützung von Material- und Komponentenherstellern im Inland. Das Spektrum reicht von Produzenten von Katalysatormaterialien, Membranen, Bipolar-Platten, Dichtungsmitteln für die Ebenen eines Stapels und wasserstoffversprödungsfreien Stählen bis hin zu Kleinteilen wie Pumpen, Ventilen, Lüftern und Sicherheitssensoren.

Eine weitere Steigerung der heimischen Wertschöpfung setzt voraus, dass neben den Komponenten auch komplette Stacks in Deutschland hergestellt werden. Deshalb fördert das BMWi mehrere Verbundprojekte, die das Zusammenspiel der Komponentenhersteller optimieren und in denen sich ein Unternehmen für die Stack-Produktion qualifiziert.

Zur Darstellung der Projekterfolge, Diskussion der Perspektiven und als politisches Zeichen wird derzeit eine Vollversammlung aller am NIP Beteiligten für Juni 2015 vorbereitet.



Strategie der Forschungsförderung

Im Rahmen des NIP ergänzen sich die Forschungsförderung des BMWi und die Förderung von Demonstration und Feldtests durch das BMVI konstruktiv. Rückkopplungen aus den Feldtests in die Entwicklung und wiederholte Feldtests mit neuen Gerätegenerationen haben zu den Fortschritten seit 2006 geführt und sind auch künftig zur Etablierung der Technologie nötig. Eine wachsende Rolle kommt dabei der Entwicklung und Erprobung von Elektrolyseuren zur Gewinnung des Wasserstoffs zu, zum Beispiel für Brennstoffzellenfahrzeuge.

Die Laufzeit des NIP ist auf 2016 begrenzt. Um das Technologiepotenzial ausnutzen zu können und marktreife Produkte zu generieren, wird eine Fortführung um weitere zehn Jahre diskutiert. Branchenexperten erarbeiteten hierzu eine Agenda mit noch offenen Fragestellungen und konkreten Empfehlungen für Markteinführungsprogramme und legten diese den politischen Entscheidungsträgern vor.

Die Förderung angewandter Forschung und Entwicklung durch das BMWi ist danach weiterhin eine wichtige Säule des Programms und wird auch künftig auf die bisher geförderten Technologien setzen. Eine höhere Bedeutung als bisher werden dabei Projekte zur Entwicklung von Elektrolyseuren einnehmen. Dies erfolgt in enger Abstimmung mit der Projektförderung im Bereich der Speichertechnologien.

THEMA

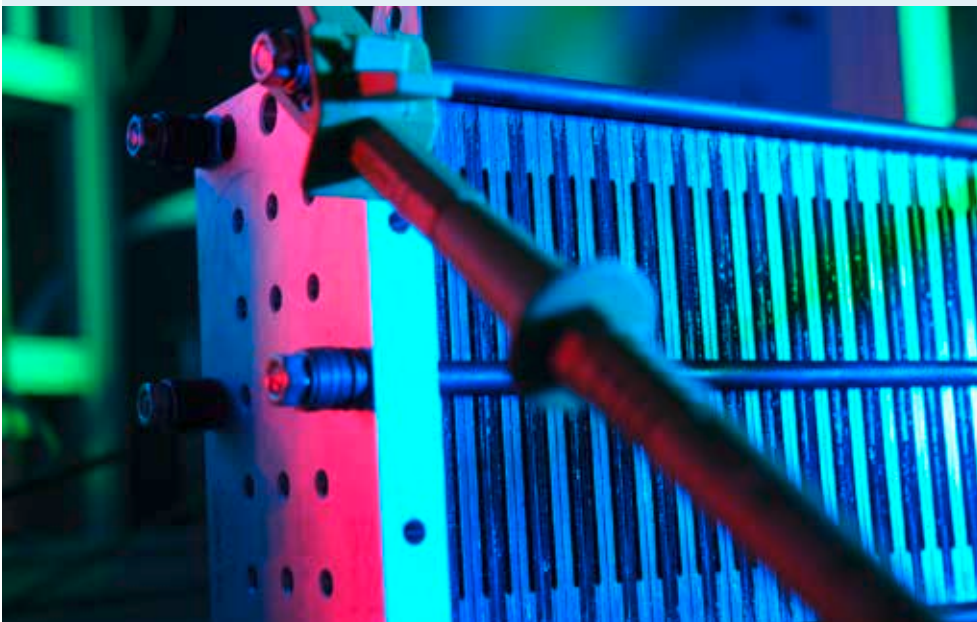
Lebensdauererweiterung von PEM-Brennstoffzellen

Durch das wachsende Interesse an lokal emissionsfreien Mobilitätslösungen gewinnen Brennstoffzellen als Energiewandler an Bedeutung. Durch die Produktion von Wasserstoff mit Hilfe von Elektrolyse lässt sich erneuerbare Energie für einen späteren Bedarf speichern. Eine wichtige Technologielinie zur Umsetzung des erzeugten Wasserstoffes sind PEM-Brennstoffzellen (PEM steht für Proton Exchange Membrane und beschreibt eine Kernkomponente der Zelle). Deren Vorteile sind der hohe Wirkungsgrad und ihre Emissionsfreiheit, außerdem ist ihr Betrieb fast geräuschlos. PEM-Zellen arbeiten im Niedertemperaturbereich zwischen 60 und 80 Grad Celsius. Sie werden vor allem im Verkehr, aber auch in stationären Anwendungen eingesetzt, zum Beispiel im Gebäudekontext. Die Forschung konnte bisher bereits große Fortschritte beim Stand der Technik von Brennstoffzellen erzielen. Dennoch sind weitere Entwicklungen nötig, beispielsweise im Hinblick auf die Lebenszeit dieser galvanischen Zellen, um ihnen einen kommerziellen Durchbruch zu ermöglichen. Hierzu hat ein Verbund des Zentrums für Brennstoffzellentechnik GmbH (ZBT), der Technischen Universität Clausthal, des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE und der Technischen Universität Berlin Modelle zur Ermittlung von Prognosen zur Lebensdauer von Brennstoffzellen in realen Anwendungen entwickelt, um bei der Weiterentwicklung von Komponenten auf zeitraubende Alterungstests verzichten zu

können. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie hat dies mit 2,7 Millionen Euro gefördert.

Gemeinsam haben die Wissenschaftler des Verbunds ein Software-Tool zur Vorhersage der Lebensdauer programmiert. Durch die Kombination eines physikalisch-chemischen und eines ereignisorientierten Modells haben die Wissenschaftler zunächst das Alterungsverhalten von Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen nachgestellt. Hierzu ermittelten die Forscher für alle Elemente der Zelle, wie Bipolarplatte, Dichtungen, Membran, Gasdiffusionslage/Elektrode, Katalysator, Wasserhaushalt, experimentelle Daten über das Alterungsverhalten und übertrugen diese in Modellbilder. So soll die richtige Reihenfolge der Lebensdauererwartung verschiedener Brennstoffzellen bei unterschiedlichen Betriebsstrategien voraussagbar werden. Die Ergebnisse fließen anschließend in gezielte Verbesserungen der einzelnen Bestandteile der galvanischen Zellen ein.

Die Projektpartner veranstalteten auch mehrere Workshops mit Teilnehmern aus den Reihen der führenden deutschen Stack- (engl. Zellstapel), Brennstoffzellen- und Komponentenhersteller. Dies zeigt die große Relevanz für die Industrie. So erhielt der Verbund praxisnahes Feedback zu seinen Fortschritten, und es werden bestmögliche Voraussetzungen für eine Verwertung der Erkenntnisse aus dem Vorhaben zur Optimierung der Systeme geschaffen.



Test des Zellstapels im Rahmen des Projektes zur Verlängerung der Lebensdauer von PEM-Brennstoffzellen

HIGHLIGHT

Autonome und unterbrechungsfreie, CO₂-neutrale Stromversorgung



Pilotanlage in Elancourt bei Paris

Die Energiestation ist in der Lage, einen Bedarf zwischen einem bis fünf kW zu bedienen. Die Basis des Systems bilden dabei Photovoltaik- und Windkraftmodule. Die Speicherung der erzeugten Elektrizität erfolgt kurzfristig in Batterien

Von 2011 bis Dezember 2014 arbeitete ein Konsortium aus deutschen und französischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen im Vorhaben RENERSTA (Renewable Energy Telecom Station) an der Entwicklung einer zuverlässigen, autarken und unterbrechungsfreien Stromproduktion und -speicherung für eine netzferne Energieversorgung. Durch einen Wasserstoffkreislauf ermöglicht RENERSTA eine Versorgung für bis zu zehn Jahre. Konkret ging es den Forschern darum, eine vollständig integrierte und zugleich platzsparende Gesamtlösung zu entwickeln, welche sich CO₂-neutral aus erneuerbaren Quellen speist, diese vor Ort speichert sowie kurz- und langfristig zur Verfügung halten kann.

Der Forschungsverbund wurde durch die Airbus Defence and Space koordiniert. An dem deutsch-französischen Gemeinschaftsprojekt waren zudem die AEG Power Solutions Group, die Artemis Group, CETH S.A., das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, EADS Innovation Works und die SAFT Batterien GmbH beteiligt.

Der Ansatz des RENERSTA-Forschungsverbunds stellt eine in der Form neuartige Herangehensweise dar, da herkömmliche Systeme meist Dieselmotoren zur Absicherung nutzen. RENERSTA hingegen setzt vollständig auf erneuerbare Energien und Clean-Tech-Anwendungen sowie Synergieeffekte durch intelligentes Energiemanagement. Die Arbeiten der deutschen Verbundpartner unterstützt das BMWi dabei mit rund 1,44 Millionen Euro.

und langfristig durch das Umwandeln von Strom in Wasserstoff mittels eines Elektrolyseurs. Der Wasserstoff wird bei späterem Abruf der Leistung in der Brennstoffzelle des Systems wieder zu Strom gewandelt. Die innovativen Entwicklungen des RENERSTA liegen darüber hinaus im Energiemanagementsystem, der standortunabhängigen Systemauslegung, der eingesetzten Sicherheitstechnik, der Elektronik sowie der Brennstoffzelle. Das System insgesamt ist auf diese Weise flexibel genug, um sich auf den jeweiligen Bedarf und die Verhältnisse am Implementierungsort einzustellen. Durch den Einsatz einer gemeinsamen Controlling-Lösung kann die gesamte Station energie- und planungseffizient arbeiten.

Als mögliche Einsatzgebiete dieser CO₂-neutralen Stromversorgung sehen die Verbundteilnehmer in Zukunft die Telekommunikationsinfrastruktur, die Schifffahrt, Signal- und Kommunikationsanlagen im Straßenverkehr oder eine Notstromversorgung in Katastrophengebieten. Daher berücksichtigen die Forscher auch extreme Randbedingungen. Das Konzept für die Anlage basiert auf einem modularen Aufbau, einer hohen Mobilität für einen leichten Transport zu weltweiten Einsatzorten sowie einer unkomplizierten Installation mit niedrigem Aufwand vor Ort. Die RENERSTA Power Station soll völlig autark (ohne 230-VAC-Netz und auch ohne menschliche Präsenz) die Stromversorgung einer Telekommunikationsanlage für zehn Jahre gewährleisten, wobei nur einmal alle zwölf Monate Wartungsarbeiten nötig seien dürften.

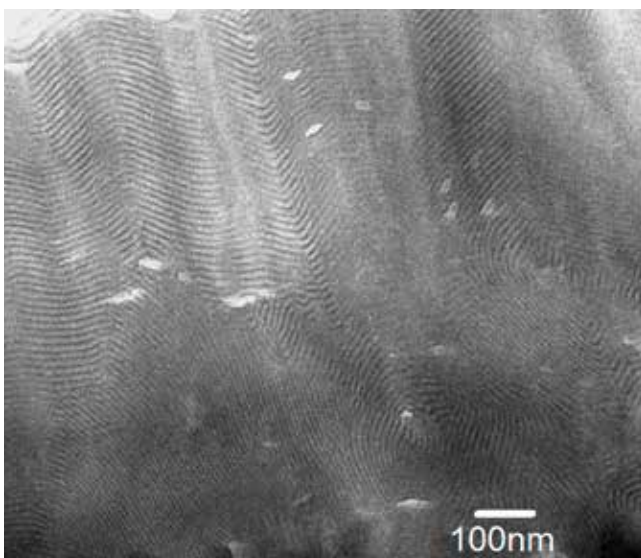
Auswahl geförderter Projekte

Weiterentwicklung von PEM-Membranen

PEM-Brennstoffzellen bei höherer Temperatur und niedrigerer Befeuchtung betreiben zu können, gilt seit mehr als einem Jahrzehnt als eine Möglichkeit, der Technologie zu einem wirtschaftlichen Durchbruch zu verhelfen. Der Einsatz geringerer Mengen von Edelmetallen im Katalysator, Systemvereinfachungen in den Bereichen Kühlung und Gasbefeuchtung wie auch geringere Anforderungen an die Wasserstoffreinheit wären einige maßgebliche Vorzüge. Dem widmete sich das Forschungsprojekt PSUMEA des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung, des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung sowie der FuMA-Tech Gesellschaft für funktionelle Membranen und Anlagentechnologie mbH. Das BMWi förderte das Vorhaben mit rund 550.000 Euro.

Auf der Basis hochsulfonierter Poly-Phenyl-Sulfone konnten die Wissenschaftler stabile Membranen sehr hoher Protonenleitfähigkeit entwickeln. Es handelt sich dabei um sogenannte Multiblock-Copolymere, die, zu Membranen verarbeitet, eine separierte geordnete Nano-Morphologie ausbilden (siehe Abbildung). Es ist diese spezielle Morphologie, die es ermöglicht, die hohe notwendige Leitfähigkeit, hohe chemische Stabilität und Rissfestigkeit für den Einsatz in PEM-Brennstoffzellen zu vereinen.

Nano-Morphologie einer Membran



Das Neuartige ist zudem, dass die Membran ohne Fluor auskommt und somit beim späteren Recycling unproblematisch ist.

Als Teil von Membran-Elektroden-Einheiten (MEA) zeigten die neuartigen Membranen bereits vielversprechende erste Ergebnisse im Vergleich zu MEAs mit derzeit verfügbaren PFSA-Materialien. PFSA steht für Perfluoroalkyl-Sulfonsäure, eine künstlich hergestellte chemische Verbindung. In einem Folgeprojekt werden zurzeit kostengünstigere Herstellungsverfahren entwickelt, die es auch ermöglichen sollen, sehr geringe Membrandicken zu realisieren.

Neben PEM-Brennstoffzellen gibt es weitere mögliche Einsatzgebiete in den Bereichen Energieumwandlung und Speicherung (insbesondere Redox-Flow-Batterien).

Bedarfsgerechte Wasserstofferzeugung für eine mobile Energieversorgung

Handys und Laptops sorgten für einen großen Mobilitätsschub in der Gesellschaft. Doch gleichzeitig stieg damit der Bedarf nach einer autarken Energieversorgung „to go“, um auch von unterwegs stets das eigene Smartphone aufladen zu können. Diesem Thema widmet sich das Projekt MetalFuel im Hinblick auf eine mobile und kosteneffiziente Energieversorgung durch Brennstoffzellen. Der Fokus liegt dabei auf Anwendungen für den Freizeitbereich.

Wasserstofferzeugungszellen



Im Rahmen des Projektes beschäftigen sich die Wissenschaftler mit dem innovativen Ansatz einer bedarfsgerechten, ortsunabhängigen Erzeugung von Wasserstoff (H_2) für eine Brennstoffzelle durch die elektrochemische Reaktion von Zink und Wasser. Der Vorteil liegt dabei in der hohen Energiedichte und den niedrigen Beschaffungskosten von Zink sowie der Tatsache, dass sich die beiden elektrischen Spannungen der galvanischen Zellen und der Brennstoffzelle aufaddieren. Dabei lösten die Forscher durch den Einsatz von Zinkpasten die Problematik, wie die für den Betrieb von Brennstoffzellen notwendige Versorgung mit Wasserstoff bei mobilen Anwendungen sichergestellt werden kann. Eine ebenfalls im Projekt entwickelte Software berechnet dabei die exakte Abstimmung zwischen der Wasserstoff-Bereitstellung durch die galvanischen Zellen und dem H_2 -Bedarf der Brennstoffzelle. Für die praktische Marktreife der Lösung sind allerdings noch weitere Entwicklungen in einem Folgeprojekt nötig.

Das Vorhaben des Verbunds des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, der VARTA Microbattery GmbH, der FLEXIVA automation & Robotik GmbH und der Grillo-Werke AG förderte das BMWi mit 2,1 Millionen Euro Zuwendungen.

Nachweis der Technologiereife eines SOFC-Brennstoffzellen-Heizgerätes

Im Projekt SOFC-BZHG untersuchte die Vaillant GmbH Schritte für den Nachweis der Technologiereife eines Festoxid-Brennstoffzellen-Heizgerätes. Die Schwerpunkte lagen auf der Weiterentwicklung der Prototypen zur Serienfähigkeit und Feldtests. Das System soll die effiziente und klimaschonende Versorgung von Ein- und Zweifamilienhäusern mit Strom und Wärme ermöglichen. Die Geräte werden an einem haushaltsüblichen Gasanschluss betrieben und erwirtschaften 1 kW elektrische und 2 kW thermische Leistung. Im Rahmen des Vorhabens konnten die Entwickler den Energiebedarf bei der Strom- und Wärmeerzeugung um 25 Prozent reduzieren und zugleich die CO_2 -Emissionen halbieren, um so eine nachhaltige Energieversorgung auf der Grundlage von Kraft-Wärme-Kopplung direkt beim Anwender zu ermöglichen. Dank nur weniger mechanischer Komponenten und dem Einsatz einer Betriebsmanagementsoftware sind die Geräte äußerst robust und wartungsarm. Ein Vorteil für Privathaushalte ist zudem der beinahe geräuschlose Betrieb.



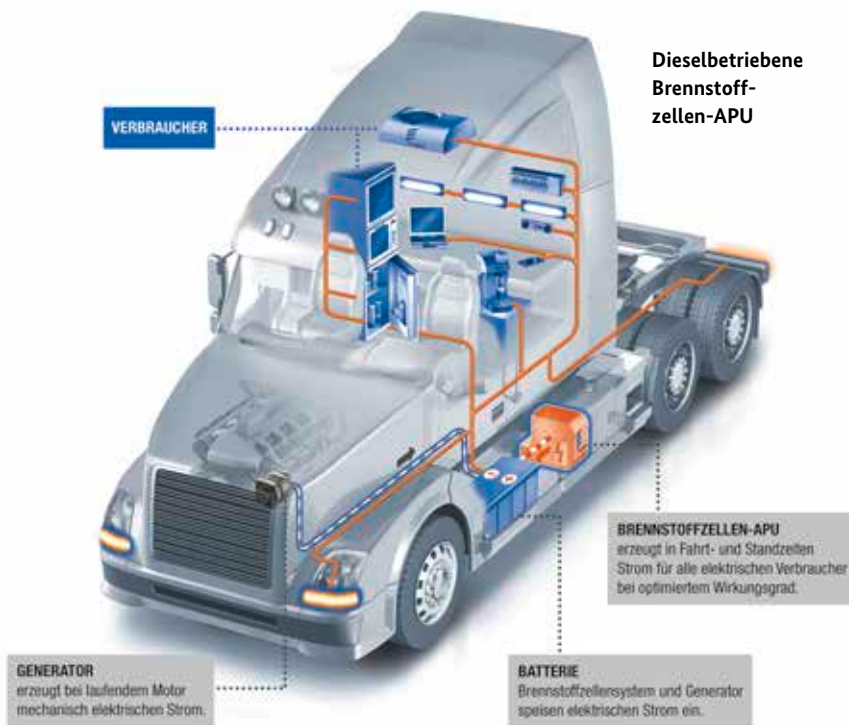
Montage des SOFC-Heizgerätes von Vaillant

Zudem überprüfte Vaillant zwei zeitlich nachfolgende Prototypengenerationen und Komponenten, welche in vorangegangenen Forschungsprojekten entwickelt wurden, in bundesweiten Feldtests auf ihr Langzeitverhalten. Ein weiterer Fokus lag auf einer optimierten Funktion und Lebensdauer sowie einer Kostenreduktion für die Komponenten, wie dem Prozessgasmodul, den Elektronikboards, der Medienversorgung und der Kombination von Nachbrenner und -brenner. Hinzu kamen Verbesserungen bei der Qualität und der Betriebssicherheit. Durch weitere Systemvereinfachungen erreichte das Mikro-KWK-Gerät in Labortests einen elektrischen Wirkungsgrad von 30–34 Prozent und einen Gesamtwirkungsgrad von 84–88 Prozent. Zudem führte Vaillant erfolgreich die Integration und Qualifizierung der SOFC-Stacks (engl. Zellstapel) der Firma sunfire in das Vaillant-Prozessgasmodul durch und testete CFY-Stacks von Plansee/Fraunhofer IKTS. Das BMWi unterstützte das Vorhaben mit 4.686.281 Euro Fördermitteln.

SOFC-Stacks und -zellen für den mobilen und stationären Einsatz

Der mobile Einsatz der SolidOxideFuelCell (SOFC; engl. für Festoxidbrennstoffzelle) ist das Thema zweier aktueller Forschungsvorhaben.

Das Projekt SMART der CeramTec GmbH, ElingKlinger AG, der Sulzer Metco Woka GmbH und dem European Institute for Energy Research in Karlsruhe befasste sich mit Konzepten für Stacks (engl. Zellstapel) für die mobile Versorgung und den stationären Einsatz. Die Stacks basieren auf anodensubstratgestützten (ASC)-Zellen. Dabei standen die Lebensdauer unter zyklischer und stationärer Belastung, die Zuverlässigkeit sowie Fertigungs- und Verfahrenstechniken im Mittelpunkt. Die ASC-Technologie hat den Vorteil, dass die Membran extrem dünn darstellbar ist. So bleibt der



Elektrolyt-Widerstand klein und damit die Leistungsdichte hoch. Dies hält das Gerät insgesamt kompakt, ein wichtiger Faktor gerade für mobile Anwendungen. SMART erhielt 3,9 Millionen Euro Förderung durch das BMWi und endete im Mai 2014.

Darauf aufbauend betrachtet das Projekt ENSA III der Eberspächer Climate Control Systems GmbH & Co. KG, der ElringKlinger AG und der MAHLE Behr GmbH & Co. KG den Einsatz der Stacks im Gesamtsystem für den mobilen Bereich näher. Dabei liegt der Fokus des bis 2016 laufenden Vorhabens auf der Entwicklung einer serienfähigen SOFC-APU (Auxiliary Power Unit) zur Bordstromversorgung in Nutzfahrzeugen. Im Vordergrund steht die thermo-mechanische, zyklische Belastung der APU sowie deren Funktions-, Lebensdauer- und Kostenoptimierung. Durch die SOFC-APU werden der Dieselverbrauch im Leerlauf gesenkt und schädliche Emissionen stark reduziert. Das Ministerium fördert ENSA III mit 15,5 Millionen Euro.

Direktmethanol-Brennstoffzellen (DMFC) in speziellen Märkten

Dank flüssigem Methanol mit seiner hohen Energiedichte verfügen Direktmethanol-Brennstoffzellen (DMFC) über eine lange Energieautonomie und das Betanken lässt sich infrastrukturell vergleichsweise einfach umsetzen. Die Förderung des BMWi konzentriert sich auf zwei Hauptfelder. Zum einen auf mobile DMFCs als Antrieb für Nutzfahrzeuge in Gebäuden. Zum anderen auf portable und stationäre DMFCs für Fahrzeug-APUs oder kleinere netzunabhängige Überwachungsgeräte. In beiden Fällen handelt es sich um einen niedrigen Leistungsbereich von circa 100 bis 1.000 Watt.

Direktmethanol-Brennstoffzellen eignen sich insbesondere für sogenannte spezielle Märkte, wie die Notstromversorgung, Telekommunikation, Intralogistik, Sensorik und Messtechnik, Sicherheit und Überwachung oder elektrische Leichtfahrzeuge. Diese Bereiche können bei der breiten Einführung von Brennstoffzellen eine Schlüsselrolle spielen, da sie als Vorreiter Wertschöpfungsketten und Vertriebsstrukturen etablieren helfen. Ein Forschungsvorhaben hierzu ist das Projekt VERITAS der Firma SFC Energy AG. Als erster Hersteller von Brennstoffzellensystemen überschritt SFC die kommerziell bedeutsame Schwelle von über 30.000 verkauften Brennstoffzellen.

Ein technologischer Schlüsselfaktor ist die Degradation von DMFC-Stacks, also die allmähliche Abnahme der Zellspannung. Das Unternehmen analysierte umfangreiche Praxisdaten aus dem Feld und entwickelte daher seine bereits auf dem Markt verfügbare DMFC-Lösung in dieser Hinsicht weiter. So konnten die Wissenschaftler durch das Identifizieren von Kostentreibern den Herstellungspreis senken und erreichten eine Erhöhung der Lebensdauer. Das BMWi förderte das marktnahe Forschungsvorhaben mit 540.256 Euro. ■



Energiespeicher, Stromnetze und Integration erneuerbarer Energien



Die zentrale Herausforderung der Energiewende liegt im Umbau und der Anpassung des bisherigen Energieversorgungssystems. Aufgrund des dezentralen Zubaus und der Einspeisung von Strom aus zeitlich fluktuierenden, erneuerbaren Energien werden Netzbetreiber vor neue Herausforderungen gestellt. So müssen sie auf der einen Seite die Versorgungssicherheit gewährleisten, auf der anderen Seite sollen die teuren Netzausbaukosten minimiert werden. In diesem Spannungsfeld spielen intelligente Netze, die Speicherung von Strom und Wärme sowie die Elektromobilität tragende Rollen, deren Bedeutung sowohl in den Bereichen Forschung und Entwicklung als auch in der Gesellschaft weiter zunimmt.

Marktgesehen in Deutschland und weltweit

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erreichte im Jahr 2014 einen neuen Rekord: So lieferten Wind, Photovoltaik (PV), Wasser, Biomasse und Geothermie rund 157,4 Milliarden Kilowattstunden Energie, ein Plus von 3 Prozent gegenüber 2013. Neben den ökologischen und vermehrten ökonomischen Vorteilen – etwa den gesunkenen Strombezugskosten für Großabnehmer – bringt der Zuwachs von erneuerbaren Energien (EE) auch neue Herausforderungen mit sich. Die Stromnetze sind bisher für eine zentrale Versorgung der Verbraucher durch konventionelle Kraftwerke wie Kohle-, Gas- und Kernkraftwerke ausgelegt. Der Zubau von PV-Anlagen und Windrädern, die den Hauptanteil der regenerativen Anlagen stellen, erfolgt hingegen dezentral. Hinzu kommt, dass die Stromerzeu-

gung aus diesen Anlagen wetterbedingt fluktuiert. Dies zwingt die Netzbetreiber vermehrt zu regulatorischen Eingriffen, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. In Zukunft werden diese Regulierungen immer häufiger vorgenommen werden müssen, selbst bei einem Aus- und Umbau des Stromnetzes.

Im Jahr 2014 war das deutsche Stromnetz insgesamt 1,8 Millionen Kilometer lang, wovon nur 130.000 km das sogenannte Höchstspannungs- oder Übertragungsnetz bilden, das für die weite räumliche Übertragung mit hohen Spannungen von 230.000 Volt betrieben wird. Im Rahmen des Ausbaus und der Verstärkung des deutschen Übertragungsnetzes sollen laut Netzentwicklungsplan bis 2030 mehrere tausend Kilometer hinzukommen, bei geschätzten Kosten von bis zu 16 Milliarden Euro. Auf den darunterliegenden

Netzebenen, den Verteilnetzen, liegen die Investitionen im selben Zeitraum geschätzt bei 11 Milliarden Euro. Hier sind die zu überbrückenden Strecken kürzer und werden mit niedrigerer Spannung betrieben. Neben einem Netzausbau ist hier auch ein Umbau notwendig. Während man unter Ausbau das Verlegen zusätzlicher Leitungen versteht, umfasst der Umbau viele einzelne Ansätze. Unter anderem werden dabei die Netze mit Hilfe neuer Kommunikationstechnik intelligenter gesteuert. Innerhalb dieser so genannten Smart Grids werden Erzeugung und Verbrauch kontinuierlich angepasst.

Bei diesem Lastmanagement werden Speicher eine immer größere Rolle spielen. Beispielsweise können bei einem zunehmenden Anteil an Elektrofahrzeugen deren Batterien mit einer intelligenten Lade- bzw. Entladesteuerung zur Entlastung der Stromnetze beitragen. Hierzu ist allerdings die Anzahl der zurzeit in Deutschland zugelassenen Batteriefahrzeuge von ca. 24.000 noch zu gering.

Außerdem müssen zukünftig die im europäischen Verbundsystem vorhandenen Engpassstellen beseitigt werden. Für die Übertragungsnetze werden derzeit etwa 100 solcher Engpässe identifiziert. Die erforderlichen Investitionen innerhalb der nächsten zehn Jahre belaufen sich auf 150 Milliarden Euro. Im Vergleich dazu wird in den USA mit zusätzlichen Investitionsmaßnahmen in Höhe von 612 Milliarden Euro gerechnet. Chinas staatlicher Netzbetreiber hingegen investierte 2014 über 50 Milliarden Euro in das Stromversorgungssystem.

Während der Ausbau der Netze in Deutschland und Europa eine bessere räumliche Abstimmung zwischen Stromerzeugung und -nachfrage ermöglicht, bieten Speichertechnologien die Chance, beides zeitlich zu entkoppeln. Erneuerbare Energien speisen elektrische Energie immer dann mit hoher Leistung ins Stromnetz ein, wenn die Sonne scheint und der Wind weht. Diese Zeitpunkte sind jedoch oft nicht identisch mit den Zeitpunkten eines hohen Verbrauchs, der in Deutschland zwischen 40 und 80 Gigawatt schwankt. Mit Stromspeichern oder Speichern für Energieträger, die aus elektrischer Energie über Umwandlungstechniken gewonnen werden, können die Lastprofile besser zur Deckung gebracht werden.

Da im Netzentwicklungsplan keine verbindlichen Ausbauziele für Speicher genannt sind, ist eine großflächige Implementierung von Speichern erst dann zu erwarten, wenn die Kosten für Speicher durch die hiermit erreichbaren

Erlöse aus Systemdienstleistungen gedeckt werden können oder andere Treiber wie Anreize zur Schaffung einer Wasserstoff-Infrastruktur für Brennstoffzellenfahrzeuge hinzukommen.

Die Speicherung elektrischer Energie erfolgt bisher weltweit überwiegend in Pumpspeicherwerken. In Deutschland sind rund 7 Gigawatt an elektrischer Leistung in Pumpspeicherwerken mit einer Kapazität von 40 Gigawattstunden installiert. Hinzu kommt ein Druckluftspeicherkraftwerk in Huntorf in Niedersachsen, das über eine elektrische Leistung von 321 Megawatt verfügt.

Durch die seit einigen Jahren erzielten Erfolge in der Entwicklung von Batterietechnologien treten diese als weitere Option zur Energiespeicherung in den Blickpunkt. Im Jahr 2014 ging in Schwerin das weltweit erste kommerzielle Batteriekraftwerk in Betrieb. Das technische Herz der turnhallengroßen Anlage sind 25.600 Lithium-Ionen Manganoxid-Zellen. Durch die extrem schnelle Einsatzbarkeit der Batterien im Bereich einiger Millisekunden können sie zur Stabilisierung der Netzfrequenz eingesetzt werden und damit Systemdienstleistungen erbringen.

Ein weiteres Einsatzfeld stellen PV-Heimspeicheranlagen dar. Die Preise der Solarstromspeicher sind aufgrund des technischen Fortschritts und der wachsenden Nachfrage zwischen dem ersten und zweiten Halbjahr 2014 um 25 Prozent gesunken. Bereits 15.000 Haushalte können ihren Strombedarf auch in den Abendstunden mit selbst erzeugter Solarenergie zu relevanten Anteilen decken. Außerdem werden die Netze in den Stunden der höchsten Erzeugung spürbar entlastet.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

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

Des Weiteren wurden Fortschritte in der Kommunikation und der intelligenten Steuerung zwischen Erzeuger und Netzbetreiber erzielt. Hiermit können einzelne regenerative Erzeugungsanlagen zu einem Verbund zusammengeführt



werden, die ein so genanntes virtuelles Kraftwerk bilden. Die Erzeugung und Bereitstellung von Strom aus erneuerbaren Energien ist in einem solchen regenerativen Kombikraftwerk weniger abhängig vom Wetter. Die für den Betrieb eines solchen Kraftwerks notwendige Technologie muss jedoch in vielen Teilen weiter verbessert werden, beispielsweise in der Kommunikationsgeschwindigkeit und -Sicherheit.

Auch die Planungsinstrumente für Netzbetriebsführung und Netzaus- bzw. -umbau wurden weiterentwickelt. Diese Lösungen müssen jedoch in der Praxis noch weiter untersucht werden, denn es eröffnen sich neue Optimierungsmöglichkeiten – je nach Betrachtungsweise zum Beispiel für eine adäquate Einspeisung erneuerbarer Energien, für optimierte ökonomische Einsparungen oder für eine erhöhte Flexibilität der Ausbauszenarien.

Anfang Dezember 2014 fand ein Strategiegelgespräch zum Thema „Systemanalyse in der Energieforschung“ statt. Es soll als Startpunkt zu einem gemeinsamen, koordinierten Vorgehen im Bereich der Modellrechnungen und Simulationen in der Energieforschung verstanden werden. Als Ergebnis dieses Strategiegelgesprächs hat das BMWi den Projektträger Jülich (PtJ) damit beauftragt, in einem ersten Schritt ein Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse ins Leben zu rufen. Das Forschungsnetzwerk wird die Aktivitäten auf dem Gebiet der Systemanalyse koordinieren, um Synergien auszuschöpfen und eine gemeinsame Strategie zu entwickeln. Für 2015 ist ein Expertenworkshop des Forschungsnetzwerks Energiesystemanalyse geplant.

Die Umwandlung von Strom in Wasserstoff durch Elektrolyseure (Power-to-Hydrogen) und die weitere Umwandlung in Methan (Power-to-Gas) oder höhere Kohlenwasserstoffe stellt eine Brücke zwischen den verschiedenen energiewirtschaftlichen Sektoren dar. In Elektrolyseuren finden elektrochemische Reaktionen statt, in denen beispielsweise Wasserstoff entsteht. Solange die Elektrolyseure

in Power-to-Hydrogen-Anlagen Überschussstrom aufnehmen, stellen sie negative Regelenergie für den Strommarkt bereit. Hierzu bestehen hohe Anforderungen an die Flexibilität der Anlagen. Wird der Wasserstoff anschließend nicht wieder verstromt, bietet das Verfahren die Möglichkeit, zur maßgeblichen Steigerung des Anteils erneuerbarer Energie im Sektor Verkehr beizutragen. Eine besonders flexible Anlage mit einer innovativen Elektrolysetechnik wird zurzeit im Energiepark Mainz errichtet (siehe Seite 74). Die Ankopplung an eine Wasserstofftankstelle ist in einer späteren Projektphase geplant.

Trotz der bisherigen Fortschritte sind weitere Forschungsaktivitäten und Entwicklungen bei der Power-to-Gas-Technologie inklusive der Power-to-Hydrogen-Technik sowie zu Batterien und deren Einsatz in Verteilnetzen bzw. in Heimspeichern notwendig.

Bei Druckluftspeichern arbeitet die Forschung an vergleichsweise kleinen, dezentralen Konzepten mit einer teilweisen Speicherung und Nutzung der Wärmemenge, die bei der Kompression der Druckluft anfällt.

Die Integration thermischer Speicher ins Stromnetz ist besonders wichtig, da sie helfen, das Stromnetz in Stoßzeiten zu entlasten. Dies wird möglich durch das Potenzial thermischer Speicher, hohe Speicherdichten zu erreichen und zugleich kosteneffizient zu sein. Hierzu zählt auch die Idee von Power-to-Heat bzw. die Integration thermischer Speicher in Kraftwerke.

Strategie der Forschungsförderung

Aufgrund des Kernzieles im Energiekonzept der Bundesregierung – Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien am gesamten Energieverbrauch – reichen die dargestellten Fortschritte im Bereich der Energiespeicher und Stromnetze noch nicht aus. Die hohe Komplexität des

künftigen Energiesystems wird in der Strategie der Forschungsförderung noch stärker als bisher berücksichtigt. Im Vordergrund steht die technologieübergreifende Kopplung von weitestgehend entwickelten Einzelkomponenten zu einem Gesamtsystem. Von zentraler Bedeutung sind hierbei die Weiterentwicklung und Integration von neuen Informations- und Kommunikationstechnologien, Fragen der Systemsicherheit und Systemzuverlässigkeit sowie der Akzeptanz.

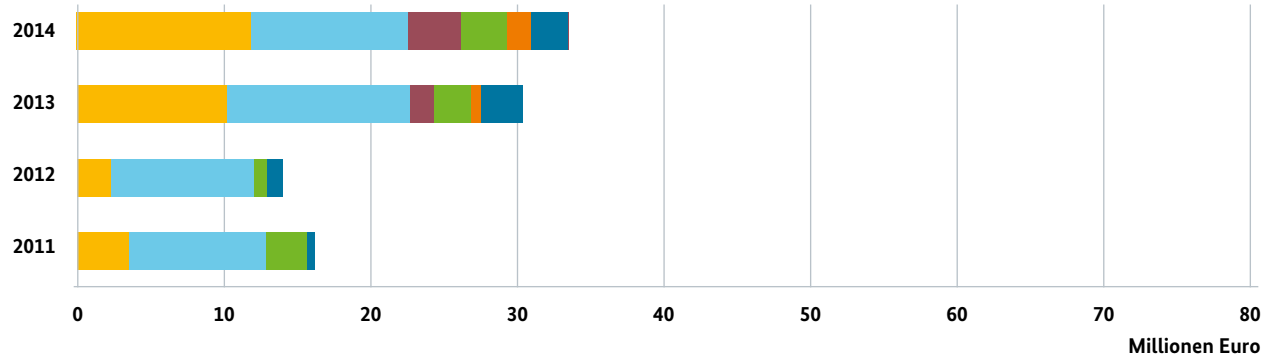
Es werden daher Vorhaben gefördert, die technologieoffen besonders leistungsfähige Energiespeicher untersuchen, damit perspektivisch unterschiedliche Speichermöglichkeiten kostengünstig zur Verfügung stehen. Ähnliches gilt für die Strategie der Förderung im Bereich der Stromnetze.

Durch die zunehmende Integration der EE sind die folgenden Förderschwerpunkte notwendig: Modernisierung der Verteilnetze, Entwicklungen im Bereich Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) sowie die Erhöhung der Netzstabilität.

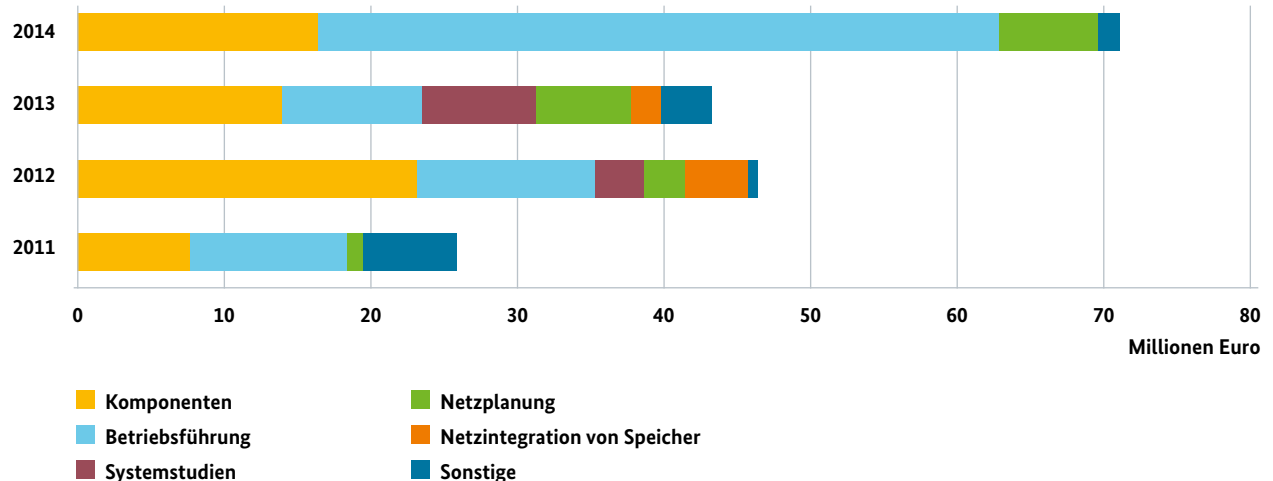
Zukünftig ist außerdem ein wichtiges Ziel von Forschung und Entwicklung im Bereich der Systemintegration das Zusammenführen existierender Lösungen über Systemgrenzen hinaus. So könnte die Kombination anderer Versorgungsnetze, wie Gas, Wärme, Wasser und Verkehr, erhebliche Flexibilitätsmöglichkeiten für das Energiesystem schaffen.

Zu den beiden zentralen Themen Netze und Speicher führen das BMWi und das Bundesministerium für Bildung

Stromnetze: Verteilung der Fördermittel zwischen 2011 und 2014



Stromnetze: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2011



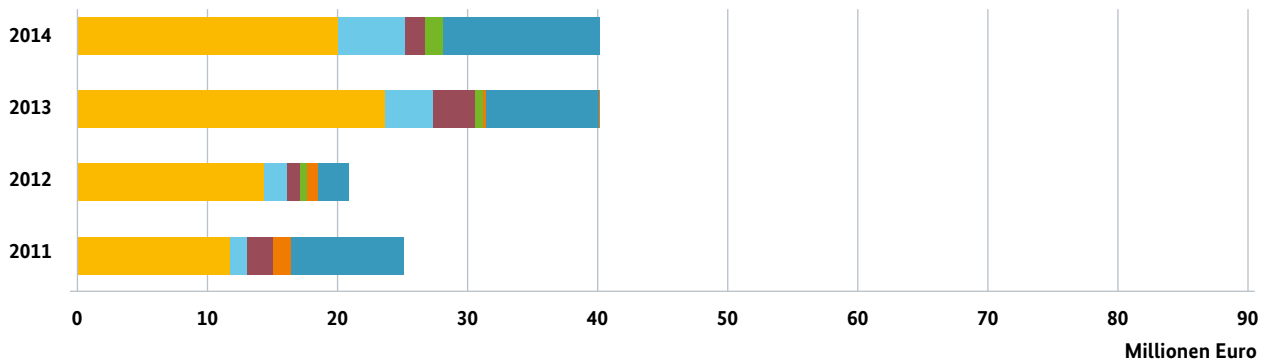
und Forschung (BMBF) zwei Forschungsinitiativen durch. Die ressortübergreifende Initiative „Energiespeicher“ widmet sich der Weiterentwicklung von Batterien sowie der Umwandlung von fluktuierender Erzeugung in regenerativen Wasserstoff bzw. Methan und deren Speicherung (siehe Seite 73). In der Forschungsinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ stehen die Themen intelligente Verteilnetze, Übertragungsnetze sowie Netzregelungsverfahren und Systemdienstleistungen im Vordergrund.

Die Strategie zur weiteren Förderung der Elektromobilität aus Mitteln der Energieforschung orientiert sich an der Forschungsagenda der Nationalen Plattform Elektromobilität. Der aktuelle Fortschrittsbericht ist im Dezember 2014

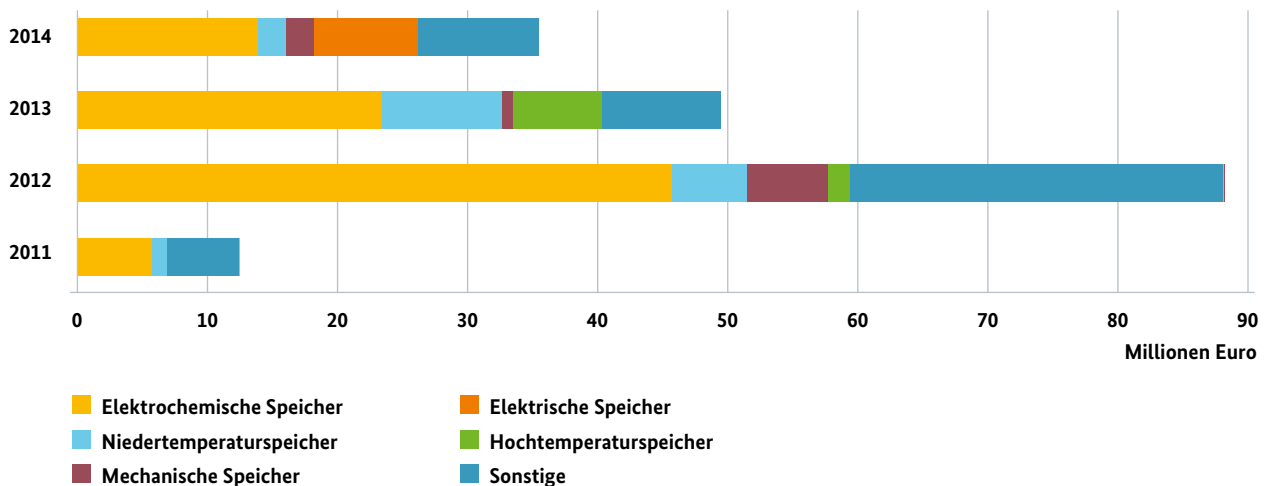
erschienen und zeigt u. a. die Notwendigkeit der weiteren Forschungsförderung zur Entwicklung einer fortschrittlichen Zellchemie und von Fertigungsmethoden auf, um Deutschland zu einem internationalen Leitanbieter für Elektromobilität zu entwickeln.

Insgesamt hat das BMWi 2014 im Bereich Speicher, Netze und Systemintegration erneuerbarer Energien 209 Projekte mit einem Volumen von rund 106,4 Millionen Euro neu bewilligt. Dies unterstreicht die immer höhere Bedeutung dieser Themen für das Gelingen der Energiewende. Der Mittelabfluss lag 2014 bei 73,4 Millionen Euro.

Energiespeicher: Verteilung der Fördermittel zwischen 2011 und 2014



Energiespeicher: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2011



Energiespeicher: Stromspeicher

THEMA

Speichertechnologien der Zukunft

Leistungsfähige Speicher sind notwendig, um die starken Einspeiseschwankungen der erneuerbaren Energien auszugleichen. Die vorhandenen Kapazitäten und die technologischen Möglichkeiten reichen allerdings noch nicht aus. Viele Speichertechnologien sind zu teuer. Daher hat die Bundesregierung im April 2011 die ressortübergreifende Forschungsinitiative Energiespeicher ins Leben gerufen. In mehr als 250 Forschungsprojekten werden Energiespeicher weiterentwickelt und ihre Integration in das bestehende System von Netzen, Kraftwerken und Verbrauchern vorbereitet.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) haben Fördermittel in Höhe von 188,9 Millionen Euro für die Initiative bereitgestellt. Dabei fördert das BMWi 191 Vorhaben mit rund 114,1 Millionen Euro (Stand 31.12.2014).

In den Projekten arbeiten Forscher aus Wissenschaft und Industrie eng zusammen. Das Themenspektrum umfasst neben Batterien, Kondensatoren und Flow-Speichern auch Druckluft- und Wasserstoffspeicher sowie die zugehörigen Elektrolyseure. Bei thermischen Speichern reicht die Palette von Latentwärmespeichern über Sorptionsspeicher bis zur Einbindung von Wärmespeichern in Wärmenetze.

Die Umwandlung von Überschussstrom in Wasserstoff und die Nutzung von Batterien in stationären Anlagen bilden dabei einen Schwerpunkt. Daher werden diese Förderprojekte in den Bereichen – Leuchttürme genannt – „Wind-Wasserstoff-Kopplung“ und „Batterien in Verteilnetzen“ organisiert.

Das Portal forschung-energiespeicher.info präsentiert ausführlich die Zielsetzungen und Ergebnisse der Projekte. Hier werden die einzelnen Vorhaben übersichtlich dargestellt, die Kerndaten präsentiert und detaillierte Informationen zu den Zielen, Zwischenergebnissen und zum Vorgehen gegeben. Dieses Angebot wird ergänzt durch aktuelle Nachrichten, Interviews, Abbildungen und Portraits. Das Portal richtet sich sowohl an Experten als auch fachlich Interessierte.



Alkalischer Elektrolysestack: Im Projekt „PlanDelyKaD“ haben Wissenschaftler unter Koordination des DLR die theoretischen Voraussetzungen für die Erprobung eines integrierten Gesamtsystems „Strom-Wasserstoff-Großspeicherung-Nutzung“ in energiewirtschaftlich relevanten Dimensionen untersucht

Im April 2015 wurden auf einem zweitägigen Statusseminar Zwischenergebnisse der Speicherinitiative vorgestellt. Das vom BMWi organisierte Vernetzungstreffen wird die Rolle von Energiespeichern im Energiesystem der Zukunft und den internationalen Stand der Forschung darstellen. Außerdem werden in parallelen Sessions konkrete Ergebnisse und Zwischenresultate aus den einzelnen Forschungsvorhaben vorgestellt.

Dank der Forschungsinitiative kann eine große Bandbreite von Speichertechnologien für Strom, Wärme und andere Energieträger weiterentwickelt werden.

THEMA

Power-to-Gas im Energiepark Mainz: Weltweit größte Wasserstoff-Energiespeicheranlage mit PEM-Elektrolyse entlastet das Stromnetz

Dreh- und Angelpunkt für den Erfolg der Energiewende ist die Möglichkeit, die erneuerbar erzeugte Energie in größerem Umfang speichern zu können. In diesem Kontext stellen Power-to-Gas-Verfahren eine interessante Option dar, also das Speichern von Strom aus Wind- oder Solaranlagen in Form von Wasserstoff oder Methan. Power-to-Gas reduziert so das derzeit praktizierte Abschalten von Wind- und PV-Anlagen im Falle einer Überlastung des Stromnetzes, da die elektrische Leistung aus erneuerbaren Energien für die elektrolytische Produktion von Wasserstoff eingesetzt werden kann.

Mit der Entwicklung, Erprobung und dem Einsatz dieses Verfahrens für eine große Leistungsklasse beschäftigen sich Wissenschaftler und Ingenieure der Stadtwerke Mainz, der Siemens AG, der Linde AG sowie der Hochschule RheinMain im Verbundvorhaben Energiepark Mainz. In dem Großprojekt soll erneuerbar erzeugte elektrische Energie durch das Zerlegen von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff chemisch gespeichert und später bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden. So können erneuerbare Energien flexibel und immer genau dann eingesetzt werden, wenn sie gebraucht werden. Insgesamt soll die geplante Anlage über sechs Megawatt Strom aus dem Netz aufnehmen können und wird somit die bis dato weltweit größte Power-to-Gas-Energiespeicheranlage auf Basis der PEM-Elektrolysetechnologie (PEM: Proton Exchange Membrane) sein. Das System erreicht damit auch eine relevante Größe, um Engpässe im Verteilnetz ausgleichen zu können.

Das Projekt testet alle Optionen, wie die volatil erzeugte erneuerbare Energie in ein bestehendes Netzsystem energetisch und stofflich eingebunden werden kann. Die daraus entstehenden optimierten Betriebskonzepte sind eines der Ziele für das Vorhaben. Zentrales Element der geplanten Großspeicheranlage sind neuartige Wasserstoff-Elektrolyseure. Dabei handelt es sich um drei PEM-basierte Druck-Elektrolyseure mit jeweils bis zu zwei Megawatt Eingangsleistung. Bisher konnten PEM-Elektrolysesysteme nur für die Produktion kleinerer Mengen Wasserstoff eingesetzt werden. Der Wasserstoff wird anschließend von einem ionischen Verdichter in Speichertanks gedrückt. Der neuartige Verdichter ist hocheffizient und kann wie die PEM-Elektrolyse dynamisch betrieben werden. Aus dem Speicher wird der Wasserstoff zur späteren Strom- und Wärmeerzeugung in das Erdgasnetz eingespeist oder nach weiterer Verdichtung in H₂-Tankwagen abgefüllt, um das wachsende Netz an Wasserstofftankstellen zu beliefern.

Die Grundsteinlegung durch Bundesenergieminister Sigmar Gabriel erfolgte am 15. Mai 2014. Mitte 2015 wird die innovative Forschungsanlage in Betrieb gehen. Die Umsetzung des Vorhabens kostet ca. 17 Millionen Euro. Das BMWi unterstützt das Projekt für die umweltfreundliche Produktion des „grünen“ Wasserstoffs mit 8,9 Millionen Euro Zuwendungen im Kontext der „Forschungsinitiative Energiespeicher“.



Grundsteinlegung durch
Bundeswirtschaftsminister
Sigmar Gabriel

Energiespeicher: Thermische Speicher

Auswahl geförderter Projekte

Mobile Sorptionsspeicher zur Nutzung industrieller Abwärme

Industrielle Abwärme stellt aufgrund ihrer hohen Temperaturen eine äußerst vielversprechende Energiequelle für weitere Prozesse dar. Meist wird sie allerdings ungenutzt an die Umgebung abgegeben, weil vor Ort die Möglichkeiten zur lokalen Verwertung fehlen. Hierzu entwickelte das ZAE Bayern gemeinsam mit der Hoffmeier Industrieanlagen GmbH einen mobilen Wärmespeicher auf der Basis eines offenen Sorptionsprozesses. Dieses Verbundvorhaben förderte das BMWi mit 1,7 Millionen Euro.

An den Speicher werden besonders hohe Anforderungen gestellt, denn dieser wird in seinem Leben viele Male bewegt und die Materialien müssen hohe Temperaturen aushalten können. So entstand ein thermochemischer Speicher mit einer Zeolith-Festbetschüttung. Dieser wird auf einer Container-Wechselbrücke montiert und mit einem Sattelaufleger transportiert. In der Demonstrationsanwendung konnte eine durchschnittliche Gaseinsparung von 3,7 MWh pro Container und Zyklus erreicht werden.

Beim Beladen durchströmt heiße Abluft den Speicher. Diese treibt Wasser als Dampf aus dem Zeolith aus. Die Energie, die für die Desorption benötigt wird, bleibt in dem trockenen Zeolith verlustfrei und beliebig lange erhalten. Beim Entladen strömt dann ein kühler feuchter Luftstrom in den Speicher. Dabei wird die Luftfeuchtigkeit am Zeolith adsorbiert. Die frei werdende Adsorptionswärme heizt die Luft auf. Diese sehr trockene und heiße Luft gibt ihre Wärme wiederum an einen nachfolgenden Prozess ab und kann dabei zusätzlich wieder Feuchtigkeit aufnehmen.

Im Rahmen des Projektes entstand im nordrhein-westfälischen Hamm eine Demonstrationsanlage mit zwei mobilen Speichern. Diese diente der praktischen Erprobung des Gesamtkonzepts. Die Abwärme liefert die Müllverbrennungsanlage Hamm, der Trocknungsprozess erfolgt acht Kilometer von der Anlage entfernt bei der Firma Jäckering in einer Kunststoffverarbeitungsanlage.

EnOB: Einsatz von Phasenwechselmaterialien (PCM) im Gebäudebereich

Bausysteme mit integrierten Phasenwechselmaterialien (PCM) ermöglichen das temperaturgesteuerte Speichern von Wärme und erlauben so das energieeffiziente Temperieren von Räumen. Der Effizienzgewinn besteht darin, dass PCM-Materialien die Spitzen von Temperaturschwankungen kappen können und so den Bedarf an mechanischer Klimatisierung reduzieren. Um die Markteinführung energieeffizienter Lösungen wie PCM zu beschleunigen, kommt gerade im Gebäudesektor der praktischen Demonstration von Innovationen ein hoher Stellenwert zu. Dieser Thematik widmet sich daher ein im Juli 2014 gestartetes Verbundvorhaben mit acht Partnern aus Industrie und Forschung, koordiniert durch das ZAE Bayern. Ziel des mit 5,4 Millionen Euro Zuwendungen vom BMWi geförderten Forschungsprojektes ist es, den Einsatz von Phasenwechselmaterialien in unterschiedlichen Anwendungen im Gebäudebereich beispielhaft zu untersuchen und zu bewerten.

Im Fokus steht das Monitoring verschiedener PCM-Systeme unter realistischen Bedingungen an Referenzobjekten für die jeweiligen Anwendungen. Das Projekt verfolgt dabei einen dynamischen Ansatz, will also Neuentwicklungen auf dem Gebiet der PCM-Materialien und -Verkapselungen, die während der Laufzeit aufkommen, in das Vorhaben mit aufnehmen. Durch die Integration entsprechender Messtechnik können die Wissenschaftler das Verhalten der Lösungen über einen längeren Zeitraum verfolgen.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf dem Validieren der bestehenden Simulationssoftware, die im Rahmen des Projektes angewendet wird. Dies soll die Auswirkung von PCM und die Anforderung an Gebäudeteile und -systeme mit PCM-Bestandteilen für die Praxis besser berechenbar machen.

Die Erkenntnisse aus dem Vorhaben wollen die Projektpartner anschließend für die Optimierung der eingesetzten Phasenwechselmaterialien und Bausysteme nutzen.



Salzprägnierte Zeolithe aus dem Forschungsvorhaben EnErChem

HIGHLIGHT

Weltweit einzigartiger hybrider Batteriespeicher mit 5 Megawatt Leistungsvermögen

Angesichts der Integration immer größerer Anteile erneuerbarer Energien in das Stromnetz gewinnen stationäre Speicher für das Energie- und Lastmanagement stetig an Bedeutung, da sie stabilisierend wirken. In einer Leistungsklasse von fünf Megawatt entsteht derzeit in Aachen ein weltweit einzigartiger hybrider Batteriespeicher. Die Erkenntnisse aus dem Vorhaben sollen die Integration erneuerbarer Energie, den Einsatz von Speichern in Netzen und die Kostenbewertung von stationären Speichersystemen vorantreiben.

Im Rahmen des Forschungsprojekts **M5BAT** (Modularer multi-Megawatt multi-Technologie Mittelspannungsbatteriespeicher) forschen Wissenschaftler der fünf Partner zu Batteriegroßspeichern und setzen dabei – und das ist die Besonderheit des Projektes – auf die modulare Verknüpfung verschiedener Batterietechnologien. Dabei fungieren Lithium-Ionen-Batterien als kurzzeitige Leistungsspeicher. Die Hochtemperaturbatterie soll Energie über etwa zwei Stunden bereitstellen. Und schließlich kommen Bleibatterien bei einer mittleren Entladezeit von rund einer Stunde zum Einsatz. So kann der Speicher verschiedene Ansprüche zugleich bedienen.

Das Hauptaugenmerk liegt auf der Integration erneuerbarer Energie. Dabei strebt der Verbund eine strukturelle Skalierbarkeit des Speichers an. Zudem soll die dezentrale

Versorgung mit Regelleistung für den stabilen Netzbetrieb getestet und der Energiehandel unter Ausnutzung der Preisdifferenzen beim Strom betrachtet werden. Den Betrieb von M5BAT, die Systemintegration und die wissenschaftliche Begleitung des Projektes deckt das E.ON Energy Research Center an der RWTH Aachen ab. E.ON verantwortet sowohl die Planung und den Aufbau der Batteriespeicheranlage sowie die Entwicklung und Erprobung von Vermarktungsstrategien zukünftiger Produkte im Energiemarkt.

Die Klasse von fünf Megawatt elektrischer Leistung und die hohe Modularität machen M5BAT weltweit einmalig. Speicher dieses Umfangs sind essentiell für den Erfolg der Energiewende, da sie das Stromnetz entlasten und helfen, die Versorgung an den Bedarf anzupassen. Durch die Unabhängigkeit von geografischen Bedingungen sind Batteriespeicher flexibel und dezentral am Ort der Energieerzeugung oder -wandlung einsetzbar. So ergibt sich ein breites Spektrum möglicher Anwendungsfelder.

Das BMWi unterstützt das im Sommer 2013 gestartete Projekt im Rahmen der „Forschungsinitiative Energiespeicher“ mit rund 6,5 Millionen Euro Zuwendungen. Der bislang wichtigste Meilenstein, der Baubeginn des Großspeichers, erfolgt Ende 2015 in Aachen im Anschluss an umfangreiche Vorarbeiten.

Simulation des Großspeichers M5BAT



Energiespeicher: Elektromobilität

Auswahl geförderter Projekte

Hochenergie-Lithiumbatterien für Elektromobilität der nächsten Generation

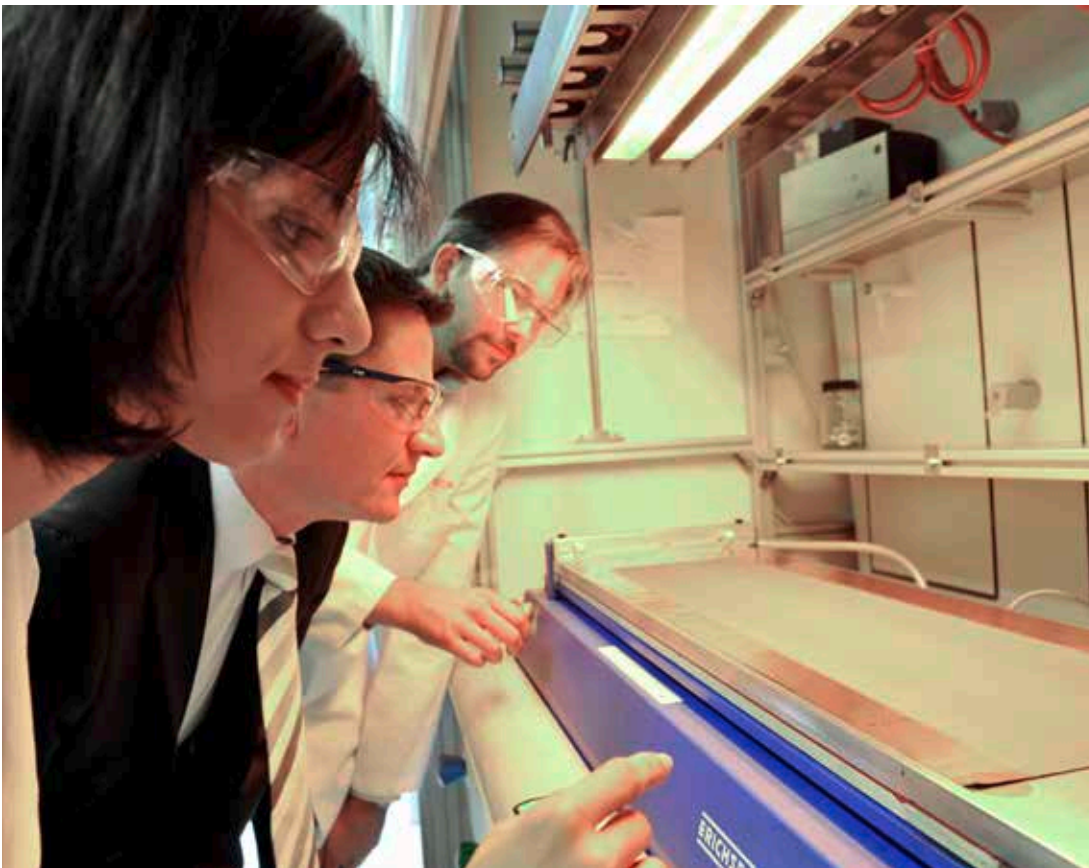
Elektromobilität ist ein wichtiger Baustein für eine klimafreundliche, mobile Zukunft. Doch noch sind Entwicklungsschritte nötig, um diese Form der Fortbewegung marktfähig und auf größeren Entfernungen nutzbar zu machen.

Im Verbundprojekt **alpha-Laion** entwickeln Wissenschaftler Traktionsbatterien für Elektrofahrzeuge mit einer besonders hohen Energiedichte von über 250 Wh/kg. Von den Grundstoffen über die Zelle und den Stack bis hin zur Batterie soll sich das Gesamtsystem für automobiler Anwendungen spürbar verbessern. Zunächst wollen die Wissenschaftler eine marktfähige Lithium-Ionen-Technologie massenmarktauglich weiterentwickeln und zugleich Batterien der nächsten und übernächsten Generation erforschen. Mit den Hochenergie-Traktionsbatterien wollen die Projektpartner die Reichweite kompakter Elektroautos auf rund 300 Kilometer steigern. Auf diese Weise ist der

Nutzer unabhängiger von Ladestationen, damit er länger mobil sein kann.

Ein wichtiger Schritt hierfür ist die Entwicklung innovativer Materialien für Kathoden, Anoden und hochvoltstabile Elektrolyte. Durch diese Batterieelemente entsteht ein neues elektrochemisches System für den Einsatz in einer Lithium-Ionen-Zelle mit einem an die neu entwickelten Werkstoffe angepassten Zelldesign. So sollen die Speichereigenschaften optimal genutzt und eine hohe Langzeitbeständigkeit möglich werden.

Der Industrieverbund alpha-Laion setzt sich zusammen aus der Robert Bosch GmbH, BASF SE, SGL CARBON GmbH, der Wacker Chemie AG und den Automobilherstellern BMW AG und Daimler AG. Das BMWi fördert das bis Herbst 2015 laufende Vorhaben mit 12,9 Millionen Euro. In einem ergänzenden Vorhaben widmet sich die Robert Bosch GmbH der verfahrenstechnischen Optimierung der Produktion von Lithium-Ionen-Batterien, um den serienmäßigen Einsatz für automobiler Anwendungen vorzubereiten.



Der Projektkoordinator von alpha-Laion, Dr. Ralf Liedtke (Mitte)

THEMA

„Es reicht nicht aus, eine technisch überlegene Zelle zu haben, sie muss auch wirtschaftlich überlegen sein“

Für marktfähige Elektromobile ist die Batterie eine entscheidende Komponente. Was sind die aussichtsreichsten Zelltypen für eine erfolgreiche Entwicklung hin zur Markteinführung?

Schreiber: Aktuell – und auch in naher Zukunft – werden Batteriezellen des Chemietyps Drittelmaterial eingesetzt, also Nickel-Kobalt-Manganoxid. Derzeit bieten asiatische Hersteller solche Zellen an. Diese gibt es in zwei unterschiedlichen Bau- bzw. Gehäuseformen, entweder als Hardcase oder als Pouch-Zellen. Hardcase-Zellen haben den Vorteil, dass sie die Volumenänderung der Zellchemie mechanisch kompensieren können, sehr stabil sind und dass es bereits sehr gute Erfahrungen gibt. Der Nachteil ist das höhere Gewicht. Pouch-Zellen lassen sich in kleineren und in flexibleren Formen bauen. Der Trend geht daher strategisch in Richtung Pouch, um diese Vorteile zu nutzen. Allerdings ist bis dahin noch einiges an Forschungsarbeit zu leisten, damit die Sicherheit und die Eigenschaften denen einer Hardcase-Zelle entsprechen.

Was sind derzeit die größten Herausforderungen?

Schreiber: Eine große Aufgabe ist die Zyklenfestigkeit. Wir gehen derzeit davon aus, dass für reine E-Fahrzeuge eine Zelle 3.000 Mal geladen und entladen werden kann und danach noch mindestens 80 Prozent Restkapazität hat. Für Plug-In- und Hybrid-Fahrzeuge sind die Anforderungen noch höher, hier ist die Herausforderung auf 6.000 oder perspektivisch auf 10.000 Zyklen zu erhöhen. Dies wird nicht einfach sein. Parallel dazu muss die kalendarische Lebensdauer gesteigert werden. Wir gehen zwar davon aus, dass die Zellen heute 10 Jahre halten, allerdings gibt es noch keine umfassenden Erfahrungen damit, und eine Lebensdauer von 15 Jahren ist das Ziel. Die Steigerung der Energiedichte ist dabei eine große Herausforderung. Diese ist im Vergleich zum normalen Kraftstoff noch sehr gering. Gleichzeitig muss natürlich die Sicherheit gewährt sein. Und nicht zuletzt müssen die Kosten weiter sinken. Diese sind immer noch sehr hoch und einer der Hauptgründe, warum die Verbreitung der Elektromobilität – aber auch der stationären Energiespeicher – noch nicht auf dem Niveau ist, das wir uns erträumen.



Prof. Dr. Werner Schreiber,
Geschäftsführer der
VOLKSWAGEN VARTA
Microbattery Forschungs-
gesellschaft mbH & Co KG

Mit Li-FeM und Li-NaS haben Sie 2014 zwei Forschungsvorhaben in diesem Bereich abgeschlossen. Was waren die wichtigsten Ergebnisse?

Schreiber: Beide Projekte beschäftigten sich mit der Erforschung von Lithium-Ionen-Zellen. Im Projekt Li-NaS erforschten wir die Zellchemie, um die Energiedichte weiter zu steigern. Aber nicht nur. Das Projekt Li-FeM forschte zur Fertigungsmethodik, weil wir festgestellt haben, dass die Rezeptur und die Konstruktion einer Zelle sowie die Fertigungsprozesse einander stark beeinflussen und voneinander abhängig sind. Hier gelang es uns, innerhalb der Projektlaufzeit von vier Jahren aus dem Stand eine wettbewerbsüberlegene Zelle herzustellen. Damit konnten wir 170 Wattstunden pro Kilogramm nachweisen. Unsere Ziele waren, die Herstellkosten einer solchen Zelle im Rahmen eines Businessplans nachzuweisen, und dass diese bei 200 Euro pro Kilowattstunde liegen. Auch das wurde erreicht. Parallel haben wir die Fertigungsverfahren untersucht und weiterentwickelt.

Mit dem Ende 2014 gestarteten Vorhaben LiMO streben Sie die Entwicklung der dritten Batteriegeneration an. Was sind die konkreten Zielstellungen?

Schreiber: Mit den Zellchemietypen des sogenannten Drittelmaterials sind gewisse Grenzen erreicht. Um die Energiedichte und auch die Leistung weiter zu steigern, untersuchen wir andere Zellchemiesysteme. Dabei versuchen wir zwei Zellvarianten zu erzeugen und optimieren diese dann auf ihren Anwendungstyp hin. Wir wollen Hochenergiezellen untersuchen, um

deren Energiedichte von 170 auf 280 Wattstunden pro Kilogramm zu erhöhen. Bei den Hochleistungszellen wollen wir die Energiedichte gleich halten, aber dafür die Leistungsdichte von 1.000 auf 2.200 Watt pro Kilogramm steigern.

Welche Rolle spielen die Rohstoffkosten?

Schreiber: Die Materialien sind ganz klar der Hauptkostentreiber bei der Zellherstellung und auch der -forschung. Circa 60 bis 70 Prozent der Kosten einer Batteriezelle entstehen durch das Material. Weiterhin sind Hilfsstoffe wie Aluminium- und Kupferfolie sehr teuer, weil dort hochpräzise, feine Werkstoffe benötigt werden, die mit einer Toleranz von einem Mikrometer hergestellt werden müssen. Nur wenn wir die Kosten senken und gleichzeitig die technischen Ziele erreichen, sind wir wettbewerbsfähig. Es reicht nicht aus, eine technisch überlegene Zelle zu haben, sie muss auch wirtschaftlich wettbewerbsfähig sein.

Wie sehen Sie die Perspektiven für eine serienmäßige Produktion in Deutschland?

Schreiber: Aktuell entwickelt sich hier in Deutschland das Umfeld in Richtung Batteriefertigung. Das heißt, verschiedene Unternehmen orientieren sich dorthin und produzieren Maschinen, die sich für die Batteriezellenproduktion einsetzen lassen. Dies gibt der Entwicklung Schub. Auf der anderen Seite ist der Standort alleine nicht der Garant für den Markt. Bei den derzeitigen Zellen steht Deutschland klar im Wettbewerb zu asiatischen Anbietern. Die wirtschaftlichen Ziele zu erreichen, die der Wettbewerb vorgibt, wird eine große Herausforderung.



Stromnetze

THEMA

Bausteine intelligent zusammensetzen

Die Energiewende kann nur mit einem intelligent ausgelegten und betriebenen Netz gelingen, das die Qualität der Stromversorgung auch bei hohen Anteilen von erneuerbaren Energien sichert. Wissenschaft und Industrie entwickeln gemeinsam intelligente Steuer- und Regelungsmechanismen, um Strom aus Photovoltaik- und Windenergieanlagen optimal in das Netz zu integrieren.

Welchen Einfluss hat die Energiewende auf die Stromnetze?

Braun: Damit die Energiewende in Schwung kam, wurden regenerative Erzeugungsanlagen unter dem Fokus installiert, dass sie schnell einen Beitrag zur Energieversorgung leisten können. Photovoltaik- und Windenergieanlagen sind inzwischen tragende Säulen unserer Energieversorgung. Sie müssen deshalb durch Systemdienstleistungen den notwendigen Beitrag zur Stabilität und Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems leisten. Die Energiewende bringt neue Betriebsmittel, wie zum Beispiel Wechselrichter, sowie Millionen aktiver dezentraler Anlagen, die häufig wetterabhängig betrieben werden. Deren Einsatz in zukünftigen Netzstrukturen und ein übergreifendes ausgefeiltes Regelungskonzept sind wichtige Fragestellungen. Diesen Herausforderungen wollen wir mit intelligenten Lösungen begegnen.

Wie kann eine intelligente Vernetzung aussehen?

Braun: Intelligenz ist in einem technischen System an verschiedenen Stellen möglich: in der Regelung, aber auch in der Auslegung. Eine relativ kostengünstige Maßnahme ist die spannungsabhängige Leistungsregelung lokaler Anlagenkomponenten, beispielsweise Wechselrichter von Photovoltaik-Anlagen. Sie sorgen dafür, dass die benötigte Blindleistung von den Anlagen am Anschlusspunkt bereitgestellt oder Einspeisewirkleistung in netzkritischen Situationen reduziert wird. Eine geschickte Regelung kann unterstützen, die Spannungsgrenzwerte einzuhalten und die Belastung der Netze zu reduzieren.

Intelligente Vernetzung meint aber auch die informationstechnische Verknüpfung von verschiedenen Akteuren und Koordination von deren Zusammenspiel im Gesamtsystem. Dabei verknüpfen wir die verschiedenen Ebenen des Energiesystems miteinander, also zum Beispiel Verteilnetzebenen, Übertragungsnetz, virtuelle Kraftwerke und Gebäudeenergiemanagement.



Prof. Dr. Martin Braun ist Leiter des Fachgebiets „Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze (e²n)“ an der Universität Kassel und Leiter der Abteilung „Betrieb Verteilungsnetze“ am Fraunhofer IWES

Viele Bausteine für die Gestaltung intelligenter Netze sind bereits vorhanden. Wesentliche Zukunftsaufgabe ist die intelligente Nutzung und Koordination dieser Bausteine im Zusammenspiel.

Wir betrachten die gesamte Struktur des Energieversorgungssystems und untersuchen anhand der drei Kriterien Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit, wo eine intelligente Vernetzung sinnvoll und notwendig ist und wo nicht.

Wie gehen Sie dabei konkret vor?

Braun: In enger Abstimmung mit der Industrie entwickeln wir beispielsweise eine Test- und Simulationsumgebung für zukünftige Stromnetze. Auf dieser Plattform können Netzbetreiber und Energiehändler unter realitätsnahen Bedingungen intelligente Steuer- und Regelungsmechanismen sowie deren Wechselwirkung im Übertragungs- und Verteilnetz testen. Und das in Echtzeit. Unsere Industriepartner können dann mit ihren Betriebsführungen direkt an diese virtuelle Umgebung andocken.

Wir nutzen die Simulationsumgebung als Entwicklungs- und Testplattform für real laufende Betriebsführungen, die auch in Feldtests zur Anwendung kommen sollen. In Zukunft wollen wir auch Jahressimulationen ermöglichen, so dass eine gesamtwirtschaftliche Bewertung der verschiedenen Betriebsführungsmodelle möglich ist. So können wir Lösungen entwickeln, die dazu beitragen, dass die Kosten für den Netzausbau deutlich reduziert werden. Und wir schaffen ein System zur Gewährleistung einer hohen Versorgungssicherheit bei einem gleichzeitig hohen Anteil regenerativer Erzeugungsanlagen.

Auswahl geförderter Projekte

Optimales Zusammenspiel im Verteilnetz

Die Mittel- und Niederspannungsverteilstromnetze stoßen mit dem zunehmenden Ausbau der erneuerbaren Energien an ihre Aufnahmegrenzen, insbesondere im ländlichen Raum. Probleme mit der Spannungshaltung und Betriebsmittelüberlastungen sind die Folge.

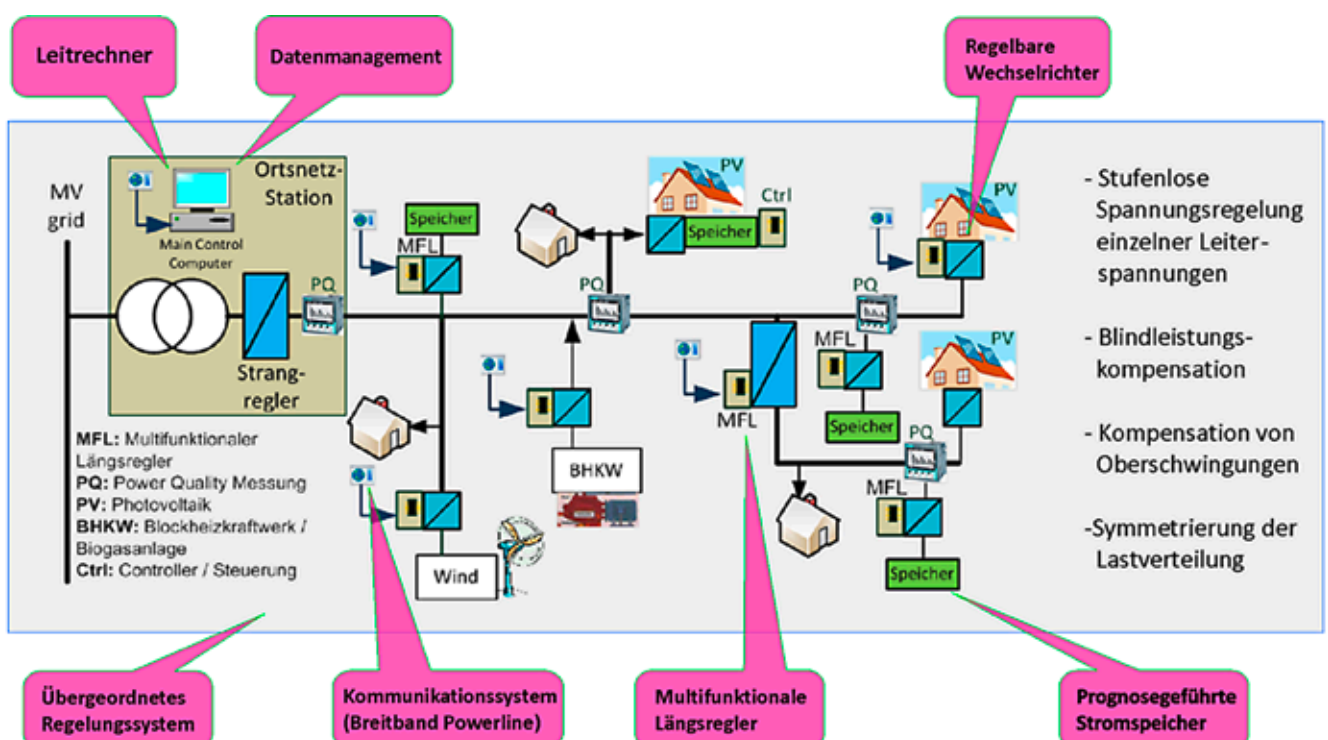
Im Projekt **Verteilnetz 2020** forscht ein breit zusammengesetztes Konsortium aus Industrie und Wissenschaft unter Koordination der Technischen Universität München (TUM) und der Technischen Hochschule (TH) Nürnberg an der Verbesserung der Aufnahmefähigkeit und Sicherung der Netzqualität von Verteilnetzen.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

Diese innovativen Betriebsmittel sind zum einen ansteuerbare und regelbare Einspeiser und Wechselrichter, die dank erweiterter Funktionalitäten die Spannung halten oder Wirkleistung und Blindleistung regeln können. Zum ande-

ren wollen die Forscher ansteuerbare, dezentrale Stromspeicher entwickeln, die unter Prognose von Verbrauch und Erzeugung in einem optimalen Zyklus betrieben werden können. So wollen sie eine lange Lebensdauer und damit wirtschaftliche Betriebsweise der Speicher erreichen. Weitere innovative Betriebsmittel sollen intelligente, ansteuerbare und multifunktionale Längsregler sein, die in Ortsnetzstationen und als Strangregler unter anderem Netzstörungen kompensieren und die Spannung halten können.

Diese verschiedenen Betriebsmittel wollen die Projektpartner mit einem Kommunikationssystem in ein übergreifendes, automatisiertes Regelungssystem integrieren. Eine Leittechnik soll das optimale Zusammenspiel der Betriebsmittel sicherstellen.

Hierfür simulieren die Wissenschaftler zunächst, wie die verschiedenen Betriebsmittel zusammenwirken, und untersuchen diese Simulation anschließend in einem Labortest. Darauf aufbauend wollen sie in einem Feldversuch das gesamte System im Verteilnetz des beteiligten Netzbetreibers, der Infra Fürth GmbH, erproben.



HIGHLIGHT

Smart Area Aachen



Projektgrafik der
Smart Area Aachen.

Knapp ein Viertel des Stroms innerhalb der Bundesrepublik wird bereits durch erneuerbaren Energien erzeugt – Tendenz steigend. Das damit einhergehende stark fluktuierende und dezentrale Einspeisen stellt die Infrastruktur vor Herausforderungen. Die Aufgabe der Netzbetreiber und Stromversorger ist es nun, diesen Herausforderungen mit intelligenten, also flexiblen und anpassungsfähigen Lösungen zu begegnen. Gerade auf der Nieder- und Mittelspannungsebene müssen Systeme künftig Stromerzeugung und -verbrauch steuern und ausgleichen können. Dafür ist nicht nur der Netzausbau, sondern vor allem ein struktureller Umbau notwendig, um auch künftig eine reibungslose Versorgungsqualität sicherzustellen.

Diese Probleme auf Seiten des Verteilnetzes sind Themen des Forschungsprojekts **Smart Area Aachen**. Das Vorhaben setzt sich insgesamt aus sieben Verbänden und 13 Partnern zusammen. Hierzu zählen die STAWAG Stadtwerke Aachen AG als Projektkoordinator, die RWTH Aachen mit den Instituten IAEW und IFHT, die Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, das Institut ie³ der TU Dortmund, die ABB AG, die Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e. V., Nexans Deutschland GmbH, die PSI AG, BET Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, die INFRAWEST GmbH, die Kisters AG, die SAG GmbH sowie der VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik. Das Projekt vereint Experten aus Industrie und Forschung zu Fragen der Energietechnik sowie der Informations- und Kommunikationstechnik.

Das BMWi unterstützt das Großvorhaben mit ca. 5 Millionen Euro Förderung über eine Laufzeit von fünf Jahren.

Der Fokus liegt auf der Integration dezentral erzeugter regenerativer Energien in die kommunale Versorgungsstruktur bei gleichbleibend hoher Versorgungssicherheit. Hierfür entwickeln die Wissenschaftler neue Komponenten sowie Betriebs-, Instandhaltungs- und Netzplanungskonzepte für ein intelligentes Stromnetz und testen diese anschließend im 3.000 Kilometer langen Stromnetz der STAWAG in Aachen. Das Vorhaben startete Ende 2012 und läuft noch bis 2017. Erste Ergebnisse zum Testbetrieb stellten die Projektpartner auf den Berliner Energietagen im Mai 2014 öffentlich vor.

Die einzelnen Vorhaben beschäftigen sich konkret mit intelligenten Ortsnetzstationen, Netzzustandsschätzungen, der Netzplanung, Untersuchungen zur Spannungsqualität und widmen sich Fragestellungen zu den Themen Instandhaltung und Kommunikation, ergänzt durch begleitende Forschung zu den Smart Grids. Das intelligente Verteilnetz in Smart Area Aachen integriert zudem innovative Elemente wie Ortsnetzstationen mit intelligenter Fehler-Erkennung oder Zustandsschätzer von Mittelspannungsnetzen und setzt auf neue Planungs- und Instandhaltungsmethoden. Die ersten Komponenten und Verfahren werden bereits erfolgreich im Stromnetz der Stadtwerke Aachen eingesetzt, und so liefert das Projekt erste tiefere Erkenntnisse, welche Maßnahmen die Verteilnetze effizienter machen.

Mittelspannungstransformator mit mehreren Anschlussmöglichkeiten auf der Niederspannungsseite: So können an dem Trafo verschiedene Prüflinge mit unterschiedlichen Anschlussspannungen angeschlossen werden

Das Projekt Verteilnetz 2020 ist Teil der Forschungsinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“. Neben TUM, TH Nürnberg und Infra Fürth haben sich hier sieben Hersteller von Wechselrichtern, Ortsnetzstationen, Batteriespeichern, Messtechnik, Netzautomatisierung und Kommunikationstechnik zusammengeschlossen.

Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 3,1 Millionen Euro.

Multi-Megawatt-Labor

Der Ausbau der erneuerbaren Energien mit ihrer fluktuierenden Einspeisecharakteristik sowie die Elektrifizierung des Verkehrs- und Wärmesektors erfordern neue Ansätze zur Netzintegration dezentraler Erzeuger, Verbraucher und Speicher. Die Leistungselektronik spielt hierbei eine zentrale Rolle. Sie umfasst die komplette Spanne von der Erzeugung elektrischer Energie in regenerativen Kraftwerken, dem kontinentalen Transport elektrischer Energie in Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsverbindungen bis hin zur Integration dezentraler Erzeuger und Verbraucher in Niederspannungsnetze.

Mit dem Vorhaben **Multi-Megawatt Labor** fördern das BMWi und das BMBF die Errichtung eines herausragenden Forschungsstandorts für Leistungselektronik, Regelungstechnik und elektrische Energietechnik am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. In dem ressortübergreifenden Projekt kann das Fraunhofer ISE seine Forschung zu Leistungselektronik auf Leistungen bis zu 10 Megawatt erweitern und die Leistungselektronikentwicklung auf den Mittelspannungsbereich ausdehnen. Außerdem unternimmt das Fraunhofer ISE erste Schritte in Richtung Forschung für die elektrische Energie- und Regelungstechnik in der Hochspannungsebene.

Im Teilprojekt **Niederspannungslabor** wird ein weltweit einzigartiges Leistungselektroniklabor aufgebaut, das die Entwicklung und den praxisnahen Test von leistungselektronischen Wandlern für die verschiedensten Bereiche der erneuerbaren Energien und dezentralen Speicher ermöglicht. So sollen Verbraucher, Erzeugungsanlagen und Speicher mit Hilfe leistungselektronischer Wandler intelligent verknüpft werden, zum Beispiel durch innovative Wechselrichter. Diese aktiven und dynamischen Wandler sollen in Zukunft elektrische Energie effizienter und ressourcenschonender umwandeln. So untersuchen die



Forscher zum Beispiel den Einsatz neuer Halbleiterbauelemente wie Siliciumcarbid (SiC) oder Galliumnitrid (GaN), um die Effizienz der Umrichter zu erhöhen.

Im Teilprojekt **Mittelspannungs- und Elektromobilitätslabore** wird eine Laborumgebung zur Forschung und Entwicklung von Umrichtern in der Mittelspannungsebene ermöglicht. Für zukünftige Photovoltaik-Kraftwerke sollen in diesem Labor neue Gleichspannungswandler (DC/DC-Steller) entwickelt werden, welche die Ausgangsspannung der Solarmodule auf Mittelspannungsebene anheben. Der Strom der Photovoltaik-Module wird dann auf einer DC-Mittelspannungsebene gesammelt und mit Hilfe eines Mittelspannungsumrichters (DC/AC) direkt in das Mittelspannungsnetz eingespeist. Das steigert die Energieeffizienz und senkt die Kosten für den Strom aus regenerativen Erzeugungsanlagen. Auch sollen elektrische Energiespeicher, insbesondere in Elektromobilen, besser in das Netz integriert werden können.

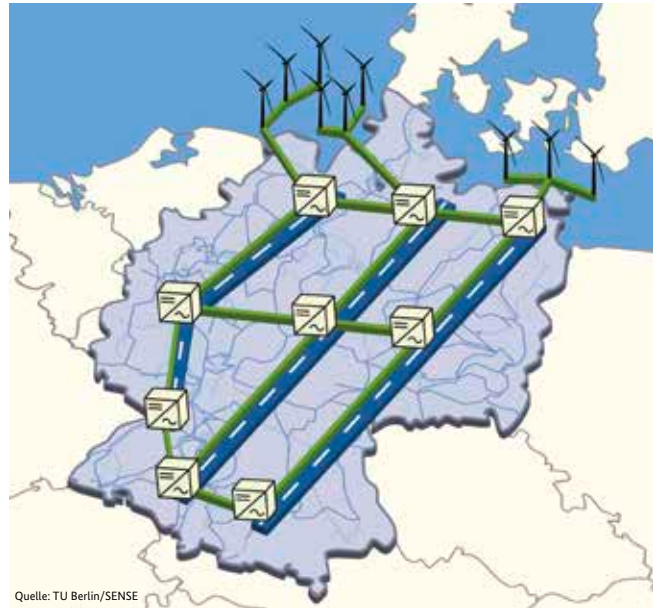
Das BMWi fördert die Teilprojekte Niederspannungslabor und Mittelspannungs- und Elektromobilitätslabore mit insgesamt 6 Millionen Euro.

Projektgrafik OVANET

OVANET: Akzeptanzfreundliche Overlay-Netze für die Zukunft

Die derzeitigen Diskussionen zum Ausbau des 380-kV-Wechselstrom-Übertragungsnetzes zeigen, dass die Realisierung neuer Übertragungssysteme Widerstände in der Bevölkerung erwarten lässt. Für den Aufbau eines Overlay-Netzes sind deshalb neue Ansätze erforderlich, die unter Nutzung innovativer Gleichstromtechnologien und mit neuen Realisierungskonzepten eine bessere Akzeptanz in der Öffentlichkeit erreichen. Ein Konsortium aus TU Berlin (Projektkoordination), TU Darmstadt und TU Ilmenau, allen Übertragungsnetzbetreibern Deutschlands (50Hertz, Amprion, TenneT, TransnetBW), dem Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE), den Technologieunternehmen Siemens AG, Nexans Deutschland Industries GmbH & Co. KG, Südkabel GmbH sowie ILF Beratende Ingenieure GmbH nimmt sich nun der Thematik an.

Die **OVANET**-Grundidee liegt in der Nutzung von schon durch Autobahnen vorgegebenen Korridoren für die Stromtrassen. Kabel sollen entlang von Standstreifen in Tunnelbauwerken verlegt werden. Neue Techniken sollen dabei die Herstellungskosten für Tunnel und Kabel nachhaltig senken. Eine besondere wissenschaftliche Herausforderung liegt in der Planung und Betriebsführung eines Gleichstrom-Overlay-Netzes, das sich von den Offshore-Windparks im Norden bis zu Lastzentren im Süden des Landes erstreckt und an geeigneten Verknüpfungsknoten mit dem Wechselstromnetz über Umrichter verbunden wird. Mit herkömmlicher Gleichstromtechnik waren bislang nur Punkt-zu-Punkt-Verbindungen üblich, im Projekt **OVANET** werden vermaschte Netze erforscht. Innovative Lösungen entstehen für die Systemführung inklusive Leistungsflussregelung und Frequenzhaltung. Dank verbesserter Modelle wird eine genaue Systemstabilitätsanalyse ermöglicht und das Verhalten im Fehlerfall verbessert. Auf der Komponentenseite steht der Netzschutz im Fokus.



Wettbewerbsfähiger Netzbetrieb mit Erneuerbaren

Der Zubau von Windenergie- und Photovoltaikanlagen stellt die Netze vor neue Herausforderungen. Um die Ausbaurkosten möglichst gering zu halten, sind neuartige Netzstrukturen und wettbewerbsfähige Lösungen für regenerative Erzeugungsanlagen gefragt.

Im Projekt **Zukunftsfähige Netze für die Integration Regenerativer Energiesysteme**, kurz **IREN2**, untersucht ein Verbund aus Wissenschaft und Industrie Konzepte, mit denen die Integration von erneuerbaren Energien auf der Verteilnetzebene verbessert werden kann.

Zum einen wollen die Projektpartner inselnetzfähige Microgrids zur Abkopplung bestimmter Netzregionen vorschlagen, die bei einem Fehlerfall in einer überlagerten Netzebene das Versorgungsgebiet weiterversorgen können. Zum anderen empfehlen sie das Konzept topologischer Kraftwerke. Topologische Kraftwerke sind Netzabschnitte, deren Erzeuger und Verbraucher gemeinsam wie ein konventionelles Kraftwerk gesteuert werden können. Als topologisches Kraftwerk kann ein solcher Netzabschnitt zur Systemstabilität beitragen und somit Aufgaben konventioneller Kraftwerke übernehmen.

Diese Netzstrukturen untersucht das Konsortium sowohl unter wirtschaftlichen als auch technischen Gesichtspunkten. Dabei wollen die Projektpartner die kostengünstigste Ausbauvariante verschiedener Netzstrukturen herausstellen sowie verschiedene Betriebsstrategien analysieren. Die technischen Analysen sollen Stabilitätsuntersuchungen und die Entwicklung von Schutzkonzepten mit einbeziehen.

Damit PV-Kraftwerke in Zukunft Netz- und Systemdienstleistungen anbieten können, sollen sie mit Batteriespeichern und fossilen Erzeugern gekoppelt und in eine gemeinsame Betriebsführung eingebettet werden



Die Projektpartner erproben und validieren die Betriebsstrategien in Wildpoldsried im Netzgebiet der Allgäuer Überlandwerke GmbH. Hier ist die Erzeugung aus regenerativen Energien bereits heute fünfmal höher als der Eigenbedarf. Außerdem verfügt die Region aufgrund des Vorgängerprojekts IRENE (Integration regenerativer Energiesysteme und Elektromobilität) bereits über ein intelligentes Netz mit entsprechender Messtechnik sowie einen stationären Batteriespeicher.

In dem Verbund kooperieren die Siemens AG, die Allgäuer Überlandwerke GmbH, die Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten, die RWTH Aachen und die ID. KOM Networks GmbH.

Das BMWi fördert IREN2 im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunftsfähige Stromnetze mit rund 3,1 Millionen Euro.

PV-Kraftwerke sollen Netzdienstleistungen anbieten

Im Photovoltaik-Markt findet momentan ein starker Preiskampf statt. Gleichzeitig sinkt die Einspeisevergütung für photovoltaisch erzeugten Strom. Um die Attraktivität der Photovoltaik (PV) zu erhöhen, entwickelt ein Konsortium aus Industrie und Wissenschaft im Vorhaben **Zukunftskraftwerk Photovoltaik** die Neuausrichtung von PV-Kraftwerken. Die Projektpartner wollen PV-Kraftwerke mit Batteriespeichern und fossilen Erzeugern koppeln und in eine gemeinsame Betriebsführung einbetten. Diese Hybridkraftwerke sollen Netz- und Systemdienstleistungen übernehmen.

Die künftigen PV-Kraftwerke sollen alle notwendigen Leistungen für das Betreiben von Stromnetzen erbringen. Diese Netzdienstleistungen wie Frequenzregelung, Sekundärrege-

lung, Spannungsregelung und Schwarzstartfähigkeit werden traditionell von fossilen Kraftwerken erbracht. Wenn PV-Kraftwerke diese Systemdienstleistungen in Zukunft übernehmen, könnten diese ausscheidende Regelkapazitäten von stillgelegten, konventionellen Kraftwerken kompensieren. Auch könnte die Netzstabilität mit ausschließlich erneuerbaren Erzeugern garantiert werden. Um dies zu ermöglichen, entwickeln die Projektpartner umfangreiche technische Lösungen, um PV-Wechselrichter sowie andere Anlagenteile für die erweiterten Anforderungen zu ertüchtigen.

Außerdem sollen innovative Möglichkeiten für Kosteneinsparungen in allen Bereichen von PV-Kraftwerken erforscht und entwickelt werden, um PV als finanzierbaren Teil des erneuerbaren Strommixes zu stärken – trotz sinkender Einspeisevergütungen. Mit Blick auf die gesamten Lebensdauererwartungen von PV-Kraftwerken erarbeiten die Projektpartner sowohl Analysen zur Senkung von Fehlern und Ausfällen sowie Lösungsansätze für neuartige Service- und Instandhaltungsgeräte.

Diese Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen sollen die Wettbewerbsfähigkeit deutscher PV-Anbieter im In- wie im Ausland stärken und dazu beitragen, langfristig einen Know-how-Vorsprung sowie Arbeitsplätze zu sichern.

In dem Verbund unter Koordination der BELECTRIC GmbH haben sich zusammengeschlossen: Adensis GmbH, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, GE Energy Power Conversion GmbH, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Jurchen Technologie GmbH, MTU Friedrichshafen GmbH und Padcon GmbH.

Das BMWi fördert Zukunftskraftwerk Photovoltaik im Rahmen der Forschungsinitiative „F&E für Photovoltaik“ mit rund 4,8 Millionen Euro.

Regenerative Kombi-Kraftwerke/Virtuelle Kraftwerke

Auswahl geförderter Projekte

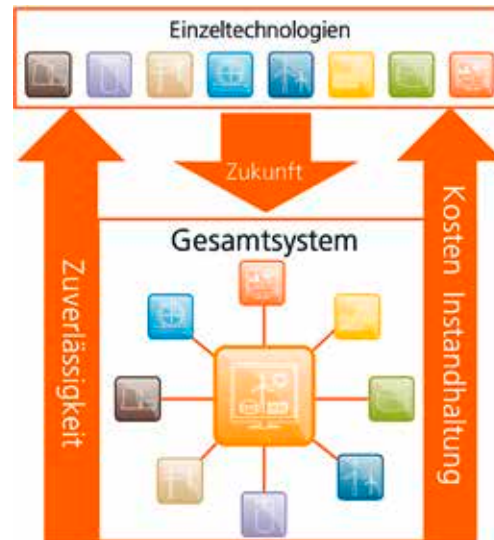
Zuverlässigkeit virtueller Kraftwerke sicherstellen

Stromanbieter versorgen ihre Kunden zunehmend aus einem Portfolio unterschiedlicher erneuerbarer Energietechnologien. Um auch künftig Versorgungssicherheit gewährleisten zu können und die Kosten der zukünftigen Stromversorgung kalkulierbar zu halten, ist es wichtig für die Anbieter, dass sie die Zuverlässigkeit der einzelnen Komponenten kennen und mögliche Synergieeffekte sowie Kostensenkungspotenziale in Betrieb und Instandhaltung nutzen können.

Im Projekt **Hera-VPP** untersuchen Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES die Zuverlässigkeit und Instandhaltung virtueller Kraftwerke. Die Forscher analysieren die Auswirkungen von technischen oder wartungsbedingten Ausfällen für das aus dezentralen Energieerzeugern, Speichern, flexiblen Lasten und verschiedenen Netzkomponenten bestehende Gesamtsystem. Anhand dieser Ergebnisse wollen sie anschließend den zukünftigen Forschungsbedarf in diesem Themengebiet und Optimierungspotenziale für virtuelle Kraftwerke ableiten.

Aufgrund der dezentralen Struktur, der Größe der einzelnen Erzeugungseinheiten sowie ihrer großen Anzahl wird sich das Ausfallrisiko möglicherweise statistisch verteilen und das Risiko von Netzausfällen verringern.

Der Zubau von Windenergie- und Photovoltaikanlagen stellt die Netze vor neue Herausforderungen. Um die Ausbaurkosten möglichst gering zu halten, sind neuartige Netzstrukturen gefragt



Hierzu ist es wichtig zu wissen, welche Größe die virtuellen Kraftwerke annehmen müssten.

Aufgrund der Dezentralität entstehen hohe Kosten durch Betriebsführung und Instandhaltung. Auch hier wollen die Wissenschaftler bestehende Kostensenkungspotenziale von virtuellen Kraftwerken qualitativ darstellen. Aus dem Wissen über das Gesamtsystem können Erkenntnisse in die Leistungsprognose virtueller Kraftwerke einfließen und zur Optimierung des Instandhaltungsmanagements genutzt werden.

Das BMWi fördert das Projekt mit rund 300.000 Euro.

Systemdienstleistungen

Auswahl geförderter Projekte

Dezentrale Anlagen koordinieren – Systemdienstleistungen anbieten

Im Zuge der Energiewende ersetzen erneuerbare Energieerzeugungsanlagen aus Windkraft und Photovoltaik zunehmend konventionelle Kraftwerke. Netzstabilität und Versorgungssicherheit gewährleisten jedoch nach wie vor die konventionellen Kraftwerke im Übertragungsnetz, indem sie Systemdienstleistungen (SDL) bereitstellen. SDL wie Frequenz- und Spannungshaltung, Versorgungswiederaufbau oder Schwarzstartfähigkeit können durch dezentrale Anlagen den Übertragungsnetzbetreibern aktuell nur in einem sehr begrenzten Umfang angeboten werden. Die Ursache liegt darin, dass mehr als 90 Prozent aller dezentralen Anlagen in die dem Übertragungsnetzbetreiber untergeordnete Verteilnetzebene einspeisen.

Im Verbundvorhaben **SysDL 2.0** will ein Konsortium aus Industrie und Wissenschaft die systemtechnische Grundlage dafür schaffen, dass in Verteilnetze einspeisende regenerative Erzeugungsanlagen künftig SDL bereitstellen können. Entscheidend ist hierbei die Koordination zwischen den dezentral einspeisenden Anlagen, dem Verteilnetz sowie den Anforderungen des Übertragungsnetzbetreibers.

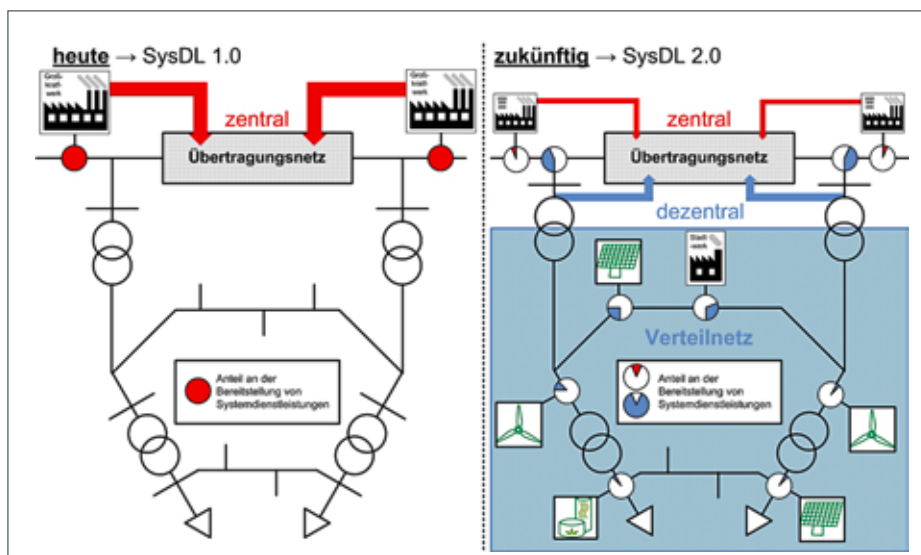
Die Projektpartner entwickeln die technischen Rahmenbedingungen und möglichen Koordinationsalgorithmen für verteilte Anlagen. In einer Echtzeit-Testumgebung simulieren sie, wie künftige Regelungen für SDL aus dem

Verteilnetz koordiniert und umgesetzt werden können. Auf Grundlage dieser Simulationen evaluieren die Projektpartner ihr Systemkonzept anschließend in den Netzgebieten von enso NETZ, MITNETZ und 50Hertz.

Die gewonnenen Erkenntnisse und entwickelten Technologien sollen sich unmittelbar auch auf andere Verteil- und Übertragungsnetzbetreiber skalieren lassen. So will das Konsortium die technischen und organisatorischen Voraussetzungen schaffen, um auch bei hohen Anteilen dezentraler fluktuierender Erzeugung einen effizienten, kostenoptimierten und versorgungssicheren Betrieb der Stromnetze zu gewährleisten.

Die Drewag NETZ GmbH koordiniert den Verbund, an dem sich außerdem die folgenden Partner beteiligen: Mitteldeutsche Netzgesellschaft Strom mbH, 50Hertz Transmission GmbH, Technische Universität Dresden, Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, Siemens AG, F & S Prozessautomation GmbH sowie Universität Kassel.

Das BMWi fördert SysDL 2.0 im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ mit rund 3,2 Millionen Euro.



Heutige und zukünftige Systemdienstleistungen

Energieoptimierte Gebäude und Städte



Gebäude und Städte sind verantwortlich für einen Großteil des Energiebedarfs: Im Wohngebäudebestand, Nichtwohngebäuden im Dienstleistungssektor sowie in öffentlicher Verwaltung, wie Schwimmbädern oder Schulen, fallen bis zu 40 Prozent des gesamten deutschen Energieverbrauchs an. Wärme und Strom sind hier seit jeher gleichberechtigt. Die Bedeutung von Gebäuden und Quartieren für die Umsetzung der Energiewende ist ebenso unbestritten wie die Erkenntnis, dass die immensen Potenziale aufgrund der komplexen Struktur und der unterschiedlichen Interessenlagen schwierig zu realisieren sind. Dies gilt umso mehr, da der geplante Umbau der Energiewirtschaft ehemals reine Endverbraucher zu Erzeugern und Erstverbrauchern mit hoher Eigenbedarfsdeckung machen wird. Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, mit der Energiewende im Gebäudebereich 80 Prozent der Primärenergie einzusparen.

Marktgesehen in Deutschland und weltweit

Gebäude haben eine durchschnittliche Lebenserwartung von etwa 100 Jahren. Die Sanierungszyklen der verbauten Komponenten weichen davon allerdings deutlich ab, so dass ganzheitliche Modernisierungen, beispielsweise von Altbau- zu Plusenergiegebäuden, absolute Ausnahmefälle sind. Die in den Markt eingeführten Komponenten aus Forschung und Entwicklung werden zwar zunehmend eingesetzt, allerdings stehen zwei Faktoren einer Verbesserung der Energiebilanz entgegen: Einerseits ist die Qualitätssicherung durch Planer und Hersteller bis hin zu den Handwerkern und schließlich den Betreibern aufgrund

der vielen Schnittstellen entlang der Wertschöpfungskette äußerst fehleranfällig. Andererseits verhalten sich die Nutzer häufig anders als erwartet. Dabei spricht man vom sogenannten Rebound-Effekt. Dieser besagt, dass Energieeffizienzsteigerungen oft zu reduzierten Kosten führen. Dadurch kann sich die Nachfrage der Nutzer erhöhen und damit der Verbrauch steigern. Dies kann die Einsparungseffekte wieder aufheben. Insofern ist die Prozessoptimierung parallel zur Technologieentwicklung von entscheidender Bedeutung.

2015 wird mit einer noch stärkeren Entwicklung hin zu einer vernetzten Betrachtung von Gebäuden und Quartie-

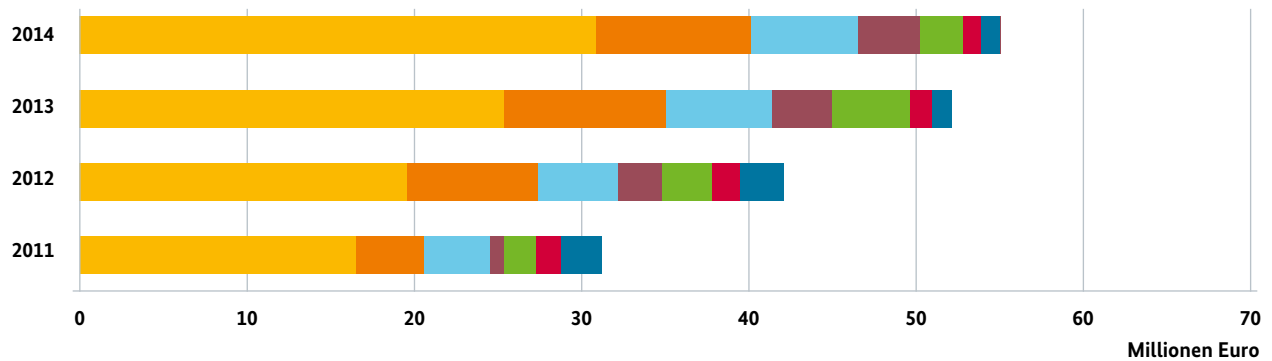
ren gerechnet. Auch Hilfsmittel zum Monitoring des Energieverbrauchs in Gebäuden und Wohnungen werden künftig im Markt eine noch bedeutendere Rolle einnehmen.

Moderne Heizungstechnik und erneuerbare Wärme sind ein wichtiger Schlüssel für den Erfolg der Energiewende im Gebäudebereich. Immer öfter erfolgt eine einheitliche Lastenreduktion in Bestandsgebäuden mit Hilfe von Wärmenetzen, Speichern und innovativen Quartierskonzepten zur energetischen Modernisierung. Die anstehende Moder-

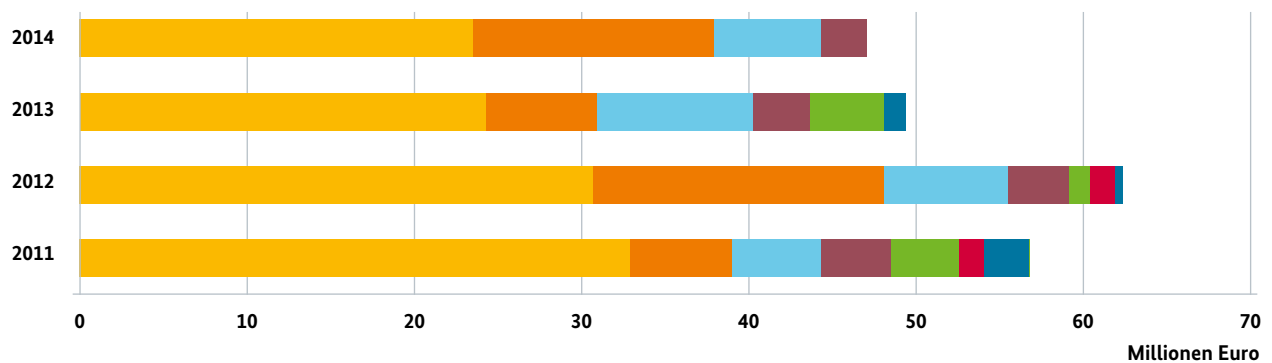
nisierung der Heizungstechnik im Gebäudebestand bietet eine große Chance für die Integration von solarer Wärme. Allerdings liegt die Gebäudesanierungsrate derzeit unter einem Prozent. Mit dem vom Bundeskabinett im Dezember 2014 beschlossenen Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) und den darin angekündigten Maßnahmen erwartet auch die Solarbranche wesentliche Impulse.

Die Solarthermie besitzt sowohl national als auch weltweit ein großes Potenzial. Eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) prognostiziert, dass bis 2050

Energieoptimierte Gebäude und Städte: Verteilung der Fördermittel zwischen 2011 und 2014



Energieoptimierte Gebäude und Städte: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2011



- Solaroptimiertes Bauen
- Versorgungskonzepte
- Niedertemperatur-Solarthermie
- Fernwärme
- Kraft-Wärme-Kopplung
- Solare Kälte
- Sonstige

ein Drittel der dezentralen Heizungsanlagen und zwei Drittel der zentralen Anlagen in Wärmenetzen mit Solarthermie ausgestattet sein könnten. Seit dem Boomjahr 2008 hat sich allerdings der deutsche Markt nahezu halbiert. 2014 wurden erstmals weniger als eine Million Quadratmeter neu installiert. Damit liegt der Anteil der Solarenergie am Wärmeverbrauch aktuell bei nur 0,5 Prozent. Dagegen wächst der Markt für Solarthermie weltweit kontinuierlich. Inzwischen sind rund 385 Millionen Quadratmeter Kollektorfläche bzw. fast 270 Gigawatt thermische Leistung installiert (Stand 2012).

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Im Bereich der Qualitätssicherung, sowohl bei der Anlagentechnik wie auch bei der Gebäudetechnik, wurden einige Forschungsvorhaben in 2014 erfolgreich abgeschlossen. Weitere, ältere Vorhaben, wie FensterCheck, wurden erstmals auf Messen (Glasstec 2014) der Branche präsentiert. Der Reifegrad einzelner neu entwickelter Technologien ist dabei aus wissenschaftlicher Sicht oftmals sehr hoch. Allerdings ist der Transfer in marktfähige Produkte komplizierter als in den anderen Forschungsbereichen: durch Rebound-Effekte und Herausforderungen bei der Qualitätssicherung durch eine hohe Zahl beteiligter Akteure am Implementierungsprozess. Wichtige Akzente setzte hierzu das EnOB-Symposium für Energieinnovationen im Bauen in der Zeche Zollverein in Essen, bei dem Forschung und Praxis aufeinandertrafen. Zudem wurde im Rahmen des EnEff-Stadt-Kongresses in Berlin über die Rolle der Kommunen als treibende Kraft für die Energiewende diskutiert. Die wichtige Rolle der Forschung für energieeffiziente Wärme und Kälteversorgung thematisierte ein Statusseminar EnEff-Wärme in Köln. Dieses fokussierte auf die Implementierung innovativer Abwärme-Verbundsysteme sowie innovative Speicher- und Versorgungstechnologien.

Die Solarthermie hat – zumindest in den klassischen Anwendungsfeldern Warmwasserbereitung und solare Heizungsunterstützung in Ein- und Mehrfamilienhäusern – einen sehr hohen technischen Reifegrad erreicht. Wichtig ist nach wie vor eine deutliche Reduzierung der Wärmekosten. Dazu müssen sowohl einzelne Komponenten des Solarsystems, beispielsweise Kollektor und Speicher, weiterentwickelt werden. Ausschlaggebend für die weitere Kostensenkung auf Systemebene sind jedoch insbesondere eine durchschlagende Standardisierung, die Vereinfachung

Quartiere bieten viele Ansatzpunkte für einen optimierten Einsatz von Energie



der Installation sowie die Funktions- und Ertragssicherheit. Deshalb wurden verstärkt Forschungsansätze zur Systemintegration gefördert, zudem auch Konzepte für solare Plusenergiehäuser im Neubau und in der Bestandsmodernisierung bis hin zu Quartierslösungen und Plusenergiesiedlungen.

Weitere wichtige zukünftige Wachstumsmärkte sind die solare Nahwärme und die solare Prozesswärme. Ein Durchbruch ist zu erwarten, wenn die Solarenergie nachweislich eine technisch und ökonomisch solide Alternative zum Einsatz fossiler Energiequellen darstellt. Mit der Gründung des Forschungsnetzwerks Energie in Gebäuden und Quartieren am 2. Oktober 2014 reagierte das BMWi auf die Herausforderungen bei der Steigerung der Nutzungseffizienz und der nachhaltigen Umwandlung von Energie im Kontext der Gebäude und Quartiere (siehe Seite 96). Durch das Zusammenführen der maßgeblichen Akteure aus Forschung, Politik und Wirtschaft und systemische Lösungsansätze



für die Zukunft soll das Netzwerk Synergien schaffen, um die energiepolitischen Ziele erfolgreich umzusetzen. Strategisch steht das Forschungsnetzwerk in der Tradition der Bündelung von Förderkonzepten, wie sie das BMWi in der Vergangenheit beispielsweise bei der Gründung von „Energieoptimiertes Bauen (EnOB)“ vorgenommen hat. Vor rund zehn Jahren wurde die Forschung und Entwicklung für Neubauten und Sanierung sowie deren Demonstration unter der Forschungsmarke EnOB zusammengelegt. Dies hat zu einer Verbesserung der Effizienz bei der Umsetzung der Fördermaßnahmen und einer besseren Kommunikation der Ergebnisse geführt. Das Forschungsnetzwerk, das nun die Themen Gebäude, Wärmeversorgung und dezentrale Umwandlung sowie Energieeffizienz im städtischen Maßstab unter ein Dach bringt, wird die Kommunikation und den Transfer in die Praxis nochmals deutlich verbessern und gezielt die besonderen systemischen Herausforderungen dieses komplexen Forschungsgegenstandes einer Lösung im Sinne der Energiewende näherbringen.

Strategie der Forschungsförderung

Systembedingte Herausforderungen stellen nach bisherigen Erfahrungen zukünftig den größten Forschungs- und Entwicklungsbedarf dar. Hierbei werden einerseits Innovationen im Bereich aktiver und passiver Komponenten in Gebäuden und Quartieren ein relevantes Forschungsfeld. Andererseits rücken auch Technologien für eine verbesserte Transparenz der Energieperformance von der Bauteil- bis zur Quartiersebene in den Fokus. Ein weiteres Forschungsgebiet sind Verfahren, Prozesse und Strukturen, die eine Transformation im deutschen Markt möglich machen. Dies kann aber auch eine schnellere Produktentwicklung und Markteinführung durch verbesserte Verfahren betreffen. Ein weiterer Bereich sind elektronische Planungshilfsmittel für ein breites Anwenderspektrum, welche bestehende Schnittstellenprobleme auflösen und damit die Qualitätssicherung vorantreiben. Der Themenbereich Niedertemperatur-Solarthermie gliedert sich in die Gesamtstrategie des BMWi zur Forschung und Entwicklung zur Energieeffizienz in Gebäuden, Quartieren und Städten ein.

Die Rahmenbedingungen für die Verwirklichung der energiepolitischen Zielstellungen für den Kontext Gebäude und Städte sind positiv. Diese Ziele werden gemäß dem 6. Energieforschungsprogramm auch Gegenstand der für Anfang 2016 geplanten gemeinsamen Förderbekanntmachung „Solares Bauen & Energieeffiziente Stadt“ sein.

Die Projektförderung durch das BMWi für den Bereich Energieoptimierte Gebäude und Städte belief sich 2014 für die insgesamt 83 Neubewilligten Projekte auf 40,7 Millionen Euro (2013: 40 Millionen Euro). Für laufende Vorhaben wurden 48,8 Millionen Euro (2013: 45,8 Millionen Euro) aufgewendet.

Auf den Bereich Niedertemperatur-Solarthermie entfielen dabei 6,5 Millionen Euro mit 15 neu bewilligten Projekten (2013: 9,5 Millionen Euro). Die Ausgaben für laufende Projekte in diesem Bereich lagen 2014 bei 6,4 Millionen Euro (2013: 6,5 Millionen Euro).

THEMA

Forschungsinitiative EnEff:Stadt für energieeffiziente Quartiere

Energieeffiziente Stadtquartiere können einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten. Mit der Initiative „EnEff:Stadt – Forschung für die energieeffiziente Stadt“ intensiviert das BMWi die langjährigen Forschungsaktivitäten für mehr Energieeffizienz im kommunalen Bereich. Durch Vernetzung und Integration mehrerer Forschungsbereiche, darunter energieoptimierte Gebäude und effiziente Versorgungsstrukturen, stehen vor allem wirtschaftlich sinnvolle Energieinnovationen auf Quartiersebene im Fokus. Die 2007 ins Leben gerufene Initiative kann bereits Erfolge in einer Reihe ambitionierter Projekte vorweisen.

Anders als bei einzelnen Objekten, lassen sich Maßnahmen im Quartier in das städtische und regionale Energiekonzept und vorhandene Strukturen einbinden. Die integrale Quartiersplanung kann das Erschließen größerer Potenziale beschleunigen, weil Systeme effizienter und damit wirtschaftlicher nutzbar sind. Gleichzeitig wird vermieden, dass Lösungen für Einzelobjekte das Gesamtsystem negativ beeinflussen. Dies betrifft etwa KWK-Anlagen, die in Verbindung mit Wärmenetzen und -speichern einen Beitrag zum Lastausgleich bei fluktuierendem Wind- oder Solarstrom liefern können.

Planung und Umsetzung energieeffizienter Quartierskonzepte sind heute weder Stand der Technik noch allgemein üblich. Hier setzt die Forschungsinitiative **EnEff:Stadt** an: Ambitionierte Demonstrationsprojekte in typischen Stadtquartieren sammeln praktische Erfahrungen bei der Anwendung innovativer Technologien und Planungshilfsmittel, beim Umsetzungsmanagement und der Betriebsoptimierung. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen werden wissenschaftlich ausgewertet und lassen sich auf andere Vorhaben und Standorte übertragen.

Ein Wissenschaftlerteam begleitet die Forschungsarbeiten und Pilotprojekte, berät zur Schwerpunktsetzung, entwickelt Bewertungskriterien und ergänzende Messprogramme und führt die wissenschaftliche Auswertung und Ergebnisverbreitung durch. Die Begleitforscher untersuchen zudem den Einsatz von Planungswerkzeugen und erstellen Handlungsempfehlungen für Quartiere. Das fachliche und administrative Forschungsmanagement erfolgt durch den Projektträger Jülich (PtJ) im Auftrag des BMWi.



Luftaufnahme Berlin Adlershof

Eines der Vorhaben aus der Förderinitiative ist die „Energiestrategie Berlin Adlershof 2020“. Der Technologiepark Berlin Adlershof ist einer der größten Hightech-, Wissenschafts-, Wirtschafts- und Medienstandorte Europas. Insgesamt leben und arbeiten dort rund 23.000 Menschen. Dadurch weist das Quartier einen hohen Energiebedarf auf. Um die Energieeffizienz zu steigern, entstand in dem Projekt „High Tech – Low Ex: Energieeffizienz Berlin Adlershof“ bis 2013 ein innovatives Energiekonzept. Dieses sieht innerhalb des Zeitraums von 2020 bis 2030 einen um 30 Prozent reduzierten Primärenergieverbrauch vor, im Vergleich zur angenommenen Trendfortschreibung.



Auf diesem Konzept basiert das Vorhaben „Energiesstrategie Berlin Adlershof 2020“, das seit Herbst 2013 die Energieeffizienzmaßnahmen sukzessive in Gebäuden, Prozessen und für die Energieversorgung in die Praxis umsetzt. Hierzu erfolgt ein intensiver Austausch mit anderen Modellquartieren in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Die Stakeholderbeteiligung, die für den Erfolg von Effizienzmaßnahmen grundlegend ist, stellt ein Standort-Energiemanager sicher. Das geschieht in enger Zusammenarbeit mit Partnern aus der Forschung, Wirtschaft und mit Unterstützung der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt. Das BMWi fördert das Projekt mit rund fünf Millionen Euro. An dem Projekt beteiligt sind die WISTA-Management GmbH, die Siemens AG, die Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin sowie die Technische Universität Berlin.

Berlin Adlershof war im Januar 2014 ein Ausrichtungsort des zweiten EnEff:Stadt-Kongresses des BMWi. Dieser richtete sich an Wissenschaftler, Stadtplaner, Architekten, Entscheider aus Kommunen und der Versorgungswirtschaft sowie Energie- und Klimaschutzbeauftragte. Die Tagung mit über 200 Teilnehmern informierte über aktuelle Projekte und Querschnittsanalysen und erörterte weitere zentrale Fragestellungen der Förderinitiative.

Im Oktober 2014 gründete das BMWi das Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren. Dieses soll die Vernetzung und Interaktion der verschiedenen Forschungs- und Technologieebenen sowie der Akteure vorantreiben und unterstreicht den systemischen Ansatz der Energieforschung des BMWi.

THEMA

Solar Decathlon – Solarer Zehnkampf für energieoptimierte Häuser

Der Solar Decathlon ist ein internationaler Energie- und Architektur-Wettbewerb für Hochschulen. Ein internationales Bewerbungsverfahren bestimmt hierfür vorab die besten 20 Beiträge. Diese werden anschließend gebaut und treten erneut in den Wettbewerb miteinander. 2002 startete die erfolgreiche Veranstaltungsreihe in den USA auf Initiative des US-Department of Energy (DOE) und findet seitdem im zweijährlichen Turnus statt.

Seit 2010 gibt es zusätzlich, im Wechsel mit dem amerikanischen Original, alle zwei Jahre ein europäisches Pendant. Gastgeber der ersten beiden europäischen Wettbewerbe war Spanien. 2014 hieß der Austragungsort Versailles und zog rund 80.000 Besucher an. Die deutschen Teilnehmer kamen von der Fachhochschule Frankfurt am Main (Team OnTop), der TU Berlin und der Universität der Künste Berlin (Team Rooftop) sowie der Fachhochschule Erfurt. Das BMWi unterstützte die drei Hochschulteams mit insgesamt rund 960.000 Euro Förderung. Auch in Asien gibt es einen Solar Decathlon. Dieser fand erstmals 2013 in Datong statt, in der chinesischen Provinz Shanxi, 300 Kilometer westlich von Peking.

Wie bei dem olympischen Vorbild des Wettbewerbs, messen sich die studentischen Teilnehmer in einem solaren Zehnkampf (griech. δέκα/déka (zehn) und ἄθλον/áthlon (Heldentat)). Dabei haben die Teilnehmer die Aufgabe,

ein energieoptimiertes Gebäude zu entwerfen, zu bauen und während des Wettbewerbs zu betreiben, das seinen Eigenbedarf komplett über selbst produzierte Solarenergie deckt. In der Regel entstehen sogar so genannte Plusenergiehäuser, die mehr Energie produzieren, als sie verbrauchen. Die Häuser sollten zudem bezahlbar sein. Zusätzlich soll es eine komfortable, gesunde und lebenswerte Umgebung schaffen. Auch die Frage der Nachnutzung ist eines der zehn Kriterien.

Für ihren Beitrag erhalten die Teams bis zu 100 Punkte je Kriterium und können insgesamt bis zu 1.000 Punkte erreichen. Dabei müssen sie auf drei Ebenen überzeugen. Einmal sollten sie demonstrieren, dass in dem Gebäude klassische Haushaltsaufgaben reibungslos durchführbar sind, wie beispielsweise Wäsche waschen. Auf der zweiten Ebene wird die Leistungsfähigkeit des Hauses betrachtet; so sollte die Innenraumtemperatur konstant in der Komfortzone zwischen 21,7 und 24,4 Grad Celsius liegen. Im letzten Schritt beurteilt eine Jury, bestehend aus Experten aus den Bereichen Architektur, Ingenieurwesen und Kommunikation, die nicht messbaren Kriterien, wie Architektur, Nachhaltigkeit oder Städtebau und Öffentlichkeitsarbeit sowie kreative Inspiration.

Der nächste nordamerikanische Solar Decathlon findet vom 8. bis 18. Oktober 2015 in Irvine im US-Bundesstaat Kalifornien statt, der Ort des nächsten Wettbewerbs auf

europäischem Boden steht noch nicht fest. Das BMWi unterstützt die Bemühungen, den Wettbewerb mit europäischer Ausrichtung im Rahmen des SET-Plans nach dem Berliner Modell weiterzuentwickeln. In der „Declaration of Versailles“ haben sich die Teilnehmer 2014 für eine Trägerschaft der Europäischen Kommission ausgesprochen.

Die 20 besten eingereichten Beiträge des internationalen Energie und Architektur Wettbewerbs werden gebaut und treten erneut gegeneinander an



Auswahl geförderter Projekte

Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasser-Installation

Einwandfreies und sauberes Trinkwasser ist ein wertvolles Gut. Die Vereinten Nationen erkennen den Zugang dazu als Menschenrecht an. Doch eine Verseuchung mit Erregern zu verhindern ist in Privat- und Gewerbegebäuden kein Selbstläufer. Dieser Problematik widmet sich seit April 2014 das Forschungsprojekt **EE+HYG@TWI** der TU Dresden, dem IWW Rheinisch-Westfälischen Institut für Wasserforschung, der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. sowie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Das Vorhaben vereint erstmals fachübergreifend Wissenschaftler aus der Energie- und Anlagentechnik mit Experten der Trinkwasserhygiene.

Ziel des Verbundprojekts ist die ganzheitliche und systemische Analyse von Trinkwasser-Installationen für künftige LowEx-Wärmeversorgungskonzepte von Wohn- und Nichtwohngebäuden. Unter der Berücksichtigung thermohydraulischer Aspekte wollen die Wissenschaftler dabei Energieeinsparpotenziale und Integrationsmöglichkeiten für erneuerbare Energiequellen identifizieren und untersuchen. Stets parallel werden die Wirkungen auf die Trinkwasserhygiene hinsichtlich Legionellen und *Pseudomonas aeruginosa* quantifiziert. Dabei möchten die Forscher eruieren, unter welchen thermischen und hydraulischen Voraussetzungen eine Trinkwassererwärmung bis 55 Grad Celsius ausreichend ist, um eine hygienisch einwandfreie Qualität zu gewährleisten. Aktuell erfordern die Vorschriften zur Trinkwasserhygiene noch mindestens 60 Grad Celsius. Trinkwasserhygienische Wirkungen auf das kalte Trinkwasser sind dabei nicht zu unterschätzen.

Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 2,1 Millionen Euro. Insgesamt umfasst das Projekt einen Kostenrahmen von 2,6 Millionen Euro.



Versuchsanlage der Technischen Universität Dresden, Professur für Gebäudetechnik und Wärmeversorgung

Energy Efficiency Center (EEC)

In nur 2,5 Jahren Bauzeit entstand auf der Konversionsfläche einer ehemaligen US-Kaserne in Würzburg mit dem **Energy Efficiency Center (EEC)** des ZAE Bayern ein innovatives Forschungs- und Demonstrationszentrum für eine Vielzahl von Energieeffizienztechnologien. Das Besondere: Es handelt sich nicht nur um eine schlichte räumliche Erweiterung, sondern im und am Gebäude selbst lassen sich neuartige Lösungen für den Gebäudebereich unter wissenschaftlichen Aspekten erproben. Beim Bau kamen innovative und energieeffiziente Materialien und Systeme zum Einsatz.

Das ZAE Bayern setzte für eine hohe Primärenergieausbeute auf die Symbiose von innovativen Gebäudeelementen und intelligenter Leittechnik. Durch eine feine Abstimmung effizienter Lösungen für Gebäudehülle und Tragwerk sowie den Einsatz moderner ITK-Technologien gelangen positive Effekte bei der Energieeinsparung, Nachhaltigkeit und Behaglichkeit. Dies zeigt das textile Dach. Dort lassen neuartige Membranfolien mit speziellen Deckenelementen Tageslicht in das Gebäude und schaffen zugleich eine regulierbare Zwischenklimazone.

Mit dem Neubau will das ZAE Bayern neue Technologien praktisch demonstrieren und in der Anwendung weiter erforschen und anpassen. So kommen im EEC Lösungen wie Aerogele, Vakuumisolation, spezielle Fensterrahmen, Phasen-Wechsel-Materialien, neuartige low-e-Textilien, Strahlungskühlung, unterschiedliche Beleuchtungskonzepte und Sorptionskühlsysteme zum Einsatz. In einem Monitoringprojekt untersucht und optimiert das ZAE Bayern seit dem Frühjahr 2014 die eingesetzten Systeme und das Nutzerverhalten, um den Energieverbrauch weiter zu senken.

THEMA

Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren

Urbanen Systemen kommt bei der Energiewende eine besondere Rolle zu, da sie das Effizienzpotenzial für eine erfolgreiche und umfassende Integration erneuerbarer Energien erschließen. Dies gelingt, wenn innovative Technologien und Konzepte entwickelt und rasch in den Markt eingeführt werden. Um diesen Prozess effizient zu gestalten, um die Transparenz der Forschungsförderung zu erhöhen und den Ergebnistransfer in die Praxis zu beschleunigen, ist eine strategische Vernetzung der Akteure erforderlich. Das BMWi griff den Impuls auf und gründete gemeinsam mit rund 100 Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft am 2. Oktober 2014 das Forschungsnetzwerk „Energie in Gebäuden und Quartieren“. Damit will das BMWi die Innovationskraft in Deutschland im Bereich Gebäude und Quartiere nachhaltig stärken.



Das Netzwerk soll eine wichtige Schnittstellenfunktion zwischen Politik, Forschung und Wirtschaft übernehmen und bei der Entwicklung und Implementierung neuer Lösungen im Bereich urbane Systeme, Energieeffizienz, solares Bauen und Wärme Synergien schaffen. Ein wichtiger Meilenstein ist die Vorbereitung einer ressortübergreifenden Förderinitiative „Solares Bauen/ Energieeffiziente Stadt“. Diese soll Anfang 2016 veröffentlicht werden. Die offene Einladung an die Akteure, sich aktiv einzubringen und Impulse und Empfehlungen für effiziente Förderstrategien an die Politik zurückzuspielen, unterstreicht den Anspruch, praxisnahe und zukunftsgerichtete Leitlinien zu gestalten und im Dialog weiterzuentwickeln.

Das Forschungsnetzwerk bündelt verschiedene Förderbereiche der Energieforschung im BMWi, dies umfasst die Förderinitiativen Energieoptimiertes Bauen (EnOB), Energieeffiziente Stadt (EnEff:Stadt), Energieeffiziente Wärmeversorgung (EnEff:Wärme) und Niedertemperatur-Solarthermie.

Das Netzwerk verknüpft in den Schwerpunkten Quartier, Gebäude und Energie unterschiedliche Interessen, Potenziale und Zielstellungen. Die Ergebnisse der Ener-

gieforschung sollen so auf kurzem Wege an die Teilhaber der Energiewende transferiert werden. Dadurch sollen entlang innovativer technologischer Konzepte auch langfristige Planungen möglich werden. Damit plant das Ministerium, strategische Planungsprozesse mit Forschung, Entwicklung und Innovation im Rahmen des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung zu verbinden und die Rolle der Energieforschung als strategisches Instrument zur Umsetzung der Energiewende zu stärken.

Strukturell gliedert sich das Netzwerk in verschiedene thematisch abgegrenzte Arbeitsgruppen. Die Koordination der Gruppen und des Zusammenschlusses als solchem organisiert ein Sekretariat. Dieses wird im Auftrag des Ministeriums aus dem Projektträger Jülich heraus geleitet.

Bei der Bündelung und Auswertung der Arbeitsergebnisse wird eine wissenschaftliche Begleitforschung den Projektträger unterstützen. Der Erfahrungsaustausch ist in regelmäßigen jährlichen Netzwerktreffen geplant. Das Jahrestreffen des Netzwerks fand am 25. und 26. März 2015 statt.





Das Energy Efficiency Center in Würzburg

Das öffentlich sichtbare Herzstück des Energy Efficiency Centers ist ein integriertes Informationszentrum, in dessen Lobby eine Dauerausstellung „Energie Bauen“ den Themenkomplex Energie, Nachhaltigkeit und Bautechnologie umfassend beleuchtet und ganzheitlich erfahrbar macht.

Im Oktober 2014 erhielt das ZAE Bayern für das Energy Efficiency Center den Bayerischen Energiepreis.

Qualitätssicherung für Kompressionswärmepumpen-Anlagen

Parallel zu den steigenden Preisen für konventionelle Brennstoffe steigt auch die Beliebtheit elektrisch betriebener Wärmepumpen stetig an. Bei entsprechender Effizienz sind diese eine kostengünstige und umweltfreundliche, CO₂-arme Anwendung. Wärmepumpen entziehen der Umgebung thermische Energie und nutzen diese für das Heizen von Räumen oder die Trinkwassererwärmung.

Hierzu widmeten sich Wissenschaftler des Verbundprojekts **QSWP** der Qualitätssicherung von Kompressionswärmepumpen, um die Effizienz im Betrieb zu steigern. Diesem Ziel näherten sich die beteiligten Partner auf zwei Wegen. Zum einem durch einen groß angelegten Feldtest von Kompressionswärmepumpen-Anlagen. Dabei handelte es sich um Erdreich/Wasser-, Luft/Wasser- und Wasser/Wasser-Anlagen von sieben verschiedenen Wärmepumpenherstellern (Alpha-Innotec, Bosch Thermotechnik, Hauteq, Nibe, Stiebel Eltron, Vaillant und Viessmann). Kernfrage dabei war, wie energieeffizient die Wärmepumpen im realen, langjährigen Betrieb wirklich sind. Die Erkenntnisse aus der Analyse umfangreicher Betriebsdaten dienten auf der zweiten Ebene der Qualitätssicherung der getesteten Pumpen. Auf Basis detaillierter Messdatenauswertungen konnten konkrete Ratschläge für Hersteller, Planer, Instal-

lateure und Betreiber solcher Anlagen formuliert werden. Diese ergänzt die Simulations- und Auslegungssoftware GeoT*SOL, die ebenfalls auf den Testergebnissen basiert. So leistete das Vorhaben einen wertvollen Beitrag für die Qualitätssicherung von Wärmepumpen.

An dem Projekt waren das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und das IT-Unternehmen Valentin Software GmbH beteiligt. Das BMWi förderte das Projekt im Rahmen des Förderprogramms Energieoptimiertes Bauen (EnOB) mit rund 870.000 Euro.

Flüssigkeitsdurchströmte Elemente aus Ultrahochleistungsbeton für Fassaden und Gebäudehüllen

Die Integration von Solarthermie in Fassaden oder Gebäudehüllen kann einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten. Daran ansetzend, entwickelten Wissenschaftler des Forschungsprojekts **TABSOLAR** Herstellungsverfahren für multifunktionale Niedertemperatur-Fassadenteile, wie Wände, Decken und Böden, für Neu- und Bestandsbauten. Der Fokus lag auf Solarabsorbern und anderen thermisch aktiven Bauteilen aus Ultrahochleistungsbeton (Ultra High Performance Concrete, UHPC). Daraus lassen sich filigrane, materialeffiziente und dennoch hochfeste Teile bilden.

Im Fokus stand die Entwicklung von durchströmbaren, thermisch aktiven Bauteilen. Dabei wurde eine 3-D-Kanalstruktur in UHPC-Bauteilen realisiert. Die effiziente Durchströmung der Kanäle gewährleistet die vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE patentierte **FracTherm®**-Struktur. Zur Herstellung wurden zwei neuartige Verfahren eingesetzt: das **WOVENIT**-Verfahren, eine Kombination aus dreidimensionalem Weben, Wirken und Stricken. Die dadurch gewonnenen Textilien werden

HIGHLIGHT

Ideenwettbewerb „Schule 2030 – Lernen mit Energie“

Das BMWi vergibt im Rahmen seiner Energieforschung den Preis „Architektur mit Energie“. 2014 lobte das Ministerium die Auszeichnung als Ideenwettbewerb „Schule 2030 – Lernen mit Energie“ aus und prämierte damit vorbildhafte Neubau- und Sanierungsprojekte. Damit betonte das BMWi die hohe Relevanz von Schulen als Multiplikator für gesellschaftliche Neuerungen. Das Ministerium fördert zukunftsorientierte Gebäudekonzepte im Rahmen des EnOB-Forschungsakzents Energieeffiziente Schule.

Alle Konzepte kennzeichneten neue Maßstäbe für den Lebensraum Schule und deren Energieverbrauch. Der Wettbewerb richtete sich an Architekten, Fachplaner, Schulträger und Arbeitsgemeinschaften. Die Gewinner erhielten insgesamt ein Preisgeld von 100.000 Euro und eine von Bundeswirtschaftsminister Gabriel unterzeichnete Urkunde. Die Verleihung fand am 20. Mai 2014 im Rahmen der Berliner Energietage statt. Die hochkarätig besetzte Jury bildeten Prof. Peter Hübner von Hübner Forster Hübner Remes Freie Architekten, Prof. Andreas Wagner des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Hans Erhorn vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Roman Alexander Jakobiak von daylighting.de sowie die Architektin Doris Laase vom Projektträger Jülich.

Die Fachjury kürte sieben Sieger in den Kategorien „Gesamtkonzept Sanierung“, „Gesamtkonzept Neubau“ sowie in den Sonderpreis-Kategorien „Innovative Wärmeschutzkonzepte“, „Innovative Energieversorgung“, „Innovative Lüftungskonzepte“, „Innovative Beleuchtungskonzepte“ und „Innovative partizipative Planung“. Eine Arbeit erhielt eine lobende Erwähnung. Im Bereich Sanierung lag der kalkulierte Primärenergiebedarf aller prämierten Projekte nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) bei durchschnittlich 65 kWh/m²a und damit sogar noch unter dem von Neubauprojekten.

Der Sieger in der Rubrik „Gesamtkonzept Sanierung“ war der Zweckverband Lohr für die Sanierung des Schul- und Sportzentrums nach Plusenergie-Standards und die Verbesserung des Lernumfelds. Zudem erhielt der Verband einen Sonderpreis für das innovative neue Lüftungskonzept. Die Schule möchte den benötigten Strom und die Wärme künftig weitestgehend selbst auf dem Gelände produzieren. Für die außenliegenden Klassenräume setzten die Planer auf dezentrale Lüftungsgeräte mit hoher Wärmerückgewinnung. So lässt sich die Luftmenge individuell nach Nutzung und Schülermenge regulieren.



Die Stadt Ostfildern erhielt einen Preis für das Neubau-Konzept für eine CO₂-neutrale Grundschule und einen Sonderpreis für deren innovative Energieversorgung. Das Besondere dabei ist der geplante Energieverbund mit benachbarten Gebäuden, wie dem Rathaus, dem Bürgerhaus und der Sporthalle. Diese sollen energetisch an die Strom- und Wärmeversorgung der Schule angeschlossen werden. Das Beleuchtungskonzept sieht zudem eine möglichst hohe Tageslichtnutzung vor, daher kommen für die Verschattung Raffstores aus Aluminium-Flachlamellen mit Lichtlenkfunktion zum Einsatz.

Die Preisträger des Ideenwettbewerbs Schule

Platte aus UHPC mit spektral-selektiver Beschichtung



gefügt werden. Entscheidend für den Erfolg war letztlich auch die Anpassung der UHPC-Rezeptur. Als weiterer Projektschwerpunkt erfolgte die Systemauslegung und -simulation.

Schlussendlich entstand eine Basistechnologie für das Herstellen von Solarabsorbern für Flächenheiz- oder -kühlelemente. Diese weisen sowohl mechanische Komponenten auf, wie tragende Wände, als auch mit Fluid durchströmte, thermisch aktive sowie durch Wärmedämmung thermisch passive Funktionalitäten.

UG, Betonfertigteile Spürgin GmbH & Co. KG, Visiotex GmbH, Zehnder GmbH und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

**EnOB Projekt FensterCheck:
Messgerät zur Bestimmung
der thermischen Qualität der
Verglasung**



Mobiles Messgerät bewertet Ug-Wert von Fenstern

Bisher galt: Beim Wärmedurchgangskoeffizienten von Fensterglas (Ug-Wert) muss man sich auf die Herstellerangaben verlassen. Eine exakte Bestimmung des Ug-Werts ist kaum mit vertretbarem Aufwand möglich. Handelt es sich um Bestandsfenster, wäre darüber hinaus der Ausbau des kompletten Fensters notwendig. Das EnOB-Projekt **FensterCheck** setzt hier nun neue Maßstäbe. Aus einem Forschungsverbund aus ZAE Bayern, Kurz + Fischer GmbH, ROTO FRANK Bauelemente GmbH, tremco illbruck GmbH & Co. KG, Walter Stickling GmbH, Energy Glas GmbH und VEKA AG entstand ein Messgerät zur präzisen Bestimmung des Ug-Werts von Verglasungen im eingebauten sowie im isothermen Zustand.

Ausgangspunkt war die Entwicklung und Bereitstellung eines Verfahrens zur energetischen Bewertung von Fenstern in Bestandsgebäuden und zur Bestimmung des Energieeinsparpotenzials der Verglasung bei Sanierungen. Dabei stand insbesondere auch das Alterungsverhalten im Fokus. Mit dem mobilen Messgerät Uglass sind nun Ug-Werte innerhalb weniger Minuten verlässlich abrufbar. Durch die ebenfalls entwickelte Software Uwin wird das Fenster oder auch die komplette Fassade energetisch bewertbar. Hierzu gibt der Nutzer neben dem ermittelten Ug-Wert weitere Parameter ein, wie Rahmenanteil, Einbausituation (Ver-

schattung, Rollläden etc.) und Materialien, solare Wärmegewinne und -verluste. Mit Hilfe des errechneten Ergebnisses (dargestellt in QE in kWh/m²a) kann der Nutzer das Energieeinsparpotenzial durch eine Fenstersanierung abschätzen und ganz konkret das bestehende Fenster mit Alternativen vergleichen. Des Weiteren widmeten sich die Wissenschaftler der Inline-Qualitätssicherung bei der Herstellung. Hierzu kommen Sauerstoffsensoren im Scheibenzwischenraum zum Einsatz.

Zielgruppe für das Uglass sind Energieberater, Gutachter, Fenster- und Fassadenhersteller, Fassadenberater und Architekten. Das BMWi förderte das Projekt mit rund 1,5 Millionen Euro. Ab 2015 ist das Messgerät über die Webseite der NETZSCH-Gerätebau GmbH erhältlich.

Niedertemperatur-Solarthermie

HIGHLIGHT

Solarkollektoren: Schneller altern für höhere Qualität

Für Projektentwickler und Investoren ist es von strategischer Bedeutung, dass Solarkollektoren auch extremen klimatischen Einflüssen langfristig standhalten. Die Qualität der Produkte ist besonders für die Erschließung neuer Märkte durch die deutsche Industrie von großer Bedeutung. Um diese zu unterstützen, entwickeln Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE Tests zur Prüfung von Solarkollektoren und Komponenten unter extremen klimatischen Bedingungen.

Sonnenkollektoren sind die am stärksten belasteten Komponenten in solarthermischen Anlagen. Sie sind sehr hohen Temperaturen und je nach Standort wechselnden, extremen klimatischen Bedingungen ausgesetzt. So bieten zum Beispiel küstennahe und sonnenreiche Gebiete ein großes Potenzial für die Nutzung thermischer Solarenergie, gleichzeitig sind die Anlagen dort besonders hoher UV-Belastung, Feuchtigkeit und salzhaltiger Luft ausgesetzt. Die Folge: Die Solarkollektoren degradieren und altern schneller. Daher arbeitet das Fraunhofer ISE im Projekt **SpeedColl** gemeinsam mit dem Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart sowie namhaften Kollektor- und Komponentenherstellern an der Entwicklung beschleunigter Alterungstests für Solarkollektoren und deren Komponenten.

Die Forscher ermitteln reale Belastungsdaten für Feuchte, UV-Strahlung, Temperatur- und Salzkonzentration. Die Bandbreite reicht von Tests an alpinen, gemäßigten und maritimen Standorten bis hin zu Messungen an ariden und tropischen Standorten. Die Teststände stehen auf der Zugspitze, in Freiburg und Stuttgart, auf Gran Canaria, in der Wüste Negev (Israel) und in Indien. Zusätzlich werden die Sonnenkollektoren und Komponenten beschleunigten Bewitterungsprüfungen im Labor unterzogen. Anhand der ermittelten Daten entwickeln die Forscher validierte Alterungstestverfahren, die Aussagen über die thermische Leistungsfähigkeit während der Lebensdauer der Kollektoren ermöglichen. Die Ergebnisse dienen außerdem als Grundlage für die Normungsarbeit.

Als besonders ergiebig erwiesen sich nach einem Jahr Freibewitterung die Tests auf Gran Canaria. Dort ermittelten die Wissenschaftler des Fraunhofer ISE klimabedingt eine extreme Korrosionsbelastung, die Qualität der getesteten Solarkollektoren blieb jedoch nahezu konstant. Anhand der gemessenen meteorologischen und materialspezifischen Daten lassen sich Prüfverfahren entwickeln, um Solarkollektoren frühzeitig auf ihre Eignung für sonnenreiche Gebiete mit Extremklimaten zu testen. Die Forscher entwickeln spezielle Salzsprüh- und angepasste UV-Tests, welche die Prüflinge quasi im

Zeitraffer den ermittelten Belastungen aussetzen und somit eine beschleunigte Degradation bewirken.

Das BMWi fördert das Vorhaben SpeedColl mit rund 2,7 Millionen Euro. ■

In der Wüste Negev untersuchen Wissenschaftler des Fraunhofer ISE die Alterung von Solarkollektoren und Komponenten unter extremen klimatischen Bedingungen



Energieeffizienz in der Industrie



Energiekosten und Umweltbelastungen reduzieren, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft stärken sowie Wachstum und Beschäftigung sichern – das sind die immer wieder neu auftretenden Herausforderungen für die deutsche Volkswirtschaft. Deshalb schreibt das 6. Energieforschungsprogramm die Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie als Förderschwerpunkt fest. Dieses setzt dabei sowohl auf die stete Weiterentwicklung vorhandener als auch auf die Schaffung neuer, noch nicht am Markt etablierter Techniken.

Marktgesehen in Deutschland und weltweit

In Zukunft wird Energieeffizienz als Maßstab für die internationale Wettbewerbsfähigkeit und die Innovationskraft der Industrie noch wichtiger werden. Deshalb sind Verbesserungen in diesem Bereich eine wirtschafts- und auch energiepolitische Schlüsselfrage für Unternehmen.

Der Sektor Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (IGHD) gehört zwar zu den großen Energieverbrauchern, seine Stellung in der Gesamtenergiebilanz hat sich jedoch in den letzten Jahren deutlich verbessert. Sein Anteil am Endenergieverbrauch ist von 50 Prozent (1990) auf 44 Prozent (2013) zurückgegangen. Diese rückläufige Entwicklung hat verschiedene Ursachen. Neben der Umstrukturierung der Industrie in den neuen Bundesländern ist sie vor allem auf zielgerichtete Forschungsarbeiten im Bereich der

Energieeffizienz sowie deren Implementierung in laufende Produktionsprozesse und -verfahren zurückzuführen. Die vielfältigen technologischen Verbesserungen wurden dabei gleichermaßen von Branchen mit großem Energiebedarf und in der Breite des Sektors erbracht und waren nur durch kontinuierliche Forschung und Entwicklung möglich.

Über eine Verstärkung des Engagements in der Projektförderung zur Energieeffizienz in IGHD (EnEff IGHD) lassen sich die Basis und Verfügbarkeit energieeffizienter Prozesse, Komponenten und Produkte wesentlich verbreitern und die sich abzeichnenden signifikanten Effekte auf den Stromverbrauch und die CO₂-Emissionen über den großen Hebel der weltweiten industriellen Produktion weiter ausbauen.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Im Rahmen der Projektförderung EnEff IGHD wurde ein breites Themenspektrum realisiert. Damit konnten die Ziele des 6. Energieforschungsprogramms konkretisiert werden: die generelle Verbesserung der Energieeffizienz, die Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen und der Innovationsdynamik im Bereich Energieeffizienz, die Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Produkten, Dienstleistungen etc., das Reduzieren unternehmerischer Risiken bei Forschungsvorhaben, die Unterstützung beim Aufbau von firmeneigenen Forschungskapazitäten, Maßnahmen zur Kostensenkung für die deutsche Energieversorgung sowie die Unterstützung von Wirtschaftswachstum und Beschäftigung in Deutschland.

Aus der Vielfalt der geförderten Projekte können nur Beispiele genannt werden: 2014 wurde mit der Inbetriebnahme des Hochtemperatursupraleitungskabels im Rahmen des AmpaCity-Projekts ein erster grundsätzlicher Schritt in Richtung der technischen Realisierung von verlustfreiem Stromtransport durch HTSL-Technik gemacht. Im Rahmen des ENPRO-Verbundes gelang erstmals ein Forschungsgroßprojekt, das zum Thema Energieeffizienz und Prozessbeschleunigung in der chemischen Industrie den Großteil der relevanten industriellen Akteure – wie Bayer, BASF, EVONIK – vereint. Bei dem Projekt „ETA-Fabrik: Energieeffiziente Fertigung der Zukunft“ wurde mit der Grundsteinlegung für das Betriebsgebäude 2014 ein wesentlicher Meilenstein erreicht. Bezogen auf den energieeffizienten Umgang mit Rohstoffen und industriellen Zwischenprodukten konnten im Vorhaben RETURN Fortschritte bei der Reinigung von Titanspänen zum künftigen Recycling der Späne realisiert werden. Mit den Projekten Pegasus I/II und Poseidon wurden und werden weiterhin progressive Energieeffizienz-Gewinne in Antriebsystemen durch Schichtwerkstoffe und Schmierstoffe ermöglicht.

Im Bereich der Nutzung des thermoelektrischen Effektes konnten durch die Projekte HighTEG und ThermoHEUSLER nicht nur industriell relevante Mengen an thermoelektrischen Materialien hergestellt, sondern auch unterschiedliche Anwendungsfelder thermoelektrischer Systeme zur Nutzung industrieller Abwärme von Fahrzeugen, Heizgregaten oder Industrieanlagen entwickelt und untersucht werden. Hier wird dank der gesammelten Ergebnisse durch das Zusammenführen der Informationen aus beiden Ver-

bundprojekten künftig ein noch größerer Technologiesprung möglich. Auf Basis der bisherigen positiven Ergebnisse zu flammlosen Oxidationsprozessen – sogenannte FLOX-Prozesse – mit sehr hohen thermischen Wirkungsgraden soll künftig nahezu ohne Stickoxid-Emissionen der bisherige mittlere Leistungsbereich auch auf kleine Mikro-FLOX- und große Mega-FLOX-Brennersysteme erweiterbar sein.

Diese Projektergebnisse und -ziele stehen exemplarisch für die Vielfalt an Ansatzmöglichkeiten und Fortschritten, die im Themenfeld Energieeffizienz in der Industrie 2014 verfolgt und erarbeitet wurden. Sie werden ergänzt durch Verbundprojekte, wie die Zeolith-Wärmepumpe als Gasadsorptionswärmepumpe oder „Ecoloop“, das auf Recyclo-Gas-Verfahren fokussierte.

Die einzelnen Initiativen wurden flankiert durch die Workshop-Reihe „Forschung für Energieeffizienz in Industrie und GHD“, veranstaltet mit Projektantragstellern, Fachexperten und Vertretern des BMWi, im Jahr 2014 in den Themen Thermoelektrik, ENPRO, Wärmepumpen, Hochdruckprozesstechnik und Tribologie. International wurde das IEA-Engagement in den Executive Committees der Bereiche IEA-HP, IEA-IETS sowie IEA-ECES wahrgenommen.

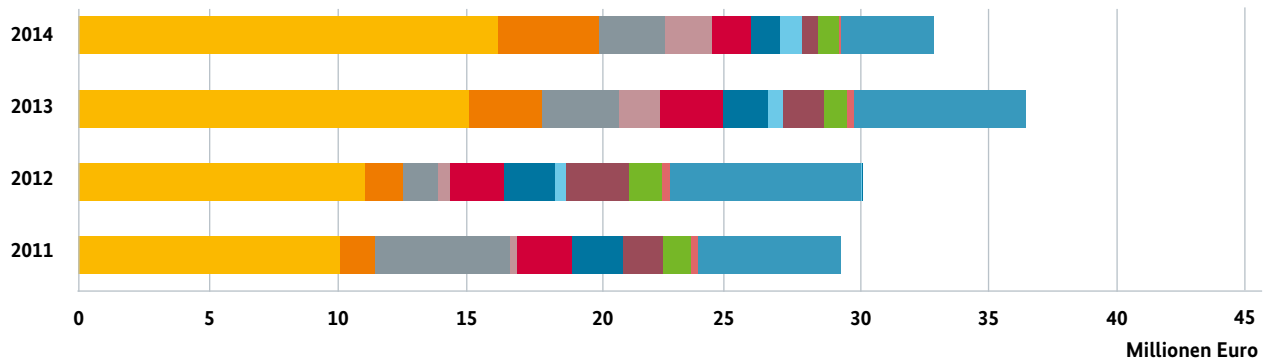
Die Projektförderung durch das BMWi belief sich 2014 auf 32,9 Millionen Euro (2013: 36,4 Millionen Euro) für insgesamt 274 Projekte. 83 Projekte mit einer Förderung von insgesamt 38,6 Millionen Euro (2013: 33,8 Millionen Euro) wurden neu bewilligt.

Strategie der Forschungsförderung

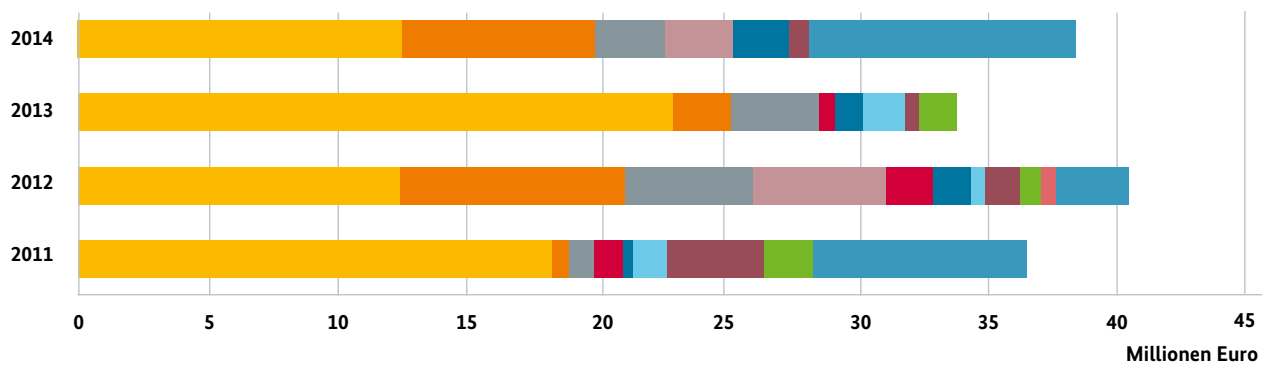
Den Förderbereich kennzeichnet ein breites thematisches und technologisches Förderspektrum, welches zugleich aber deutliche Schwerpunkte aufweist. Die Fördermaßnahmen auf Basis des 6. Energieforschungsprogramms fokussieren auch künftig auf die Schwerpunkte Maschinenbau, Fahrzeugbau, Elektrotechnik, Feinmechanik/Optik/EBM-Waren, Wärmepumpen sowie Kältemittel und Kältetechnik, Industrieöfen und Prozesswärme, Eisen- und Stahlindustrie sowie die chemische Industrie.

Weitere wichtige Themen für die künftige Förderpolitik sind in Abstimmung mit der Grundlagenforschung zu betrachten, wie etwa innovative Entwicklungen in der Thermoprozesstechnik (insbesondere in der NE-Metall-,

Energieeffizienz in der Industrie: Verteilung der Fördermittel zwischen 2011 und 2014



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

Keramik-, Zement- und Glasindustrie), energieeffiziente chemische Prozesstechnik (inkl. der Verarbeitung von Kunststoffen und Gummi), die Optimierung der Reaktortechnik und Prozesschemikalien, Prozesskettenverkürzung, energieeffiziente Fertigungstechnik, verbesserte Prozesstechnik in der Nahrungs- und Genussmittel-, Textil- und Papierindustrie sowie innovative Behandlungstechniken für Reststoffe, Abfall, Wasser oder Emissionen.

Bei der Effizienzsteigerung im Umgang mit elektrischer Energie sind Themen zu nennen, wie hocheffiziente Elektromotoren, elektrische Anlagen- und Industrieroboter-Technik, Optimierung der Wärme- und Kälteerzeugung mit Strom, effiziente elektrische Haushaltsgeräte, kurzfristige elektrische Speicher für spezielle Industrieanwendungen, neue Anlagen-, Generatoren- und Thermoelektrik-Konzepte zur effizienten dezentralen Stromerzeugung kleiner Leistung (bis circa 10 MW), neue Technologien und Anwendungen der Hochtemperatur-Supraleitung.

Branchenübergreifend stehen aktuell und künftig Themen im Fokus wie neue Technologien zur Nutzung von Abwärme, neue Ansätze beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen (zum Beispiel Prozessgas), Innovationen bei der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik zur Optimierung von Prozessen, neue Verfahren der Zerkleinerung, der Agglomeration, des Trennens, Klassierens und Sortierens, Kälte- und Wärmeerzeugung mit Kompression, Adsorption und Absorption, Energie- und Demand-Side-Management-Systeme, Antriebstechnik und mechanische Kraftübertragung, Energieeffizienz durch Materialeffizienz, verstärkte Kopplung numerischer Simulation und Modellbildung und deren praktische Umsetzung.

Langfristig darüber hinaus gehen die Trends und Themen zu EnEff IGHD in Richtung einer verbreiterten Nutzung von Membrantechniken bei industriellen Trennverfahren, miniaturisierte prozessintegrierbare Analysetechniken, eine intensivere energetische und stoffliche Verwertung von Reststoffen, Logistik sowie Hochdruckprozesstechnik und die verbesserte industrielle Fertigung thermoelektrischer Materialien.



Recycle-to-Gas-Anlage aus dem Projekt ecoloop® (siehe Seite 109)

Dabei soll auch künftig die Projektförderung Unternehmen dazu anregen, die gegebenen und wissenschaftlich-technisch denkbaren Effizienzpotenziale eigenständig oder im Verbund mit geeigneten Partnern (KMU, Großunternehmen, Forschungsinstituten und Universitäten) weiterzuentwickeln.

THEMA

Hochtemperatursupraleitung für verlustfreien Stromtransport

Mit jedem Meter, den Strom auf klassischem Weg in einem Kupferkabel zurücklegt, treten aufgrund des elektrischen Widerstandes energetische Verluste auf. Eine Alternative eröffnen hier Supraleiter, da sie gegenüber Kupfer eine höhere Stromdichte haben und so kompaktere Kabel erlauben. Zudem kann durch die bei Supraleitern wegfallende Verlustleistung auf Hochspannung verzichtet werden. So entfallen die dafür notwendigen Umspannstationen zwischen Hoch- und Mittelspannung. Dies bietet insbesondere in Innenstädten Vorteile.

Bei Supraleitern handelt es sich um Leitmaterialien, deren elektrischer Widerstand auf null abfällt, sobald die sogenannte Sprungtemperatur (TC) unterschritten wird. Die TC ist dabei für den jeweiligen Wechsel des Materials vom normalleitenden zum supraleitenden Zustand spezifisch. Um die Leiter auf Betriebstemperatur zu kühlen, kommt flüssiger Stickstoff (N₂) zum Einsatz. Je höher die Sprungtemperatur, desto geringer ist der hier benötigte Kühlaufwand.

Hochtemperatursupraleiter (HTSL) sind aus keramischen Materialien mit Sprungtemperaturen (HTC), die mit rund minus 180 Grad Celsius deutlich höher liegen als bei der klassischen Supraleitungs-Variante mit nur minus 263,15 Grad Celsius. Somit sind HTSL energie- und ressourceneffizienter. Die Herausforderung liegt darin, auf kosteneffiziente Weise aus einem spröden, keramischen Ausgangsstoff supraleitende flexible Kabel industriell herzustellen. Im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms unterstützt das BMWi

Kontinuierliche Herstellung von Supraleiterbändern bei der Deutschen Nanoschicht GmbH

mehrere Projekte in diesem Bereich, die sich mit der Weiterentwicklung der HTSL-Kabel- und -Bänderproduktion sowie von HTS-Generatoren und Induktionsöfen beschäftigen.

Ein wichtiges Forschungsvorhaben hierzu ist AmpaCity als Verbund, bestehend aus der RWE Deutschland AG, der Nexans Deutschland GmbH, der Nexans Super Conductors GmbH und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Im Rahmen des vom BMWi mit 5,9 Millionen Euro geförderten Vorhabens verlegten die Projektpartner das mit 1.000 Metern bisher längste supraleitende Kabel der Welt in der Essener Innenstadt. Dieses überträgt durchschnittlich fünf Mal so viel Strom wie konventionelle Lösungen. Der Testbetrieb läuft seit April 2014 erfolgreich und versorgt rund 10.000 Haushalte. Kompakte Hochleistungskabel, wie im Fall von AmpaCity, machen möglicherweise künftig Hochspannungsleitungen und Umspannanlagen in Ballungsräumen schrittweise verzichtbar.

HTS-Bandleiter der zweiten Generation stellen neben den HTSL-Strombegrenzern künftig eine der wichtigsten Einsatzformen von Hochtemperatursupraleitern (HTS) dar. Dies liegt an den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Drähte in der Industrie und der Energietechnik. Damit der heute noch teure Einsatz auch wirtschaftlich werden kann, widmet sich das Vorhaben SupraTech der Entwicklung eines Verfahrens zur industriellen, weitgehend automatisierten Herstellung von Supraleitungsbändern für energietechnische Anwendungen. An dem Vorhaben beteiligt sind die DEUTSCHE NANOSCHICHT GmbH und die THEVA Dünnschichttechnik GmbH. Das BMWi fördert dieses Projekt mit 8,6 Millionen Euro.



Auswahl geförderter Projekte

Erweiterung von Einsatzgrenzen der FLOX-Technik

Flammlose Oxidationsprozesse, sogenannte **FLOX**-Prozesse, gelten als besonders umweltfreundliche Brennertechnologie für die Industrie. Das Umsetzen des Brennstoffs erfolgt bei FLOX ohne ausgebildete Flamme in einem Reaktionsraum. Dadurch werden die bei der herkömmlichen Verbrennung in einer Flamme auftretenden Hot-Spots vermieden, die ursächlich für die NO_x -Bildung sind. Damit eine flammlose Oxidation stattfinden kann, müssen definierte Verhältnisse von Brennstoff und rezirkuliertem Abgas eingehalten werden. Die Anwendung zeichnet sich durch einen sehr hohen thermischen Wirkungsgrad nahezu ohne Stickoxid-Emissionen (NO_x -Emissionen) aus. Doch noch bietet dieser Bereich viel Entwicklungspotenzial.

Ein vom BMWi mit rund 500.000 Euro geförderter Verbund der WS – Wärmeprozess Technik GmbH und der RWTH Aachen beschäftigt sich nun mit einer größeren Skalierbarkeit des Verfahrens. Hierbei möchten die Wissenschaftler die bisher geltenden mittleren Leistungsgrenzen von circa 20 bis 300 kW erweitern und die Technologie für einen Bereich ab 2 kW (Mikro-FLOX) bis 2 MW (Mega-FLOX) erschließen. Dabei können die geänderten Volumen-Oberflächen-Verhältnisse bisher unbekannte Effekte auslösen. Dies macht tieferegreifende Untersuchung an Brennerprüfständen notwendig.

Als Einsatzgebiete für den kleinen Leistungsbereich eignen sich z. B. kleinere Versuchsanlagen oder Restgasverbrennungsanlagen, für den größeren Leistungsbereich bieten sich Anwendungen im Chemieanlagenbau und für große Erwärmungsöfen an, wie Hubbalken- und Stoßöfen. Die FLOX-Technologie eröffnet die Chance, Prozesse energieeffizienter und umweltfreundlicher zu gestalten. Dazu untersuchen die Wissenschaftler den Einfluss der Brennstoffzusammensetzung, also des Verhältnisses von Brenngas, Sauerstoff und Umgebungsluft sowie der Luftvorwärmung.

Zeolith-Wärmepumpe

Gerade die Bereiche Heizen und Kühlen bieten in Deutschland hohe Energieeffizienzpotenziale. Dies gilt sowohl im privaten wie auch im gewerblichen Kontext. Der Einsatz von Wärmepumpen wirkt dabei positiv für Einsparungen beim Primärenergieverbrauch.

In dem Verbundvorhaben **ADOSO** entwickeln das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, die SorTech AG und Stiebel Eltron hierzu eine Gasadsorptionswärmepumpe für höhere Anwendungstemperaturen (55/45 Grad Celsius) mit einem aufkristallisierten Zeolithwärmeübertrager. Zusätzlich soll ein neuartiger Verdampfer-Kondensator-Apparat entstehen. Dabei erfolgt die Aufkristallisation auf eine dreidimensionale Faserwärmeübertragerstruktur. Diese soll im Projektverlauf, im Hinblick auf den Stoff- und Wärmetransport sowie die Lebensdauer, stetig weiter optimiert werden.

Die Herausforderung für die Wissenschaftler besteht darin, während der Aufkristallisation sicherzustellen, dass auf der kompletten Aluminiumoberfläche der Faserstruktur eine Zeolith-Schicht entsteht. Hierzu widmen sich die Projektpartner insbesondere auch der weiteren Optimierung des Zeoliths durch chemische Veränderungen.

Im Unterschied zu herkömmlichen Lamellenwärmeübertragern ermöglicht dieser Ansatz eine Oberflächenvergrößerung um den Faktor 6 auf eine Oberfläche von mindestens $8.000 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Die Wissenschaftler gehen davon aus, dass auf diese Weise die Leistungsfähigkeit der Adsorptionswärmepumpe deutlich gegenüber bestehenden Lösungen gesteigert werden kann. Dies soll zudem durch eine geringere Schichtdicke und eine dadurch geringere thermische Masse unterstützt werden.

Das Vorhaben läuft noch bis 2017. Das BMWi unterstützt die Forschungen mit 2,6 Millionen Euro.

THEMA

Energieeffizienz in der Thermoelektrik

Mit thermoelektrischen Generatoren lässt sich aus einer Temperaturdifferenz direkt elektrische Energie gewinnen. Dies birgt großes Potenzial, denn noch immer geht bei vielen Industrieprozessen ein hoher Teil der eingesetzten Primärenergie als Abwärme verloren. „Recycelt“ man diese gezielt für die Energiegewinnung, kann ein wertvoller Beitrag zu Energieeffizienz und CO₂-Reduktion entstehen.

Noch ist die Herstellung der Materialien und der Systeme allerdings kostenintensiv und umständlich, da die am weitesten entwickelten Thermoelektrika aus der Raumfahrt- und Militärforschung stammen und bisher nicht für die Massenproduktion ausgelegt sind. Das BMWi unterstützt daher Forschungsprojekte, welche die großtechnische Demonstration der Technologie vorantreiben, Wirkungsgrade der thermoelektrischen Materialien steigern und den ressourcenschonenden Materialeinsatz optimieren.

Das Forschungsprojekt ThermoHEUSLER entwickelte beispielsweise ein neues Herstellungsverfahren für kosteneffiziente thermoelektrische Materialien auf der Basis von Halb-Heusler-Legierungen. Dabei handelt es sich um legierungsartige Verbindungen, überwiegend aus Übergangsmetallen, mit komplizierter Morphologie. In dieser liegt die hohe thermoelektrische Effizienz begründet. Den Wissenschaftlern gelang kürzlich, die für den Bau thermoelektrischer Module notwendigen n- und p-Halbleitertypen mit konventioneller Gießertechnik und pulvermetallurgischen Verfahren im Kilogramm-Maßstab herzustellen. Die Stoffdaten liegen im Bereich der besten Literaturwerte (Stand Anfang 2014). Das BMWi unterstützte das Verbundvorhaben der

Robert Bosch GmbH, des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik IPM, der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, der Universität Augsburg, der Isabellenhütte Heusler GmbH & Co. KG und der Vacuum-schmelze GmbH & Co. KG mit 2,5 Millionen Euro Förderung. Damit gelang ein großer Schritt in Richtung Industriereife.

Nach dem Stand der Technik sind thermoelektrische Module mechanisch nur begrenzt belastbar, unelastisch und werden überwiegend in Handarbeit hergestellt. Dadurch liegen die Produktionskosten aktuell bei mehreren Euro pro Watt. Das Forschungsprojekt HighTEG entwickelte hierzu Voraussetzungen für kosteneffiziente Fertigungsverfahren für die „massentaugliche“ Herstellung thermoelektronischer Generatoren mit innovativen Eigenschaften bezogen auf die mechanische Stabilität, die Freiformbarkeit und damit auf die Einsatzbreite. Der interdisziplinäre Verbund aus neun Partnern erhält 6,6 Millionen Euro Fördermittel durch das BMWi. An dem Projekt beteiligt sind die Evonik Industries AG, die MAHLE Behr GmbH & Co. KG, die CeramTec GmbH, Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Stibel Eltron GmbH & Co. KG, LEONI Bordnetz-Systeme GmbH und das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern). Die Wissenschaftler erarbeiteten ein Verfahren, bei dem thermoelektrische Materialien zum Beispiel in keramische Formkörper und in spezielle Matrizen eingebracht werden. So entstehen großflächige und maschinell herstellbare Module in begrenzt individuell flexiblen Formen.

Ein weiteres Vorhaben im Themenfeld ist das Projekt INTEGA (Industrielle Erprobung von thermoelektrischen Generatoren zur Stromerzeugung aus Abwärme). Hier soll gezeigt werden, dass thermoelektrische Module robust genug herstellbar sind, um den Anforderungen für die rauen Einsatzbedingungen in der Stahlindustrie zu entsprechen. An dem Projekt sind die Salzgitter Flachstahl GmbH, Gentherm GmbH und die VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH beteiligt. Das BMWi fördert das Vorhaben mit 1,1 Millionen Euro.

INTEGA unter rauen Einsatzbedingungen in der Stahlindustrie



Recycle-To-Gas: Pyrolysierbares Material als Energieträger in Kalkwerken

Steigende Energiepreise und die Abfallentsorgung sind zwei wesentliche Kostentreiber vieler Industriebetriebe. Sekundär-Energieträger hingegen, wie beispielsweise Kunststoff in Kalkwerken unter Einbeziehung der dort spezifischen Anlagentechnik, schonen fossile Rohstoffressourcen und machen den Kalkbrennprozess zugleich energieeffizienter. Bisher ließ sich diese Integration allerdings noch nicht wirtschaftlich und technisch wirkungsvoll umsetzen.

Die Fels-Werke GmbH nahm sich gemeinsam mit der TU Clausthal des Themas an und entwickelte mit dem patentierten **ecolooop®-Verfahren** erstmals eine ökologische und ökonomische Lösung zur Erzeugung von Synthesegas aus Reststoffen in einem Kalkwerk. Das BMWi förderte das Vorhaben mit rund 5,3 Millionen Euro.

Abfall- und Reststoffe autotherm zu vergasen statt zu verbrennen, hat den Vorteil, mit hohen Wirkungsgraden Kohlenstoff und Wasserstoff stofflich erneut als Synthesegas nutzen zu können. Damit kann thermische oder nach Verstromung elektrische Energie gewonnen werden.

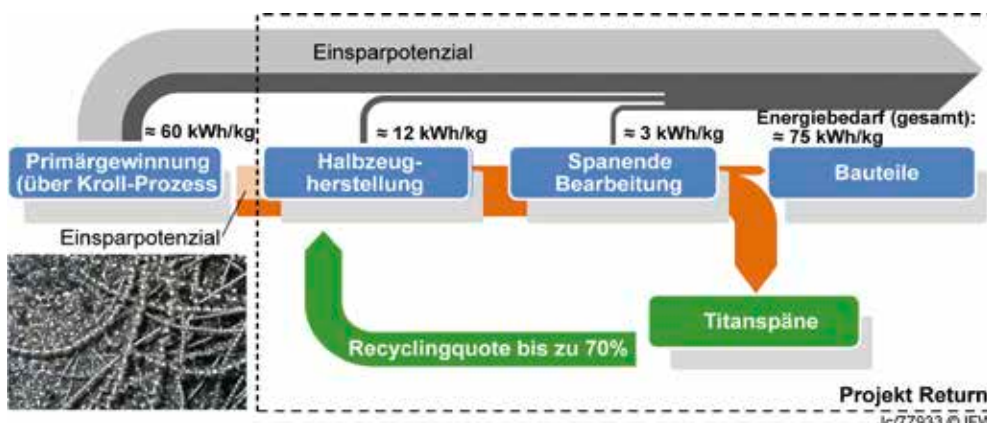
Im ecolooop®-Verfahren wird energieintensiven Prozessen innerhalb eines Kalkwerks ein neuartiger Gegenstromvergaser vorgeschaltet. Dieser wandelt kohlenstoffreiche Materialien mit Grobkalk als Matrix in einem Wanderbettreaktor ohne jegliche mechanische Einbauten in wasserstoffreiches Synthesegas um. Das Verfahren ist besonders umweltfreundlich, da organische und anorganische Verbindungen wie Dioxin oder Chlorwasserstoff im Kalk gebunden und nicht freigesetzt werden. Nach abschließender

Entstaubung steht das gewonnene Gas zur internen oder externen thermischen oder stofflichen Verwertung zur Verfügung. Der ausgeschleuste Grobkalk wird in den Prozess zurückgeführt und schließt so den Stoffkreislauf des ecolooop®. Das Verfahren testeten die Projektpartner bereits umfangreich in einer großtechnischen Pilotanlage.

Energieeffizientes Recycling von Titanspänen

Der Bedarf an Titanbauteilen in der Luftfahrt wuchs in den letzten Jahren stetig an. Charakteristisch für Titan als Rohmaterial ist der hohe Energiebedarf bei der Primärgewinnung. Dieser liegt bei rund 85 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs und des CO₂-Ausstoßes in der Prozesskette. Hinzu kommen in der Verarbeitung typische Zerspanraten von bis zu 95 Prozent. Für das Rohmaterial selbst fällt ein hoher Werkstoffpreis an, zumal für Deutschland eine vollständige Abhängigkeit vom Import besteht.

Ziel des Forschungsverbunds **RETURN** ist es, geschlossene Werkstoffkreisläufe für Titan zu schaffen und so das Recycling von mindestens 70 Prozent der bisher nur schwer oder gar nicht wiederverwertbaren Titanspäne zu ermöglichen. Das Aufbereiten soll die Material- und Energieeffizienz in der gesamten Wertschöpfungskette nachhaltig steigern. Dabei streben die Wissenschaftler eine Reduktion des Energiebedarfs und des CO₂-Ausstoßes um bis zu 55 Prozent an. Zusätzlich erörtern die Projektpartner Lösungen für das Bereitstellen neuer energie- und kosteneffizienter Bearbeitungstechnologien und eine substantielle Minderung des Rohstoff- und Ressourceneinsatzes.



Grafik zum Recyclingprozess von Titanspänen

Zunächst beurteilen die Wissenschaftler die Recyclingeignung von Titanspänen und analysieren den ökologischen Werkstoffkreislauf aus einer ganzheitlichen Perspektive, mit dem Ziel, Verbesserungspotenziale zu generieren. Bei der Analyse berücksichtigen die Forscher auch Wechselwirkungen innerhalb des Kreislaufs. Mit Hilfe neuer Kühlschmierstoffstrategien und angepasster Konzepte für Werkzeugmaschinen wollen die Forscher die Verunreinigung von Titanabfällen minimieren, um so die sortenreine Wiederverwertbarkeit zu gewährleisten. Des Weiteren sollen sich der Werkzeugverschleiß und die Gasaufnahme der Titanspäne durch neue Schneidmaterialien und -geometrien reduzieren. Hinzu kommen neue Methoden zum Reinigen, Kompaktieren und Umschmelzen der Späne sowie zur technischen Untersuchung der Halbzeugqualität.

Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 1,6 Millionen Euro. An dem Verbund sind die Leibniz Universität Hannover, die MAG IAS GmbH, die Deharde-Maschinenbau Helmut Hoffmann GmbH sowie die VDM Metals GmbH und die Walter AG beteiligt.

Energieeffiziente CO₂-Umwandlung durch Mikroreaktoren

Die chemische Industrie bietet ein breites Feld für innovative Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz. Dem Bereich der Umwandlung von CO₂ widmet sich das Projekt „Energieeffiziente Elektrochemie im Mikroreaktor“ (EnEl-Mi) der Invenios Europe GmbH, der Plinke GmbH und der Universität Stuttgart. Das BMWi förderte das Vorhaben mit rund 910.000 Euro.

Die Wissenschaftler wollen mikroverfahrenstechnische Reaktoren und Trennkonzepete für die elektrochemische Reduktion von CO₂ aus Produktionsabgasströmen entwickeln. Aus Kohlendioxid entstehen in dem Prozess Grundstoffchemikalien wie Ameisensäure, Aldehyde oder Alkohole in vorzugsweise kontinuierlicher Reaktionsführung. Das in Abgasströmen enthaltene thermodynamisch wertlose Kohlendioxid lässt sich so zu reinen C1- und C2-Kohlenstoffbausteinen in Form hochwertiger organischer Verbindungen umwandeln. Dies kann den Einsatz weiteren fossilen Kohlenstoffs in der chemischen Produktion reduzieren. Das Besondere dieser Reaktionszellen im Mikroreaktor mit einem Volumen von nur wenigen Millilitern liegt darin, dass die auftretenden Kapillareffekte für eine Stoff-

trennung und den Gastransport genutzt werden können, und spezielle Oberflächeneffekte für die Aktivierung des reaktionsträgen Kohlendioxids sorgen. Dies ist möglich, da sich in dem Mini-Reaktor mikroskopische Effekte nutzen lassen, die nicht, wie in Großreaktoren, von makroskopischen Effekten überlagert werden.

Eine weitere Besonderheit der Reaktionsweise ist der Einsatz von modifizierten Gasdiffusionselektroden. Diese erhöhen die Löslichkeit des CO₂ und bewirken ein Absenken ausbeutereduzierter Widerstände wie Überspannung. Zudem überwinden sie diffusionslimitierende kinetische Effekte.

Ein ambitionierterer Ansatz, da sich diese Mikroverfahrenstechnik bisher nicht für elektrochemische Prozesse und den stofflichen Umsatz größerer Mengen anwenden ließ. Mit Abschluss des Projekts entsteht nun ein technologisches Konzept, das den Bau kleinerer Demonstrationsanlagen möglich macht, um die Eignung im Bypass-Betrieb einer realen Produktion zu belegen.

Energieeffizienz im Maschinenbau durch niedrigere Reibung

Reibung ist ein steter Effekt maschinenbaulicher Komponenten, die sich relativ zueinander bewegen. Dies bewirkt einen zusätzlichen Energiebedarf und Verschleiß. Der Kraftstoffverbrauch in Kraftfahrzeugen geht zu einem nennenswerten Anteil auf die Überwindung von Reibungseffekten zurück. Da die herkömmlichen Potenziale zur Reibungsreduktion aus technischer Sicht so gut wie ausgeschöpft sind, schlägt die Erforschung der Tribologie neue Wege ein: Diamant-ähnliche Carbonbeschichtungen (Diamond-like Carbon, DLC) für Antriebssysteme mit speziellen Schmierstoffen. So gelingt der Effekt der Superlubricity: drastisch reduzierte Reibwerte im Vergleich zu allen bekannten Varianten. Zugleich verfügt die DLC-Schicht über anti-korrosive Eigenschaften sowie eine sehr hohe Härte und hat damit das Potenzial, den Verschleiß weiter zu reduzieren.

Zwei durch das BMWi geförderte Verbundvorhaben beschäftigen sich aktuell mit dem Thema. Das Projekt Poseidon untersucht die tribokorrosive Wirkung dieser und anderer Schichten wie auch korrosionsfesten Stahlwerkstoffes in entsprechenden Medientumgebungen, etwa Pumpen in der Nahrungsmittel- und chemischen Industrie oder

THEMA

Energieeffizienz und Prozessbeschleunigung für die chemische Industrie

Die chemische Industrie ist besonders ressourcen- und energieintensiv. Daher sind Maßnahmen zu Energieeffizienz, Prozessbeschleunigung und Betriebskostenoptimierungen besonders wirksam. Dazu forschen in der ENPRO-Initiative vier Verbünde und ein Einzelprojekt. Das BMWi fördert dies mit rund 7 Millionen Euro.

ENPRO steht für Energieeffizienz und Prozessbeschleunigung für die chemische Industrie. Ziel ist, neue Produkte schneller, energie- und ressourceneffizienter vom Labor in den Produktionsmaßstab zu bringen. Alle Schritte des chemischen Produktionsprozesses (von der Reaktion bis zur Produktaufarbeitung) müssen dabei kontinuierlich als Module austausch- und erweiterbar sowie untereinander datenverträglich vernetzbar sein. So soll eine Produktion energieeffizient und höchst flexibel für eventuelle Anpassungen der Produktionsmengen gestaltbar sein.

Der Verbund KoPPonA zielt auf neue energieeffiziente, kontinuierliche Herstellprozesse für Spezialpolymere durch innovative Apparatekonzepte, die unkompliziert für die industrielle Produktion aufskalierbar sein sollen. Hierzu entwickeln und testen die Forscher millistrukturierte Reaktoren und Apparate für die Produktentwicklung im Labormaßstab, deren Verhalten künftig auf große Produktionsanlagen direkt übertragbar sein soll. Beteiligt sind BASF SE, die Ehrfeld Mikrotechnik BTS GmbH, die Ruhr-Universität Bochum, die RWTH Aachen und die Universität Stuttgart.

Der Verbund SMekT (Smart Mini-Plant zur Entwicklung effizienter Trennverfahren) der Evonik Industries AG, HiTec Zang GmbH, SONOTEC Ultraschallsensorik

Halle GmbH, dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der TU Dortmund forscht zu Trennverfahren. Diese werden oft nur chargenweise realisiert und sind deutlich ineffizienter als vergleichbare, kontinuierlich arbeitende Produktionsanlagen. Ziel ist ein skalierbares Verfahren, das Feststoffe unterschiedlicher Feuchtegrade in einem kontinuierlichen Kristallisationsprozess aus einem Reaktionssystem entfernt.

Im dritten Verbund entwickeln die Evonik Industries AG, Lewa GmbH, Netzsch GmbH, TU Dortmund, Uni Erlangen, Siemens AG, DBIC GmbH, Benken GmbH, planting GmbH und qonqave GmbH modulare Werkzeuge für die chemische Produktion. Dabei sollen standardisierte Schlüsselkomponenten für prozesstechnische Anlagen entstehen, um eine energie- und ressourceneffizientere Anlagenplanung sicherzustellen. Der Verbund SMekT (Smart Mini-Plant zur Entwicklung effizienter Trennverfahren) der Evonik Industries AG, Ein Verbund aus BASF SE, Evonik Industries AG, Bayer Technology Services GmbH, AixCAPE e. V. und RWTH Aachen widmet sich der Prozessbeschleunigung durch Datenintegration und den Abbau von Informationsbarrieren entlang der Wertschöpfungskette, von der Prozessentwicklung bis zur fertigen Anlage.

DECHEMA e. V. entwickelt mit der Austauschplattform ENPRO-Connect die wissenschaftliche Klammer für die Verbünde. Sie sichert die Vernetzung und den Informationsabgleich in der Initiative und zu weiteren Unternehmen und Forschungseinrichtungen und garantiert den einfachen Ergebnistransfer.



Struktur der ENPRO-Initiative

HIGHLIGHT

ETA-Fabrik: Energieeffiziente Fertigung der Zukunft

Für Unternehmen, die operative Exzellenz als Ziel verfolgen, ist auch die Ressourceneffizienz integraler Bestandteil der Strategie. Denn der effiziente Einsatz von Energie ist ein zunehmend signifikanter Faktor für das Erreichen der Unternehmensziele. Darüber hinaus stellt die Energieeffizienz – nicht zuletzt aufgrund steigender Energiekosten – ein hohes wirtschaftlich erschließbares Einsparpotenzial dar. Da die Ideen zur Optimierung von Einzelprozessen weitgehend erschöpft sind, müssen Entscheidungsträger den Blick nun auf die energetischen Zusammenhänge lenken, um wirkungsvolle Effekte zu erzielen.

Diesem Thema widmet sich ein interdisziplinärer Verbund von 6 geförderten und rund 20 assoziierten Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft, koordiniert durch das Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der TU Darmstadt. Im Rahmen eines Forschungsprojekts entsteht die hocheffiziente „ETA-Fabrik“. ETA steht für Energieeffizienz-, Technologie- und Anwendungszentrum. In dem Vorhaben möchten die Wissenschaftler durch eine übergreifende Betrachtung und Optimierung einer für die Metallbearbeitung repräsentativen Prozesskette in Verbindung mit der technischen Gebäudeausrüstung und dem Fabrikgebäude den Energiebedarf um bis zu 40 Prozent reduzieren.

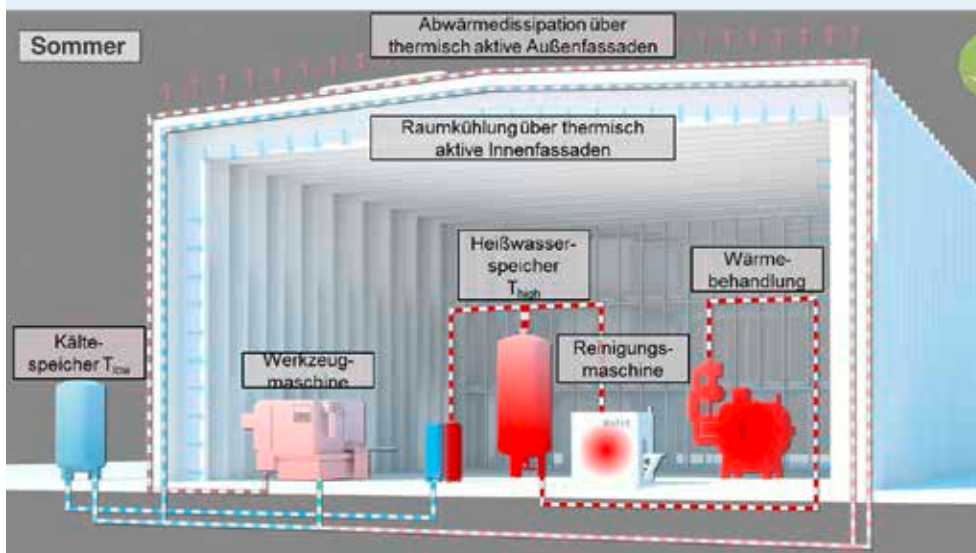
Mit seinem ganzheitlichen Konzept wählt der Verbund einen neuen Grundgedanken, denn bisher gibt es bereits viele Ansätze zu energieeffizienten Fertigungstechniken – allerdings resultierten daraus eher isolierte Einzellösun-

gen. Die ETA-Forschungspartner aus den Bereichen Maschinenbau, Bauingenieurwesen und Architektur betrachten daher in enger Zusammenarbeit mit der Industrie, neben der Verbesserung der Teilprozesse, das Gesamtsystem einer industriellen Fertigungskette im Zusammenspiel mit der technischen Gebäudeausrüstung und dem Gebäude selbst und entwickeln dieses im Hinblick auf die Gesamteffizienz weiter.

Die intelligente und einheitliche Steuerung und Regelung der elektrischen und thermischen Energieflüsse entlang der Fertigungskette und mit der Gebäudehülle stellt neben der Vernetzung der Teilsysteme einen weiteren wesentlichen Arbeitsschwerpunkt dar. Durch die geschickte Steuerung und Vernetzung von Abwärmequellen und -senken sowie durch Optimierungen der Einzelprozessschritte wurden bereits wesentliche Energieeinsparungen aufgezeigt.

Am 12. August 2014 erfolgte die Grundsteinlegung auf dem Gelände der TU Darmstadt und damit ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur energieeffizienten Modell-Fabrik. Die als Referenzprozess dienende Prozesskette der Fertigung eines Hydraulikpumpenbauteils des ETA-Verbundpartners Bosch Rexroth AG soll in der Fabrik nachgebildet und optimiert werden. Im Jahr 2015 wird das Gebäude errichtet und die Modellfertigung aufgebaut. Die offizielle Inbetriebnahme ist für Frühjahr 2016 geplant. Die Demonstratorfabrik soll die Forschungsergebnisse in der Anwendung abbilden und sich als Keimzelle für weitere Technologie- und Effizienzinnovationen etablieren. Die gute Verwertung der Ergebnisse ist

gegeben durch die Verankerung in den wissenschaftlichen Lehrbetrieb am Standort und durch einen engagierten Kreis assoziierter Industriepartner, welche die gewonnenen Erkenntnisse weit über die Grenzen des Projektes hinaus sichern können.

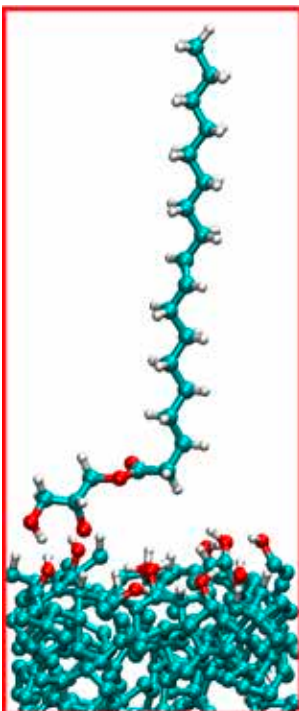


Funktionsmodell der ETA-Fabrik

in Meereswasser. Die dort vorhandene Flüssigkeit dient dabei idealerweise als Schmiermittel (Medienschmierung) und macht so weitere Dichtungskomponenten obsolet, die zusätzlich Reibungsverluste erzeugen würden. Den Verbund koordiniert die Stiftung Institut für Werkstofftechnik (IWT Bremen). Die weiteren Partner sind die Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG, das Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, die Deutsche Edelstahlwerke GmbH, die Ruhr-Universität Bochum und die Energietechnik Essen GmbH.

Das Projekt Pegasus möchte die Superlubricity durch diamantähnliche Kohlenstoffschichten und spezielle Schmierstoffkomponenten für den Automobilbereich nutzbar machen. Um das Prinzip für komplexe, heterogene Systeme mit verschiedensten Reibpaarungen (z. B. im Pkw-Antriebsstrang) serienfähig zu machen, müssen künftige Superlubricity-Schmierstoffe sowohl an die neuen Schichten als auch an klassische Stahloberflächen angepasst sein. Dies erfordert genaueste, grundlegende Kenntnisse aller tribologischen Zusammenhänge im Reibspalt des Tribosystems. Die Übertragung der Technologie in neuartige Beschichtungsanlagen für große Stückzahlen ist im Vorgängerprojekt Pegasus I bereits gelungen. Der aktuelle Verbund erörtert derzeit weitere grundlegende Fragestellungen in dem Folgeprojekt Pegasus II. Der Verbund besteht aus den Partnern BMW AG, Fraunhofer-Institut für Werkstoff-

und Strahltechnik (IWS), Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH, Bosch Rexroth AG, Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG, FUCHS Europe Schmierstoffe GmbH, Bosch Mahle Turbo Systems GmbH & Co. KG und ZF FRIEDRICHSHAFEN AG.



Physisorption eines Glycerinmonooleats auf einer tetrahedralen amorphen Kohlenstoffoberfläche (GMO auf ta-C) im Projekt Pegasus

Kraft-Wärme-Kopplung

Auswahl geförderter Projekte

EnEff:Wärme: ORC-Prozesse mit neuen Turbogeneratoren zur effizienten Verstromung von Abwärme

Mit Hilfe von Organic Rankine Cycle (ORC)-Prozessen kann aus Abwärme grundlastfähiger Strom erzeugt werden. Dabei kommen neuartige Dampfturbinen für organischen Arbeitsmitteldampf zum Einsatz. Ein Forschungsvorhaben des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT entwickelte hierzu drei ORC-Prozess-Ausführungen für Blockheizkraftwerke (BHKW) zwischen 400 und 1500 kW Motorenleistung. Hierzu zählten ein Prozess bis 40 kWel zur Kühlwasserwärmeverstromung sowie zwei Prozesse mit maximal 60 bzw. 120 kWel zur Verstromung von Motoren-Abgaswärme. Alle drei Prozessausführungen wurden in einem anschließenden Vorhaben in einem Feldtest erprobt. Hierfür stellten die Wissenschaftler sieben ORC-Anlagen an sechs Standorten auf und unterzogen die ORC-Module einer Optimierung und einem nachfolgenden Monitoring. Dabei wurden Effizienz, Zuverlässigkeit und Systemkosten kontinuierlich verbessert. Das BMWi förderte die beiden Vorhaben mit insgesamt 3,1 Millionen Euro.

Mit dem Vorhaben gelang es den Wissenschaftlern, Strom aus ungenutzter Abgas- und Kühlwasserwärme von Motoren-BHKWs zu gewinnen, mit positiven Effekten für die Energiebilanz der Anlagen. Der ORC-Prozess zur Abgaswärmeverstromung liefert je nach Verfügbarkeit der Abwärme am Motor bis 12 Prozent zusätzliche elektrische Leistung, der ORC-Prozess zur Kühlwasserwärmenutzung bis zu 5 Prozent zusätzlich, jeweils bezogen auf die ursprüngliche Motorenleistung. Die erwarteten Verstromungswirkungsgrade von 18 Prozent für Abgaswärme und 7 Prozent für Motorwärme konnten bestätigt werden. Damit leistet das Vorhaben perspektivisch einen Beitrag zur Realisierung von dezentralen Motoren- und Dampfturbinen-Kraftwerken mit elektrischen Gesamtwirkungsgraden bis 50 Prozent. Dennoch sind für die Marktreife weitere Forschung sowie pilothafter Einsatz notwendig. Die Feldtests hierzu setzt das Fraunhofer UMSICHT noch bis Frühsommer 2016 in einem Demonstrationsprojekt um. ■

Systemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende



Die Ziele der Bundesregierung, bis 2050 den Primärenergieverbrauch zu halbieren und den Anteil erneuerbarer Energien auf 60 Prozent zu erhöhen, sind weltweit einmalig. Für den damit einhergehenden grundlegenden Umbau des Energiesystems mangelt es folglich an Beispielen und Erfahrungen aus anderen Ländern. Die Systemanalyse kann dazu beitragen, diese Wissenslücke zu schließen. So werden quantitative Modelle entwickelt und eingesetzt, die potenzielle Entwicklungen des Energiesystems simulieren und gesamtwirtschaftlich bewerten. Diese Arbeiten werden durch Untersuchungen zu übergreifenden Fragestellungen, etwa zur Rolle politischer Rahmenbedingungen, ergänzt.

Marktgesehen in Deutschland und weltweit

Die sich bereits jetzt abzeichnende Entwicklung des Energiesystems ist durch eine zunehmende Zahl an Marktteilnehmern und Akteuren geprägt. So wächst der Anteil dezentraler Stromerzeugungsanlagen mit dem Ausbau der Photovoltaik, der Windkraft und Biomasse stetig. Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung sowie zur (dezentralen) Speicherung von Strom und Wärme führen dazu, dass sich Strom- und Wärmemarkt zunehmend verzahnen. Innovative Technologien zur Elektrolyse ermöglichen etwa, dass aus erneuerbarem Überschussstrom über die Wasserstoffherzeugung Methan hergestellt werden kann. Methan ist eine Verbindung, die im Erdgasnetz lange Zeit gespeichert und im Wärmemarkt und im Verkehr eingesetzt werden kann. Darüber hinaus ermöglichen Informations- und

Kommunikationstechniken, dass der Energieverbrauch in Abhängigkeit vom Angebot erneuerbarer Energien gesteuert werden kann. Hinzu kommt das gesamte Spektrum der Energieeffizienz, das in Privathaushalten, mittelständischen Betrieben, im Verkehr, bei Gebäuden oder in der Großindustrie die Umsetzung vielfältiger Maßnahmen erfordert.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

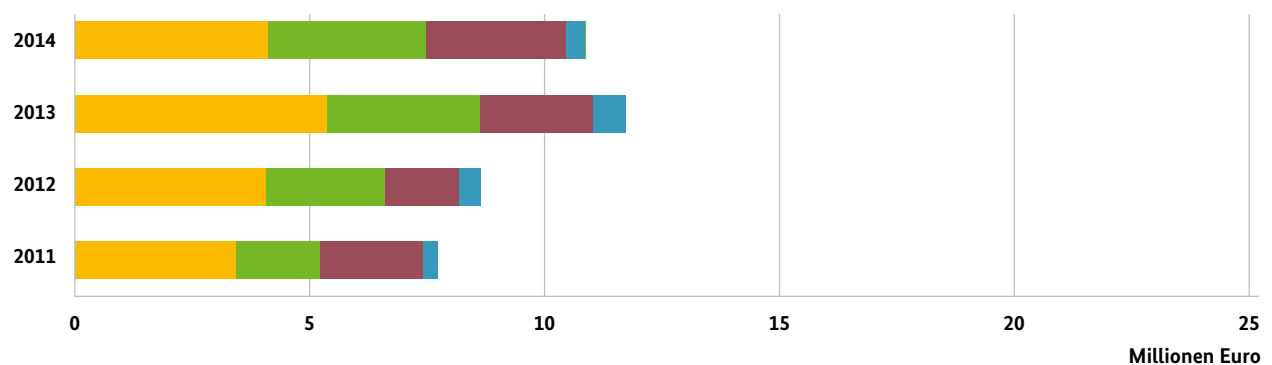
Mit Hilfe der Systemanalyse können die komplexer werdenden energiewirtschaftlichen Verflechtungen modelliert werden, so dass die Auswirkungen energiepolitischer Maßnahmen vorab untersucht werden können. Auch die Abhängigkeit technologischer Entwicklungen sowie das

Zusammenspiel und die Konkurrenz von Techniken können simuliert und im Hinblick auf ihre forschungspolitischen Implikationen bewertet werden. Aber auch die Methodenentwicklung und Werkzeuge der Systemanalyse, also die Modelle, sind Gegenstand der Forschungsförderung. So werden die Modelle fortlaufend an aktuelle energiewirtschaftliche Entwicklungen angepasst sowie um neue mathematische, ökonomische und informationstechnische Methoden erweitert. Auch energiewirtschaftliche und -politische Szenarien, die weit in die Zukunft reichen, können untersucht und bewertet werden. So geht es im Forschungsprojekt **ReWal – Reservemärkte im Wandel** um die zu erwartenden Entwicklungen bei der Strombereitstellung aus fluktuierenden Quellen und den daraus resultierenden

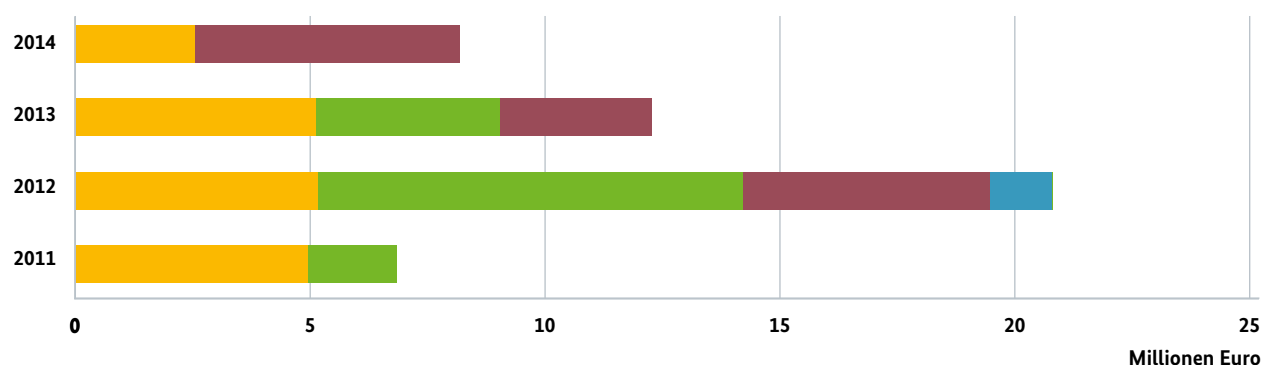
Bedarf an Reservekraftwerken. Darauf aufbauend werden Marktmechanismen untersucht, die eine kostengünstige Bereitstellung dieser Regenergie sicherstellen und die die Politik dabei unterstützen können, zukünftige Rahmenbedingungen zu gestalten.

Die übergreifenden Fragestellungen tragen dazu bei, dass die Energiewende als Ganzes erfolgreich umgesetzt werden kann. Die Ergebnisse schaffen die benötigten Grundlagen für systemanalytische Studien für Entscheidungsträger. So hat eine Studie namens „Roadmap Speicher“ ergeben, dass der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien nicht auf den Ausbau von Speichern warten muss: Noch bis zu einem erneuerbaren Strom-Anteil von 60 Prozent reichen

Systemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende: Verteilung der Fördermittel zwischen 2011 und 2014



Systemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2011



- Querschnittsthemen
- Informationsverarbeitung
- Systemanalyse
- Sonstige

Lastmanagement oder der Austausch von Strom, entweder national oder europaweit aus, um die bei Wind- und Solarenergie schwankende Erzeugung auszugleichen.

Strategie der Forschungsförderung

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie hat im Jahr 2014 einen Konsultationsprozess begonnen, der sich in der Form eines Forschungsnetzwerks Energie Systemanalyse etablieren und dazu beitragen soll, neue Schwerpunkte der Forschungsförderung innerhalb der Systemanalyse zu identifizieren und Kooperationsmöglichkeiten zu schaffen. So sind unter anderem die Vergleichbarkeit und Transparenz von Modellergebnissen, die Erarbeitung einheitlicher Referenzdatensätze und die Integration sozialwissenschaftlicher Forschungsarbeiten in die Modellierung zentrale Themenfelder. Auch Maßnahmen, die wissenschaftliche Qualität durch Sensitivitätsanalysen und Parameterstudien, neue Algorithmen und den Einsatz von Großrechnern zu steigern, sowie Arbeiten dazu, die Modelle in Module zu unterteilen und Schnittstellen zu standardisieren, werden Gegenstand zukünftiger Forschungsarbeiten sein.

Im Jahr 2014 flossen im Bereich der Systemanalyse rund 6,5 Millionen Euro in laufende Förderprojekte (2013: rund 6 Millionen Euro). 7 neue Projekte mit einem Gesamtvolumen von 2,2 Millionen Euro wurden neu bewilligt (2013: 16 Projekte mit 7,1 Millionen Euro). Die „Bekannt-

machung zur Förderung von Untersuchungen zu übergreifenden Fragestellungen im Rahmen der Gesamtstrategie zum weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien“, veröffentlicht am 2. August 2013 durch das BMU und fortgeführt durch das BMWi, legt den Fokus auf geeignete politische, rechtliche, ökonomische, soziale und ökologische Rahmenbedingungen der Energiewende. Hierbei werden alle gesellschaftlichen Kräfte in ihrem Zusammenspiel untersucht. Unter anderem soll die Rolle staatlicher Entscheidungen in einem lernenden System untersucht werden: Wie können Strategien zur Planung und Entscheidungsfindung entwickelt werden, obwohl noch nicht alle langfristigen Parameter genau vorhergesagt werden können? Einen wichtigen Schwerpunkt der Förderbekanntmachung stellen auch sektorübergreifende Betrachtungen dar, bei denen Strom, Wärme und Verkehr in einen Zusammenhang gebracht werden, oder auch das Zusammenspiel zwischen Energieerzeugung und Energieeffizienz. Die Rolle des Marktes sowie die besonderen Herausforderungen im Wärmemarkt sind weitere Untersuchungsaspekte.

Der Mittelabfluss für die laufenden Projekte im Bereich der übergreifenden Fragestellungen und Systemanalyse belief sich im Jahr 2014 auf rund 10,8 Millionen Euro (2013: rund 11,7 Millionen). Zudem wurden 26 Projekte mit einem Gesamtvolumen von 8,2 Millionen Euro im Jahr 2014 neu bewilligt (2013: 12,2 Millionen Euro).

Solaranlagen sind eines der sichtbaren Zeichen für den steigenden Anteil erneuerbarer Energien im deutschen Energieversorgungssystem



THEMA

BINE Informationsdienst: Am Puls der Energieforschung

Der BINE Informationsdienst berichtet seit vielen Jahren über Forschungsprojekte aus der Energieforschung. Im Interview spricht die Abteilungsleiterin, Jutta Perl-Mai, unter anderem über die Veränderungen des Medienkonsums und welche Rolle BINE Informationsdienst dabei übernimmt.

Welche Themen deckt BINE Informationsdienst ab? Welche Produkte bieten Sie in diesem Zusammenhang an?

Perl-Mai: BINE Informationsdienst – Energieforschung für die Praxis – deckt den gesamten Bereich der nicht-nuklearen Energieforschung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie ab, von den erneuerbaren Energien bis zu den Energieeffizienztechnologien. Hierzu bieten wir ein breites Portfolio von elektronischen bis gedruckten Medien an, von der Vorstellung einzelner Forschungsprojekte bis hin zu thematischen Forschungsportalen, die kostenfrei einzeln bezogen oder abonniert werden können. Ergänzt werden diese durch Zusatzinformationen wie Veranstaltungstermine, Adressen von Projektpartnern, weiterführenden Links und Informationen aus dem Forschungsumfeld. Mit unserem Forschungsnewsletter berichten wir ein bis zwei Mal pro Woche über aktuelle Highlights aus der Forschung. So erfahren die Leser unmittelbar von neuen oder geplanten Entwicklungen.

Wer ist die Zielgruppe von BINE Informationsdienst?

Perl-Mai: Berufsgruppen, die sich mit Energieanwendung, -technik, -beratung oder -forschung befassen, sind unsere wichtigste Zielgruppe. Darüber hinaus erhalten auch Aus- und Weiterbildungsinstitutionen sowie die Fachmedien unsere Informationen.

Was unterscheidet BINE Informationsdienst von anderen Fachmedien?

Perl-Mai: Wir setzen den Fokus ausschließlich auf die Energieforschung der Bundesregierung und werden durch das BMWi gefördert. Durch die enge Zusammenarbeit mit dem BMWi und dem Projektträger Jülich vermitteln wir zeitnah und aktuell praxisrelevante Ergebnisse aus der Energieforschung, gründlich recherchiert und zielgruppenspezifisch aufbereitet.



Jutta Perl-Mai,
Redaktionsleiterin
des BINE Informationsdienstes im
Interview

Die Energiewende ist als gesellschaftliches Großprojekt äußerst komplex. Wie sehen Sie die Rolle der Medien und von BINE Informationsdienst in diesem Kontext?

Perl-Mai: Als neutraler Informationspartner der Energieforschung hat sich der BINE Informationsdienst als Partner in einem Netzwerk unterschiedlichster Informationsanbieter zum Thema Energie klar profiliert. Unser Informationsdienst liefert einen Beitrag zum Gelingen der Energiewende durch Informationen aus der Forschung und unterstützt damit diese innovativen Technologien auf dem Weg in den Markt.

Seit dem Start von BINE Informationsdienst hat sich der Medienkonsum der Gesellschaft drastisch gewandelt. Wie stellen Sie sich auf diese Veränderungen ein?

Perl-Mai: Im Laufe der vergangenen Jahre setzten wir zunehmend auf die elektronische Informationsvermittlung. Alle Print-Inforeihen können so auch digital abonniert werden. Der BINE-Newsletter erzielt mit derzeit über 16.000 Abonnenten eine hohe Resonanz. Die Forschungsportale mit den verschiedenen thematischen Schwerpunkten, die seit 2006 kontinuierlich aufgebaut und betrieben werden, erreichen ebenfalls vielversprechende Besucherzahlen. Für Social Media, wie Twitter, Facebook und Google+, entwickeln wir derzeit innovative Strategien, um einer neuen User-Generation unseren Content näherzubringen.

Welche neuen Themen oder Produkte planen Sie in der näheren Zukunft?

Perl-Mai: Neben den bereits bestehenden Forschungsportalen, die kontinuierlich weiterentwickelt und inhaltlich aktuell gehalten werden und den Bedürfnissen der Zielgruppen Rechnung tragen, bringen wir uns derzeit in den Aufbau der Forschungsnetzwerke des BMWi ein und unterstützen diese im Bereich der Forschungskommunikation.

THEMA

EnArgus: Transparenz in der Energieforschung

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

Mit dem vom BMWi geförderten Projekt EnArgus entsteht ein zentrales Informationssystem, welches der Politik, den Projektträgern und der interessierten Öffentlichkeit einen softwaregestützten, einheitlichen und zentralen Zugang zur Energieforschungslandschaft in Deutschland ermöglicht und einen Überblick über sämtliche der circa 22.000 Vorhaben bietet. Zusätzlich informieren rund 2.000 Wiki-Schlagwortartikel über das Spektrum der vom BMWi geförderten Energiethemen. Die Darstellung erfolgt rückwirkend ab Beginn der elektronischen Aktenführung, so dass Vorhaben ab 1976 recherchierbar sind. Ende 2016 soll das System vollständig implementiert sein.

EnArgus ist ein gemeinsames Projekt von Wissenschaftlern aus der Energieforschung und der Informatik. Daran beteiligt sind im IT-Bereich die Fraunhofer-Institute FIT und FKIE sowie das KMU OrbiTeam. Die

Energieexpertise bringen die Fraunhofer-Institute UMSICHT und ISI, der Lehrstuhl Energiesysteme und Energiewirtschaft (LEE) der Ruhr-Universität Bochum, das Institut für Wasserversorgung und Grundwasserschutz, Abwassertechnik, Abfalltechnik, Industrielle Stoffkreisläufe, Raum- und Infrastrukturplanung (IWAR) der Technischen Universität Darmstadt, die Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA Stuttgart, Otto-Graf-Institut, FMPA), das ZEDO Zentrum für Beratungssysteme in der Technik an der Technischen Universität Dortmund, sowie in der ersten Projektphase das Institut für Energie- und Klimaforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung des Forschungszentrum Jülich ein.

Die Softwarelösung EnArgus besteht aus zwei Teilen: einer Webseite für die breite Öffentlichkeit einschließlich der Zuwendungsempfänger des Bundes. Und einem internen, zugangsgeschützten System mit den gesamten fachlichen Informationen zu den geförderten Vorhaben, das den speziellen Bedarf der Ministerien und Projektträger adressiert. In EnArgus werden keine neuen Daten erhoben, sondern bereits vorhandene Informationen aus verschiedenen Quellen zusammengeführt. Hierfür dient das Projektförder-Informationssystem (profi) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Durch das automatische Berücksichtigen technischer Zusammenhänge können Nutzer auch ohne Detailwissen – entsprechend den ihnen zugewiesenen Rechten – zielführend recherchieren.

Nach Abschluss des Vorhabens wird der Projektträger Jülich EnArgus im Auftrag des BMWi betreiben. Die gespeicherten fachlichen Inhalte unterliegen dabei strengsten Datenschutzrichtlinien.

Weitere Informationen finden sich auf der Webseite: <https://enargus.fit.fraunhofer.de/>



Screenshot von EnArgus

Auswahl geförderter Projekte

Dezentrale Strom- und Wärmenutzung optimieren

Durch den Ausbau der fluktuierenden erneuerbaren Energien wird es in Zukunft immer öfter Situationen geben, in denen mehr Strom aus Wind und Photovoltaik zur Verfügung steht, als zu diesem Zeitpunkt benötigt. Damit dieser Strom so wirtschaftlich und nachhaltig wie möglich genutzt wird, kann es sinnvoll sein, ihn mit der Wärme- und Kälteerzeugung zu koppeln. Die Wärme- und Kälteerzeugung wird also künftig stärker mit dem Stromsektor interagieren, beispielsweise durch den Einsatz elektrischer Wärmepumpen oder intelligenter Klimaanlage.

Ziel des Forschungsvorhabens **PowerFlex-Heat-Cold** ist es, den Wärme- und Kältesektor in die Strommarktmodellierung zu integrieren und die Wechselwirkungen detailliert zu erfassen. Hierfür erweitert das Öko-Institut e. V. sein in vorherigen Projekten entwickeltes Strommarktmodell Power-Flex. Das erweiterte Modell soll Synergien, Wechselwirkungen und Konkurrenzen zwischen den Sektoren aufzeigen. So können die Wissenschaftler untersuchen, wie erneuerbare Energien wirtschaftlich effizient und nachhaltig in den Markt integriert werden können, wie viel Strom aus regenerativen Anlagen in den Sektoren Wärme und Kälte erforderlich ist, um die Klimaschutzziele zu erreichen, und welche preissenkende Wirkung die neuen Flexibilitätsoptionen auf die Strompreise haben können. Das BMWi fördert PowerFlex-Heat-Cold mit rund 350.000 Euro.

Im Projekt **STROWAE** entwickelt und analysiert das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE eine neue Marktrolle zur bestmöglichen Bewirtschaftung und dem optimalen Ausbau von Verteilnetzen. Im Rahmen der Modellierung dieses Decentralized Market Agent wird ein besonderer Fokus auf die Einbindung von Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmespeicher und effizienten Wärmetechnologien gelegt. So wollen die Wissenschaftler neue Möglichkeiten aufzeigen, wie Strom und Wärme auf Verteilnetzebene durch die neue Marktrolle wirtschaftlich optimal gekoppelt werden können und wie diese engere Verzahnung zur Gewährleistung der Stabilität der Stromnetze beitragen kann.

Das Projekt wird vom BMWi mit rund 500.000 Euro gefördert.

Systemanalyse

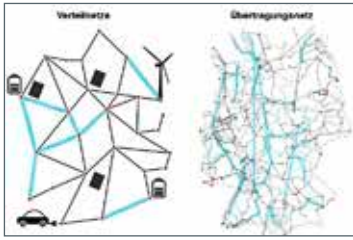
Auswahl geförderter Projekte

Regelenergiemärkte im Wandel

Die Übertragungsnetzbetreiber stabilisieren und erhalten durch den Einsatz von Regelleistung die Stromnetzfrequenz. Diese Leistung wird durch marktbasierende Verfahren an den Regelenergiemärkten bei Erzeugungsanlagen zusammengezogen. Durch den Anstieg erneuerbarer Energien müssen Netzbetreiber nun mehr Leistung vorhalten, die zudem häufiger abgerufen wird. Diese erhöhten Anforderungen erfordern strukturelle Reformen. In einer Analyse zum Energiemarktdesign erforschen das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) und das Institut und der Lehrstuhl für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (IAEW) der RWTH Aachen neue Konzepte für dieses sich wandelnde System.

Das vom BMWi mit 527.000 Euro geförderte Vorhaben bewertet die Wirksamkeit und Effizienz der aktuell eingesetzten Instrumente und die technischen, ökonomischen und regulatorischen Herausforderungen für die Regelenergiemärkte und das Versorgungssystem an sich. Die Wissenschaftler untersuchen zudem mögliche Effekte eines verstärkten Einspeisens erneuerbarer Energien auf die System- und Versorgungssicherheit und die Regelenergiemärkte. Dabei spielen die Ausgestaltung der Regelleistungsprodukte, der zukünftig erforderliche Bedarf, die Interaktion zwischen verschiedenen Märkten und das Auktionsdesign eine wichtige Rolle. Somit wird im Rahmen des Projektes ein mögliches Marktdesign für Regelleistung in Kombination mit den Spotmärkten diskutiert und analysiert.

Zudem führen die Partner mit Hilfe einer Marktmodellierung eine technisch-ökonomische Analyse der Potenziale und Auswirkungen einer europäischen Integration der Regelenergiemärkte sowie der Stromgroßhandelsmärkte aus. Die Grundlage hierfür bilden Erzeugungs- und Kapazitätsdaten sowie sehr umfangreiche Prognosen zur Einspeisung von Windenergie- und PV-Anlagen. Weitere ökonomische Untersuchungen zu strategischem Verhalten und Marktmachtmissbrauchspotenzialen basieren auf Day-Ahead- und Intradaypreisen, den Regelenergievolumina und -preisen, dem Ausgleichsenergieabruf und -preisen und den Regelzonensaldos.



Das Projekt MONA 2030 vergleicht verschiedene Maßnahmen zur Netzentlastung in Verteilnetzen und im Übertragungsnetz

Merit Order Netz-Ausbau 2030

Die positive Entwicklung des Ausbaus erneuerbarer Energien stellt durch ihren dezentralen und volatilen Charakter die Netzinfrastruktur vor große Herausforderungen. Damit reichen die bisherigen Strategien, das Übertragungsnetz an den technischen Wandel durch stete kleinere Ergänzungen anzupassen, nicht mehr aus. Diesem Thema widmet sich die Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE) und untersucht in dem Projekt „Merit Order Netz-Ausbau 2030“ (MONA 2030) unterschiedliche Maßnahmen und Szenarien zur Verringerung des Netzausbaus. Das Vorhaben ist Teil der Förderinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ und startete im Oktober 2014. Das BMWi fördert dies mit 1,5 Millionen Euro über einen Zeitraum von drei Jahren. Unterstützt wird die FfE von einem Beirat mit 16 Partnern aus Energieversorgung, -übertragung und -verteilung sowie der Industrie.

Der Fokus liegt auf der Evaluierung und Gegenüberstellung der bestehenden und auch zukünftigen Optionen für die Netzgestaltung in Deutschland. So entsteht eine Basis für eine zukunftsgerichtete und ganzheitliche Netzplanung. Insbesondere wollen die Wissenschaftler Technologien und Maßnahmen zur Entlastung von Übertragungs- und Verteilnetzen untersuchen, vor allem mit Blick auf das Einspeisen hoher Anteile erneuerbarer Energien. Hierbei nehmen sich die Projektteilnehmer die Merit Order konventioneller Kraftwerke zum Vorbild. Als Merit Order bezeichnet man klassischerweise die Einsatzreihenfolge der Kraftwerke. Diese wird durch die Grenzkosten der Stromerzeugung bestimmt. Beginnend mit den niedrigsten Grenzkosten werden solange Kraftwerke mit höheren Grenzkosten zugeschaltet, bis die Nachfrage gedeckt ist. Im Projekt MONA 2030 wird dieser Begriff auf Maßnahmen zur Netzentlastung übertragen. Dabei wird insbesondere auch die Investitionsentscheidung in solche Maßnahmen betrachtet. Um trotz der vielfältigen Netz- und Versorgungsstrukturen über eine valide Bewertungsgrundlage für die Netzentlastung zu verfügen, möchten die Wissenschaftler Typnetze klassifizieren und regionale Lastgänge ermitteln, welche dann als Ausgangspunkt für ein netzebenenübergreifendes Simulationsmodell dienen.

Energiestrategiefindung

Auswahl geförderter Projekte

Systemanalyse Energiespeicher

Energiespeicher nehmen eine strategisch entscheidende Rolle bei der Energiewende ein. Dabei stellen sich auch zahlreiche übergeordnete, systemische Fragen. Diesen widmet sich der thematische Verbund „Systemanalyse Energiespeicher“ mit fünf Projekten im Rahmen der Förderinitiative Energiespeicher. Das BMWi fördert dies mit Zuwendungen im Umfang von drei Millionen Euro.

In diesem Kontext erarbeitet das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM im Projekt Multi-Grid-Storage (MuGriSto) Analysen zu den Maßnahmen zum Ausgleich einer unflexiblen Stromerzeugung durch eine Verknüpfung der Strom-, Gas- und Wärmeversorgung im Vergleich zu anderen Pufferoptionen. Mit der Merit Order der Energiespeicherung im Jahr 2030 beschäftigt sich die Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE) und untersucht technische Varianten, Einsatzgebiete, -mechanismen und -szenarien für funktionale Stromspeicher. Das Energiewirtschaftliche Institut der Universität zu Köln widmet sich ökonomisch-wissenschaftlichen Untersuchungen der verschiedenen Technologieansätze im Gesamtsystem. Die Universität Duisburg-Essen untersucht stochastische Methoden zur Bewirtschaftung und Bewertung von zentralen und dezentralen Speichern im Kontext des zukünftigen deutschen Energiesystems der Bundesrepublik Deutschland. In seinem Vorhaben zur „Systemanalyse Energiespeicher“ führt das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart aus energiewirtschaftlicher Perspektive eine systemanalytische Bewertung von Energiespeichertechnologien in Deutschland und in Europa zur Unterstützung der Integration erneuerbarer Energien durch. Zudem erfolgt durch die Wissenschaftler des IER eine Weiterentwicklung von Energiesystem- und Strommarktmodellen hinsichtlich der Abbildung von Speicheroptionen.

Die fünf Projekte kooperieren bei der Datenrecherche und -nutzung, verständigen sich auf gemeinsame Szenarien und deren Rahmenbedingungen und stimmen sich regelmäßig ab. ■

Übergreifende Fragen der Energiewende

HIGHLIGHT

Wie viel Speicher brauchen wir in Zukunft?

Mit dem Ausbau von Erzeugungsanlagen auf Basis der fluktuierenden Wind- und Sonnenenergie steigen die Ansprüche an den Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch. Im Forschungsprojekt Roadmap Speicher haben Wissenschaftler den künftigen Bedarf zusätzlicher Stromspeicher unter technisch-ökonomischen Aspekten analysiert und rechtliche Fragen für deren Einsatz untersucht.

Die Studie zeigt, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien (EE) in Deutschland weiterhin zügig umgesetzt werden kann. Denn bis zu einem Ausbaugrad von 60 Prozent könne über Lastmanagement und Stromaustausch auf nationaler und europäischer Ebene ausreichend Flexibilität geboten werden. Bis dahin bleibt laut der Studie Zeit, die benötigten Speichertechnologien zu etablieren. Auch bei EE-Anteilen von bis zu 88 Prozent in Deutschland könne weitgehend auf zusätzliche Stromspeicher verzichtet werden, wenn auf Last- und Erzeugungsseite höhere Flexibilität geschaffen wird. Bei reduzierter Flexibilität in der Erzeugung und gleichzeitig unzureichender Erschließung alternativer Flexibilitätsoptionen identifiziert die Studie jedoch langfristig einen Bedarf für zusätzliche Stromspeicher.

Das Stromversorgungssystem der Zukunft muss vor allem flexibel ausgestaltet sein, so die Studienergebnisse. Diese Flexibilität könne durch Netzausbau, den europäischen Strommarkt sowie durch Lastmanagement, flexible Biogasanlagen, Kraft-Wärme-Kopplung oder

Power-to-Heat bereits zu großen Teilen abgedeckt werden. Auf diese Weise sei die Integration hoher Anteile erneuerbarer Energien in das Stromsystem ohne zusätzliche Stromspeicher möglich, hinge aber insbesondere vom Netzausbau und Lastmanagementmaßnahmen ab.

Die Analyse zeigt außerdem, dass bei einem hohen Anteil von fluktuierendem Wind- und Photovoltaik-Strom zusätzliche Tagesspeicher benötigt werden. Gleichzeitig werden künftig vermehrt Systemdienstleistungen bereitgestellt werden müssen, wozu Stromspeicher einen Beitrag leisten können.

Damit Speicher wirtschaftlich betrieben werden können, müssten ihre Kosten deutlich sinken. Hinzu kämen die hohen Wirkungsgradverluste. Aus ökonomischen und klimapolitischen Gründen raten die Wissenschaftler deshalb dazu, den Strom so weit wie möglich direkt zu nutzen.

Das Projekt hat das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES koordiniert und gemeinsam mit der Rheinisch-Westfälischen Technischen Universität Aachen und der Stiftung Umweltenergierecht durchgeführt.

Roadmap Speicher wurde vom BMWi mit rund 800.000 Euro gefördert.



Im Forschungsprojekt Roadmap Speicher haben Wissenschaftler den künftigen Bedarf zusätzlicher Stromspeicher unter technisch-ökonomischen Aspekten analysiert und rechtliche Fragen für deren Einsatz untersucht

Internationale Zusammenarbeit



Der Klimawandel zeigt deutlich, dass die damit verbundenen globalen Herausforderungen der Begrenzung der Erderwärmung durch kohlenstoffemissionsarme Energietechnologien und die Schonung der fossilen Ressourcen zur Energiegewinnung nur durch eine umfassende Kooperation der Länder gelöst werden können. Dementsprechend ist im Kontext der Energiewende die intensive internationale Zusammenarbeit ein strategischer Pfeiler der Bundesregierung.

Die Zusammenarbeit Deutschlands mit anderen Staaten erfolgt einerseits auf europäischer Ebene im Rahmen der Europäischen Union oder durch ERA-NETs (European Research Area Networks), welche die Kooperation zwischen den nationalen und regionalen Forschungsförderinstitutionen unterstützen. Andererseits ist die Bundesregierung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie auch auf globaler Ebene aktiv, indem sie sich beispielsweise in der Internationalen Energieagentur (IEA) engagiert. Die IEA ist eine weltweit bedeutende Kooperationsplattform zur Erforschung, Entwicklung, Markteinführung und Anwendung von Energietechnologien.

Förderung und Verbreitung CO₂-armer Energietechnologien in der Europäischen Union

Die Europäische Union und ihre Mitgliedstaaten setzen sich auf verschiedenen Ebenen für Klimaschutz und eine ressourcenschonende, zukunftsgerichtete Energiepolitik ein. Ein wesentliches Ziel besteht darin, Maßnahmen auf gesamteuropäischer Ebene zu implementieren, welche helfen sollen, den Anstieg der globalen Erwärmung auf unter zwei Grad Celsius zu beschränken. Darüber hinaus tragen zukunftsfähige Energietechnologien zur Versorgungssicherheit in der Europäischen Union bei und sichern die Wettbewerbsfähigkeit europäischer Unternehmen.

Ein wesentliches Instrument der zukunftsorientierten Energiepolitik der Europäischen Union ist der Europäische Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan). Dieser wurde 2008 ins Leben gerufen und fördert die Entwicklung

und Verbreitung kohlenstoffarmer Technologie unter Beachtung von Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit. Der SET-Plan zielt langfristig darauf ab, kosteneffiziente und emissionsarme Energietechnologien so weit zu entwickeln und in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union zu implementieren, dass die Treibhausgasemissionen in der EU bis zum Jahr 2050 um 80 bis 95 Prozent im Vergleich zum Jahr 1990 sinken. Der Plan umfasst Maßnahmen in den Bereichen Planung, Umsetzung, Ressourcen und internationale Kooperation. Damit folgt der SET-Plan dem „Energiefahrplan 2050“, welchen die EU-Kommission im Dezember 2011 angenommen hat. Mit Hilfe des Strategieplans will die Europäische Union außerdem eine effiziente und zielgerichtete Energieforschung fördern. Auf diese Weise können Doppelungen in der Förderung vermieden, Innovationen beschleunigt und wirtschaftliche Potenziale für den EU-Binnenmarkt besser genutzt werden.

Kurzfristig folgt der SET-Plan den wesentlichen Vorgaben des Energie-Klimapakets, welches im Jahr 2008 als die sogenannten 20-20-20-Ziele von den EU-Staaten vereinbart wurde. Diese sehen zum einen ein Absenken der europaweiten CO₂-Emissionen bis 2020 um mindestens 20 Prozent gegenüber dem Stand von 1990 vor. Zum anderen wurde eine Steigerung der Nutzung erneuerbarer Energiequellen, wie Wind, Sonne und Biomasse, auf ebenfalls mindestens 20 Prozent der Gesamtenergieproduktion verbindlich vereinbart. Zudem soll der Energieverbrauch innerhalb der Europäischen Union um 20 Prozent gegenüber dem prognostizierten Niveau von 2020 durch eine Verbesserung der Energieeffizienz gesenkt werden.

Die Implementierung des SET-Plans fußt auf zwei wesentlichen Instrumenten: einerseits den Europäischen Industrieinitiativen (EII) und andererseits dem Europäischen Energieforschungsbündnis (EERA). Die strategische Planung und langfristige Umsetzung der in den Technology Roadmaps zum SET-Plan genannten Ziele und der Integrated Roadmap (IR) liegen in der Verantwortung der SET-Plan Steering Group.

SET-Plan Steering Group und Integrated Roadmap

Die Lenkungsgruppe setzt sich aus Vertretern der EU-Mitgliedstaaten sowie Norwegen, der Schweiz, und der Türkei unter dem Vorsitz der Europäischen Kommission zusammen. Sie dient einer effizienten Abstimmung und

als Koordinierungsgremium für die Umsetzung des SET-Plans. Zudem entwickelt und unterstützt die Steering Group gemeinsame europäische Maßnahmen, identifiziert Ressourcen zur Finanzierung der geplanten Aktivitäten und überprüft deren Fortschritte. In der Lenkungsgruppe ist Deutschland durch das BMWi vertreten.

Die Arbeiten an der Integrated Roadmap für den SET-Plan, an denen eine Reihe von Experten unter der Leitung der Steering Group beteiligt waren, wurden Ende 2014 abgeschlossen. Im Anschluss daran begann die Europäische Kommission einen Action Plan zu erstellen, der eine Übersicht der SET-Plan-relevanten Aktivitäten der Mitgliedsländer der EU enthält und mögliche thematische Verantwortlichkeiten der Länder und darauf basierende Kooperationsmöglichkeiten widerspiegelt.

SET-Plan Information System (SETIS)

Die Steering Group für den EU-SET-Plan wird durch das Informationssystem SETIS unterstützt. SETIS steht für European Strategic Energy Technology Information System. Dieses verfolgt die Entwicklung von Schlüsseltechnologien im Bereich Energie und ermöglicht das Abwägen verschiedener technologischer Optionen und Prioritäten, überwacht Fortschritte bei der Umsetzung des SET-Plans, schätzt die Folgen für die europäische Energiepolitik ab und kann darauf aufbauend – wenn nötig – Korrekturmaßnahmen anregen. Hierzu erarbeitet SETIS in Zusammenarbeit mit den Europäischen Industrieinitiativen (EII) Key Performance Indicators (KPI) für eine valide Erfolgsmessung. SETIS bietet einen Überblick über die gesamten Aktivitäten im Rahmen des SET-Plans im Hinblick auf die europäische Forschungsförderung, macht auf weitere Entwicklungspotenziale aufmerksam und zeigt mögliche Hindernisse bei der Markteinführung neuer Energietechnologien auf.

Europäische Industrieinitiativen (EII)

Die kurzfristige Umsetzung des SET-Plans auf der Basis themenbezogener Implementation Plans liegt in der Hand Europäischer Industrieinitiativen. Ziel der EIIs ist es, die Arbeiten der Europäischen Gemeinschaft, der Mitgliedsländer der Europäischen Union und der Industrie zusammenzuführen, um gemeinsame Ziele zu erreichen und eine kritische Masse von Aktivitäten und Akteuren zu schaffen.

Dies stärkt Energieforschung und -innovation im Hinblick auf solche Technologien, die für die Europäische Gemeinschaft einen hohen Wertzuwachs erbringen. Die stärkere Beteiligung von Industriepartnern an der Energieforschung und an Demonstrationsprojekten beschleunigt Innovationsprozesse und fördert die Entwicklung CO₂-armer Energietechnologien. Zusätzlich liefern die EII's Vorschläge für Förderaufrufe im Themenbereich Energie im Rahmen des Europäischen Rahmenprogramms für Forschung und Innovation Horizont 2020.

Folgende Europäische Industrieinitiativen sind derzeit aktiv:

- ▶ European Wind Initiative (EWI)
- ▶ Solar European Industrial Initiative (SEII; Photovoltaik und Thermo-Solar)
- ▶ European Industrial Bioenergy Initiative (EIBI)
- ▶ European CO₂-Capture, Transport and Storage Initiative (CCS)
- ▶ European Electricity Grid Initiative (EEGI)
- ▶ European Sustainable Nuclear Initiative (ESNII)
- ▶ Smart Cities (Energy Efficiency – The Smart Cities Initiative)

sowie zwei weitere Initiativen:

- ▶ Fuel Cell and Hydrogen Joint Technology Initiative (FCH JTI)
- ▶ Nuclear Fusion (International + Community Programme – ITER)

Europäisches Energieforschungsbündnis (EERA)

Das Europäische Energieforschungsbündnis (European Energy Research Alliance) fördert die verbesserte Koordination und Zusammenarbeit von Forschungszentren und Universitäten im Rahmen gemeinsamer Forschungsprogramme, sogenannter Joint Programmes (JP). Es wurde von führenden europäischen Forschungsinstituten gegründet und will den Prozess von der Idee bis zur Marktreife neuer Energietechnologien beschleunigen. Durch das Bündnis sollen sich die Forschungsaktivitäten innerhalb der Europäischen Union effizienter und effektiver gestalten, indem Überschneidungen vermieden werden. Durch die Kombination von nationaler und EU-Forschungsförderung sollen Synergie- und Ergänzungseffekte für das Erreichen der SET-Plan-Ziele entstehen. EERA bündelt das Wissen von mehr als 2.700 Wissenschaftlern aus rund 150 Institutionen und Organisationen. Diese arbeiten gemeinsam an derzeit 15 Forschungsprogrammen.

Internationale Forschungsk Kooperationen im Rahmen des SET-Plans

Ein weiteres wesentliches Anliegen des SET-Plans ist die Förderung der internationalen Zusammenarbeit auf der Ebene der Energieforschung. Diese zielt zum einen auf die Vernetzung von Wissenschaftlern vornehmlich in der Europäischen Union ab, dient zum anderen allerdings auch der Förderung der Zusammenarbeit mit Forschungszentren, Universitäten und Unternehmen weltweit einschließlich solcher Einrichtungen in Entwicklungs- und Schwellenländern. Dies soll den Zugang zu CO₂-armen Energietechnologien weltweit stärken und dadurch das Erreichen der Klimaschutzziele unterstützen.



THEMA

Das Berliner Modell der Projektförderung

Im Interview gibt Dr. Georg Menzen, Referatsleiter Energieforschung, Projektförderung im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Auskunft über das Berliner Modell der Projektförderung im Rahmen des Strategieplans für Energietechnologie der Europäischen Union zur Förderung CO₂-armer Energietechnologien.

Herr Dr. Menzen, was verbirgt sich hinter dem Begriff Berliner Modell?

Menzen: Das Berliner Modell dient der effizienten Umsetzung des SET-Plans. Dabei handelt es sich um einen dreistufigen Prozess, mithilfe dessen gemeinsame Projekte zwischen den Mitgliedstaaten identifiziert, koordiniert und umgesetzt werden können.

Was bedeutet das konkret für Antragsteller?

Menzen: Der Antragsprozess für multinationale Vorhaben wird geradliniger. Im ersten Schritt steht die gemeinsame bi- oder multinationale Projektidee. Aus dieser entsteht eine Antragskizze, welche die Partner ihren jeweiligen nationalen Förderinstitutionen vorstellen. Nach einer positiven Skizzenbewertung durch alle beteiligten Förderinstitutionen können die Wissenschaftler in einem zweiten Schritt einen Antrag stellen. Dieser muss alle jeweiligen nationalen Vorgaben berücksichtigen. Die letzte Stufe folgt nach der Entscheidung für den Antrag durch die Projektträger oder die jeweiligen Regierungen. Nun erst bewerben sich die

Verbundpartner auf eine zusätzliche Förderung bei der Europäischen Kommission. Dies soll die Kollaboration und Koordination anregen und zudem die europäische Dimension des Forschungsvorhabens und den Mehrwert für die EU betonen.

Welche Ziele verfolgt die Bundesregierung mit dieser Strategie?

Menzen: Mit dem Berliner Modell möchten wir die multinationale Förderung von Forschungsvorhaben so unbürokratisch und effizient wie möglich gestalten. Dies ist essentiell, da diese Förderung auf europäischer Ebene im Rahmen des SET-Plans stets in enger Zusammenarbeit mit den jeweiligen nationalen Förderprogrammen und -organisationen erfolgt.

Welche Projekte konnten bisher mit dem Berliner Modell umgesetzt werden?

Menzen: Seit 2012 konnten einige Kooperationen erfolgreich auf den Weg gebracht werden. Dazu zählen sechs binationale Verbundprojekte zu Energieeffizienz. Diese resultierten aus einer gemeinsamen Förderbekanntmachung mit Finnland aus dem Jahr 2013. Zudem bestehen Kooperationen in den Forschungsschwerpunkten Energieeffiziente Stadt sowie Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie mit Österreich und der Schweiz. Für die Zukunft planen wir, die Förderung nach dem Berliner Modell weiter auszubauen.





2-achs Sun Tracker
des ZAE Bayern mit ersten
Funktionsmustern

Auswahl geförderter Projekte

Solarthermische Heiz- und Kühlsysteme für Nord- und Zentraleuropa

In einem internationalen Kooperationsprojekt entwickelt das ZAE Bayern gemeinsam mit seinen finnischen Partnern VTT, einem technischen Forschungszentrum, und SavoSolar, einem solarthermischen Kollektorenhersteller, Komponenten und Systeme für ein solarthermisches Heiz- und Kühlsystem. Dieses zielt speziell auf den Einsatz in Nord- und Zentraleuropa. Die Funktionalität und saisonale Energieeffizienz der Lösung demonstrieren die Wissenschaftler im Betrieb einer Pilotanlage im finnischen Mikkeli.

Die Anlage umfasst einen vollflächig durchströmten solarthermischen Flachkollektor aus Aluminium mit transparenter Zusatzisolierung, eine multivariable thermisch angetriebene Sorptionskälteanlage mit Wärmepumpenfunktion auf Basis des natürlichen Kältemittels Wasser und einen verbesserten verlustarmen Wärmespeicher.

Dabei sollen die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit der Komponenten weiter optimiert werden. Zudem möchten die Wissenschaftler den solaren Anteil zur Gebäudeklimatisierung und Brauchwasseraufbereitung im saisonalen

Wechsel steigern und den Stromverbrauch des Gesamtsystems insgesamt minimieren. Parallel untersuchen die Forscher in einem Laborexperiment die Machbarkeit einer integrierten thermischen Nutzung von Biomasse als Antriebsenergie des Sorptionsprozesses.

Basierend auf den Voruntersuchungen sollen Funktionsmuster des Kollektors und der Sorptionskälteanlage entstehen. Anschließend erfolgt die Integration der Muster in die Pilotanlage. Anhand der Simulationenmethode Component Test System Simulation (CTSS) und der Betriebsergebnisse lässt sich das Gesamtpotenzial des Energiesystems abschätzen. Das BMWi fördert den deutschen Forschungsanteil mit 718.418 Euro. Das Vorhaben läuft noch bis Oktober 2016 und ist in eine größere deutsch-finnische Kooperation mit insgesamt vier Projekten im Rahmen des Strategieplans für Energietechnologie (SET-Plan) der Europäischen Union eingebettet. ■

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/erneuerbare_energien

Geschäftsbereich Erneuerbare Energien des Projektträgers Jülich

www.ptj.de/energieeinsparung

Geschäftsbereich Energietechnologien des Projektträgers Jülich

www.forschungsjahrbuch.erneuerbare-energien.de

Datenbank aller vom BMWi geförderten Vorhaben im Bereich Erneuerbare Energien

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.foederkatalog.de

Datenbank des Bundes über die von der Bundesregierung geförderten Projekte

www.forschungsnetzwerk-energie.de

Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren des BMWi

www.forschung-energiespeicher.info

Förderinitiative Energiespeicher von BMWi und BMBF

www.forschung-stromnetze.info

Förderinitiative 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.rave-offshore.de

RAVE-Forschungsinitiative

www.dsttp.org

Deutsche Solarthermie-Technologieplattform

www.bine.info

BINE Informationsdienst zu Energieeffizienz und Erneuerbare Energien

www.horizont2020.de

Rahmenprogramm der EU für Forschung und Innovation

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

www.iea.org

Internationale Energieagentur (IEA)

Statistischer Überblick

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. € in				Anzahl laufende Projekte in			
	2011	2012	2013	2014	2011	2012	2013	2014
Windenergie	44,01	38,42	52,57	53,06	162	209	216	242
Photovoltaik	38,83	51,46	48,73	43,34	204	239	241	260
Solarthermische Kraftwerke	6,06	7,45	8,41	9,25	53	69	70	77
Tiefe Geothermie	11,60	20,82	17,10	15,55	90	113	123	106
Wasserkraft & Meeresenergie	0,49	0,98	1,25	1,21	5	8	9	15
Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien	21,22	23,00	27,82	26,74	183	208	214	233
Brennstoffzellen und Wasserstoff	21,37	18,77	23,80	24,12	92	118	118	112
Speicher	24,77	20,82	39,93	39,78	87	151	216	240
Netze	16,05	13,68	30,46	33,62	85	145	207	285
Energieeffizienz in Gebäuden und Städten	31,14	42,17	52,28	55,19	313	362	398	412
Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und bei Dienstleistungen	29,28	30,01	36,38	32,94	224	255	258	274
Querschnittsthemen und Systemanalyse	7,67	8,60	11,70	10,82	83	86	90	92
Gesamt	252,49	276,16	350,41	345,61	1.581	1.963	2.160	2.348

Förderthema	Neu bewilligte Projekte in Mio. € in				Anzahl neu bewilligte Projekte in			
	2011	2012	2013	2014	2011	2012	2013	2014
Windenergie	81,21	78,31	36,75	38,51	68	75	56	63
Photovoltaik	66,43	65,43	33,99	66,91	90	80	35	90
Solarthermische Kraftwerke	8,89	18,02	8,65	7,44	16	25	14	22
Tiefe Geothermie	21,44	17,43	19,21	12,65	37	29	25	15
Wasserkraft & Meeresenergie	0,23	3,61	0,71	2,02	1	6	2	6
Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien	26,47	30,76	27,82	23,79	44	67	64	55
Brennstoffzellen und Wasserstoff	20,41	32,65	22,85	21,50	36	33	27	28
Speicher	10,97	88,02	49,29	35,39	16	101	71	57
Netze	25,88	46,32	43,04	71,03	25	78	73	152
Energieeffizienz in Gebäuden und Städten	56,74	62,38	49,48	47,19	93	112	88	98
Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und bei Dienstleistungen	36,55	40,56	33,84	38,60	60	71	49	83
Querschnittsthemen und Systemanalyse	6,79	20,79	12,17	8,15	22	30	32	26
Gesamt	362,01	504,28	337,79	373,18	508	707	536	695

