



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Die Energiewende – ein gutes Stück Arbeit

Innovation durch Forschung

*Erneuerbare Energien und Energieeffizienz:
Projekte und Ergebnisse der Forschungsförderung 2016*



Impressum

Herausgeber

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

Redaktion

Projekträger Jülich

Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

Stand

April 2017

Druck

Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG.

Bildnachweis

Forschungszentrum Jülich (Titel), Susie Knoll (S. 5), Thinkstock/markusloew (S. 7), www.siemens.com/presse (S. 11), E.ON (S. 12), Physikalisch-Technische Bundesanstalt (S. 14, 15), E.ON (S. 16), WindForS/2Dmedia (S. 19 oben), DLR (S. 19 Mitte), Adwen (S. 19 unten), CWD RWTH Aachen (S. 20/21), Fraunhofer IWES, Fotograf: Harry Zier (S. 22/23 oben), KIT-IBF (S. 22 unten), FH Aachen (S. 23 oben rechts), DLR (S. 24/25), Fraunhofer IWES (S. 25), Solarstromforschung/Innovationsallianz Photovoltaik (S. 26), Singulus Technologies AG (S. 28), Meyer Burger (S. 30), Fraunhofer ISE (S. 31), Perowskitabsorber: Fraunhofer ISE (S. 32 oben), ISFH 2016 (S. 32 unten), SolarWorld Innovations (S. 34), ZSW (S. 35 oben), Fraunhofer ISE (S. 35 unten), Heitmann (S. 36), schlaich bergemann partner (S. 37), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR (S. 39), SWM/Steffen Leiprecht (S. 40), Trautwein (S. 43), Enex Power Germany GmbH (S. 44), Moeck (S. 45), S. Teitz (S. 46), Max Streicher, EBIMA Entwurfsskizze (S. 47), Thinkstock/halfbinz (S. 48), NEMOS GmbH (S. 49), EWE AG (S. 50), Björn Schwarz (S. 52), Institut dezentrale Energietechnologien (S. 53), www.siemens.com/presse (S. 54), Markus Hederer (S. 57), Institut für Energietechnik/Technische Universität Hamburg (S. 58) Jens Peters/Energiesysteme und Energietechnik/Technische Universität Darmstadt (S. 60 oben), Helmholtz-Zentrum Geesthacht (S. 60 unten), Lehrstuhl für Lasertechnik, RWTH Aachen (S. 61), DLR/Ernsting (S. 62), Forschungszentrum Jülich (S. 64), Annika Zeitler (S. 67 links), Robert Wegener (S. 67 rechts), Greenerity GmbH (S. 68), Mareike Lenzen (S. 70), Mareike Lenzen (S. 73), Damian Gorczany (S. 74), RAG (S. 75), green2store-Projektconsortium (S. 76), KBB Underground Technologies GmbH (S. 78), Babcock Noell GmbH (S. 79), Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik – Heinrich-Hertz-Institut (HHI) – Fiber Optical Sensor Systems (S. 80), Christopher Severin, IAV GmbH (S. 81), Mareike Lenzen (S. 82), OFFIS – Institut für Informatik (S. 85), Armin Kübelbeck/CC-BY-SA/Wikimedia Commons (S. 87 links), Fraunhofer ISE (S. 87 rechts), FIR e.V. an der RWTH Aachen (S. 88, 89),

www.siemens.com/presse (S. 90), OFFIS – Institut für Informatik (S. 91), TU München, Professur für Elektrische Energieversorgungsnetz (S. 92), Thinkstock/i-Stockr (S. 93), FooTToo/iStock/Thinkstock (S. 94), Fraunhofer UMSICHT (S. 96), AGFW (S. 98), Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn/Volker Lannert (S. 101), TU Darmstadt (S. 102/103), Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)/unter Verwendung von Google Earth (S. 102 oben), IWU www.Datanwg.de (S. 104 unten links), Fraunhofer ISE (S. 104/105), Jan Cremers, München (S. 106), PES Linus Lintner Fotografie für RZB 2 (S. 107), Fraunhofer IAP (S. 108), Thinkstock/a-image (S. 110 links), Universität Bremen, Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK) (S. 110, 2. v. links/S. 111 rechts), Austing Mischfutterwerk (S. 111, 2. v. rechts), ZPF (S. 112/113), Annika Zeitler (S. 115), DVGW-Forschungsstelle TUHH (S. 116/117), www.izes.de (S. 117 rechts), Fraunhofer IWU (S. 118), Eisenmann Anlagenbau GmbH & Co. KG (S. 119), ZAE Bayern (S. 120), Vision Electric Super Conductors/Wolfgang Reiser (S. 121), Thinkstock/kasto80 (S. 122), VW-VM Forschungsgesellschaft mbH & Co KG (S. 124), IZES GmbH (S. 125), www.siemens.com/presse (S. 126), Alexander Weber, TU Berlin (S. 130), Projekt BEAM-ME (S. 131), Reiner-Lemoine-Institut gGmbH (S. 132), Fotolia – countrypixel/maunzel/imacoconut (S. 133), Thinkstock/Hankimage9, Ladog-Fahrzeugbau (S. 135), ERA-Net Smart Grids Plus (S. 136), Steca Elektronik GmbH (S. 137)



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 2016*

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	5
Forschung und Entwicklung für die Energiewende.....	6
Windenergie.....	12
Solarenergie.....	26
Tiefe Geothermie.....	40
Wasserkraft und Meeresenergie.....	48
Energetische Biomassenutzung.....	50
Kraftwerkstechnik sowie CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung.....	54
Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien.....	62
Energiespeicher.....	70
Stromnetze und Netzintegration erneuerbarer Energien.....	82
Energieoptimierte Gebäude und Quartiere.....	94
Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen.....	108
Elektromobilität.....	122
Energiesystemanalyse.....	126
Internationale Zusammenarbeit.....	134
Statistischer Überblick.....	138
Verzeichnis der Highlight- und Im-Fokus-Beiträge.....	140
Wichtige Links.....	141

Vorwort

Die Energiewende ist und bleibt eine Erfolgsgeschichte. In dieser Legislaturperiode sind wir beim Umbau hin zu einem zuverlässigen, umweltverträglichen und bezahlbaren Energiesystem in großen Schritten vorangekommen.

Wir haben Ordnung in die Energiewende gebracht und der Energieeffizienz unter dem Schlagwort „Efficiency First“ eine ganz neue Bedeutung gegeben. Mit der EEG-Novelle, dem neuen Strommarktgesetz und dem Klimaschutzplan haben wir die Weichen neu in Richtung Marktwirtschaft und unternehmerisches Handeln gestellt. Damit soll die Energiewende kosteneffizienter werden und so ihre hohe gesellschaftliche Akzeptanz behalten.

Es liegt aber noch eine erhebliche Wegstrecke vor uns. Bei der Nutzung der Erneuerbaren für Wärme und Verkehr werden wir in völlig neuen Dimensionen denken müssen. Dabei sind technologische Innovationen der Schlüssel zum Erfolg. Nur mit mehr Forschung und Entwicklung werden wir die Kosten weiter senken und die Wettbewerbsposition der deutschen Industrie weiter ausbauen können. Dazu trägt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit seinem Energieforschungsprogramm entscheidend bei.

Energieeffiziente Quartiere, neuartige Windenergie- und Photovoltaikkonzepte oder innovative Speichertechnologien sind nur einige Beispiele für unsere strategisch ausgerichtete Projektförderung. Das künftige Energiesystem wird aber auch eine wesentlich höhere Komplexität



aufweisen. Wohnen und Arbeiten, Produktion, Logistik und Mobilität können nicht mehr getrennt voneinander betrachtet werden. Die Grenzen zwischen den Sektoren verschwimmen, und deshalb werden in der Forschung die systemorientierten Ansätze an Bedeutung gewinnen.

Der vorliegende Bericht „Innovation durch Forschung 2016“ zeigt Ihnen die aktuellen Schwerpunkte unserer Energieforschung. Gleichzeitig gibt er Ihnen Anregungen, auf welchen Gebieten Sie Ihre Innovationen mit der Unterstützung des BMWi voranbringen können. Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre und freue mich auf Ihre Forschungsanträge.

Ihre

Brigitte Zypries

Bundesministerin für Wirtschaft und Energie

Forschung und Entwicklung für die Energiewende

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unterstützt die Energiewende durch eine strategische und nachhaltige Forschungsförderung.

Die angewandte nicht-nukleare Energieforschung im Jahr 2016



Die aktivsten Forschungsbereiche*



* Gemessen an den Gesamtkosten der neu gestarteten Projekte



Deutschland hat beim Umbau seines Energiesystems bereits viel erreicht. 2016 konnten rund 30 Prozent des Stromverbrauchs aus Wind, Sonne und anderen regenerativen Energiequellen gedeckt werden. Energieeffizienzmaßnahmen sorgen dafür, dass Gebäude ressourcenschonender geheizt oder gekühlt werden können und Industriebetriebe mit weniger Energieaufwand Güter herstellen. Weitere Investitionen in treibhausgasneutrale Technologien, Produktionsprozesse und Infrastruktur tragen zum Klimaschutz, aber auch zu Wohlstand und Beschäftigung bei. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unterstützt mit seiner anwendungsnah ausgerichteten Forschungsförderung Innovationen im Energiebereich und deren Transfer in den Markt.

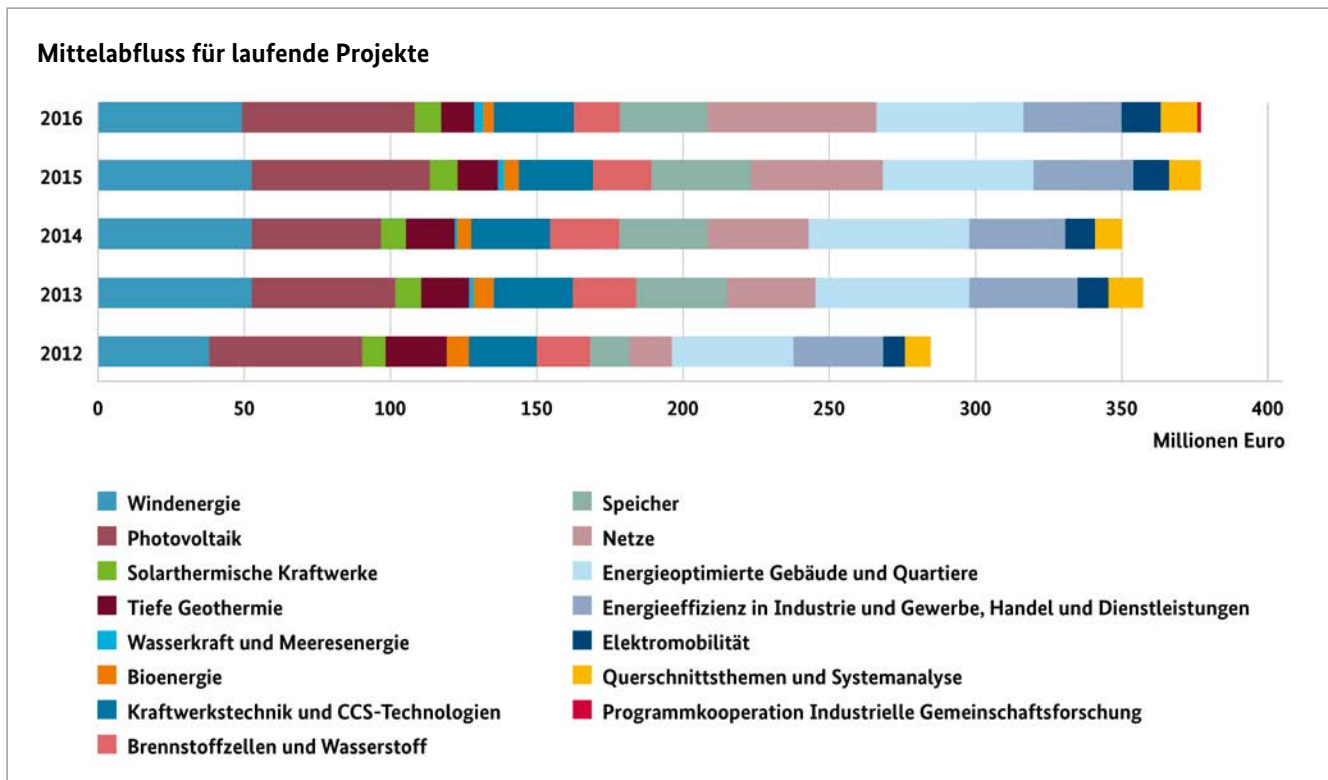
Mit der Energiewende verfolgt Deutschland einen ehrgeizigen Plan zur Umstellung seines Energiesystems auf höchste Effizienz und weitestgehenden Einsatz erneuerbarer Energien. Zusätzlich leistet die Bundesregierung mit dem Umbau des Energiesystems durch den Einsatz neuer Technologien und die Digitalisierung bereits jetzt einen erheblichen Beitrag zur Modernisierung der Wirtschaft, indem Impulse für Investitionen und Innovationen in zukunftsorientierte Branchen gesetzt werden. Mit neuen Technologien wird beispielsweise quer über die klassischen Sektorengrenzen hinweg klimaneutral Strom erzeugt, um damit in Elektroautos mobil zu sein oder energieeffizient zu heizen. Innovationen bei der Energieerzeugung und -speicherung sowie bei Industrieprozessen bis hin zur sinnvollen Verwertung von Kohlendioxid (CCU) helfen zudem, die Klimaziele langfristig kosteneffizient und wirtschaftsverträglich zu erreichen.

Umfassendes Gesetzespaket setzt weitere Impulse im Energiesektor

Mit einem umfangreichen Gesetzespaket hat die Bundesregierung 2016 weitere Weichen für eine umfassende Modernisierung des deutschen Energiesystems gestellt. Drei Energiegesetze sind in diesem Jahr verabschiedet worden: die Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG 2017), das Strommarktgesetz sowie das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende. Diese drei Rechtsnormen

tragen dazu bei, die Energieversorgung planbar, kosteneffizient und nachhaltig umzugestalten. Die Politik hat damit die verschiedenen Bausteine der Energiewende – erneuerbare Energien, Strommarkt, Energieeffizienz, Netze und Digitalisierung – erfolgreich zusammengeführt.

Mit der Reform des Erneuerbare-Energien-Gesetzes sollen die erneuerbaren Energien weiter ausgebaut, ihr Wachstum mit dem Netzausbau synchronisiert und die Förderhöhe marktwirtschaftlich ausgeschrieben werden. 2017 wird daher das bisherige System der festen Fördersätze sukzessive auf wettbewerbliche Ausschreibungen umgestellt werden. Mit dem Gesetz zur Weiterentwicklung des Strommarkts soll dieser fit für wachsende Anteile aus erneuerbaren Energien gemacht werden. Denn Wind und Sonne liefern witterungsbedingt unterschiedliche Mengen Strom. Ein optimierter Markt gewährleistet, dass die Versorgung in Deutschland auch bei einer weiter zunehmenden Quantität an Wind- und Solarstrom kostengünstig und verlässlich bleibt. Hierfür ist eine moderne Infrastruktur unerlässlich. Deshalb wird der Aus- und Umbau der Netze intensiv weiter vorangetrieben. Mit dem Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende wurde zudem das Startsignal für Smart Grids und Smart Homes in Deutschland gegeben. Im Zentrum stehen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sowie intelligente Messsysteme. Sie dienen als Kommunikationsplattform, um das Stromversorgungssystem für die Energiewende tauglich zu machen.



Forschungsaktivitäten zu allen Themenfacetten im Energiebereich

Nur durch technologische Innovationen kann der langfristige Umbau des Energiesystems in Deutschland gelingen. Forschung und Entwicklung auf hohem Niveau und mit hoher Kontinuität sind Voraussetzung für die Entstehung dieser Innovationen. Das BMWi setzt aus diesem Grund mit seiner Forschungsförderung im Energiebereich die entsprechenden Anreize für zielführende Projekte bei Forschungseinrichtungen und Unternehmen. Die Schwerpunkte dieser Maßnahmen sind im 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung definiert und werden in verschiedenen themenspezifischen Förderbekanntmachungen des Ministeriums umgesetzt.

Insgesamt hat sich die Zahl der neu bewilligten Förderprojekte im Vergleich zum Vorjahr nochmals erhöht: von 939 neu bewilligten Projekten im Jahr 2015 mit einer Bewilligungssumme von rund 548 Millionen Euro auf 996 Projekte im Jahr 2016 mit einer Bewilligungssumme von rund 552 Millionen Euro.

Die Windenergie – Stromlieferant Nummer 1 unter den Erneuerbaren

Die Windenergie bleibt auch im Jahr 2016 der wichtigste Stromlieferant unter den erneuerbaren Energieträgern. In Deutschland schreitet der Ausbau sowohl onshore als auch offshore weiter voran. Ein Trend an Land ist das sogenannte

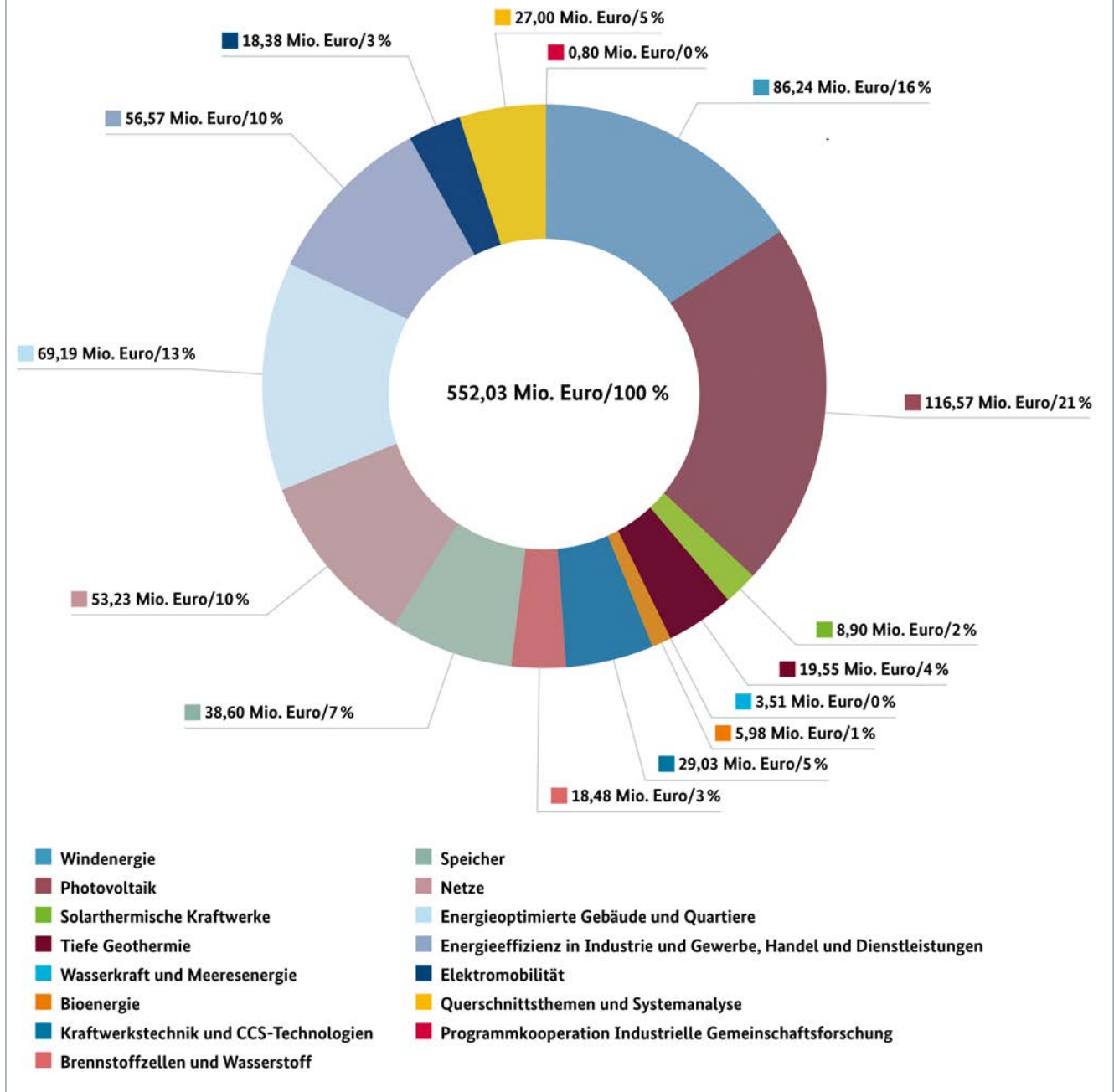
Repowering. Hierbei werden kleinere Windenergieanlagen durch leistungsstärkere Anlagen am gleichen Standort ersetzt.

Die Forschungsförderung des BMWi verfolgt im Bereich der Windenergie weiterhin das Ziel, Ertrag und Zuverlässigkeit zu steigern und gleichzeitig die Kosten zu senken. Zur Erreichung dieser Ziele sind auch in den nächsten Jahren technische Innovationen unerlässlich. Größere und höhere Windenergieanlagen stellen aufgrund ihres hohen Gewichts erhebliche Anforderungen an die mechanische Belastbarkeit. Robuste Materialien und Verbundwerkstoffe sind ebenso wie innovative Baukonzepte sowie an die erhöhten Massen und Kräfte angepasste Triebstränge zu erforschen und zu entwickeln.

Solarbranche freut sich über hohe Exportzahlen

Deutschland ist für die Solarbranche nicht nur als Markt, sondern auch als Forschungs- und Produktionsstandort interessant. Da solarthermische Kraftwerke eine hohe Direkteinstrahlung der Sonne benötigen, ist deren Einsatz in Deutschland nicht zweckmäßig. Die Förderung von Forschung und Entwicklung erfolgt daher auch aus industriepolitischen Gründen, um Unternehmen für den Export entsprechender Technologien zu qualifizieren. Photovoltaikanlagen hingegen werden in Deutschland immer stärker zur Stromproduktion genutzt. Die im Jahr 2016 neu installierte Leistung lag mit rund 1,5 Gigawatt jedoch unter dem erwarteten Zubau.

Mittelvolumen für neu bewilligte Projekte 2016



Sowohl die deutschen Photovoltaik-Anlagenbauer und Komponentenhersteller als auch die Industrieunternehmen, die solarthermische Bauteile wie Heliostaten oder Receiver herstellen, konnten sich indes 2016 über volle Auftragsbücher freuen. Technik „Made in Germany“ ist weltweit gefragt. Innovationen aus Forschung und Entwicklung tragen dazu bei, dass die deutsche Solarbranche weiterhin führendes Technikequipment rund um den Globus liefert. Das BMWi trägt mit seinen Forschungsbereichen sowohl in der Photovoltaik als auch bei den solarthermischen Kraftwerken zu diesem Erfolg bei.

Geforscht wird unter anderem an den diversen PV-Modul-techniken. Ziel ist es, immer leistungsfähigere Module mit möglichst hohen Wirkungsgraden auf den Markt zu bringen. Derzeit sind Wafer auf Basis des kristallinen Siliziums, insbesondere die p-PERC-Technologie (Passivated Emitter Rear Contact auf p-Typ Wafersubstraten), Stand der Technik, da sich diese gut in bestehende Produktionslinien integrieren lassen. Des Weiteren wird an der sogenannten Heterojunction-Technologie und an Tandem-Solarzellen geforscht. Im Bereich der solarthermischen Kraftwerke ist das Heliostatenfeld der größte Investitionsposten. Insofern konzentrieren sich viele Forschungsvorhaben darauf, effizientere Spiegel zu entwickeln.

Tiefe Geothermie: die Erschließungskosten reduzieren

Das Potenzial der tiefen Geothermie soll in den nächsten Jahren weiter erschlossen werden. Nach Angaben des Bundesverbands für Geothermie (BVG) liegt Deutschland weltweit auf Platz fünf bei der Wärmenutzung geothermischer Energie. Die Statistik umfasst allerdings sowohl die weltweit installierte tiefe als auch oberflächennahe Geothermie. Während sich in der oberflächennahen Geothermie, also für Bohrtiefen bis zu 400 Metern, bereits fertige Konzepte für Wärmesonden am Markt etablieren konnten, müssen die Erschließungskosten in der tiefen Geothermie noch reduziert werden. Um die Potenziale der Geothermie stärker nutzen zu können, müssen von der Anlagenplanung über die Exploration der Förderstätten bis hin zur eigentlichen Bohrung und dem Bau bzw. anschließendem Betrieb von Geothermieanlagen weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten geleistet werden.

Energie- und Wärmewende für energieoptimierte Gebäude, Quartiere und Industriebetriebe

Rund 35 Prozent des Energieverbrauchs und rund ein Drittel der CO₂-Emissionen entfallen in Deutschland auf Gebäude und Quartiere. Hier gilt es, durch technische und konzeptionelle Innovationen den Energiebedarf zu reduzieren bzw. mit erneuerbaren Energiequellen abzudecken. Dabei stehen systemische Ansätze anstelle von Einzellösungen und eine effiziente Energieinfrastruktur im Fokus der Forschungsförderung. Das BMWi hat die bisherigen Förderschwerpunkte Energieoptimiertes Bauen (EnOB), Energieeffiziente Stadt (EnEff:Stadt) und Energieeffiziente Wärmeversorgung (EnEff:Wärme) einschließlich der Forschung zu thermischen Energiespeichern und zur Niedertemperatur-Solarthermie unter der Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN zusammengefasst. 2016 haben das BMWi und das BMBF gemeinsam die Förderinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt mit einem Fördervolumen von bis zu 150 Millionen Euro veröffentlicht. Zusätzlich stellt das BMWi, außerhalb des 6. Energieforschungsprogramms, weitere 35 Millionen Euro für modellhafte Innovations- und Transformationsprojekte im Rahmen der Förderinitiative EnEff.Gebäude.2050 bereit.

Rund zwei Drittel der von Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen verbrauchten Endenergie werden in Form von Wärme benötigt. Das Potenzial zur Verringerung dieses Endenergiebedarfs ist in fast allen Industriebranchen sehr groß und vielfach noch unerschlossen. Wo allerdings die Entwicklung energetisch optimierter Maschinen und einzelner Verfahrensschritte bereits ausgereizt ist, rückt die Untersuchung von gesamten Prozessketten und das energetische Zusammenspiel vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt in den Blick – eine Sichtweise, die einen ständig steigenden Stellenwert in der BMWi-Förderung einnimmt.

Speicher und Stromnetze als flexible Akteure im Energiesystem

Da die Erzeugung von Strom und Wärme aus Wind oder Sonne von aktuellen meteorologischen Bedingungen abhängt, ist eine hohe Flexibilität sowohl bei der Einspeisung in existierende Netze wie auch bei der Speicherung und Verteilung der gewonnenen Energie von entscheidender Bedeutung. Energiespeicher erhalten neben der Aufnahme von Überschüssen und der Abgabe bei Spitzenverbrauchszeiten zunehmend eine Aufgabe als wichtige technische Schnittstelle zur Kopplung von Strom-, Wärme-, Kälte- und Mobilitätsmarkt. Im Februar 2017 hat das BMWi daher eine Förderbekanntmachung „Energiewende im Verkehr“ auf den Weg gebracht. Der Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten soll auf Technologien und Konzepten liegen, die die Energiewirtschaft und den Verkehrssektor eng miteinander verzahnen.

Wesentliche Hürden zum wirtschaftlichen Einsatz von Energiespeichern sind aber nach wie vor die geringen Energiedichten bzw. die noch zu hohen Kosten. Die Förderung einer großen Bandbreite an Speichertechnologien wird daher mit hoher Kontinuität in der bereits laufenden Förderbekanntmachung fortgesetzt.

Die Anforderungen an die Stromnetze als Verbindungselement zwischen der Erzeugungs-, Speicher- und Verbrauchsinfrastruktur werden durch den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien erheblich zunehmen. Die Aufnahme von größer werdenden Anteilen volatil eingespeister Energie aus vielen dezentralen Erzeugereinheiten erfordert eine innovative Netzinfrastruktur und flexible Betriebsstrategien. Zugleich muss das Stromnetz eine gleichbleibend hohe Versorgungssicherheit garantieren.

**Elektroautos und Biogas,
Solarmodule und Windräder:
Das Energiesystem der Zukunft
soll umweltfreundlich,
sicher und bezahlbar sein.**

Daher besteht ein erheblicher Forschungsbedarf bei der Entwicklung geeigneter Informations- und Kommunikationstechnik für einen intelligenten und flexiblen Netzbetrieb. Hier sind beispielsweise Lösungen zur Definition und Standardisierung von Schnittstellen, Prognoseverfahren und Anwendungen für ein bidirektionales Energiemanagement und den Energiehandel gefragt.

Energieerzeuger, -verteiler oder -nutzer: Im Energiebereich ist eine Vielzahl unterschiedlicher Akteure aktiv. Neben den bisher genannten Forschungsbereichen fördert das BMWi Maßnahmen zur Entwicklung der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien sowie zu energiewirtschaftlichen Fragestellungen der Elektromobilität, zur energetischen Biomassenutzung, Wasserkraft- und Meeresenergie oder zur konventionellen Kraftwerkstechnik. Konventionelle Kraftwerke leisten in der Übergangszeit zu einer überwiegend auf erneuerbaren Energien basierenden Energieversorgung einen wichtigen Beitrag zur Abdeckung der Residuallast, wenn die witterungsabhängigen Energiequellen nicht oder nicht ausreichend zur Verfügung stehen.

Das Energiesystem der Zukunft simulieren und modellieren

Durch die Energiewende ist die Zahl der am Energiesystem teilnehmenden Akteure drastisch angestiegen. Statt einiger weniger Großkraftwerke speisen nun viele dezentrale Energieversorger ein. Simulationen und Modellierungen sind daher wichtige Instrumente für ein erfolgreiches Zusammenspiel dieser Akteure in der Praxis und den richtigen Mix aus Erzeugungsleistung, Speichern und Netzen. Mit Hilfe intelligenter Planungswerkzeuge kann gewährleistet werden, dass alle Einzelelemente im Gesamtgefüge effizient und sicher zusammenwirken. Zudem dienen wissenschaftlich valide Energiesystemmodelle als Grundlage für belastbare Szenarienanalysen zum Energiesystem der Zukunft. Die gezielte Forschungsförderung zu diesen Themen wurde 2016 nochmals deutlich gesteigert. Dabei reicht die Bandbreite von methodischen Weiter- und Neuentwicklungen von Energiemodellen über Potenzialanalysen von Technologielösungen bis hin zu Projekten zu vergleichenden Technikbewertungen und -abschätzungen.

Die Systemanalyse ist zudem ein wichtiges Instrument, um die von der Bundesregierung angestrebte intelligente Sektorkopplung zwischen Strom-, Wärme-, Kälte- und Gasmarkt und Verkehr erfolgreich Realität werden zu lassen.



Der flexible Austausch zwischen diesen Anwendungsbereichen erfordert mehr Detailwissen in den einzelnen Sektoren und insbesondere präzisere Prognoseverfahren.

Forschungsnetzwerke als strategisches Instrument der Energieforschungspolitik

Offen, themenorientiert und langfristig angelegt: Die **Forschungsnetzwerke Energie** des BMWi haben sich als dialogorientierte Foren für den Austausch zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik etabliert. In den Netzwerken zu energierelevanten Themen werden Forschungsergebnisse kommuniziert, Forschungsschwerpunkte definiert und passende Förderstrategien für die Zukunft diskutiert. Ziel der Foren ist es, durch gut vernetzte Akteure einen schnelleren Ergebnistransfer von der Forschung in die Praxis zu ermöglichen und so die Energiewende zu unterstützen. Sie dienen außerdem dazu, eine hohe Transparenz der Energieforschungspolitik in der Öffentlichkeit zu schaffen. Das Interesse aus Wissenschaft und Industrie ist groß. 2016 engagierten sich bereits über 2.000 Teilnehmerinnen und Teilnehmer in den insgesamt sieben Forschungsnetzwerken. Sie umfassen die Themen Energie in Gebäuden und Quartieren, Stromnetze, Systemanalyse, Bioenergie, erneuerbare Energien, Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe sowie die flexible Energieumwandlung. Die Netzwerke zu den drei letztgenannten Schwerpunkten sind 2016 gegründet worden. Das Netzwerk zu Fragen der flexiblen Energieumwandlung hat die bisherige Forschungsinitiative COORETEC (CO₂-Reduktionstechnologien bei fossilen Kraftwerken) integriert.

Die Forschungsnetzwerke Energie sind eine Maßnahme des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE) der Bundesregierung. Die Aktivitäten in den einzelnen Netzwerken werden in der Energiewende-Plattform Forschung und Innovation des BMWi gebündelt und koordiniert. Beim Projektträger Jülich ist zur organisatorischen Unterstützung eine Netzwerk-Geschäftsstelle eingerichtet.

Windenergie



Die Windenergie liefert derzeit den größten Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energien in Deutschland. Sie ist die kostengünstigste Technologie im Bereich der erneuerbaren Energien und damit ein zentraler Baustein der Energiewende. Dabei setzt sich sowohl an Land als auch auf See der Trend zu immer leistungsstärkeren Anlagen fort.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Im Jahr 2016 wurden on- und offshore zahlreiche Windenergieanlagen errichtet. Allein an Land sind 1.624 Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 4.625 Megawatt installiert worden. Dazu zählten auch Repoweringanlagen. Diese sind neue, in der Regel größere Anlagen, die alte ersetzen, um den Ertrag an dem jeweiligen Standort zu erhöhen. Da 2016 auch 336 ältere Windenergieanlagen vom Netz gingen, betrug der Netto-Zubau insgesamt 4.259 Megawatt (1.288 Anlagen).

Bei Offshore-Windenergieanlagen liegt die Entwicklung weiter im Fahrplan der Bundesregierung. Dieser sieht eine installierte Leistung von 6,5 Gigawatt bis zum Jahr 2020 vor. Dieses Ziel ist in greifbare Nähe gerückt. Allerdings ist der Zubau 2016 nach dem starken Zuwachs in 2015 erwartungsgemäß zurückgefallen. So haben im Jahr 2016 nach Aussagen der Deutschen Windguard 156 neue Off-

shore-Windenergieanlagen (OWEA) mit einer Leistung von 818 Megawatt erstmals ins Netz eingespeist (im Vorjahr 546 OWEA mit einer Gesamtleistung von 2,3 Gigawatt). Bis Ende 2016 waren insgesamt 947 OWEA mit einer Gesamtleistung von rund 4,1 Gigawatt am Netz. Wie an Land hat sich auch auf See der Trend zu immer leistungsstärkeren Anlagen mit immer längeren Rotorblättern fortgesetzt.

Ende 2016 standen in Deutschland somit insgesamt 28.217 Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von rund 50.000 Megawatt an Land und auf See. Trotz des Zubaus wurde jedoch aufgrund des schlechten Windjahrs weniger Strom als im Vorjahr produziert. Die erzeugte Energie betrug 2016 nach vorläufiger Schätzung 77 Terawattstunden (2015 rund 79 Terawattstunden).

Auch weltweit ist die Windenergienutzung weiter im Aufschwung. Experten schätzen, dass 2016 eine zusätzliche Windenergieanlagenleistung zwischen 50 und 55 Gigawatt

installiert wurde. Laut dem Global Wind Energy Council (GWEC) ist dies der zweithöchste Zubau, der bisher bilanziert worden ist. 2016 hat sich China erneut als der mit Abstand wichtigste Markt für Windenergieanlagen positioniert, gefolgt von den USA, Deutschland, Brasilien und Indien.

Auch für die hiesigen Hersteller von Windenergieanlagen bzw. -komponenten entwickelte sich der Markt erfreulich. Gegenwärtig setzt die Produktion der deutschen Windindustrie laut dem Maschinen- und Anlagenbauverband VDMA Power Systems jährlich etwa 14 Milliarden Euro um und exportiert 70 Prozent ihrer Anlagen ins Ausland. In der Windenergieanlagenbranche hat 2016 der weltweite Konsolidierungsprozess weiter an Geschwindigkeit zugenommen. So entstand durch die Fusion von Siemens und Gamesa im Sommer 2016 ein neuer Weltmarktführer. Nach Berechnungen von FTI Consulting haben Siemens und Gamesa gemeinsam für das Jahr 2015 einen Umsatz von rund 9 Milliarden Euro und einen Anteil am Weltmarkt von etwa 13,5 Prozent erreicht.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

In den letzten 20 Jahren hat die Windindustrie deutliche Fortschritte gemacht und durch Forschung und Entwicklung die Stromerzeugungskosten um 60 Prozent gesenkt. Diese liegen derzeit bei Onshore-Windenergieanlagen in Deutschland zwischen 5,3 und 9,6 Ct/kWh. Die Onshore-Windenergie ist technisch bereits weit entwickelt, allerdings gilt es, die Stromerzeugungskosten noch weiter zu senken. In den letzten Jahren sind daher immer leistungsstärkere Anlagen gebaut worden. Um die optimale „Windernste“ einzufahren, ging dies mit immer höheren Türmen und längeren Rotorblättern einher. Mittlerweile betragen die durchschnittlichen Rotordurchmesser an Land zwischen 120 und 130 Metern. Um die Belastungen der großen Rotorblätter zu reduzieren, forschen Experten an sogenannten „smarten“ Lösungen, bei denen sich die Rotorblätter durch innovative Bauteile selbst auf die lokalen Windgegebenheiten einstellen können. Im Forschungsprojekt **Smart-Blades2** (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 24) werden verschiedene bauliche Varianten in Windkanälen und im Freiland getestet.

Auch die Produktionsabläufe der Rotorblattfertigung müssen weiter optimiert werden, um die Kosten zu senken. Rotorblätter von Windenergieanlagen werden derzeit noch in großem Umfang von Hand gefertigt. Das Fraun-

hofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES hat deshalb 2016 zusammen mit Partnern innerhalb des Forschungsprojekts **BladeMaker** ein Demonstrations-Fertigungszentrum in Bremerhaven in Betrieb genommen, in dem Automatisierungstechniken entwickelt und getestet werden (siehe auch „Neues Demo-Fertigungszentrum für Rotorblätter“, Seite 22).

Mit den größeren Windenergieanlagen werden auch die einzelnen mechanischen Komponenten immer größer. Diese müssen in gleichbleibend hoher Qualität produziert werden. Auf dem Gelände der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig entsteht dazu das weltweit erste Messzentrum für Bauteile im XXL-Format, die in Windenergieanlagen eingebaut werden (siehe auch „Im Fokus: Metrologie“, Seite 14).

Im Offshore-Bereich liegen die Stromerzeugungskosten derzeit noch etwa doppelt so hoch wie an Land. Um die Kosten zu senken, forschen Hochschulen und Wissenschaftseinrichtungen sowie die Industrie an weiteren innovativen technischen Lösungen. Rund 15 bis 20 Prozent der Kosten eines Windparks entfallen derzeit auf den Logistikbereich. Insofern richtet sich ein Augenmerk der Forschung auf kostengünstigere Transportlösungen und modularisierte Bauteile, die erst vor Ort zusammengefügt werden. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der letzten Jahre ist es auch zu verdanken, dass geeignete Schallschutzmaßnahmen wie der „Große Blasenschleier“ oder die „Suction Buckets“ auf dem Markt verfügbar sind, die die Gründungsgeräusche deutlich senken und damit zum Artenschutz im Meer beitragen.

Strategie der Forschungsförderung

Die Forschungsförderung des BMWi verfolgt im Bereich der Windenergie weiterhin das Ziel, Ertrag und Zuverlässigkeit der Anlagen zu steigern und Kosten zu senken. Hierfür sind auch in den nächsten Jahren technische Innovationen und Strategien notwendig. Größere Windenergieanlagen stellen aufgrund des hohen Gewichts und der steigenden mechanischen Belastungen neue Herausforderungen an die Forschung und Entwicklung. Neue Materialien und Verbundwerkstoffe sind ebenso gefragt wie innovative Baukonzepte und an die erhöhten Massen und Kräfte angepasste Triebstränge. Im Verbundvorhaben **FVA-Gondel** (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 20) haben

Fortsetzung Seite 16

IM FOKUS: METROLOGIE

Kolossale Messungen

Zahnräder mit vier Metern Durchmesser oder sechs Meter lange Wellen: Auf dem Gelände der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig entsteht das weltweit erste Messzentrum für Bauteile im XXL-Format, die in Windenergieanlagen eingebaut werden. Zulieferer und Messgerätehersteller können künftig im „Kompetenzzentrum Wind“ extrem große Komponenten messen und kalibrieren lassen. Die neue Messtechnik soll dazu beitragen, die Qualität der Bauteile normgerecht sicherzustellen und damit den Betrieb der Windenergieanlagen möglichst lange und störungsfrei zu halten. Darüber hinaus bietet das Kompetenzzentrum Wind, das vom BMWi mit rund 9,4 Millionen Euro gefördert wird, weitere in Deutschland bisher einmalige Messleistungen an, wie Projektleiter Dr.-Ing. Prof. h. c. Frank Härtig im Interview erläutert.

Herr Professor Härtig, warum ist es sinnvoll, Bauteile aus der Produktion im neuen Kompetenzzentrum Wind messen zu lassen?

Im Bereich der Windenergieanlagen stehen wir vor einer ähnlichen Situation wie zu Beginn der Automobilentwicklung. Seinerzeit verfügten die Autos nur über wenige PS. Die Drehmomente wurden über einen Antriebsstrang, bestehend aus Wellen, Lagern und Getrieben, auf die Räder übertragen. Die Lebensdauer war gering und oft lag es gerade an diesen Komponenten, dass Fahrzeuge ausfielen. Vergleichen wir das mit heutigen Fahrzeugen, so werden auf deutlich kleinerem Bauraum wesentlich höhere Drehmomente in hochkomplexen Baugruppen übertragen. Die Fahrzeuge haben eine 100-fach höhere Fahrleistung. Schäden am Antriebsstrang sind quasi nicht mehr wahrnehmbar.

Und vor einer vergleichbaren Entwicklung stehen heute die Hersteller von Windenergieanlagen?

Richtig. Denn eine der wesentlichen Voraussetzungen zur Vermeidung von Schäden oder Laufgeräuschen sowie zur verlustarmen Übertragung der Energieleistung ist die Geometrieform der Komponenten. So müssen Wälzkörper in Lagern oder sich paarende Zahnräder von Windkraftanlagen an den Grenzen des Machbaren gefertigt werden. Hierbei kommt die PTB ins Spiel. Mit der neuen Koordinatenmesstechnik können Bauteile in Abmessungen von 5 x 4 x 2 Metern gemessen werden. Eigentlich sprechen wir von Kalibrieren. Im Gegensatz zu einer einfachen Messung bestimmt man beim Kalibrieren einen Parameter, die Messunsicherheit. Mit ihr



Dr.-Ing. Prof. h. c. Frank Härtig ist Abteilungsleiter Mechanik und Akustik bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig.

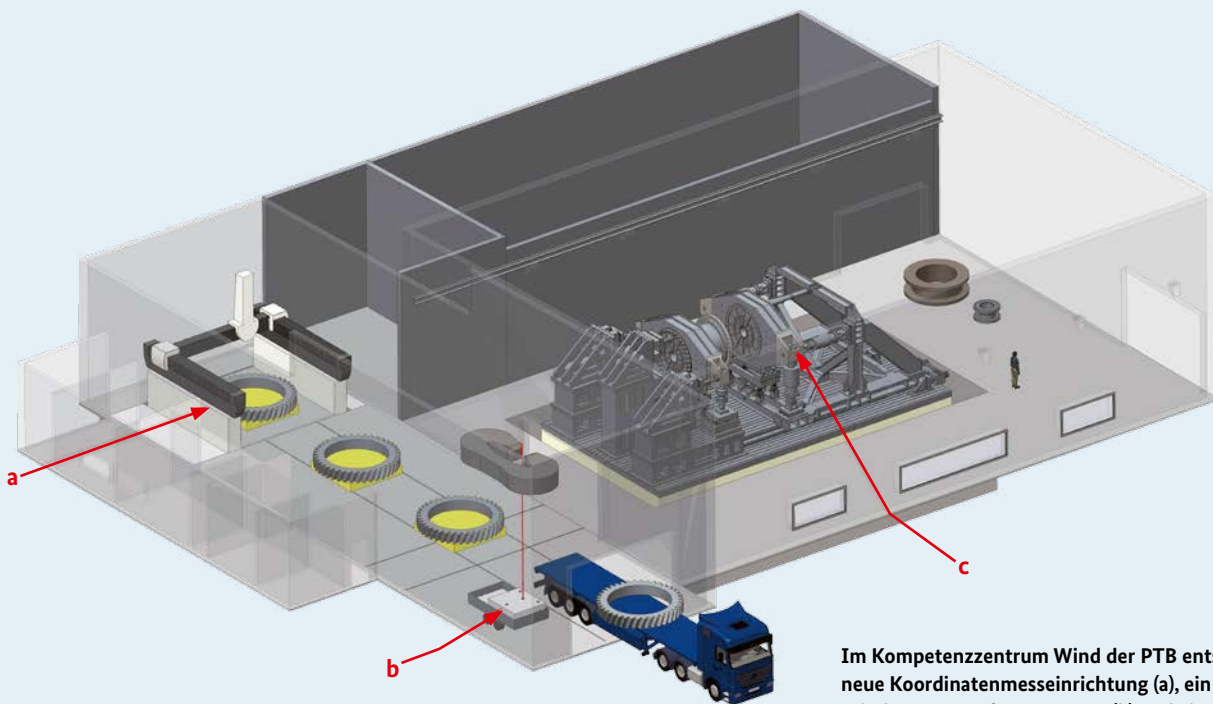
wird ein Messergebnis im Hinblick auf seine Genauigkeit bewertet. Somit lassen sich im nationalen und internationalen Raum Messwerte zuverlässig vergleichen. Dies geschieht, indem wir dann kalibrierte werkstück-ähnliche Normale aus der Hand geben. Diese werden anschließend in der Industrie eingesetzt, um Fertigungsprozesse zu überwachen. Auf dieser Basis ist es zum Beispiel möglich, zwei Zahnräder an unterschiedlichen Orten so zu fertigen, dass ihre Zähne möglichst ideal ineinandergreifen. Ohne Normale wäre dies nicht möglich.

Wer wird diese Dienstleistung in Anspruch nehmen?

Die Dienstleistung wird in erster Linie von deutschen Herstellern in Anspruch genommen, die Komponenten für den Antriebsstrang von Windenergieanlagen herstellen. Wir rechnen zusätzlich damit, dass wir künftig auch Normale für andere Metrologieinstitute kalibrieren, da unsere Anlage derzeit einzigartig ist. Daneben ist es auch denkbar, dass Komponenten großer Schiffsgetriebe oder anderer Branchen gemessen und kalibriert werden. Da wir als Metrologieinstitut den Anspruch an höchste Genauigkeit haben, werden wir auch die uns zur Verfügung stehende Messtechnik kontinuierlich verbessern. Hiervon werden die Hersteller von Koordinatenmessgeräten profitieren, mit denen wir traditionell sehr eng zusammenarbeiten.

In dem neuen Gebäude wird die weltweit größte Drehmoment-Normalmesseinrichtung ihre Arbeit aufnehmen.

Der Bau der sogenannten Drehmoment-Normalmesseinrichtung (Dm-NME) ermöglicht weltweit erstmalig nachvollziehbare Drehmomentmessungen bis 5 MN·m. Dies ermöglicht auch das Kalibrieren von entsprechenden



Im Kompetenzzentrum Wind der PTB entstehen eine neue Koordinatenmesseinrichtung (a), ein neues Wind-LIDAR-Referenzsystem (b) und eine innovative Drehmoment-Normalmesseinrichtung (c).

Normalen für industrielle Anwendungen. Mit ihren technischen Möglichkeiten stellt die Anlage ein Novum in der Drehmoment- und Mehrkomponenten-Kraftmesstechnik im MN-Bereich dar. In einer weiteren Ausbaustufe ist geplant, in die Achse des zu kalibrierenden Drehmomentaufnehmers dynamische Kräfte und Momente einzuleiten. Damit wäre es erstmalig möglich, eine metrologische Charakterisierung von dynamischen Einflüssen im MN-m-Drehmomentbereich bzw. auch im MN-Kraftbereich zu untersuchen. Fundament und tragende Komponenten der Anlage sind so ausgelegt, dass sie in Zukunft zu einer 20 MN-m – Dm-NME ausgebaut werden können.

Last but not least bauen Sie ein mobiles Wind-LIDAR-System in Braunschweig auf, das Windprofile auch in über 200 Metern Höhe und in schwierigem Gelände messen kann. Was zeichnet dieses System im Vergleich zu anderen LIDAR-Systemen aus?

Bisher in der Windenergiebranche eingesetzte Wind-LIDAR-Systeme enthalten üblicherweise eine gemeinsame Sende-/Empfangsoptik, so dass Sende- und Empfangsstrahl übereinander liegen. Dabei wird die Strömungsgeschwindigkeitskomponente in Strahlrichtung mit einer Höhengauflösung von circa 20 m gemessen, wobei der Strahl zur vollständigen Erfassung des

Geschwindigkeitsvektors in verschiedene Richtungen geschwenkt wird. Durch die hohe räumliche Auflösung und durch die Robustheit des Messverfahrens können sehr genaue Messergebnisse auch in schwierigem Gelände, wie beispielsweise an Waldgrenzen, erzielt werden, die mit konventioneller LIDAR-Technik nicht möglich sind. Das in der PTB in der Entwicklung befindliche, neuartige LIDAR-System wird aufgrund seiner hohen Ortsauflösung und seiner Rückführung auf die SI-Einheiten sowohl für das Erfassen von Windprofilen prädestiniert sein, als auch als Transfer-Wind-LIDAR-System die Ausgangsbasis für ein innovatives Kalibrierverfahren bieten, das erstmals ein direktes Kalibrieren kommerzieller LIDAR-Systeme mit reduzierten Messunsicherheiten im Feld ermöglichen wird.

Das Interview führte Ilse Trautwein, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der RWTH Aachen gemeinsam mit Partnern aus der Industrie erstmals eine komplette Forschungsgondel aufgebaut. In Stresstests auf dem Prüfstand werden neue Daten über die verschiedenen Belastungen gewonnen.

Neben Prüfständen fördert das BMWi auch Windenergie-Testfelder im Freiland. Im Jahr 2016 wurden drei neue Testfeldprojekte bewilligt (siehe auch „Im Fokus: Testfelder“, Seite 18). Die **Deutsche Forschungsplattform Windenergie (DF Wind)** in Niedersachsen erforscht im Flachland, wie

Windenergieanlagen effizient und geräuscharm kostengünstigen Strom produzieren können. Das Fraunhofer IWES Nordwest entwickelt und betreut darüber hinaus das **Forschungstestfeld Bremerhaven**. Derzeit wird dort der Prototyp einer 8-Megawatt-Anlage installiert, die mit der elektrischen Infrastruktur des IWES-Großprüfstands DyNaLab vor Ort verbunden werden soll. Dadurch können die Ergebnisse der Prüfstandsuntersuchungen systematisch mit den Messungen im Feld verglichen und die Testprozeduren entsprechend verbessert werden. Das Verbundvorhaben **WINSSENT** in Süddeutschland erforscht die

Kostengünstigere Transportlösungen und modularisierte Bauteile sind notwendig, um die hohen Logistikkosten im Offshore-Bereich weiter zu senken.



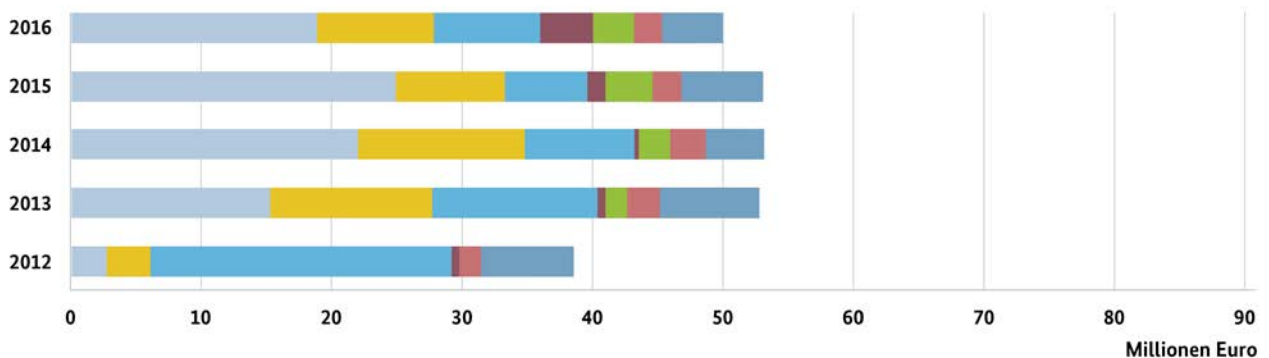
Herausforderungen, die sich beim Betrieb von Windenergieanlagen im bergig-komplexen Gelände ergeben.

Für den weiteren Ausbau der Windenergie ist die Integration des erzeugten Stroms in die öffentlichen Versorgungsnetze entscheidend. Forschungsrelevant sind daher insbesondere Fragen der Netzanbindung von Offshore-Windparks, des Last- und Erzeugungsmanagements und windenergiespezifische Aspekte beim Speichern des erzeugten Stroms (siehe auch Kapitel „Stromnetze“, Seite 82). Ein weiterer Fokus der BMWi-Forschungsförderung liegt

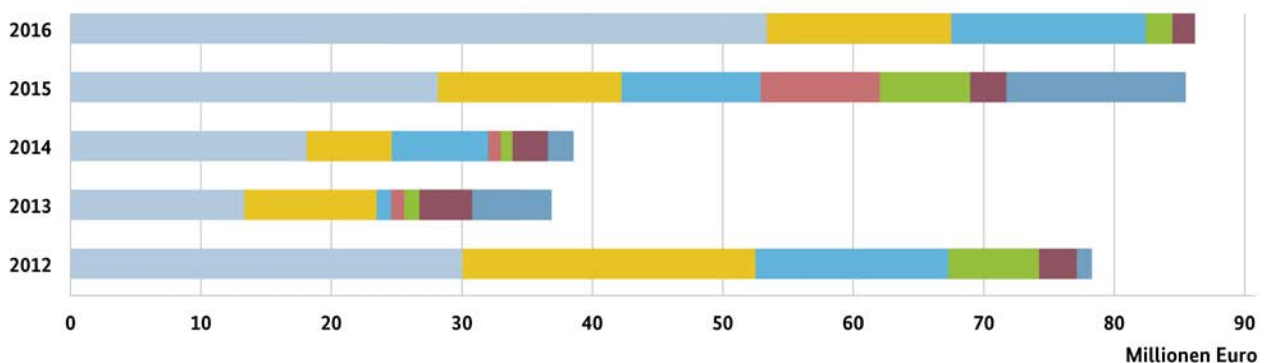
auf Vorhaben, die dazu beitragen, die Windprognosen zu verbessern und den Ausbau der Windenergie umwelt- und naturverträglich zu gestalten.

Das BMWi hat im Jahr 2016 im Bereich Windenergie 93 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 86,2 Millionen Euro bewilligt (Vorjahr: 103 Projekte mit rund 85,4 Millionen Euro Fördervolumen) und damit das Fördervolumen nochmals gesteigert. Die 322 laufenden Forschungsvorhaben wurden in diesem Jahr mit rund 49,7 Millionen Euro (2015 rund 53 Millionen Euro) gefördert.

Windenergie: Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016



Windenergie: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012



- Anlagenentwicklung
- Offshore
- Logistik, Anlageninstallation, Instandhaltung und Betriebsführung
- Umweltaspekte der Windenergie und Ökologische Begleitforschung
- Windphysik und Meteorologie
- Onshore
- Sonstige

IM FOKUS: TESTFELDER

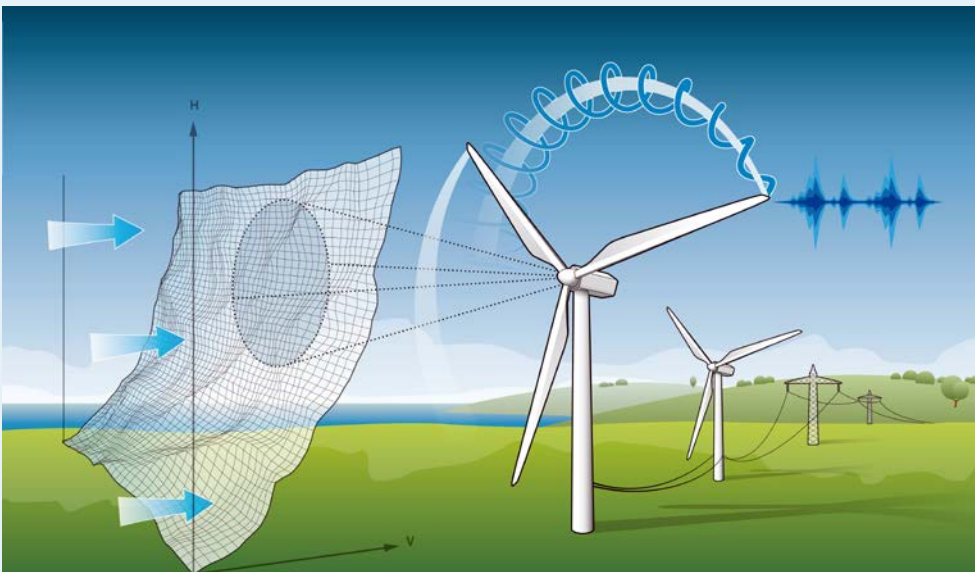
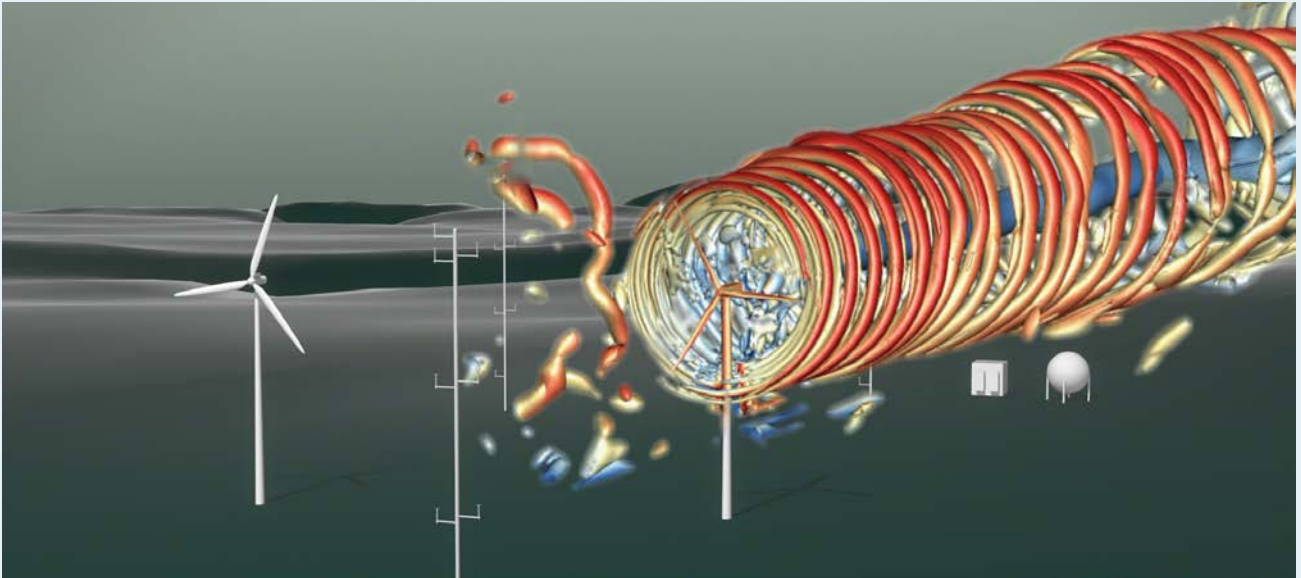
Ab ins Gelände

Immer größer, immer leistungsstärker, immer zuverlässiger: Windenergieanlagen-Hersteller müssen enorme Herausforderungen bewältigen. Bewährte Anlagenkonzepte einfach immer weiter zu vergrößern, funktioniert nicht mehr. Denn im Verhältnis zum Radius eines Rotors wachsen beispielsweise die aerodynamischen Kräfte im Quadrat an, das Gewicht nimmt sogar mit dritter Potenz zu. Innovative Lösungen sind hier gefragt. Auf drei neuen Testfeldern wollen Wissenschaftsteams erforschen, wie Windenergieanlagen effizient und geräuscharm kostengünstigen Strom produzieren können.

In der flachen norddeutschen Tiefebene und im bergigen Gelände am Rand der Schwäbischen Alb werden jeweils mehrere Forschungswindenergieanlagen mit umfänglichen Messeinrichtungen aufgebaut. Die unterschiedlichen geografischen Gegebenheiten sind gut gewählt: Sie spiegeln die Rahmenbedingungen typischer deutscher Anlagenstandorte wider. Für die **Deutsche Forschungsplattform Windenergie (DF Wind)** in Niedersachsen sollen in einer ersten Projektphase Messeinrichtungen entwickelt und getestet werden, mit denen unter anderem Windstärke, Turbulenz, Temperatur, Schall und Feuchtigkeit im Bereich des Testfeldes gemessen werden können. Außerdem sollen mit der Installation sogenannter „Structural Health Monitoring Systeme“ an den Rotorblättern und Tragstrukturen der zu errichtenden Forschungswindenergieanlagen die Grundlagen für eine lückenlose Anlagenüberwachung geschaffen werden. „Der Fokus bei DF Wind liegt auf der ganzheitlichen Betrachtung der Forschungswindenergieanlage und der dort gemessenen Daten. Insbesondere soll der Nachlaufeffekt von einer Anlage auf die dahinter stehende untersucht werden. Die umfangreichen Instrumentierungen sind Grundlage für die Validierung und Verifizierung von Methoden, die bei der Konstruktion von Windenergieanlagen und ihrer Anordnung im Gelände eingesetzt werden“, erläutert Dr. Jan Teßmer, Koordinator Windenergie beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). An DF Wind, welches das BMWi mit bisher rund 9,1 Millionen Euro fördert, sind neben dem DLR die Universitäten Bremen, Hannover und Oldenburg sowie das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES Nordwest) beteiligt.

Das Fraunhofer IWES Nordwest entwickelt und betreut darüber hinaus das **Forschungstestfeld Bremerhaven**. Unmittelbar an der Nordseeküste entsteht eine einmalige Testumgebung, in der zunächst eine 8-Megawatt-Anlage mit 180 Metern Rotorblattdurchmesser auch unter nahezu Offshore-Bedingungen hinsichtlich Windfeld, Lasten und Betriebsmanagement untersucht werden kann. „Durch die unmittelbare Nähe zum IWES-Gondelprüfstand DyNaLab wird es zudem möglich sein, Messergebnisse aus dem Freifeld und dem Prüfstand zu vergleichen“, erläutert Projektleiter Prof. Dr.-Ing. Andreas Reuter. „Außerdem kann die 8-Megawatt-Anlage an das virtuelle Netz im DyNaLab angeschlossen werden, so dass die Auswirkungen von Netzfehlern, etwa durch Überlastung, auf die Windenergieanlage erforscht werden können“, so der Institutsleiter Fraunhofer IWES Nordwest. Darüber hinaus sollen Prüfprozesse und das „Hardware-in-the-Loop-System“ des Gondelprüfstands validiert und weiterentwickelt werden, so dass perspektivisch auch im DyNaLab zertifizierungsrelevante Untersuchungen durchgeführt werden können. Das BMWi fördert das Testfeld mit rund 18,4 Millionen Euro.

Innerhalb des Verbundvorhabens **WINSENT** wird das Testfeld des Windenergie-Forschungsclusters Süd (WindForS) nahe der baden-württembergischen Ortschaft Stötten realisiert. Hier werden neue Technologien, Methoden und Messverfahren unter anderem in den Bereichen Aerodynamik, Aeroakustik, Betriebsführung oder dem Monitoring von Windenergieanlagen im bergig-komplexen Gelände entwickelt und erprobt. „Reale Messdaten dienen unter anderem als Basis für die Weiterentwicklung von Simulationssoftware zur Auslegung der dynamisch beanspruchten Anlagen“, erklärt Andreas Rettenmeier vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW). Der Koordinator des Forschungsclusters WindForS und des Verbundvorhabens WINSENT, an dem neben dem ZSW die Universitäten Tübingen und Stuttgart sowie das Karlsruher Institut für Technologie, die Technische Universität München und die Hochschule Esslingen beteiligt sind, sieht hier noch erheblichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf: „Insbesondere die Kopplung von großräumigen Wettermodellen mit räumlich hochauflösenden Strömungsmodellen sind für das bergige Gelände noch nicht ausgereift.“ WINSENT wird vom BMWi mit rund 10,1 Millionen Euro gefördert.



Die Messdaten des WindForS-Testfelds werden im Vorhaben WINSSENT unter anderem dafür genutzt, Windströmungsmodelle für das bergig-komplexe Gelände zu entwickeln (oben).

Im Testfeld DF Wind wird der einströmende Wind vor einer Windenergieanlage gemessen und die Auswirkungen auf eine dahinter stehende Windenergieanlage analysiert (links).



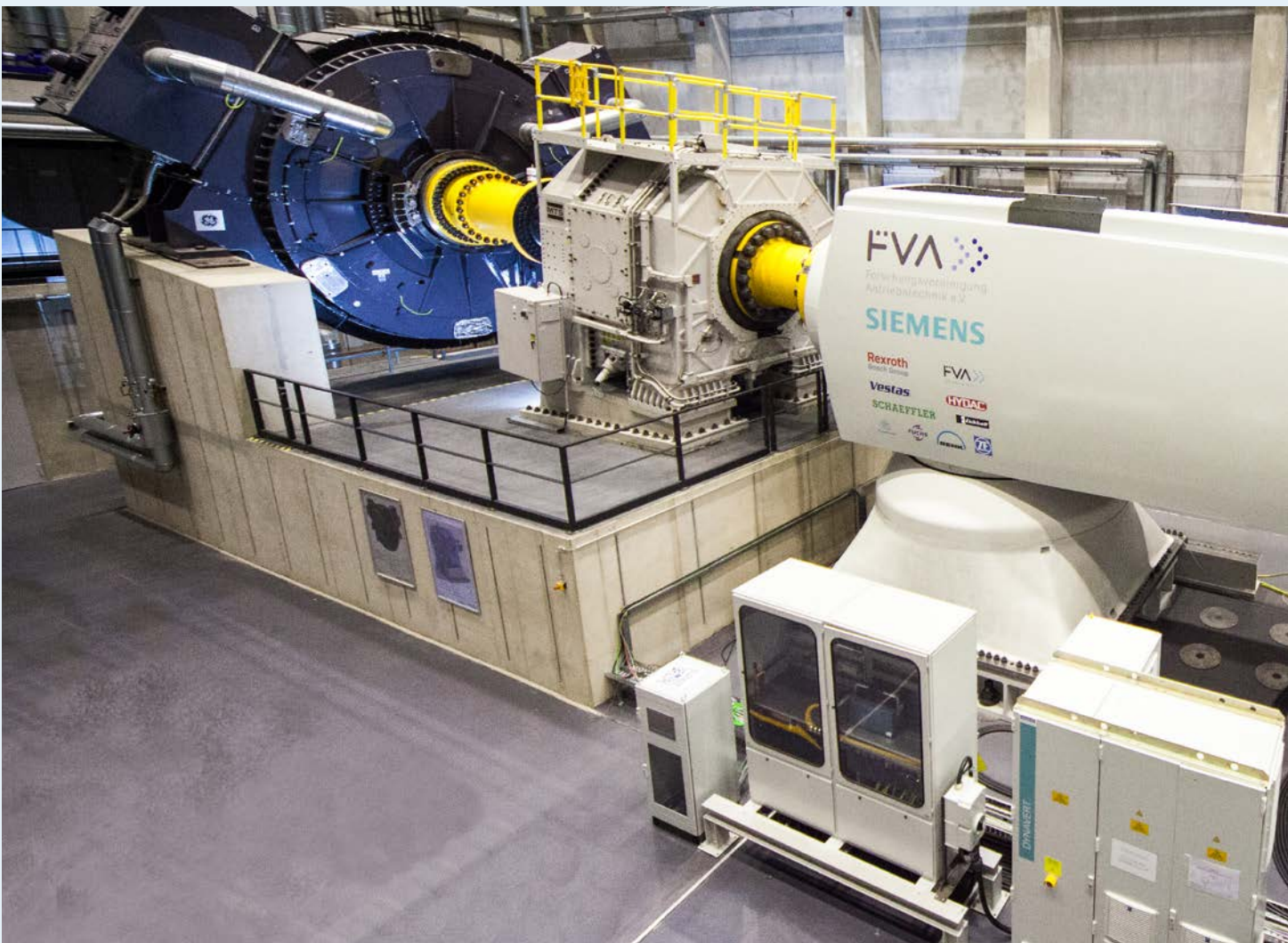
Im Forschungstestfeld Bremerhaven wird eine 8-Megawatt-Anlage installiert.

HIGHLIGHT

Gemeinsam an einem (Antriebs-)Strang

Die Maschinenhäuser in luftiger Höhe sind das Herz jeder Windenergieanlage. Diese sogenannten Gondeln enthalten technische Komponenten wie Generatoren, Leistungselektronik, Bremsen und Getriebe sowie riesige Lager. Die Teile sind im Betrieb hohen dynamischen Belastungen ausgesetzt, so dass es immer wieder zu schadensbedingten Stillständen und teuren Service-Einsätzen kommt. Im Verbundvorhaben „FVA-Gondel“ haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der RWTH Aachen gemeinsam mit Partnern aus der Industrie erstmals eine komplette Forschungsgondel aufgebaut. In Stresstests auf einem Prüfstand werden mit Hilfe einer umfassenden Messtechnik neue Daten über die verschiedenen Belastungen gewonnen. Diese Erkenntnisse tragen dazu bei, die Zuverlässigkeit von Windenergieanlagen dauerhaft weiter zu verbessern.

„Eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen und Industrie gibt es schon lange. Bisher konzentrierten sich die Kooperationen aber hauptsächlich auf einzelne Komponenten oder Baugruppen“, berichtet Projektkoordinator Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs, Vorstand des Center for Wind Power Drives (CWD) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen. Beim Vorhaben FVA-Gondel dagegen forschen RWTH-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler gemeinsam mit Experten von Siemens und weiteren Partnern aus der Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) an einer kompletten Gondel mit 2,75 Megawatt Leistung. Hierzu wurden eine am Markt verfügbare Windenergieanlage mit aufgelöstem Triebstrangkonzzept beschafft und diverse Komponenten (unter anderem Verzahnung des Hauptgetriebes, Gene-



rator-konzept mit Vollumrichtersystem nach dem Stand der Technik, offener, frei programmierbarer WEA-Controller) von den Projektpartnern so modifiziert, dass alle technischen Details der Gondel und auch die Forschungsergebnisse umfassend offengelegt, gleichzeitig aber auch die notwendigen Forschungsergebnisse erzielt werden können.

Die „gläserne“ Gondel wird auf dem 4-Megawatt-Systemprüfstand am CWD in Aachen ausgiebigen Tests unterzogen. Dort können realistische Windfelder und Netzurückkopplungen reproduzierbar durchlaufen werden. Während der Untersuchungen werden Daten an über 300 Messstellen in der Gondel gesammelt. „Durch die extremen Drehmomente, die komplexen Lastwechsel an der Rotornabe und Wechselwirkungen mit dem Netz

kommt es in der Praxis häufig zu Belastungen, die bisher nicht ausreichend in Komponententests oder Simulationsmodellen abgebildet werden konnten“, berichtet Georg Jacobs. Hier setzt das Verbundvorhaben an: Mithilfe der neu gewonnenen Daten sollen bestehende Simulationsmodelle verbessert werden. Präzisere Simulationen helfen dann unter anderem zu identifizieren, welche konstruktiven Anpassungen an einer Windenergieanlage vorgenommen werden können, um lokale Lasten in den Komponenten zu senken. Das BMWi fördert das Verbundvorhaben mit rund 4,6 Millionen Euro.

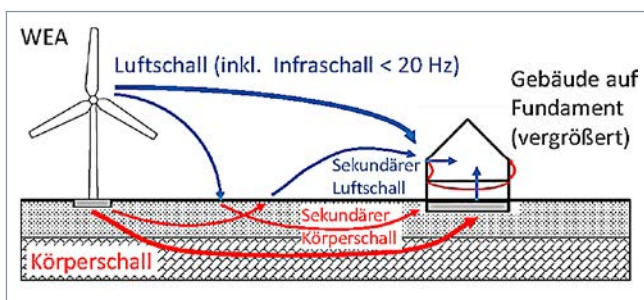


Auf dem 4-Megawatt-Systemprüfstand an der RWTH Aachen durchläuft die Forschungsgondel intensive Tests.

Auswahl geförderter Projekte

Bewertung von Erschütterungs- und Schallemissionen

Windenergieanlagen strahlen über die Luft Schall ab und leiten über die Turmkonstruktion und das Fundament Schwingungen in den Boden ein. Teilweise fühlen sich hierdurch Anwohner beeinträchtigt bzw. kommt es bereits in der Planungsphase von Windenergieanlagen zu entsprechenden Vorbehalten gegenüber dem Bauvorhaben. Die Wissenschaftler des Forschungsprojekts **TremAc** möchten die vielerorts emotional geführten Debatten versachlichen helfen, indem sie die gesamte Ausbreitungskette – von der Windfeldcharakterisierung über die Aerodynamik des Rotors, die Gesamtdynamik der Turmkonstruktion bis hin zu den abgestrahlten Wellen – exemplarisch an einer Windenergieanlage nicht nur nachmessen, sondern auch in einem umfangreichen Simulationsmodell abbilden. In einem zweiten Schritt werden psychologische und medizinische Befragungen der Anwohner durchgeführt und die Ergebnisse miteinander verknüpft. Ziel des Verbundvorhabens, das sieben Forschungsinstitutionen unter der Projektkoordination des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) durchführen, ist die Ermittlung von möglichen Schall- und Erschütterungsdaten von Windenergieanlagen sowie die Ableitung von objektiven Bewertungskriterien in Abhängigkeit von den Anlagendaten, der Konstruktion, der Topographie und der Entfernung zum Immissionsort. Außerdem sollen existierende Simulations- und Prognosemodelle weiterentwickelt und technische Optimierungsmöglichkeiten für Bauteile analysiert werden. Standortangepasste Abstandsregeln sollen dazu beitragen, sowohl die Akzeptanz von Windenergieanlagen in der Bevölkerung zu erhöhen als auch objektive Kriterien für neue Bauvorhaben zu entwickeln. Das BMWi fördert das Forschungsprojekt mit rund 1,9 Millionen Euro.



Neues Demo-Fertigungszentrum für Rotorblätter

Rotorblätter von Windenergieanlagen werden derzeit noch in großem Umfang von Hand gefertigt. Um die damit verbundenen Kosten zu senken und eine konstant hohe Qualität zu erzielen, hat das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES zusammen mit 15 Partnern innerhalb des Forschungsprojekts **BladeMaker** ein Demonstrations-Fertigungszentrum in Bremerhaven aufgebaut. Das Zentrum soll durch effizientere Produktionsprozesse, den Einsatz innovativer Materialien und die Automatisierung von ausgewählten Fertigungsschritten dazu beitragen, im Herstellungsprozess Kosteneinsparungen von mindestens 10 Prozent zu erzielen.

Im Projekt TremAc werden unter anderem Wellenfelder einer Windkraftanlage in einem 500 m entfernten Gebäude berechnet.

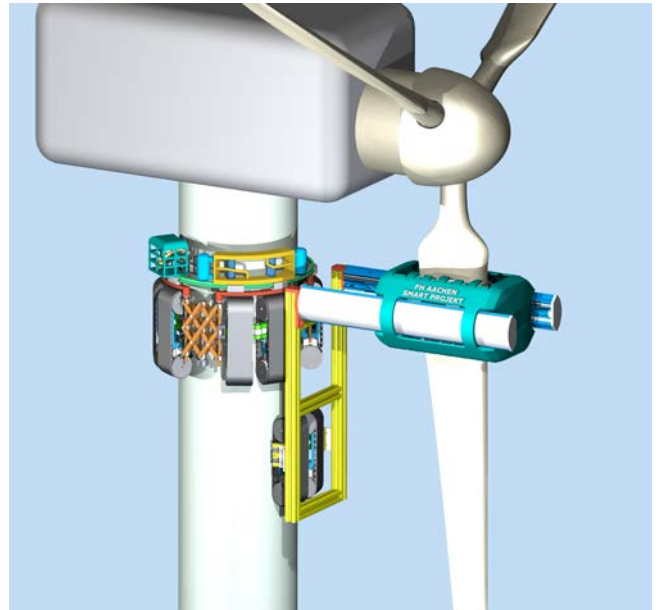
Die Smart2-Kletterroboter ermöglichen sichere und witterungsunabhängige Reparaturarbeiten.



Im Demo-Fertigungszentrum in Bremerhaven erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie Rotorblätter kostengünstiger produziert werden können.

Im BladeMaker-Zentrum können acht Prozessschritte mit einer neu entwickelten Maschine ausgeführt werden. Konstruktion und Fertigung werden mit Hilfe der CNC-Steuerung eines Projektpartners effizient verknüpft. Entgegen dem allgemeinen Trend zum Einsatz von Knickarm-Robotern im Bereich der Composite-Fertigung wurde hier ein Linearachsensystem mit zusätzlichen Freiheitsgraden für die Drehbewegung des Prozesskopfes gewählt und für die Anforderungen der Rotorblattfertigung adaptiert. Dies ermöglicht eine hohe Präzision und gleichzeitig eine große Bewegungsfreiheit.

Die IWES-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler untersuchen zunächst Fertigungs- und Verfahrenstechniken und ermitteln ein optimiertes Blattdesign für die industrialisierte Produktion. Danach sollen anhand eines Prototypen-Blattes die einzelnen Fertigungsschritte durchlaufen werden. Dabei werden weitere Optimierungsansätze analysiert und die Blatteigenschaften der automatisierten Herstellung mit denen der manuellen Fertigung verglichen. Das Demonstrationszentrum steht allen interessierten Industrieunternehmen für fertigungsbezogene Tests und Machbarkeitsuntersuchungen offen. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 7,3 Millionen Euro.



Kletternde Reparaturplattform

Aufgrund der steigenden Zahl an Windenergieanlagen nehmen auch die notwendigen Wartungen und Reparaturen in großer Höhe zu. Doch ungünstige Witterungsverhältnisse und fehlendes Instandhaltungspersonal führen immer wieder zu längeren Stillstandszeiten der Anlagen. Im Forschungsprojekt **Smart2** forschen Wissenschaftler der Fachhochschule Aachen daher gemeinsam mit zwei Partnern aus der Industrie, Gebrüder Käufer und ematec, an einer kletternden Serviceplattform. Von der geschlossenen und damit wettergeschützten Arbeitskabine aus sollen künftig Wartungs- und Reparaturarbeiten an Rotorblättern und am Turm während des ganzen Jahres möglich sein. Dies reduziert die Ausfallzeiten der Windenergieanlagen und senkt demzufolge die Kosten.

Der Klettermechanismus der Kabine besteht aus einem ringförmig angeordneten und am Turm anliegenden Kettenantrieb. Die integrierten Elektromotoren gewährleisten sowohl die Kletterbewegung als auch die Verankerung des Systems am Turm. Von der Kabine aus können dann die Instandhaltungsarbeiten vorgenommen werden. In einem Vorgängerprojekt war der Smart-Demonstrator bereits im Maßstab 1:3 gebaut und im Labor erfolgreich getestet worden. Innerhalb des aktuellen Forschungsprojekts soll nun ein 1:1-Prototyp der Smart-Anlage mit Arbeitskabine gebaut sowie ein dazu passender Aufsatz für ein Transportfahrzeug entwickelt werden. Parallel dazu wird ein Prüfstand an der FH Aachen errichtet, um die Funktionalität des Smart-Prototyps durch unterschiedliche Tests unter realitätsnahen Bedingungen zu überprüfen. Die Smart-Kletterplattform soll mittelfristig auch bei Offshore-Windenergieanlagen zum Einsatz kommen. Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 3,5 Millionen Euro.

Fortsetzung Seite 25

HIGHLIGHT

Smart Blades: Intelligente Rotorblätter reagieren auf lokale Windsituation

Die optimale „Windausbeute“ dank intelligenter Rotorblätter: Dies ist die Vision, die mit Hilfe sogenannter Smart Blades Realität werden soll. Durch einen geschickten Aufbau der Rotorblattstruktur oder verformbare Bauelemente an den Außenkanten sollen sich Rotorblätter künftig selbsttätig auf veränderte Windbedingungen einstellen. Im Forschungsprojekt SmartBlades2 werden drei verschiedene bauliche Varianten in Windkanälen und im Freiland getestet. Hierbei arbeiten wissenschaftliche Einrichtungen und Industrieunternehmen Hand in Hand. Ihr gemeinsames Ziel: Smart Blades als intelligente Alternative zu herkömmlichen Rotorblättern marktfähig zu machen.

„In einem Vorgängerprojekt wurden bereits drei Technologie-Varianten untersucht und kleinere Komponenten sowie Demonstratoren gebaut“, berichtet Projektkoordinator Dr. Jan Teßmer vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Zusammen mit ForWind – dem gemeinsamen Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen – und

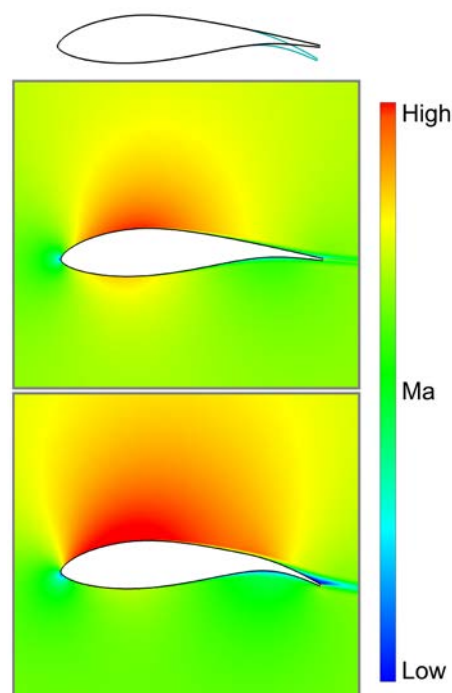
Know-how auch aus dem Flugzeugbau: In SmartBlades2 werden unter anderem eine bewegliche Hinterkante sowie ein beweglicher Vorflügel getestet.



dem Bremerhavener Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES Nordwest) werden nun im Projekt **SmartBlades2** Demonstrationsblätter mit 20 Metern Länge sowie weitere Blatt-Komponenten produziert und in Versuchen in Prüfständen, in Windkanälen und im Freiland untersucht.

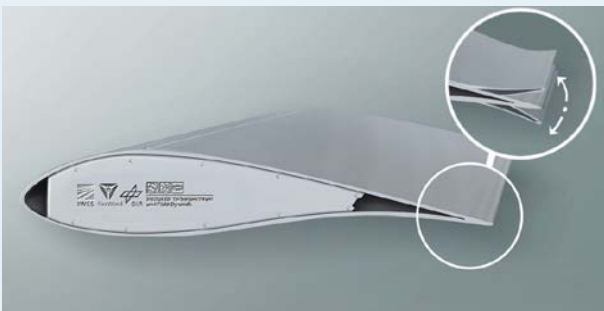
Bei Smart Blades sind zwei grundlegende bauliche Konzepte zu unterscheiden: Passive Smart Blades werden in ihrem inneren Aufbau so ausgelegt, dass sie sich bei aerodynamischen Laständerungen nicht nur biegen, sondern auch um ihre Achse verdrillen. Damit ändert sich der Anströmwinkel, und es erfolgt eine automatische Anpassung an die Lastsituation. Aktive Smart Blades dagegen erreichen den gleichen Effekt mit Hilfe verformbarer Komponenten und Mechanismen, die sich entweder an der Vorder- oder Hinterkante des Blattes befinden. Der Vorteil dieser Herangehensweise ist, dass die Anpassung der Anströmbedingungen durch eine Regelung vorgegeben werden kann und somit Optimierungen im laufenden Betrieb möglich sind.

Höhere Windernte dank eines beweglichen, lastoptimierenden Bauteils: Die untere Abbildung zeigt in Orange, wie die aerodynamischen Kräfte mit Hilfe der beweglichen Hinterkante gezielt geregelt werden können.



Zwei der drei Smart-Blades-Technologie-Varianten sind aus dem Flugzeugbau bekannt. Die eine Rotorblattalternative basiert auf einer beweglichen Hinterkante, die andere auf einem beweglichen Vorflügel. Die bewegliche Hinterkante stellt eine wirksame und lastschonende Ergänzung zum derzeitigen „Pitchen“ (motorisches Verdrehen des gesamten Blattes um seine Längsachse) dar. Mithilfe von Klappen werden die Lasten an jedem Blatt einzeln und schnell reguliert. Ein ähnlicher Ansatz wird mit dem integrierten Vorflügel verfolgt. Bei der dritten Technologie handelt es sich um ein passives Smart Blade mit sogenannter Biege-Torsions-Kopplung. Zusätzlich zu den Technologieentwicklungen soll für eine State-of-the-Art-Referenzanlage mit 80 Meter langen Rotorblättern ein Simulationsmodell entwickelt werden, um die verschiedenen Technologiealternativen vergleichen zu können. Das Projekt SmartBlades2 wird vom BMWi mit rund 14,3 Millionen Euro gefördert.

Die Klappenkonstruktion an der Hinterkante des Rotorblatts ähnelt der an einer Flugzeugtragfläche.



Datenpool der Windbranche

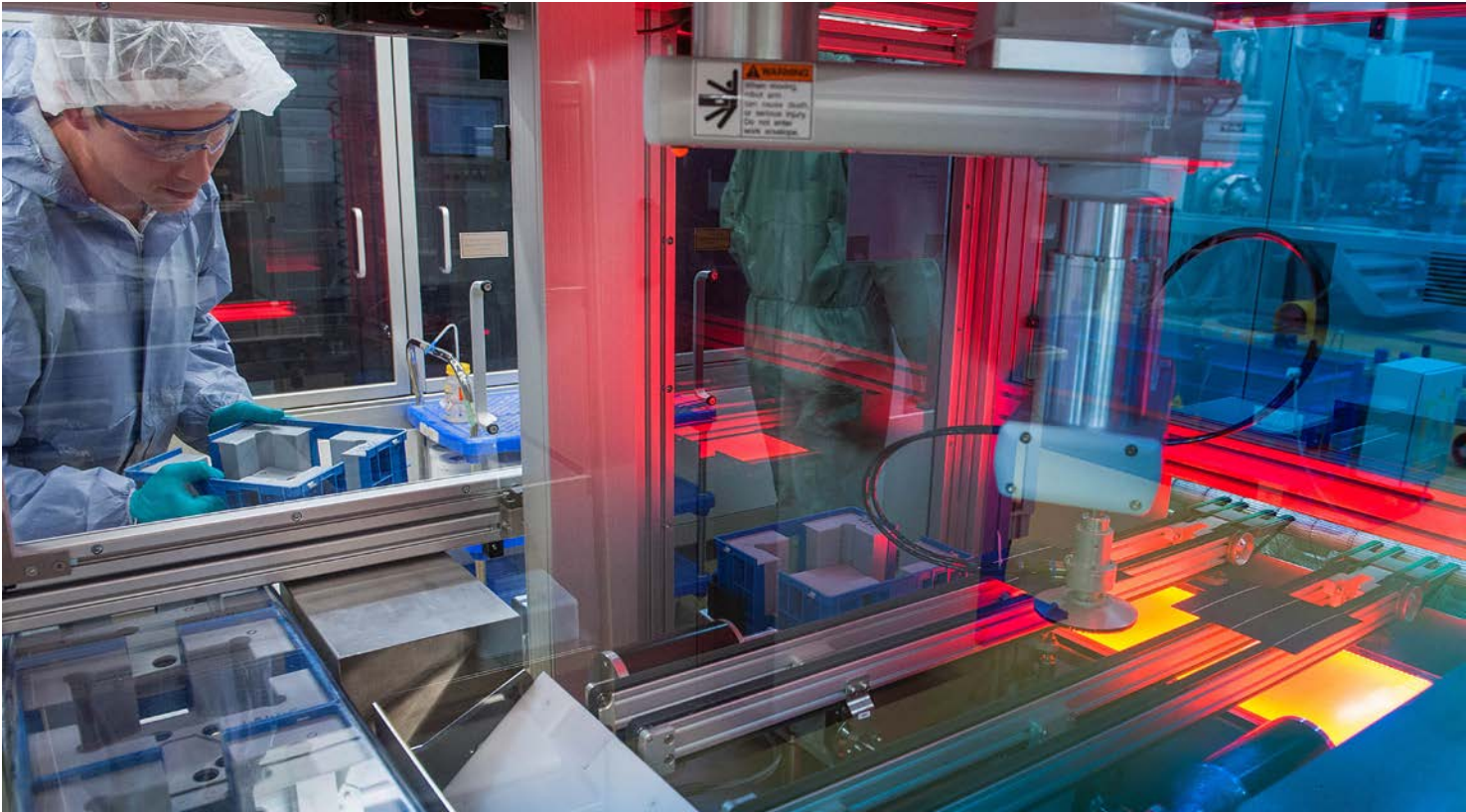
Betriebs- und Instandhaltungsdaten von Windenergieanlagen aus einer Hand: Dieses Ziel verfolgt das Forschungsprojekt **WInD-Pool**, das vom Kasseler Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES Kassel) koordiniert wird. Hierfür sollen existierende Datenbanken zusammengeführt und durch Teilnahme weiterer Windenergieanlagen-Betreiber erweitert werden. Von der umfangreichen Wissensplattform profitieren künftig sowohl die einzelnen Betreiber durch sogenannte Performance-Benchmarks und Zuverlässigkeitskennwerte als auch Projektgesellschaften, Banken oder Versicherungen, die für sie interessante Analysen wie Leistungskennlinien, Ertrag oder Fehlerhäufigkeit bestehender Anlagen in anonymisierter Form erhalten können.



Windenergie-Informations-Datenpool

Die Aktualität des Windenergie-Informations-Datenpools (WInD-Pool) wird dadurch gewährleistet, dass Windparkbetreiber regelmäßig ihre Betriebs- und Instandhaltungsdaten einspielen. Als Gegenleistung erhalten sie Informationen darüber, wie ihre Anlagen im Vergleich zur Gesamtheit stehen. Die große Datenmenge der Anlagenbetreiber wiederum ist die Basis für eine Kennwerte-Bibliothek, mit deren Hilfe für jede einzelne Windenergieanlage beispielsweise Aussagen darüber getroffen werden können, ob und gegebenenfalls auch wo Betriebs- und Instandhaltungsabläufe optimiert werden müssen. Außerdem können die Daten helfen, Projektgesellschaften Planungssicherheit – beispielsweise durch Vereisungsprognosen – zu bieten oder Banken und Versicherungen bei der Einschätzung des Finanzierungs- bzw. Versicherungsrisikos zu helfen. Langfristig soll sich die Datenbank finanziell selbst tragen, indem weitere Serviceleistungen wie etwa Risikoanalysen angeboten werden. Hierbei unterstützt die Dresdner Ingenieurgesellschaft Zuverlässigkeit und Prozessmodellierung (IZP). WInD-Pool wird vom BMWi mit rund 2,4 Millionen Euro gefördert.

Solarenergie



Sonnenenergie lässt sich auf vielfältige Weise nutzen. Photovoltaikanlagen wandeln Sonnenstrahlen in Solarzellen direkt in Strom um. Diese Anlagen werden auf Freiflächen oder auf Eigenheimdächern, Bürogebäuden oder Industrieanlagen installiert. Solarthermische Kraftwerke hingegen nutzen die gebündelte Sonnenwärme, um Turbinen und Generatoren anzutreiben, die ganze Städte mit Strom versorgen. Für diese Technik wird eine hohe direkte Einstrahlung benötigt, wie sie etwa in Südeuropa, Afrika oder in Teilen Süd- oder Nordamerikas zu finden ist.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Rund um den Globus setzen immer mehr Staaten auf die Kraft der Sonne. So ist die weltweit installierte Photovoltaik-Kapazität 2016 auf das Rekordniveau von rund 295 Gigawatt angewachsen (2015: rund 225 Gigawatt). China, die Vereinigten Staaten und Japan lagen beim Ausbau vorn. Bis zum Jahr 2030 ließe sich weltweit der Anteil des Solarstroms zur Deckung des jährlichen Energiebedarfs von derzeit 2 auf 13 Prozent steigern. Zu diesem Ergebnis kommt die Internationale Agentur für erneuerbare Energien IRENA in ihrer Studie „Letting in the Light: How Solar Photovoltaics Will Revolutionize the Electricity System“, die 2016 erschienen ist. Voraussetzung für diesen Ausbau sei die von Experten erwartete Kostenreduktion von über 50 Prozent innerhalb der nächsten 15 Jahre.

Für die deutschen Maschinen- und Komponentenhersteller spiegelt sich diese Marktentwicklung in vollen Auftragsbüchern wider. Auch wenn in Deutschland selbst die neu installierte Leistung mit rund 1,5 Gigawatt erneut deutlich hinter dem geplanten Zubau von 2,5 Gigawatt pro Jahr geblieben ist: Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) hat im Herbst 2016 mitgeteilt, dass die Hersteller von Photovoltaik-Produktionsequipment bereits in den ersten drei Quartalen 2016 mehr Auftragseingänge zu verzeichnen hätten als im gesamten Vorjahr. Die Technikkomponenten „Made in Germany“ sind weltweit gefragt. Über 90 Prozent der Produktion gehen nach Aussagen des Verbands mittlerweile ins Ausland. In Deutschland sind hingegen, nicht zuletzt aufgrund der kostengünstig produzierenden asiatischen Wettbewerber, nur noch wenige Unternehmen tätig, die Solarmodule bzw. -zellen fertigen.

Weltweit wird zudem immer mehr Strom in solarthermischen Kraftwerken produziert, insbesondere in Ländern mit einem hohen Direktstrahlungsanteil wie Marokko oder Südafrika. 2016 betrug die globale Kapazität bereits 4,8 Gigawatt, Tendenz steigend. Experten schätzen, dass sich die rund um den Globus installierte Leistung in den nächsten zehn Jahren verdrei- oder -vierfachen wird. Große solarthermische Kraftwerksprojekte sind unter anderem in Marokko, Saudi-Arabien, Dubai und Südafrika geplant bzw. im Bau.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Auf dem PV-Markt etablieren sich immer leistungsfähigere Module auf Basis des kristallinen Siliziums. Momentan setzt sich insbesondere die p-PERC-Technologie (Passivated Emitter Rear Contact auf p-Typ Wafersubstraten) durch, die sich gut in bestehende Produktionslinien integrieren lässt (siehe auch „Im Fokus: Perspektiven in der Photovoltaik“, Seite 30). Als ein möglicher nächster Schritt hin zu effizienteren Modulen wird die Heterojunction-Technologie angesehen, bei der eine Grenzschicht zweier unterschiedlicher Halbleitermaterialien geschickt genutzt wird. Mit Blick auf noch höhere Modulleistungen beschäftigen sich neue Forschungsansätze mit Tandem-Solarzellen. Im Forschungsverbund **PersiST** des Freiburger Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) arbeiten Wissenschaftler beispielsweise an einer Perowskit-Silizium-Tandemsolarzelle mit über 29 Prozent Wirkungsgrad (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 32). Im Bereich der Dünnschichtmodule auf Basis des Chalkopyrit-Halbleiters CIGS arbeiten Industrie und Forschung Hand in Hand, um die Vorteile dieser Technik, insbesondere für gebäudeintegrierte Photovoltaik, zu nutzen.

Neben den Fortschritten bezüglich der Wirkungsgrade durch optimierte Solarzellen und -module oder anderer Komponenten wie etwa intelligenter und kompakterer Wechselrichter stehen die Produktionsmittel und -abläufe für Photovoltaikmodule und -zellen verstärkt im Fokus der Forschung. Um dort weitere Kostenersparnisse zu erzielen und somit international wettbewerbsfähig zu bleiben, setzen die Anlagenbauer auf innovative Fertigungsverfahren im Sinne von Industrie 4.0 (siehe auch „Intelligente Produktionsanlage der Zukunft“, Seite 29).

Bei den solarthermischen Kraftwerken ist nach wie vor die Parabolrinnentechnologie mit Thermoöl als Wärmeträgermedium am weitesten verbreitet. Dabei reflektieren

qualitativ hochwertige Rinnenkollektoren die Direktstrahlung der Sonne auf das Receiverrohr, in dem das durchfließende Wärmeträgermedium erhitzt wird. Bei Thermoölanlagen sind Temperaturen von knapp 400 °C möglich, die in einem Wärmetauscher genutzt werden, um Dampf zu erzeugen, der wiederum eine Turbine antreibt. Durch die Fortschritte in der Forschung und Entwicklung verschiedener Komponenten wie etwa des Receiverrohrs oder von Turbinenbauteilen konnten deutliche Qualitätssteigerungen bzw. Einsparpotenziale aufgezeigt werden.

Eine weitere technische Option im Bereich der solarthermischen Kraftwerke sind die solaren Turmkraftwerke. Im Gegensatz zur Parabolrinnentechnologie, die die Sonnenstrahlen auf eine Linie fokussiert, wird die Sonnenenergie bei einem Turmkraftwerk von einem Heliostatenfeld eingefangen und nahezu punktförmig auf einen Receiver am oberen Ende eines Turms gebündelt. Auch an dieser solaren Technik wird weiterhin intensiv geforscht, um Kosten zu senken. Nach wie vor ist das Solarfeld mit Spiegeln und Antrieb bei dieser Technik der größte Kostenfaktor. Rund die Hälfte der gesamten Investitionskosten fällt hier an. Daher richtet sich das Augenmerk von Forschungseinrichtungen, Hochschulen und Unternehmen darauf, die Heliostaten und deren Steuerung zu optimieren. So wird unter anderem im Forschungsvorhaben **HELIKONTURplus** (siehe auch „Innovative Heliostaten für Solarturmkraftwerke“, Seite 37) an optimierten Heliostatkonturen und einem angepassten Turm- und Felddesign geforscht. Auch wird an der Einführung neuer Wärmeträgermedien wie Salzschnmelzen derzeit konzentriert gearbeitet.

Strategie der Forschungsförderung

In der Photovoltaik trägt die Forschungsförderung entscheidend dazu bei, wegweisendes Know-how in Industrieunternehmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulen zu generieren. Durch den erfolgreichen Innovationstransfer in die Industrie behaupten sich deutsche Photovoltaik-Anlagenbauer und -Komponentenzulieferer im internationalen Wettbewerb sehr gut. Damit diese Erfolge dauerhaft bleiben, hat das BMWi 2016 unter anderem das Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien initiiert. Das Netzwerk versteht sich als Schnittstelle zwischen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft und verfolgt in diversen thematisch definierten Arbeitsgruppen das Ziel, wichtige Forschungsschwerpunkte in enger Rückkopplung mit allen Beteiligten zu definieren und passende Förderstrategien für die

Zukunft zu entwickeln (weitere Informationen zu den BMWi-Forschungsnetzwerken siehe Seite 11).

Im Fokus der strategischen Forschungsförderung durch das BMWi steht weiterhin, den Material- und Energieverbrauch zu senken, effektivere Herstellungsprozesse zu etablieren und den Wirkungsgrad der Zellen zu erhöhen, um so die Kosten weiter zu senken. Das BMWi fördert darüber hinaus Forschungsaktivitäten in den unterschiedlichsten Bereichen, wie zur gebäudeintegrierten Photovoltaik, der Dünnschichtszellentechnik, dem Recycling oder zu Fragen der Qualitätssicherung.

Im Förderschwerpunkt Photovoltaik flossen im Jahr 2016 rund 57,8 Millionen Euro in laufende Vorhaben (2015: rund 59,7 Millionen Euro). Der Fördermitteleinsatz konnte gegenüber dem Vorjahr indes deutlich gesteigert werden. Waren es 2015 97 neue Projekte mit einem Gesamtvolumen von 78,6 Millionen Euro, konnten 2016 166 neue Forschungsprojekte mit einem Gesamtvolumen von rund 116,6 Millionen Euro bewilligt werden.

Auch im Bereich der solarthermischen Kraftwerke trägt die strategische Forschungsförderung durch das BMWi dazu bei, die Rolle deutscher Unternehmen als technologische Marktführer im globalen Wettbewerb aufrechtzuerhalten.

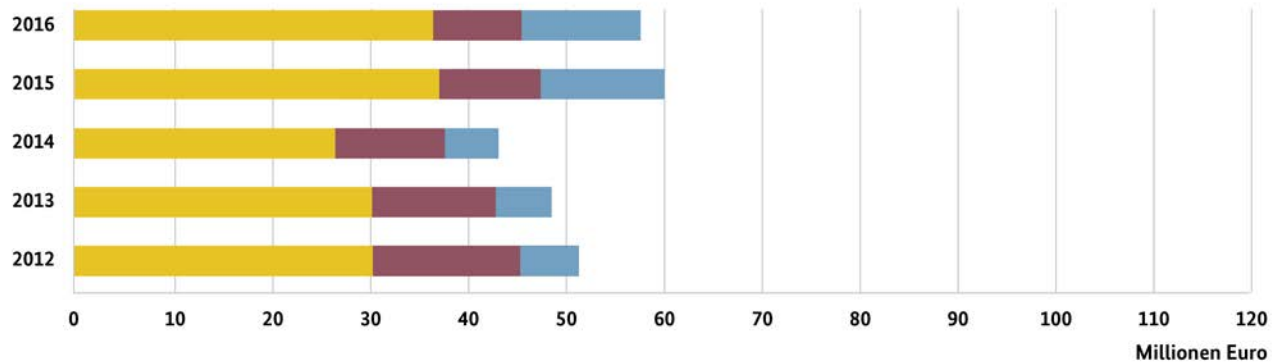
Grundlegendes Ziel aller Fördervorhaben ist es, durch innovative Komponentenentwicklungen die Stromkosten aus solarthermischen Kraftwerken zu reduzieren. Hierfür werden unter anderem Projekte in den Bereichen Parabolrinnenanlagen, Fresnel-Anlagen, solare Turmkraftwerke und passende Speichertechnologien gefördert. Zudem müssen die neuen Entwicklungen, etwa im Bereich der Wärmeträgermedien oder Receiver-Technik, nicht nur in Simulationen, sondern auch in Prototypen bzw. Demonstrationsanlagen erprobt werden.

Im Jahr 2016 hat das BMWi im Bereich der solarthermischen Kraftwerke 13 neue Projekte mit einem Gesamtvolumen von rund 8,9 Millionen Euro neu bewilligt (2015: 16 Projekte mit rund 3,8 Millionen Euro). In laufende Projekte flossen derweil rund 8,6 Millionen Euro (2015: rund 10,1 Millionen Euro).

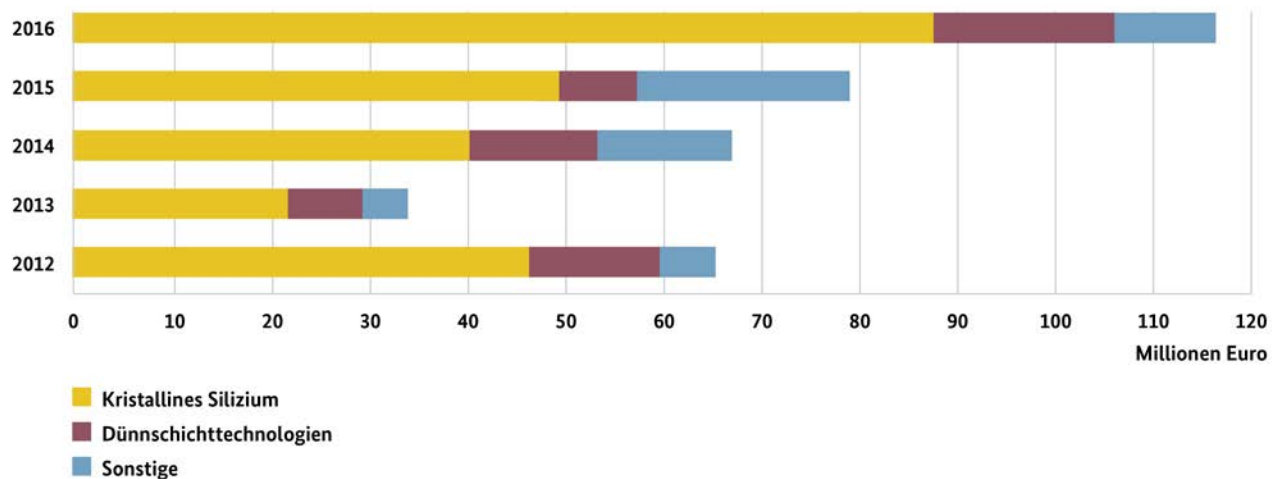
Im Verbund CHEOPS soll eine Nasschemieanlage für Wafer wie die Silex II zu einem intelligenten System weiterentwickelt werden, sodass sie chemische Reinigungsschritte sowie Spül- und Trocknungsvorgänge selbsttätig auf Basis der erstellten Prozessdaten optimiert.



Photovoltaik: Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016



Photovoltaik: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012



Photovoltaik

Auswahl geförderter Projekte

Intelligente Produktionsanlage der Zukunft

In Deutschland ist in den vergangenen Jahren die Zahl der Unternehmen, die in großem Umfang Solarzellen und -module produzieren, immer geringer geworden. Ursache hierfür ist vor allem der enorme Anstieg asiatischer Fertigungskapazitäten, der zu einem Preisverfall für Solarmodule geführt hat. Diesen konnten deutsche Unternehmen durch Kostensenkungen nicht mehr auffangen. Um den Fertigungsstandort Deutschland branchenübergreifend wettbewerbsfähig zu halten, fördert die Bundesregierung die Entwicklung innovativer Produktionstechniken auch innerhalb des Zukunftskonzepts Industrie 4.0. Ziel ist es, die industrielle Fertigung und die Informations- und Kommunikationstechnologie enger zu verzahnen, um mit Hilfe selbstoptimierender Produktionsanlagen Kosten zu senken.

Im Verbund **CHEOPS** entwickelt und baut Singulus Technologies eine multifunktionelle Nasschemieanlage für Wafer, in der verschiedene Aspekte von Industrie 4.0 umgesetzt werden. So soll die intelligente Anlage beispielsweise chemische Reinigungsschritte, texturierende Oberflächenbehandlungen sowie Spül- und Trocknungsvorgänge selbsttätig auf Basis der erstellten Prozessdaten optimieren. Hierfür statten die Projektpartner die Anlage mit modernen Kommunikationsschnittstellen aus. Eine Vielzahl von Sensoren ermittelt die Daten, die innerhalb der Anlage interpretiert werden und entsprechende Handlungsschritte auslösen. So wird beispielsweise eine intelligente Spüleinheit den Wasserverbrauch kontrollieren und auf die Bedürfnisse der jeweiligen Arbeitsschritte anpassen. Ein neu entwickeltes Predictive-maintenance-System wird zudem Diagnose-daten aller in der Anlage verbauten Baugruppen bündeln und auswerten. Wartezeiten können entsprechend gezielt und rechtzeitig durchgeführt werden. Dadurch lassen sich ungeplante Stillstandszeiten der Anlage und somit Kosten vermeiden. Das BMWi fördert das Verbundvorhaben, an

Fortsetzung Seite 31

IM FOKUS: PERSPEKTIVEN IN DER PHOTOVOLTAIK

Sonnige Aussichten

Fertigungsanlagen für die Photovoltaikbranche aus Deutschland sind weltweit gefragt. Zu den führenden Anbietern gehört das Unternehmen Meyer Burger (Germany) aus dem sächsischen Hohenstein-Ernstthal. Das Unternehmen entwickelt und fertigt unter anderem Produktionslinien zur Herstellung von Solarzellen. Vorstandsvorsitzender Dr. Gunter Erfurt erläutert im Gespräch, welche technischen Innovationen aus seiner Sicht in den nächsten Jahren in der PV-Branche anstehen und wie sich sein Unternehmen diesen Herausforderungen stellt.

Herr Dr. Erfurt, der Preisdruck in der Photovoltaik-Branche ist immens. Modulhersteller müssen Zellen mit möglichst hohen Wirkungsgraden immer günstiger produzieren. Stößt die derzeitige PV-Technologie an Grenzen?

Die Kostenreduktion vor allem im Bereich der Stromgestehungskosten geht erfolgreich voran, was die Wettbewerbsfähigkeit der Solarindustrie in den vergangenen zwei Jahren im globalen Energiemarkt deutlich erhöht hat. Mittlerweile gibt es Projekte in Chile und in Dubai, welche Solarstromgestehungskosten mit ca. 0,03 €/kWh ermöglichen. Hierbei spielt die Erhöhung der Wirkungsgrade sowie der Energieausbeute der Solarzellen eine besondere Rolle, da diese eine Kostensenkung pro Modul als logische Konsequenz nach sich ziehen. Dies belebt den Markt generell, der Ausblick für den Solarmarkt sieht daher aus meiner Sicht sehr positiv aus. Die PV-Technologie stößt dabei noch lange nicht an ihre Grenzen. Gegenwärtig setzt sich die p-PERC-Technologie (Passivated Emitter Rear Contact auf p-Typ Wafersubstraten, Anm. d. Red.) durch, die sich besonders leicht in bestehende Produktionslinien integrieren lässt. Hierbei sind deutsche Anlagenhersteller wie Meyer Burger mit globalen Marktanteilen über 90 Prozent führend. Durch die richtigen BMWi-Förderprojekte konnten die Weichen zeitig genug gestellt werden, was zum gegenwärtigen Erfolg der deutschen Ausrüsterindustrie massiv beiträgt.

Wohin wird die technische Entwicklung aus Ihrer Sicht gehen?

Die Hersteller von Solarmodulen haben das Bestreben, sich gegenüber ihren Wettbewerbern zu differenzieren. Das bedeutet, dass gegenwärtig deutlich über die PERC-Technologie hinaus geblickt wird. Hierbei sind verschiedene Technologie-Routen möglich. Momentan stellt



Dr. Gunter Erfurt ist Vorstandsvorsitzender des Unternehmens Meyer Burger (Germany).

sich ein Trend ein, dass führende Hersteller in Richtung von hocheffizienten n-Typ-Technologien über 22 Prozent Solarzellenwirkungsgrad orientieren.

Wie stellt sich Ihr Unternehmen diesbezüglich auf?

Hierfür wurden bei uns – unter anderem durch die entsprechenden BMWi-Förderprojekte – zeitig genug die Weichen gestellt. Deutsche Ausrüster wie Meyer Burger können den erweiterten Technologieanforderungen der globalen Industrie durch Technologien wie n-PERT (Passivated Emitter Rear Totally Diffused), aber vor allem auch durch n-Heterojunction Rechnung tragen. Die Basistechnologie steht mit Zellwirkungsgraden von über 22 Prozent auf industriellem Niveau zur Verfügung. Weitere F&E-Projekte sind notwendig, um das volle Potenzial bis auf 25 Prozent zu heben. Selbst Solarzellentechnologien über 25 Prozent Wirkungsgrad sind keine Unmöglichkeit mehr. Entsprechende Anlagentechnik „Made in Germany“ wird bereits erforscht und im Pilotmaßstab hergestellt. Innerhalb der nächsten Jahre werden entsprechende industrielle Anlagen somit dem globalen Markt zur Verfügung stehen.



Auf der Demolinie der Firma Meyer Burger (Germany) werden neue Verfahren zum Herstellen von Hochleistungszellen mit über 22 Prozent Wirkungsgrad getestet.

Welchen Stellenwert hat die Forschung und Entwicklung für Meyer Burger (Germany)?

Meyer Burger investiert jährlich etwa 15 Prozent seines Umsatzes in F&E-Projekte – allein diese große Zahl spricht für den äußerst hohen Stellenwert. Wir sind uns bewusst, dass unser Erfolg an den richtigen F&E-Projekten und deren Bearbeitung durch unsere hochqualifizierten und erfahrenen Wissenschaftler und Ingenieure hängt. Hierbei ist es für Meyer Burger essenziell, dass wir die sehr gute Zusammenarbeit mit weiteren Partnern, zum Beispiel in der Fraunhofer-Gesellschaft sowie dem Institut für Solarenergieforschung in Hameln/Emmerthal ISFH und anderen Instituten und Industriepartnern, mit der Unterstützung der Bundespolitik fortsetzen können. Damit werden sich die hohen Marktanteile deutscher Unternehmen sowie die Technologieführerschaft erhalten und ausbauen lassen.

Meyer Burger (Germany) war bis zum Kauf durch das Schweizer Unternehmen Meyer Burger im August 2015 als Roth & Rau AG auf dem Markt aktiv. Welche Bedeutung hat der deutsche Standort nun im neuen Unternehmensverbund?

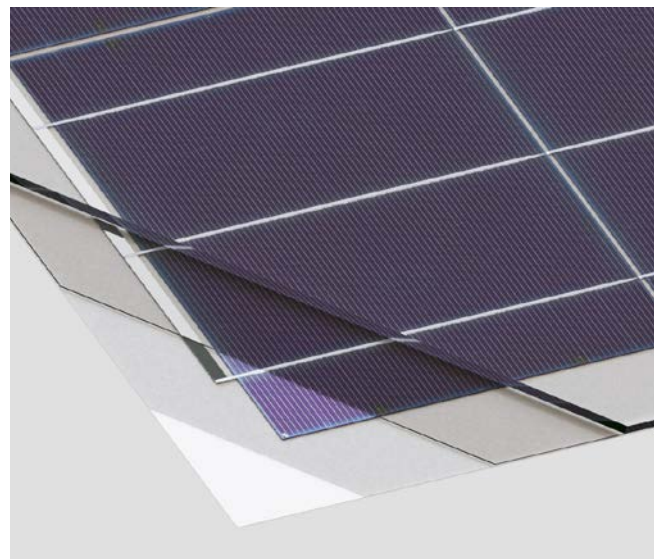
Die Solarzelle ist der „Motor“ des Moduls, und damit sind unsere Anlagen zur Herstellung von Solarzellen der wesentliche Hebel zur Kostenreduktion im solaren Wertschöpfungsprozess sowie zur Steigerung der Wirkungsgrade und Energieausbeuten. Die Meyer Burger Germany trägt den größten Teil zum Umsatz und Ergebnis des Meyer Burger Konzerns bei und hat weitere Wachstumspotenziale. Somit stellt die Meyer Burger Germany eine wesentliche Säule im Meyer Burger Konzern dar.

Das Interview führte Ilse Trautwein, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

dem neben Singulus Technologies auch die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung sowie die Unternehmen SICK, camLine und MIB Messtechnik und Industrieberatung beteiligt sind, mit insgesamt rund 2,9 Millionen Euro.

Solarmoduleleistung verbessern

Das Verhältnis zwischen der Photovoltaik-Modulleistung und der Summe der Zelleleistungen wird durch die cell-to-module (CTM)-Kennzahl beschrieben. Ziel des Forschungsprojekts **Innovative Technologien zur Steigerung des „cell-to-module“-Leistungsverhältnisses bei Qualitäts-PV-Modulen** ist es, die Leistung der Module durch neu



Die Experten im CTM-Forschungsvorhaben forschen unter anderem an innovativen Modulmaterialien, Materialkombinationen und Moduldesigns.

entwickelte Modultechnologien zu steigern, ohne die Zellwirkungsgrade erhöhen zu müssen. Dafür sollen einzelne Modulmaterialien, Materialkombinationen und Moduldesigns hergestellt, messtechnisch bewertet und das Zusammenwirken in optischen und elektrischen Modellen erfasst werden. Die Experten entwickeln unter anderem eine Moduloptik, die durch Modifikationen der Teilkomponenten ganzheitlich so gestaltet wird, dass die Lichtaufnahme der Solarzelle maximiert wird. Darüber hinaus ist geplant, die ertragsrelevanten Moduleigenschaften zu analysieren,

Fortsetzung Seite 33

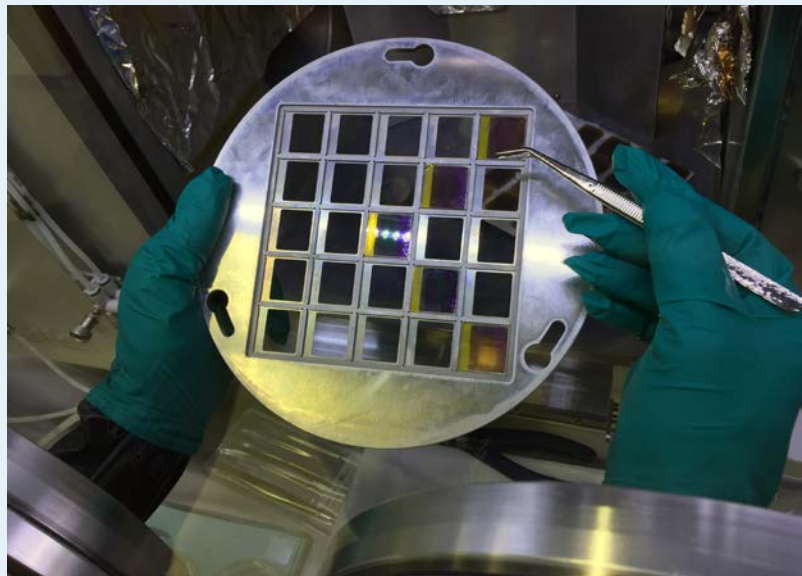
HIGHLIGHT

Im Tandem zu höheren Wirkungsgraden

Zu zweit ist man stärker als allein. Was Tandemfahrer wissen und nutzen, macht sich auch die Photovoltaik-Forschung zu eigen. Sie entwickelt sogenannte Tandem-Solarzellen. Das Prinzip: Zwei Solarzellen aus verschiedenen Materialien, die unterschiedliche Wellenbereiche des Lichts nutzen, werden übereinander geschichtet. Dadurch wird insgesamt ein breiteres Spektrum des Sonnenlichts als bei einer Einzelzelle absorbiert – und damit der Wirkungsgrad der Solarzelle erhöht.

Bisher dominieren reine Silizium-Solarzellen den weltweiten Photovoltaik-Markt. Mit höheren Wirkungsgraden lassen sich die Stromgestehungskosten weiter senken und damit die Verbreitung dieser umweltfreundlichen Technologie weiter beschleunigen. Hier stößt die Silizium-Photovoltaik allerdings an eine Grenze. Ihre Wirkungsgrade liegen in der industriellen Produktion derzeit bei maximal 20 bis 22 Prozent – mit begrenztem Ausbaupotenzial. Experten gehen davon aus, dass bei 26 bis 27 Prozent in der industriellen Produktion Schluss ist.

Tandem-Solarzellen können mehr. Hier sind langfristig Wirkungsgrade über 40 Prozent möglich. Daher arbeiten Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen in unterschiedlichen Projekten intensiv daran, eine Tandem-Generation von Solarzellen mit einer Bottomsolarzelle auf Basis von kristallinem Silizium zu entwickeln, die auf den etablierten Technologien aufbaut. Im Forschungsverbund **PersiST** (Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen), das vom Freiburger Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE koordiniert wird, soll eine Perowskit-Silizium-Tandemsolarzelle mit über 29 Prozent Wirkungsgrad hergestellt werden. „Solarzellen auf Perowskitbasis haben verschiedene Vorteile. Sie nutzen blaues und grünes Licht deutlich effizienter als Siliziumzellen. Die Siliziumzellen wiederum nutzen dann das rote und infrarote Licht, was die Perowskitsolarzellen nicht können“, berichtet ISE-Projekt Koordinator Dr. Jan Christoph Goldschmidt. Zudem sind die Perowskitzellen sehr dünn und können potenziell günstig gefertigt werden. Um eine Perowskitsolarzelle als sogenannte „Topsolarzelle“ auf



Im Forschungsprojekt PersiST werden aufgedampfte Perowskitsolarzellen für die Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen optimiert.



Auf dem Bild sind Bestandteile einer Solarzelle zu sehen, die im Rahmen von EASi entwickelt werden: metallische Precursorschicht (weiß), epitaxiefrei gewachsene InP-Absorberschicht (grau) und Si-Bottomzelle (blau strukturiert).

eine konventionelle Siliziumsolarzelle aufsetzen zu können, müssen sämtliche Komponenten weiterentwickelt werden. In PersiST forschen die ISE-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit ihren Partnern daher unter anderem daran, wie die Perowskit- und Siliziumsolarzelle durch angepasste Kontakt- und Ladungsträgertransport-schichten optimal verbunden werden können. Die Tandemsolarzelle soll auf einer Fläche von 100 cm² realisiert werden. Auch die Frage der Haltbarkeit und der Alternativen zum derzeitigen Anteil von Blei in der Perowskit-solarzelle werden unter die Lupe genommen. Die Projektpartner, zu denen neben Fraunhofer ISE die Universität Freiburg, das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie sowie die Unternehmen Heraeus Deutschland und MERCK gehören, gehen davon aus, dass sich mit dem angestrebten höheren Wirkungsgrad die Strom-gestehungskosten perspektivisch um ein Drittel senken ließen. Darüber hinaus setzt die entwickelte Technik auf die etablierte Siliziumtechnologie auf, was einen schnellen Transfer in die industrielle Fertigung ermöglichen würde. Das BMWi fördert den Verbund mit rund 4,3 Millionen Euro.

Die Kombination aus industrienaher Siliziumtechnologie und innovativer Tandemtechnik ist auch die Ausgangsbasis für das Forschungsprojekt **Epitaxiefreier Absorber für kostengünstige Tandemsolarzellen auf Silizium (EASi)**. In EASi entwickeln Wissenschaftler des Instituts für Solarenergieforschung (ISFH) eine robuste Bottomsolarzelle auf Siliziumbasis, die mit verschiedenen Topsolarzellen verbunden werden kann. Für die geplante Demonstrationszelle werden zunächst Perowskite in die Topsolarzelle eingesetzt. Parallel wird aber an einem epitaxiefreien Absorber als Alternative für die obere Solarzelle geforscht, da dieses Material eine höhere Stabilität aufweist. Das BMWi unterstützt EASi mit rund 1,7 Millionen Euro.

welche nicht in Standard-Testbedingungen abgebildet sind. Darunter fallen der Umgang mit schräg einfallendem Licht, mit veränderten Temperaturen und Lichtspektren sowie das Verhalten bei Schwachlicht.

Um die Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Bauelementen zu verstehen und Synergien effektiv nutzen zu können, arbeitet die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung in diesem Projekt mit einem Expertenkreis aus Modulkomponentenherstellern, Modulherstellern sowie Anlagenbauern und Messtechnikherstellern zusammen. Gemeinsam soll eine Technologie-Roadmap für Qualitäts-Solarmodule mit einem CTM über 100 Prozent erarbeitet werden. Durch die Leistungssteigerung der Module werden die spezifischen Kosten gesenkt und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Solarfirmen erhöht. Das Forschungsprojekt wird vom BMWi mit rund 2,7 Millionen Euro gefördert.

Höhere Wirkungsgrade für CIGS-Solarmodule

Dünnschichtsolarzellen überzeugen vor allem durch Materialersparnis, günstigere Produktionskosten und flexible Anwendungsmöglichkeiten gegenüber konkurrierenden Photovoltaiktechnologien. Dazu zählt, dass sie sich unter anderem als großflächige Fassaden attraktiv in Gebäude integrieren lassen. Jedoch ist der Marktanteil der industriell gefertigten Dünnschichtmodule kleiner als der der länger auf dem Markt etablierten Siliziumtechnologie.

Um Cu(In,Ga)(S,Se)₂-Solarmodule (kurz: CIGS) unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten noch attraktiver zu machen, müssen grundlegende physikalisch-chemische Fragestellungen wissenschaftlich gezielt untersucht und geklärt werden. Im Forschungsverbund **EFFCIS** (Effizienzoptimierung von CIS-basierten Dünnschichtsolarzellen und -modulen) arbeiten Experten aus Forschungseinrichtungen, Hochschulen und der Industrie gemeinsam daran, den Wirkungsgrad und die Langzeitstabilität von chalkopyrit-basierten Dünnschichtsolarzellen durch veränderte Puffermaterialien und modifizierte Absorber- und Fensterschichten zu steigern. Um dieses Ziel zu erreichen, planen die Wissenschaftler Experimente mit erhöhten Bandlücken, verbesserten Dotierprofilen sowie mit Grenzflächen, die geringe Defektdichten aufweisen. Dabei kommen innovative Methoden wie In-situ-Laserlichtstreuung, In-situ-Röntgenbeugung und -fluoreszenz sowie In-situ-Raman-spektroskopie zum Einsatz,

Fortsetzung Seite 35

HIGHLIGHT

Präziser, günstiger, umweltfreundlicher: Diamantdrahtsägen

Die Produktion von Wafern für Photovoltaikanlagen ist ein aufwändiger und kostenintensiver Prozess. Wissenschaftler im Forschungsverbund DIANA setzen auf ein innovatives Verfahren, bei dem die Wafer mit Diamantdrahtsägen aus dem Siliziumblock geschnitten werden. Ihr Ziel: die Herstellungskosten von Wafern um 30 Prozent zu senken. Zudem soll sich die Qualität der mittels Diamantdrahtsägen produzierten Wafer erhöhen, so dass das Wirkungsgradpotenzial des Siliziums besser ausgeschöpft werden kann.

Im Mittelpunkt des Forschungsprojekts steht die Diamantdrahtsägetechnologie. Bei dieser Technik trennen Diamantkörner, die mittels Nickellegierung oder durch Kunstharze fest an den Draht gebunden sind, hauchdünne Waferscheiben aus dem Siliziumblock. Dabei bestimmen der Drahtdurchmesser, der Abstand der Führungsrillen und die Größe der Diamantkörner die erzielbare Waferdicke. Diese Parameter, aber auch der Einsatz der Hilfs- und Betriebsstoffe, stehen auf dem Prüfstand, um den Trennprozess sowohl qualitativ als auch wirtschaftlich weiterhin zu optimieren.

Stand der Technik ist bisher der „Slurry“-basierte Trennprozess mit den Nachteilen eines hohen Energie- und Materialeinsatzes sowie einer hohen Schnittzeit. Doch das Diamantsägen soll in den nächsten Jahren als Produktionsverfahren für PV-Wafer Einzug in die Produktion halten. Neben den höheren Stückzahlen sprechen der reduzierte Materialeinsatz – nicht nur

beim Silizium, sondern auch bei den Hilfs- und Betriebsstoffen – dafür. Außerdem würde der bisher aufwändige „Slurry“-Recyclingprozess entfallen.

„Der Umstieg auf das Diamantdrahtsägen optimiert nicht nur die Fertigungsprozesse, sondern auch die Waferoberfläche“, erläutert Projektkoordinator Uwe Kirpal. „Die Reinigung und lückenlose Überwachung von Metall- und Organikverunreinigungen auf der Siliziumwafer-Oberfläche sehen wir im Wafering als notwendig an, um höhere Leistungen bei gleichzeitig sinkenden Herstellungskosten zu erzielen“, so der DIANA-Projektkoordinator. Die Siliziumverluste beim Sägen der Wafer und die Materialverluste durch unerwünschte Kontaminationen verursachen noch immer hohe Kosten in den Waferfertigungsstufen. Um diese Kosten bei der Diamantdrahtsägetechnologie zu reduzieren, entwickeln und erproben Wissenschaftler darauf angepasste Analysemethoden.

An DIANA forschen Fachleute von SolarWorld Innovations gemeinsam mit ihren Partnern von der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung und den Unternehmen Siltronic und SiC Processing (Deutschland). Das Verbundvorhaben soll auch dazu beitragen, deutsche Produktionsstandorte durch Know-how-Vorsprünge im weltweiten Wettbewerb der PV-Industrie zu sichern. Das BMWi fördert das Verbundvorhaben mit rund 6,3 Millionen Euro.



Die Abbildungen zeigen eine 20-fach vergrößerte Oberfläche eines Wafers, links geschnitten mit dem Trennlappverfahren mit losem SiC-Korn und rechts mit einem Trennschleifverfahren mit gebundenem Korn in Form von Diamanten.



In EFFCIS wird daran geforscht, den Wirkungsgrad von CIGS-Dünnschicht-solarzellen zu steigern.

mit denen das Wachstum der CIGS-Schichten in Echtzeit überwacht werden kann. Um die besten Materialparameter für einzelne Komponenten wie Absorber, Puffer oder Grenzflächen in der CIGS-Solarzelle einzustellen, werden außerdem moderne 3D-Bauelement-Simulationsverfahren und Ab-initio-Modellierung eingesetzt. Das BMWi fördert den Forschungsverbund mit rund 4,2 Millionen Euro.

Durch das Projekt BIPV-Fab können individuelle Solarmodule künftig kosteneffizient hergestellt und Fassaden wie die des abgebildeten Laborneubaus zur Stromerzeugung verwendet werden.

Vollautomatisierte Massenfertigung von BIPV-Modulen

Ab 2020 dürfen laut der EU-Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ Neubauten nur noch als „Fast-Nullenergiegebäude“ (nearly zero energy buildings) errichtet werden. Deswegen gewinnt die gebäudeintegrierte Photovoltaik (BIPV), mit der Energie auch an Häuserfassaden erzeugt werden kann, immer mehr an Bedeutung. Um die gestalterischen Wünsche von Architekten und Planern umzusetzen, hat die Branche bisher eine Vielzahl unterschiedlicher BIPV-Module entwickelt. Was optisch ansprechend wirkt, hat einen entscheidenden Nachteil: Die Stückzahlen sind niedrig, so dass die meisten Designs





Im Forschungsvorhaben **EoL-Cycle** werden unter anderem Metalle, Silizium und Glas (von li. nach re.) aus ausgemusterten Photovoltaikmodulen zurückgewonnen.

in Manufaktur hergestellt werden und deswegen etwa drei bis fünf Mal so teuer wie Standard-PV-Module sind. Hier setzt das Forschungsvorhaben **BIPV-Fab** (Fertigungskonzept für eine kostengünstige, vollautomatisierte Massenproduktion von individuellen BIPV-Modulen) an. Ziel des Projekts ist es, die Produktionskosten von gebäudeintegrierten PV-Modulen um bis zu 50 Prozent zu senken. Dafür entwickelt das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE zusammen mit dem Freudenstadter Anlagenbauer Schmid Konzepte für eine möglichst automatisierte On-Demand-Fertigung von unterschiedlichen kristallinen BIPV-Moduldesigns.

Innerhalb des Forschungsprojekts wird zunächst ein Anforderungskatalog für die PV-Module erstellt, in den Faktoren wie Größenvariabilität, geometrische Formen, Farben, Transparenz, Zellanordnung und Materialien einfließen. Von den geeignetsten PV-Moduldesigns sollen Prototypen erstellt werden. Experten der Firma Schmid planen im Anschluss die passenden Fertigungslinien. Hierfür analysieren sie das Produktportfolio unterschiedlicher Maschinen- und Anlagenbauer, um zu klären, welche davon die Erfordernisse für eine flexible und integrationsfähige Produktionslinie erfüllen. Anschließend wird eine Betriebskostenanalyse durchgeführt, um die voraussichtlichen Kosten für die produzierten Solarmodule abschätzen zu können. Das BMWi fördert BIPV-Fab mit rund 360.000 Euro.

Recycling von Photovoltaikmodulen

Derzeit sind in Europa rund 8 Millionen Tonnen Photovoltaikmodule installiert. Experten gehen von einer durchschnittlichen Lebensdauer von etwa 25 bis 30 Jahren aus. Daher wird es in den nächsten Jahren tausende Tonnen sogenannter End-of-Life (EoL)-Module geben. Schätzung des bifa-Umweltinstituts gehen für 2018 von ungefähr 10.000 Tonnen Altmodulen in Europa aus; für 2022 werden bereits 100.000 Tonnen pro Jahr erwartet – Tendenz steigend. Mit dem Projekt **EoL-Cycle**, das das Recyclingunternehmen Reiling koordiniert, soll der aktuell praktizierte industrielle Wiederverwertungsprozess für siliziumbasierte Photovoltaikmodule erweitert werden. Momentan werden zwar Glas und Aluminiumrahmen in den Wertstoffkreislauf zurückgeführt, weitere Metalle und Silizium gelangen dagegen aber oft in die thermische Entsorgung, was weder ökologisch noch ökonomisch sinnvoll ist. Im Vorhaben EoL-Cycle planen die Projektpartner, zu denen neben Reiling die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung und das Unternehmen TESOMA gehören, Rohstoffe wie Kupfer, Silber, Zinn und Silizium zurückzugewinnen und aufzubereiten. Darüber hinaus soll durch optimierte Aufbereitungs- und Abtrennverfahren die Reinheit des gewonnenen Glases verbessert sowie die Staub- und Feinstaubbelastung reduziert werden. Diese Ansätze können perspektivisch zu einem nachhaltigen und ressourcenschonenden Umgang mit den Wertstoffen beitragen. Innerhalb des Forschungsvorhabens planen die Experten, in einem Demonstrationsversuch 100 Tonnen PV-Module mit dem Ziel zu verarbeiten, etwa eine Tonne Silizium und etwa 20 Kilogramm Silber zurückzugewinnen. Der erweiterte Recyclingprozess soll sich wirtschaftlich über die verwerteten Rohstoffe tragen. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 1,7 Millionen Euro.

Solarthermische Kraftwerke

Auswahl geförderter Projekte

Innovative Heliostaten für Solarturmkraftwerke

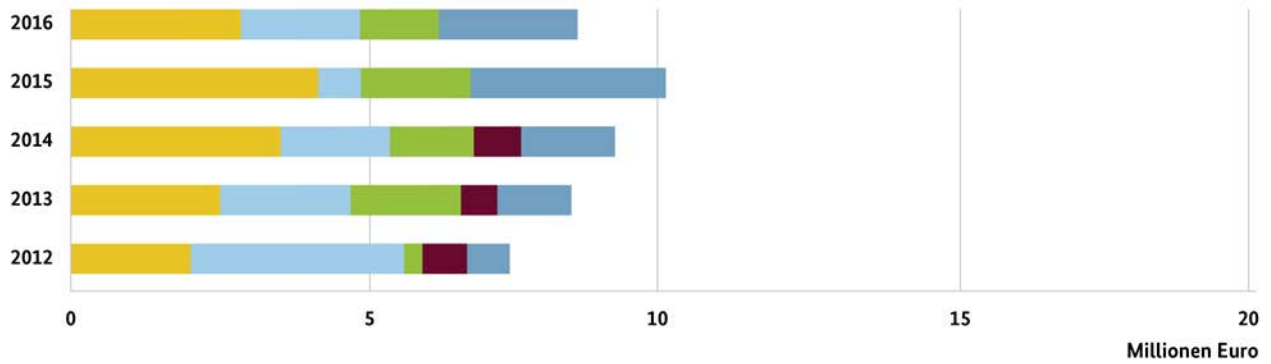
Bis zu 50 Prozent der gesamten Investitionskosten eines Solarturmkraftwerks entfallen auf das Heliostatenfeld. Daher ist es von zentraler Bedeutung, die Investitionskosten weiter zu senken, ohne dass die optische Qualität leidet. Diese Kostensenkungspotenziale untersuchen im Forschungsvorhaben **HELIKONTURplus** Ingenieure von schlaich bergemann partner – sbp sonne (sbp) als Verbundkoordinator gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der CSP Services. Die definierten Ziele sollen durch optimierte Heliostatkonturen und ein angepasstes Turm- und Felddesign erreicht werden.

Der fünfeckige Heliostat „Stellio“ minimiert durch seine geometrische Form im Heliostatenfeld das gegenseitige Verschatten.

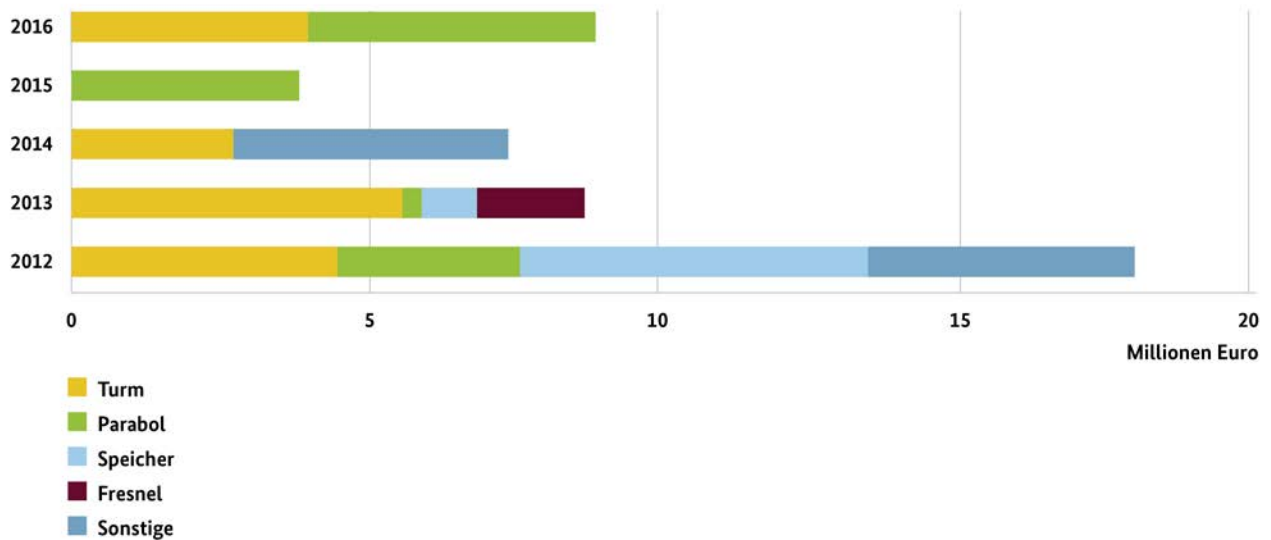
Die Firma sbp hat den fünfeckigen Heliostattyp „Stellio“ entwickelt, der durch seine geometrische Form gegenseitiges Verschatten und Blockieren minimiert. Gemeinsam mit den Verbundpartnern arbeitet sbp nun intensiv daran, wie dieser Heliostat im Gesamtsystem die Sonnenstrahlen effizienter bündeln kann. So sorgen geneigte Antriebsachsen dafür, dass bei beiden Achsen kostengünstige Linearantriebe für die Nachführung verwendet werden können. Zudem ist das Antriebssystem in der Lage, eine Selbstkalibrierung durchzuführen, welche mit Hilfe einer intelligenten Programmierung Toleranzen sowie Verformungen durch Eigengewicht und Fundamentverhalten kompensiert. Die Projektpartner planen, eine Systemdemonstration mit mehreren Heliostaten im Dauerbetrieb durchzuführen. Ziel ist es, die einzelnen Komponenten sowie das gesamte System zu optimieren. Um das gesamte Kostensenkungspotenzial zu eruieren, werden neue Methoden und Simulationswerkzeuge eingesetzt. Dadurch sollen künftig die Ertragsvorhersagen von Solarturmkraftwerken verbessert werden. Das BMWi fördert das Forschungsvorhaben mit rund 1,8 Millionen Euro.



Solarthermische Kraftwerke: Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016



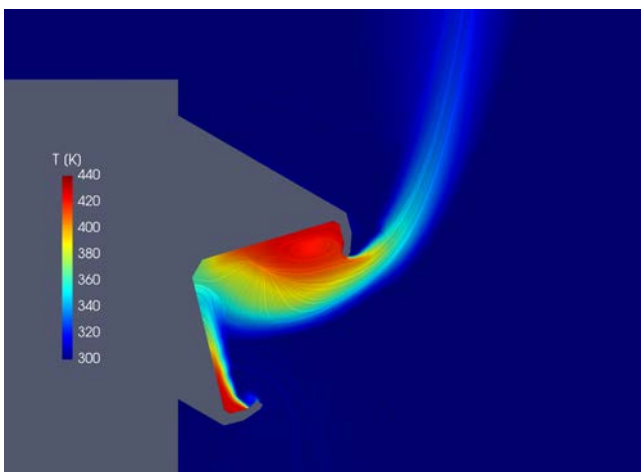
Solarthermische Kraftwerke: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012



Optimierter HiTRec-Receiver

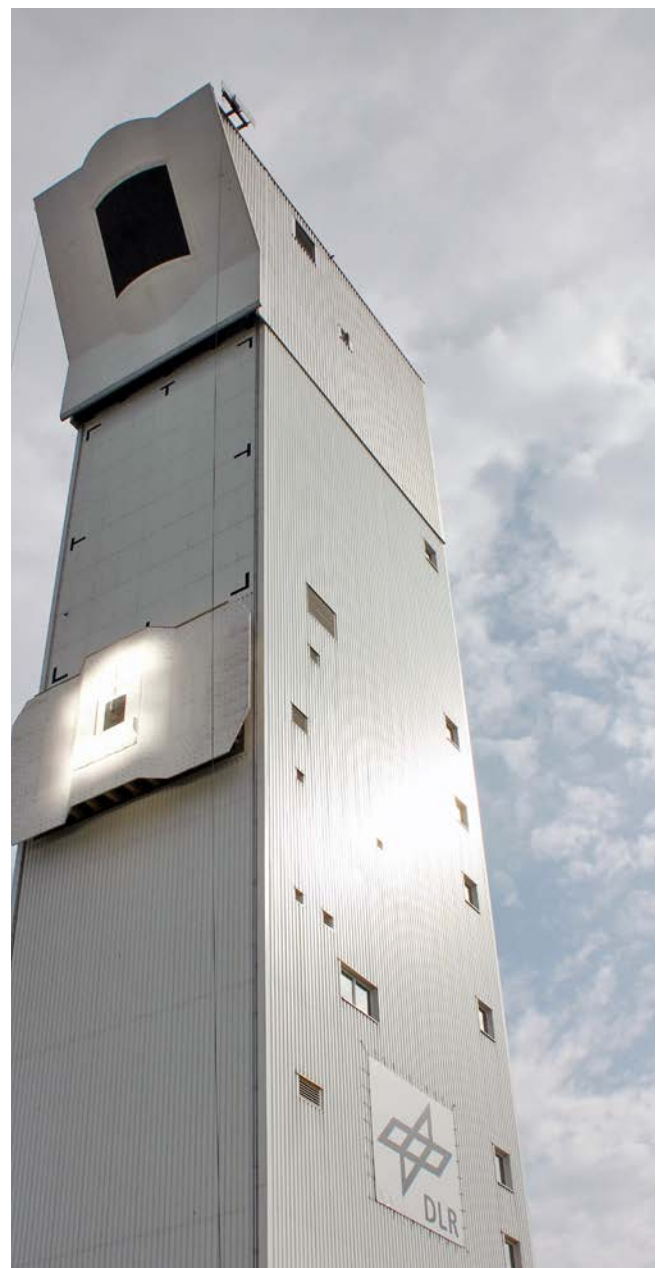
Bei Solarturmkraftwerken werden die Sonnenstrahlen aus dem Heliostatenfeld auf einem zentralen Receiver gebündelt. Die konzentrierte Sonnenenergie wird genutzt, um ein Wärmeträgermedium, wie beispielsweise die atmosphärische Luft, auf mehrere hundert Grad zu erhitzen, um damit eine Turbine anzutreiben. Im Forschungsprojekt **VORWAiRTS** soll die Technologie des offenen volumetrischen Receivers (HiTRec) weiterentwickelt werden, um den Systemwirkungsgrad zu erhöhen und somit die Kosten zu senken. Dabei liegt der Fokus auf einer erhöhten thermischen Receiverleistung, einer verbesserten Luftrückführrate, der Reduktion der internen Verluste sowie einer erhöhten Rückführtemperatur. Des Weiteren sollen der Windeinfluss auf den Betrieb gesenkt und die Strahlungsverluste reduziert werden.

Erreicht werden sollen diese Ziele vor allem durch ein verändertes Receiverdesign. Dazu entwickelt der Projektkoordinator Kraftanlagen München mit seinen Partnern, dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der Fachhochschule Aachen, einen konkav gekrümmten Wärmetauscher mit einer thermischen Leistung von rund 360 Megawatt. Diese Bauform eignet sich insbesondere für eine externe Luftrückführung und einen transienten Betrieb. Dadurch reduzieren sich die Energieverluste, wenn beispielsweise nach Wolkendurchzügen ein schnelles Wiederanfahren des Solarteils vorrangiges Ziel ist. Innerhalb des Forschungsprojekts werden nicht nur Design-



Die Abbildung zeigt die Temperaturverteilung der Rückführluft innerhalb des Hohlraums des in **VORWAiRTS** entwickelten Receivers.

studien erstellt, sondern auch die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des optimierten Receivers rechnerisch im Vergleich zu einem Referenzkraftwerk untersucht. Die Feldtests und Messungen finden mit einem verkleinerten Testreceiver mit einer Leistung von 500 Kilowatt auf der Forschungsplattform des Solarturms in Jülich statt. Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 1,6 Millionen Euro.



Auf der Forschungsplattform des Solarturms in Jülich finden die **VORWAiRTS**-Feldtests statt.

Tiefe Geothermie



Geothermische Anlagen nutzen die Wärme aus der Erde, um Strom zu produzieren oder Gebäude bzw. Siedlungen zu heizen. Die Energiequelle ist ein stabiler Garant im Erneuerbare-Energien-Mix der Zukunft, da sie unabhängig von Witterungsverhältnissen zur Verfügung steht. Daher kann sie neben der Produktion von Heizwärme dazu beitragen, die Grundlast und Lücken in der Stromversorgung abzudecken.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Die tiefe Geothermie nutzt Erdwärme ab 400 Metern Tiefe über zwei unterschiedliche Erschließungsarten. Bei der hydrothermalen Geothermie werden warme Wasservorkommen im Untergrund erschlossen, bei der petrothermalen Geothermie die im Gestein gespeicherte Wärme. In Deutschland wird die tiefe Geothermie vor allem dafür genutzt, auf hydrothermale Weg Wärme zu gewinnen. Dies spiegelt sich auch in den aktuellen Zahlen des Bundesverbands Geothermie (BVG) wider. So waren 2016 insgesamt 33 Geothermieanlagen in Betrieb. Die meisten produzieren als Heizwerke ausschließlich oder teilweise Wärme, die installierte Wärmeleistung beträgt 302 Megawatt. Acht dieser Anlagen sind Kraftwerke und produzieren ergänzend oder ausschließlich Strom. Ihre installierte elektrische Leistung beträgt insgesamt 42 Megawatt.

Auch weltweit versorgt die Geothermie immer mehr Privathaushalte, Industrieanlagen und öffentliche Gebäude mit Wärme und Strom. Nach Angaben des BVG liegt Deutschland weiterhin weltweit auf Platz fünf bei der Wärmenutzung geothermischer Energie. Die ersten vier Plätze belegen China und die USA, gefolgt von Schweden und der Türkei. Die Statistik fasst sowohl die weltweit installierte tiefe als auch oberflächennahe Geothermie zusammen. Als oberflächennahe Geothermie werden Anlagen definiert, welche lediglich bis zu 400 Metern in die Tiefe gehen. In der Regel werden hier Wärmesonden mit einem geschlossenen Kreislauf installiert, um einzelne Haushalte, Industrieunternehmen oder Stadtviertel zu versorgen.

Die Weichen für einen weiteren Ausbau der tiefen Geothermie zur Stromerzeugung in Deutschland sind gestellt. Die Bundesregierung hat im Sommer 2016 die Reform des Erneuerbare-Energien-Gesetzes beschlossen, in dem die

Vergütungssätze für drei weitere Jahre stabil gehalten werden. Die angedachte Degression soll nun erst 2021 beginnen. Geothermieprojekte haben lange Realisierungszeiträume von fünf bis sieben Jahren. Mit der neuen Regelung wird gewährleistet, dass die bei Projektstart geltende Vergütung auch noch für den Betrieb der Anlage gilt.

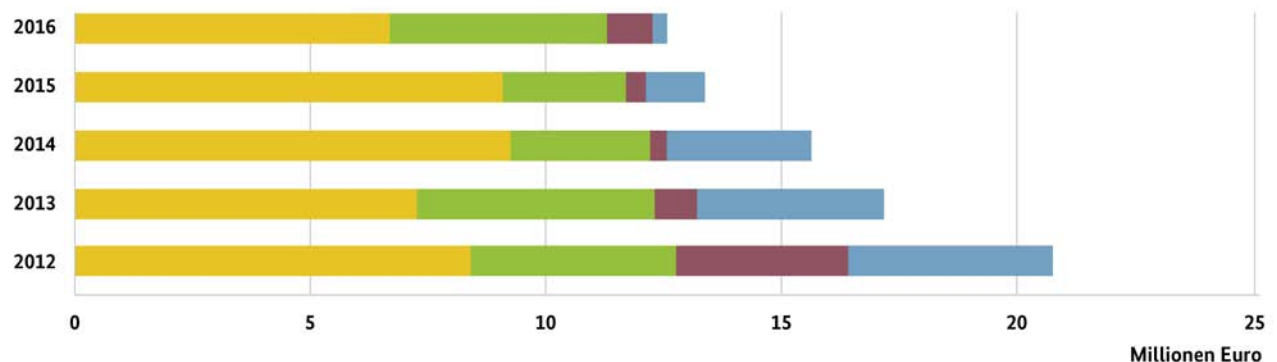
Fortschritte in Forschung und Entwicklung

In den vergangenen Jahren wurde in Hochschulen, an Forschungsinstitutionen und in der Industrie viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet. Dies trug unter anderem dazu bei, die Lebensdauer und Qualität wichtiger Systemkomponenten wie Förderpumpen oder anderer technischer

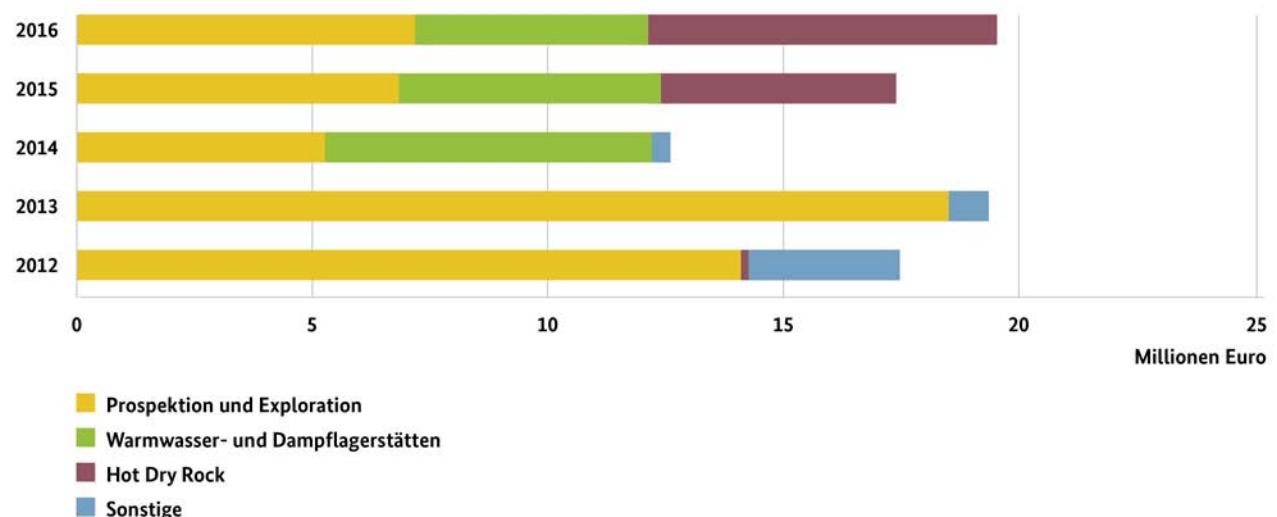
Baugruppen deutlich zu erhöhen. Auch das Sammeln und Aufbereiten geologischer sowie weiterer geothermisch relevanter Daten wurde und wird in verschiedenen Forschungsvorhaben unterstützt. Ziel ist es, möglichst umfassende Datenpools zu den geothermischen Lagerstätten in Deutschland aufzubauen. Auf ihrer Basis lassen sich das Fündigkeitsrisiko und somit die Erschließungskosten senken. Im Forschungsprojekt **Dolomitkluff** (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 44), 50 Kilometer südlich von München, werden erstmals Bohrkerne aus knapp 5.000 Metern Tiefe entnommen. Die Wissenschaftler möchten unter anderem untersuchen, welchen Einfluss die hohe Temperatur und der enorme Druck in 5.000 Metern Tiefe auf die Porosität und Permeabilität des Gesteins haben.

Fortsetzung Seite 43

Geothermie: Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016



Geothermie: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012



IM FOKUS: FORSCHUNG IN DER GEOTHERMIE

„Die Lagerstättentypisierung hilft, Erschließungskosten zu senken“

Prof. Dr. Inga Moeck kennt geothermische Lagerstätten nicht nur aus der Theorie. Die Geologin startete ihre praktische Berufslaufbahn als Bohrgeologin am Helmholtz Zentrum Potsdam (GFZ). Nach der Habilitation folgten die kanadische University of Alberta und die Technische Universität München. Seit Ende 2015 leitet Inga Moeck die Sektion „Geothermik und Informationssysteme“ im Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG). Außerdem ist sie als Professorin an der Hochschule Bochum tätig – mit einer klaren Vision, was ihre geothermische Forschung anbelangt.

Frau Professor Moeck, Sie sind eine ausgewiesene Expertin für die Exploration von Geothermie-Standorten. Wo besteht aus Ihrer Sicht der größte Forschungsbedarf, um die Geothermie in Deutschland voranzubringen?

In Deutschland sind wir in den letzten zehn Jahren in der Geothermie weit gekommen. Anfangs gingen die Forschungsanstrengungen in den Strombereich. In Deutschland müssen wir aber stellenweise sehr tief bohren, um die für Strom notwendigen Temperaturen vorzufinden – das ist sehr teuer. Wir sind jetzt an dem Punkt angelangt, an dem wir sagen: Die Energiewende muss in Deutschland gestemmt werden, insbesondere auch auf dem Wärmemarkt. Hier kann die Geothermie einen wertvollen Beitrag leisten. Allerdings haben wir in Deutschland bisher die mitteltiefen Lagerstätten, so in etwa zwei bis drei Kilometern Tiefe, vernachlässigt. Aber mit Temperaturen von 75 bis 90 Grad Celsius kann man schon ein Wärmenetz betreiben. Ich sehe aktuell den Bedarf, diese Lagerstättentypen, etwa im norddeutschen Becken, zu kartieren und zu explorieren.

Sie haben eine Lagerstättentypisierung mit sechs sogenannten „Play-Types“ entwickelt, die helfen soll, die Kosten der Geothermie für Investoren kalkulierbarer zu machen.

Die Idee mit der Lagerstättentypisierung kam mir in Kanada. Ich war Professorin in Edmonton, wo Erdöl gefördert wird. Diese Branche bestimmt zunächst den

Play-Type einer Lagerstätte, sozusagen das geologische Umfeld, bevor sie bohrt. Das lässt sich meines Erachtens gut auf die Geothermie übertragen. Denn das Kriterium Tiefe und Temperatur kann ich nicht als eindeutiges Katalogisierungskriterium für geothermische Lagerstätten heranziehen: Gehe ich in die USA, liegen die warmen Lagerstätten nicht wie bei uns in fünf, sondern in zwei Kilometern Tiefe. In Indonesien sind warme Lagerstätten zum Beispiel 340, und nicht wie bei uns nur 120 Grad Celsius heiß. Aber die geologischen Umfeldler wiederholen sich weltweit. Und wenn ich bestimmte geologische Ausgangsbedingungen vorfinde, dann kann ich die Wahrscheinlichkeit bestimmen, mit der ich an dieser Stelle eine geothermische Ressource finde. Die Ergebnisse kann ich innerhalb eines „Play-Types“ übertragen und somit Investoren und Kommunen auch an anderer Stelle Planungshilfen an die Hand geben.

Wie war die Resonanz darauf?

Die Idee ist beim Board der International Geothermal Association (IGA) auf sehr große Resonanz gestoßen. Der Typisierungsvorschlag ist inzwischen in die Datenbank des amerikanischen Department of Energy aufgenommen worden. Sinn hinter dem Play-Type-Lagerstättentypenkatalog ist übrigens nicht, dass wir weltweit kartieren, sondern dass wir ein übertragbares Konzept zur Erschließung erarbeiten wollen. Dies muss selbstverständlich immer weiterentwickelt werden. Mein Ziel ist es, mit internationalen Partnern den Play-Type-Lagerstättentypenkatalog zu verifizieren. Dafür schauen wir uns weltweit die geothermisch installierten Werke an und fragen: Passen die so in den Katalog hinein? Oder müssen wir die Play-Types noch untergliedern?

Hat die Lagerstättentypisierung schon Eingang in die Praxis gefunden?

Das vollzieht sich schrittweise. Ein Beispiel, das veranschaulicht, was ich mir für die Zukunft vorstelle: In Deutschland ist das bayerische Molassebecken als Play-Type „Vorlandbecken“ geothermisch sehr gut erkundet. Allein in Europa gibt es sechs weitere Vorlandbecken



Prof. Inga Moeck, Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover:
 „Mit Hilfe der mitteltiefen Geothermie ließe sich etwa in Norddeutschland eine dezentrale Wärmeversorgung aufbauen, sozusagen eine Bürger-Energie.“

wie in Bayern, zum Beispiel vor den Karpaten oder vor den Pyrenäen. Meine Hoffnung ist, dass mit dem Typisierungskonzept nicht nur die Kommunen mittelfristig Planungsgrundlagen erhalten, sondern dass geothermische Projekte auch für Investoren wirtschaftlich interessanter werden.

Werden die Daten am LIAG in die geothermische Datenbank GeotIs eingespeist?

Ja, das ist ein ganz aktueller Forschungsansatz: Ich möchte die GeotIs-Datenbank mit den generierten Daten weiter ausbauen. Zunächst planen wir, die neuen Daten aus der mitteltiefen Geothermie zu integrieren. Danach soll der Lagerstättentypenkatalog eine neue Rubrik in GeotIs werden, die man anklicken kann. Beraterunternehmen können dann künftig darauf zurückgreifen und Kommunen entsprechend darüber beraten, was unter ihren Füßen liegt und wie dies genutzt werden kann.

Das Interview führte Ilse Trautwein, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Neue Erkenntnisse zu innovativen Materialien oder Korrosionsschutz sowie zu seismischen Messverfahren oder dem Monitoring von Anlagen runden das Forschungsportfolio ab. Korrosion und Mineralablagerungen stören den Betrieb von Geothermieanlagen erheblich. Sie werden unter anderem durch mikrobielle Besiedelungen von Oberflächen in den Anlagen verursacht. Diese Biofilme stehen im Mittelpunkt des Verbundvorhabens **BioKS**, das vom Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) in Potsdam koordiniert wird (siehe auch „Im Visier: Mikroorganismen in Biofilmen“, Seite 46).

Strategie der Forschungsförderung

Um die Potenziale der Geothermie stärker nutzen zu können, müssen von der Anlagenplanung über die Exploration der Förderstätten bis hin zur eigentlichen Bohrung, dem Bau und dem anschließendem Betrieb von Geothermieanlagen weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten geleistet werden. Dabei verfolgt das BMWi die Strategie, mit Hilfe innovativer Ansätze in allen Teilen der Wertschöpfungskette die Kosten zu senken, um so die tiefe Geothermie in Zukunft wirtschaftlicher zu machen. Mit seiner mehrjährig ausgelegten Forschungsförderung garantiert das BMWi, dass auch umfassende Forschungsfragen verlässliche finanzielle Planungsfundamente erhalten.

Ein Schwerpunkt der BMWi-Forschungsförderung ist es beispielsweise, die Erkundungsmethoden weiterzuentwickeln, um geeignete Standorte auswählen zu können. Da die Kosten für die Bohrung sehr hoch sind, muss das Risiko, auf kein geeignetes Wasserreservoir bzw. nicht ausreichend heißes und nutzbares Gestein zu stoßen, minimiert werden. Zu diesem Zweck werden auch künftig innovative Ansätze der Erkundung gefördert und das bestehende geothermische Informationssystem GeotIS weiter ausgebaut.

In der tiefen Geothermie werden bisher überwiegend Technik-Komponenten und Verfahren aus der Erdöl- oder Kohlenwasserstoffindustrie adaptiert und eingesetzt. Diese müssen kontinuierlich weiterhin an die Erfordernisse der Geothermie angepasst werden. Auch zu diesem Themenschwerpunkt fördert das BMWi diverse Forschungsvorhaben. Im Projekt **EBIMA** (siehe auch „Mobile Anlage zum Pumpenwechsel“, Seite 47) entwickeln die Stadtwerke München (SWM) gemeinsam mit Max Streicher Anlagentechnik eine mobile Pumpenwechselanlage auf einem Lkw für tiefhängende Unterwasserpumpen.

Fortsetzung Seite 46

HIGHLIGHT

Bohrziel Störungszone

Rund 50 Kilometer südlich von München befindet sich Süddeutschlands heißestes Wasser im Untergrund. Über 160 Grad Celsius haben Experten vor einigen Jahren bei einer geothermischen Bohrung in Geretsried in knapp 5 Kilometern Tiefe gemessen. Ideal für ein Wärmenetz und um Strom zu erzeugen. Doch die Fließraten waren zu gering, so dass das Bohrloch vorläufig geschlossen wurde. Im Forschungsprojekt „Dolomitkluft“ untersuchen Experten nun an gleicher Stelle, ob ein alternatives Erschließungskonzept erfolgversprechend sein könnte. Ziel des von der Enx Geothermieprojekt Geretsried Nord koordinierten Vorhabens ist es zu klären, ob das große geothermische Potenzial im südwestlichen Molassebecken auf diesem Weg wirtschaftlich zu nutzen ist.

Der Malm des Molassebeckens stellt in Deutschland das größte geothermisch genutzte Grundwasservorkommen dar. Er ist eine riesige wasserführende Kalkformation, die sich vor etwa 150 Millionen Jahren in einem subtropischen Meer gebildet hat. Sie reicht von der Donau bis zu den Alpen und befindet sich in einer Tiefe zwischen 1.500 und 5.000 Metern, nach Süden stark abfallend. Bisherige Messungen ergaben, dass das Gestein am Nordrand des Beckens sowie im nördlichen Münchner Stadtgebiet besonders durchlässig ist. Hier befinden sich derzeit auch die meisten Geothermieprojekte. Nach

Süden und Südwesten nimmt die Durchlässigkeit ab, gleichzeitig erhöhen sich dort aber mit zunehmender Tiefe die Wassertemperaturen. „Auch wenn wir feststellen mussten, dass die Porosität des erbohrten Gesteins an unserem Standort ungenügend ist, sind wir trotzdem überzeugt, mit einem alternativen Erschließungskonzept zum Erfolg zu kommen, indem wir, anders als beim ersten Mal, jetzt die großen tektonischen Brüche anbohren“, erläutert Projektkoordinator Dr. Robert Straubinger. Der Geschäftsführer der Enx Power Germany hofft, dass die parallel zur Bohrung durchgeführten Forschungsarbeiten generelle Erkenntnisse erbringen werden, wie die geothermische Lagerstätte für das Erzeugen von Wärme und Strom nicht nur für die 24.000 Einwohner der Gemeinde Geretsried, sondern auch in der ganzen Region genutzt werden kann.

Für dieses Ziel wird das bestehende Bohrloch erneut geöffnet und ein sogenannter Sidetrack gebohrt. Hierbei werden die ersten 3.000 Meter des bestehenden Bohrlochs genutzt. Danach wird sich der Bohrmeißel aus einer Abzweigung heraus weitere 2.500 Meter einen neuen Pfad hin zu den stark zerklüfteten Bereichen einer weitflächigen Störungszone fräsen, die aus tektonischen Verwerfungen herrührt. Die gesamte Ablenkbohrung wird wissenschaftlich begleitet. „Mit dem

In der bayerischen Gemeinde Geretsried wird ein vorhandener Bohrplatz erneut genutzt, um mit Hilfe einer Ablenkbohrung Erkenntnisse über eine Störungszone in 5.000 Metern Tiefe zu gewinnen.

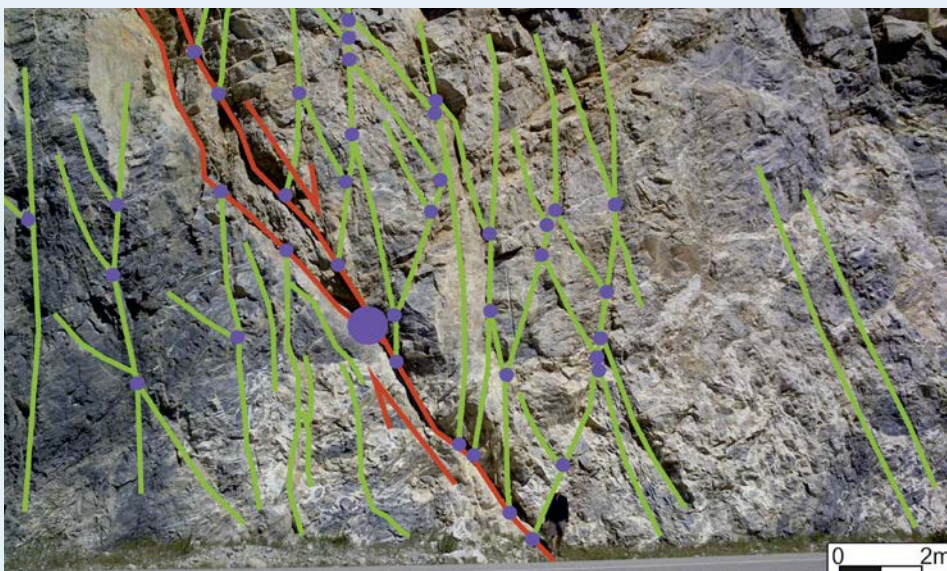


Bohrziel Störungszone wollen wir innerhalb des Projekts Dolomitkluft nachweisen, dass auch dann zufriedenstellende Thermalwasser-Fließraten erzielt werden können, wenn die lokale Fazies, also die angetroffene Gesteinsausprägung, eher ungünstig ist“, berichtet Robert Straubinger. In den Störungszone erwarten die Experten größere Risse und Klüfte, so dass das Thermalwasser dort leichter durchfließen kann. Die Wissenschaftler planen, eine ganze Reihe von Bohrkernen aus dem wasserführenden Reservoir zu entnehmen, um neue Erkenntnisse über dessen Beschaffenheit zu gewinnen. Bohrkern aus knapp 5.000 Metern Tiefe sind bisher im Malm einmalig. Um das Erschließungskonzept Störungszone für den Süden des Molassebeckens

umfassend und allgemeingültig zu überprüfen, werden die Forscher zudem offene Fragen zum Spannungsfeld, dem Strukturaufbau sowie der Gesteinsbildung und -veränderung in Störungszone und der Gesteinsmatrix klären. Außerdem möchten sie untersuchen, ob und gegebenenfalls welchen Einfluss die hohe Temperatur und der enorme Druck in 5.000 Metern Tiefe auf die Porosität und Permeabilität des Gesteins haben. An dem Vorhaben beteiligen sich neben Enx Geothermieprojekt Geretsried Nord auch das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), die G.E.O.S Ingenieurgesellschaft, die Geothermie Neubrandenburg sowie die Technische Universität München. Das BMWi fördert **Dolomitkluft** mit rund 5 Millionen Euro.



Beispiel für einen tektonischen Bruch: Die roten Striche in der unteren Abbildung veranschaulichen die „Hauptstörungen“, die grünen Striche sind die „Zerrüttungszone“, das heißt Folgebrüche der Hauptstörung.



Weitere Forschungsprojekte beschäftigen sich unter anderem mit der Frage, wie eine dialogorientierte Öffentlichkeitsarbeit dazu beitragen kann, die Akzeptanz für Geothermieprojekte zu erhöhen.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Geothermie hat das BMWi 2016 insgesamt 22 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 19,6 Millionen Euro bewilligt (2015: 21 Projekte für rund 17,3 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 12,5 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2015: rund 13,4 Millionen Euro).

Auswahl geförderter Projekte

Im Visier: Mikroorganismen in Biofilmen

Korrosion und Mineralablagerungen stören den Betrieb von Geothermieanlagen erheblich. Sie werden unter anderem durch mikrobielle Besiedelungen von Oberflächen in den Anlagen verursacht. Diese Biofilme stehen im Mittelpunkt des Verbundvorhabens **BioKS** (Einfluss der Biofilmbildung auf Korrosion und Scaling in geothermischen Anlagen), das vom Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) in Potsdam koordiniert wird.

Obwohl die Temperatur als ein maßgeblicher Faktor für geochemische und biologische Prozesse bekannt ist, wurde ihr Einfluss auf das Wachstum von Biofilmen und deren Auswirkungen auf Scaling und Korrosion in geothermischen Anlagen bisher nicht ausreichend erforscht. In dem Forschungsprojekt untersuchen GFZ-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter daher gemeinsam mit ihren Partnern von der Hochschule Merseburg (FH) und der Technischen Universität Berlin, wie sich die Wärmeverhältnisse in einer Geothermieanlage auf die mikrobielle Lebensgemeinschaft und die

Chemie des Thermalwassers auswirken. Daneben werden die Einflüsse der Strömungsgeschwindigkeit und von Sauerstoff (in Spuren) auf die Biofilmbildung und -struktur untersucht. Die Untersuchungen erfolgen mit Hilfe eines Bypasses an verschiedenen Geothermieanlagen und werden durch Laborexperimente ergänzt. Um die mikrobiellen Prozesse besser zu verstehen, werden neben dem Bestimmen der mikrobiellen Diversität und dem Quantifizieren der Mikroorganismen die Biofilme auch mikroskopisch betrachtet. Der Einfluss im Thermalwasser vorhandener organischer Verbindungen auf den Biofilm wird analysiert, entstehende Scalings werden mineralogisch charakterisiert und mögliche Wechselwirkungen zwischen Biofilmen, Werkstoffen und deren Oberflächen untersucht. Die Analyse des veränderten Ökosystems und dessen Auswirkungen auf die technische Anlage sollen dazu beitragen, naturwissenschaftlich abgeleitete Handlungsempfehlungen für einen sicheren und effizienten Anlagebetrieb zu entwickeln und daraus Vorschläge für den Schutz der Injektionsbohrung und des Reservoirs abzuleiten. Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 1,3 Millionen Euro.



Im Forschungsprojekt BioKS wird mit Hilfe eines mobilen Bypasses untersucht, wie mikrobielle Besiedelungen zur Korrosion in Geothermieanlagen beitragen.

Geologische Grenz- und Trennflächen

Das Gesicht der Erde wandelt sich stetig. Gebirge, Täler, sogar Meere entstehen und vergehen über Millionen von Jahren. An vielen Stellen der Erde haben sich im Laufe der Erdgeschichte mächtige Sedimente abgelagert. Viele davon wurden durch tektonische und geochemische Prozesse stark verändert oder wieder abgetragen. Für Geowissenschaftler ist der Blick in die Vergangenheit der Schlüssel, um in Zukunft umweltfreundliche Erdwärme aus tiefen Gesteinsschichten zu nutzen.

Im Projekt **GeoFaces** arbeiten das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG) gemeinsam daran, sowohl geologische, geophysikalische und hydraulische Daten aufzubereiten und auszuwerten, als auch durch Experimente und Simulationen die Wissensgrundlage für Projekte der mitteltiefen und tiefen Geothermie in Deutschland zu verbessern. Im Vordergrund stehen geologische Grenz- und Trennflächen. Grenzflächen markieren den Wechsel in einem Sedimentationsraum, z. B. den Übergang von Erosion zu Ablagerung. Sie sind interessant, da sie Rückschlüsse auf darunterliegende Reservoirs erlauben. Trennflächen stellen Kontakt- oder Bruchflächen von Gesteinskörpern dar, die meist entscheidend für die Permeabilität sind, aber auch die geochemische Entwicklung von Reservoirs prägen.

Die neuen Daten fließen in das frei zugängliche Informationssystem GeotIS ein. Innerhalb des Projekts wird zudem ein interaktives E-Learning-Portal aufgebaut, das über die wissenschaftlich-technischen Zusammenhänge und die Nutzungsoptionen der Geothermie informiert. Die inter-

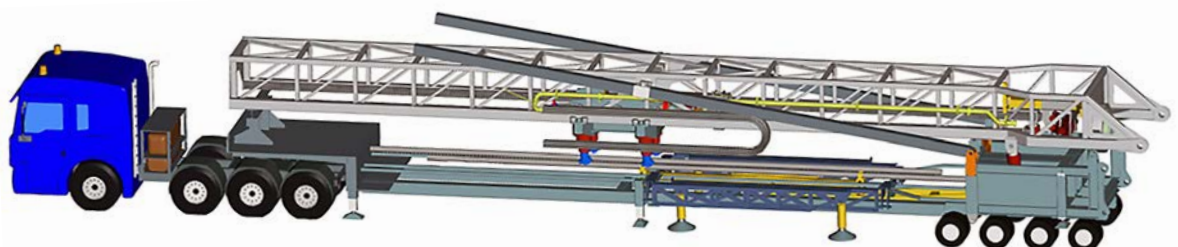
EBIMA-Entwurfsskizze der Firma Max Streicher: Die mobile Pumpenwechselanlage soll unter anderem ein automatisches Gestängemagazin und eine Abstützevorrichtung besitzen, die auf das begrenzte Platzangebot von Geothermiestandorten ausgelegt ist.

nationalen Aktivitäten des LIAG im Rahmen des IEA Geothermal Technology Collaboration Programme (TCP) werden ebenfalls mit diesem Projekt fortgesetzt. Das Projekt wird vom BMWi mit rund 3,1 Millionen Euro gefördert.

Mobile Anlage zum Pumpenwechsel

Unterwasserpumpen werden in einer Geothermieanlage stark beansprucht. Sie sind daher wartungsintensiv und müssen für Reparaturen oder Austausch im 6- bis 12-monatigen Turnus aus dem Bohrloch an die Oberfläche geholt werden. Pumpenwechsel werden derzeit mit Autokränen zeitintensiv und mit hohem Risiko für Material und Personal ausgeführt, da es bisher keine speziellen Anlagen für den Wechsel dieser Pumpen gibt. Die Stadtwerke München (SWM) entwickeln daher in ihrem Forschungsverbundvorhaben **EBIMA** gemeinsam mit Max Streicher Bohrtechnik eine mobile Pumpenwechselanlage für tiefhängende Unterwasserpumpen. Die Projektpartner beabsichtigen, einen statischen Mast mit Kabelführung in die Anlage zu integrieren, der zusammen mit einem hohen Automatisierungsgrad eine präzise Handhabung der Pumpen, die insgesamt bis zu 35 m lang sein können, ermöglicht. Ein integriertes Lastmesssystem im Hauptantrieb und eine Casing-Aufnahme an der Antriebseinheit erhöhen die Sicherheit. Letztere besteht aus Rohren, die in das Bohrloch eingesetzt werden, um ein Einstürzen des Bohrlochs zu verhindern. Das Transportfahrzeug soll ein automatisches Gestängemagazin sowie ein Handhabungs- und Zuführsystem für das Bohrgestänge und eine Abstützevorrichtung besitzen, die auf das begrenzte Platzangebot von Geothermiestandorten ausgelegt ist. Dieses Spezial-Fahrzeug muss die Voraussetzungen zur Straßenzulassung erfüllen.

Die mobile Pumpenwechselanlage soll innerhalb des Forschungsprojekts entwickelt und unter realen Bedingungen bei Geothermieanlagen im Münchner Raum getestet werden. Das BMWi fördert das Verbundvorhaben mit rund 1,5 Millionen Euro.



Wasserkraft und Meeresenergie



Wasser ist eine bewährte Energiequelle. In Deutschland setzen Turbinen oder Laufwasserräder an vielen Flüssen oder Stauseen die natürliche Fließbewegung des Wassers zunächst in mechanische und dann mit Hilfe von Generatoren in elektrische Energie um. Im Bereich der Meere lassen sich sowohl der Tidenhub, das heißt das periodische Fallen und Steigen des Meeresspiegels, als auch der Energiegehalt der Wellen für die Stromproduktion nutzen.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

In Deutschland trägt die Wasserkraft jährlich mit etwa 3 Prozent zur Stromversorgung bei. Die Technologie ist etabliert und wird im Binnenland eingesetzt. Am weitesten verbreitet sind die sogenannten Laufwasserkraftwerke. Ein Laufwasserkraftwerk wandelt die im strömenden Wasser von Flüssen enthaltene Energie in elektrische Energie um. Laufwasserkraftwerke dienen hauptsächlich zur Deckung der Grundlast. Speicherwasserkraftwerke sammeln das Wasser in einem Speicherbecken. Bei Bedarf kann es zur Stromproduktion verwendet werden. Eine Sonderform sind Pumpspeicherkraftwerke. Wenn im Stromnetz ein Überschuss herrscht, wird Wasser aus einem tiefer gelegenen Becken bzw. Stausee in ein höheres Becken gepumpt. Steigt die Stromnachfrage, strömt das Wasser wieder talwärts und erzeugt mittels Turbinen und Generatoren Strom.

Weltweit hat sich die Stromerzeugungskapazität seit 1980 auf Basis von Wasserkraft mehr als verdoppelt – mit einem starken Aufwärtstrend in den vergangenen Jahren. China liegt auf Platz eins, gefolgt von Brasilien. Kanada, die Vereinigten Staaten und Russland folgen. Zusammen mit Indien und Norwegen stellten diese Länder im Jahr 2015 rund 63 Prozent der weltweit installierten Kapazität.

Gegenüber der etablierten Wasserkrafttechnik im Binnenland befinden sich Meeresenergieanlagen noch in der Entwicklungs- bzw. Erprobungsphase. Meeresströmungen werden in Küstennähe vor allem durch die Gezeiten verursacht. Unter bestimmten topographischen Bedingungen kann die Strömung des Wassers genutzt werden, um wirtschaftlich Strom zu erzeugen. Weltweit wird das technische Potenzial auf etwa 1.500 Terawattstunden im Jahr geschätzt, rund 10 Prozent davon in Europa.

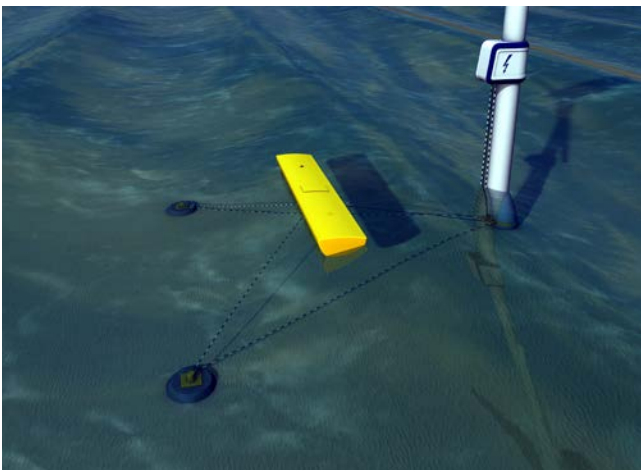
Forschung und Entwicklung

Sowohl die Wasserkraft im Binnenland als auch die Meeresenergie stehen im Gegensatz zu Wind oder Sonne in vielen Ländern als Energiequelle konstant bzw. exakt vorhersehbar zur Verfügung. Auch wenn die europäische Meeresenergiebranche bis 2020 nur mit einer Installation von maritimen Anlagen mit einer Gesamtleistung von rund 300 Megawatt rechnet: Die Forschung und Entwicklung ist mit Blick auf die globalen Märkte für deutsche Anlagenbauer bedeutsam. Aus diesem Grund beschäftigen sich in Deutschland sowohl Universitäten als auch Forschungsinstitute und Industrieunternehmen mit verschiedenen Fragestellungen im Meeresenergiesektor.

Strategische Forschungsförderung

Das BMWi fokussiert seine Forschungsförderung im Bereich der etablierten Wasserkrafttechnologie vor allem darauf, durch technische Neuerungen beispielsweise den Wirkungsgrad von Turbinen zu verbessern. Darüber hinaus unterstützt das Ministerium Forschungsvorhaben, die sich mit der ökologischen Verträglichkeit der Technologie beschäftigen. Im Gegensatz zur Binnenland-Wassernutzung befinden sich die Meeresenergie-Technologien noch in einem Entwicklungs- oder Demonstrationsstadium.

Im Bereich Wasserkraft und Meeresenergie hat das BMWi im Jahr 2016 vier neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 3,5 Millionen Euro bewilligt (2015: fünf Projekte mit rund 2,3 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 2 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2015: 1,7 Millionen Euro).



Auswahl gefördertes Projekt

Wellenenergie zum „Ernten“

Im Gegensatz zu einem Gezeitenkraftwerk wird bei einem Wellenkraftwerk die Energie der Wellenbewegungen genutzt. Im NEMOS-Wellenkraftwerk sind bis zu 20 Meter lange Schwimmkörper über Spezialseile und Umlenkrollen mit einem Generator verbunden, der vor Salzwasser geschützt im Trockenen – beispielsweise an einem Turm – positioniert wird. Dadurch bleibt der Generator leicht zugänglich und es verringern sich die Kosten, die durch den starken Verschleiß der Komponenten in Verbindung mit Salzwasser erfahrungsgemäß anfallen.

Das NEMOS-System erzielt in Labor- und Feldtests deutlich höhere Wirkungsgrade als andere Wellenkraftwerke. Der Grund: Durch die Geometrie der Schwimmkörper und die Anordnung der Übertragungsseile richtet sich das Kraftwerk stets zur Welle aus, so dass deren Energiegehalt optimal „geerntet“ werden kann. So werden Wirkungsgrade bis zu 80 Prozent erreicht. Herkömmliche Systeme liegen deutlich unter 50 Prozent. Bei starkem Seegang kann das System auf eine ruhigere Wassertiefe abgesenkt werden, wo mit reduzierten Lasten weiterhin Strom erzeugt werden kann.

Für die Zukunft ist es denkbar, das NEMOS-Wellenkraftwerk mit küstennahen Verladeterminals oder Offshore-Windenergieanlagen zu koppeln. Hierdurch entfielen der separate Turm für die Technischeinheit, da diese beispielsweise am Turm der Windenergieanlage befestigt werden könnte. Außerdem könnten Wellenkraftwerks- und Windenergieanlagenbetreiber Seekabel und Umspannwerke gemeinsam nutzen, wodurch die Kosten für den Energietransport deutlich sinken würden.

Das Verbundvorhaben NEMOS wird vom Unternehmen NEMOS aus Duisburg koordiniert und vom BMWi mit rund 1,7 Millionen Euro gefördert. Weitere Projektpartner sind das Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V. (DST), die Universität Duisburg-Essen sowie die Unternehmen Schaeffler und Liros.

Der längliche Schwimmkörper des NEMOS-Wellenkraftwerks (im Bild gelb) überträgt die Wellenbewegung über Seile an einen Generator, der geschützt vor Seewasser an einem Turm positioniert ist.

Energetische Biomassenutzung



Das bedarfsgerechte Erzeugen von Strom und Wärme sowie Kraft-Wärme-Kopplung sind wesentlich für die Integration erneuerbarer Energien in das Versorgungssystem. Durch ihren wetterunabhängigen Betrieb und die Speicherfähigkeit des erzeugten Energieträgers Biogas zeichnen sich Bioenergieanlagen als räumlich und zeitlich flexible Konversionstechnologie aus. So kann das energetische Nutzen von biogenen Roh- und Reststoffen eine Schnittstelle zwischen Strom-, Wärme- und Kältesektor und Mobilität einnehmen.

Marktgesehen in Deutschland und weltweit

Biomasse steuert einen wesentlichen Anteil zur Energieversorgung in Deutschland bei. Unter den erneuerbaren Energien ist sie sogar führend. Dies liegt an der Bedeutung von Holzenergie in Wärme- und Biokraftstoffen im Verkehrssektor. Bei der Wärme stellt sie einen Anteil von 87,8 Prozent an den erneuerbaren Energien, im Stromsektor sind es 26,8 Prozent inklusive Klär- und Deponiegas. Auch für die Kraft-Wärme-Kopplung gibt es großes Potenzial. Der Vorteil dieser Konversionstechnologie liegt damit in ihrer Vielseitigkeit. Zudem können Bioenergieanlagen Systemdienstleistungen erbringen, wie das Bereitstellen von Blindleistung. Da sich Blind- und Wirkleistung für den Spannungserhalt die Waage halten müssen, kann Biomasse somit zur Stabilität und Versorgungssicherheit beitragen.

Seit der EEG-Novellierung EEG 2014 hat der Zubau von Neuanlagen einen Rückgang erfahren. Deutschland ist international mit den USA, Brasilien und China bei der installierten Leistung im Strombereich weiter führend. Der Schwerpunkt der modernen Wärmeversorgung liegt in Europa vor allem in Deutschland, Frankreich, Italien, Schweden und Finnland. Allerdings ist der klassische Einsatz von Biomasse durch Verbrennen nach wie vor in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern vorherrschend. Für den Verkehrssektor spielt die Produktion biogener Treibstoffe, wie Bioethanol und -diesel, eine wichtige Rolle. Dabei sind die wesentlichen Produktionskapazitäten in den USA, Brasilien, China und in Deutschland beheimatet.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Flexibilität ist eines der wichtigsten Merkmale des künftigen Energiesystems. Dynamisch auf die Nachfrage zu reagieren ist somit eine wesentliche Anforderung an Bioenergieanlagen. Dementsprechend beschäftigt sich die Forschung mit einer intelligenten Biomassenutzung für einen flexibilisierten Betrieb. Dem Thema hat sich unter anderem das Projekt **BioPower2Gas** gewidmet (siehe auch „Flexibilisierte Bioenergieanlagen für die Systemintegration erneuerbarer Energien“, Seite 53).

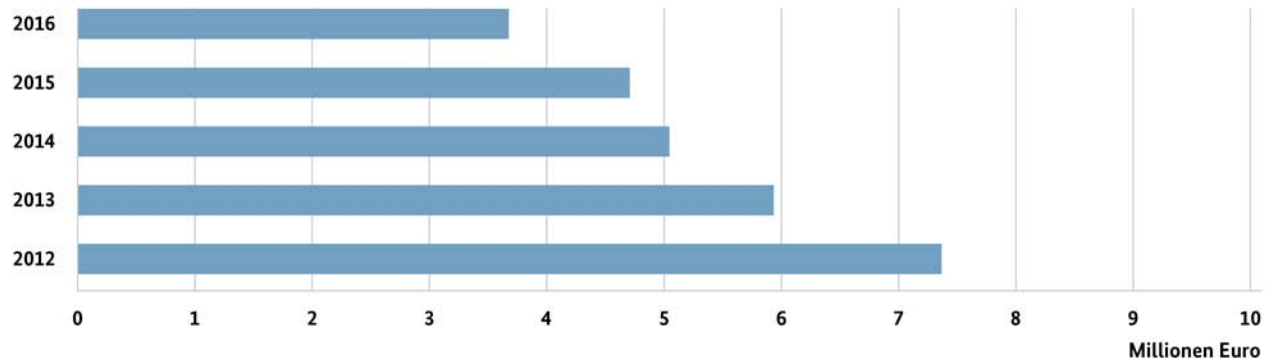
Damit Betreiber ihre Anlagen weiter wettbewerbsfähig und gewinnbringend einsetzen können, sind neue Konzepte und Geschäftsmodelle gefragt, aber auch technologische Verbesserungen, denn noch bestimmt die verfügbare Biomasse über die Leistungsfähigkeit der Bioenergie. Um die stoffliche und energetische Verwertung zu optimieren,

müssen Nebenprodukte stofflicher Prozesse konsequent genutzt, Wirkungsgrade gesteigert oder neue Koppel- oder Kaskadennutzungspfade erschlossen werden. Ein erfolgreiches Projekt hierzu ist **EFFIGEST** (siehe auch „Mehr Effizienz beim Vergären von Geflügelmist und modifizierten Strohfraktionen“, Seite 52).

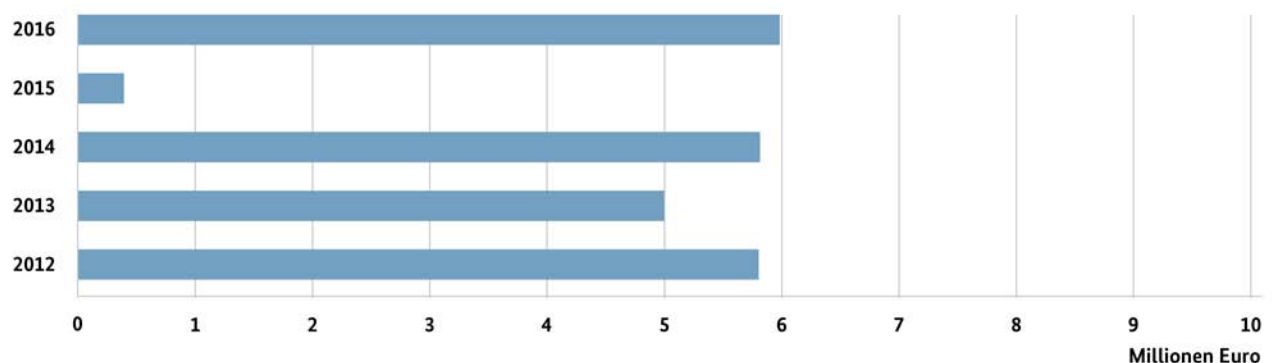
Strategie der Forschungsförderung

Das BMWi unterstützt Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben, welche die energetische Biomassenutzung technisch, ökologisch und ökonomisch optimieren. Dabei stehen Projekte im Mittelpunkt, die sich mit der Wärme- und Stromerzeugung, Kraft-Wärme-Kopplung oder der Flexibilisierung und Integration bioenergetischer Anwendungen in das Gesamtsystem auseinandersetzen. Auf diese Weise sollen Biomasserest- und

Energetische Biomassenutzung: Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016



Energetische Biomassenutzung: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012





Das Bild zeigt den Zustand von Weizenstroh während der Pelletrierung. Zunächst in der unbehandelten Form (ganz links), nach der Hammermühle, schließlich in pelletierter Form und zuletzt die Pellets nach der Zugabe von NaOH.

Abfallpotenziale außerhalb der Forst- und Landwirtschaft erschlossen und der energetischen Verwertung zugeführt werden. Im November 2016 hat das BMWi daher seine erfolgreiche Förderbekanntmachung vom Juli 2015 zur energetischen Biomassenutzung verlängert. Bis 27. September 2017 (bzw. 27. September 2018) können sich insbesondere kleine und mittlere Unternehmen in Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen mit ihren Projektideen (Skizzen) darauf bewerben. Die Schwerpunkte liegen auf praxisorientierten Vorhaben, die Technologien erproben und validieren, sowie auf Projekten zur Verfahrens- und Prozessoptimierung mit Demonstrations- und Pilotcharakter. Aber auch systemflexible Anlagenkonzepte und Produkte für eine nachhaltige und effiziente Strom- und Wärmeerzeugung stehen im Fokus.

Im September 2016 hat in Würzburg das Statusseminar Biogas 2020+ stattgefunden. Veranstalter war Carmen e.V. gemeinsam mit der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, dem Deutschen Biomasseforschungszentrum, dem BMWi-Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“ und dem Technologie- und Förderzentrum (TFZ). Die Teilnehmer haben die künftige Stellung von Biogasanlagen im Energiesystem und die vielfältigen Anwendungsgebiete diskutiert. Eine zentrale Frage war, welchen Beitrag Biogas für die Stromversorgung, den Agrarsektor, Umweltschutz und die Gesellschaft leisten kann.

Im Förderbereich energetische Biomassenutzung hat das BMWi 2016 37 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 6 Millionen Euro neu bewilligt. Gleichzeitig flossen rund 3,7 Millionen Euro in 100 bereits laufende Forschungsvorhaben (2015: rund 4,7 Millionen Euro).

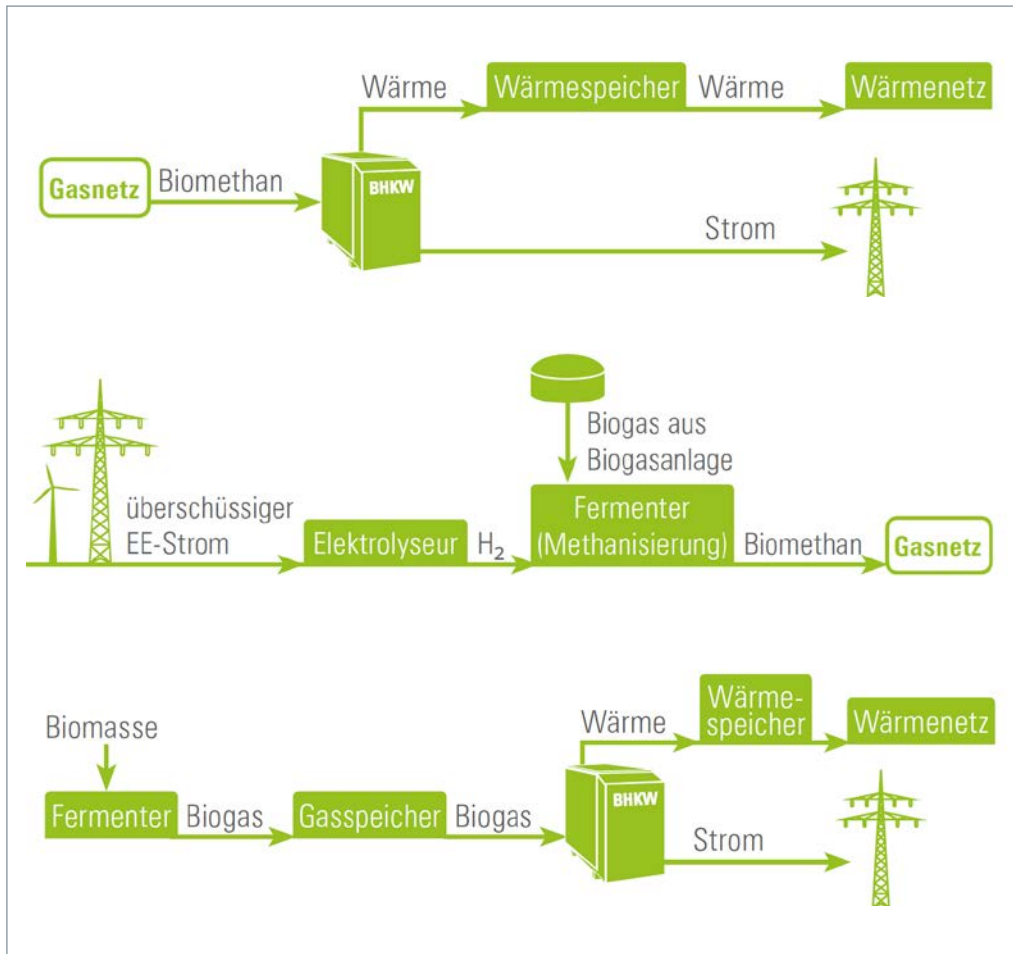
Auswahl geförderter Projekte

Mehr Effizienz beim Vergären von Geflügelmist und modifizierten Strohfraktionen

Trotz immenser Mengenpotenziale, vergleichsweise niedriger Gesteungskosten und einer hohen Nachhaltigkeit gilt die Biogaserzeugung aus Geflügelmist und Stroh noch nicht als Stand der Technik. Geflügelmist hemmt aufgrund hoher Stickstoffgehalte Ammoniak bei der Vergärung. Stroh weist hingegen einen Stickstoffmangel auf, ist schwer abbaubar und schwimmt in Nassfermentern auf.

Die Verbundpartner des Projektes **EFFIGEST** haben Verfahrensansätze entwickelt und getestet, um Geflügelmist und Stroh in Kombination effektiver vergären zu können. Dabei konnten die Wissenschaftler zeigen, dass Stickstoffüberschuss und -mangel gezielt durch die gemeinsame Vergärung der beiden Stoffströme ausgeglichen werden.

Für den effizienten Einsatz von Stroh in Biogasanlagen haben die Forscher ein strohbasiertes Energiepellet entwickelt und systematisch in Labor- und kleintechnischen Fermentern untersucht. Die Herstellung dieses Biogaspellets erfolgt durch die Zugabe von Aufschlusschemikalien (vorteilhafterweise Natronlauge) während der Pelletierung. Dadurch werden natürliche Wachs- und Schutzschichten angegriffen und teilweise aufgelöst. Die Abbaubarkeit des Strohs erhöht sich deutlich. Der Schritt der Pelletierung sorgt für eine signifikante Erhöhung der Dichte (Pelletdichte $> 1 \text{ kg/dm}^3$). Die Transporteffizienz kann so um den Faktor 3 gegenüber Strohballen verbessert werden. Darüber hinaus entstehen keine Schwimmschichten in Fermentern und das Dosieren und Lagern der Rohstoffe wird vereinfacht.



Mit der BioPower2Gas-Anlage kann Strom bedarfsgerecht in das Netz eingespeist werden.

An dem Vorhaben waren das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS als Projektkoordinator sowie die Unternehmen Rückert NatUrgas und PCM Green Energy beteiligt. Das BMWi hat EFFIGEST mit rund 850.000 Euro gefördert. Die Entwicklung des Biogas-pellets wurde mit dem Biogas-Innovationspreis der Deutschen Landwirtschaft 2016 ausgezeichnet.

Flexibilisierte Bioenergieanlagen für die Systemintegration erneuerbarer Energien

Nur wenige Biogasanlagen sind bislang flexibel genug, um auf den tatsächlichen Strombedarf im Netz und Marktimpulse reagieren zu können. Dabei ist die Fähigkeit, bedarfsorientiert einzuspeisen und hocheffizient erzeugte Wärme zu nutzen, ein attraktiver Wirtschaftsfaktor. Auf diese Weise können Biogasanlagen auch nach dem Auslaufen der derzeitigen EEG-Förderung zukunftsfähig bleiben. Zudem können dynamische Systeme das Verteilnetz bei Engpässen unterstützen.

Im Vorhaben **BioPower2Gas** haben Forscher Biogas- und Biomethananlagen weiterentwickelt, um Flexibilisierungspotenziale zu nutzen und erneuerbar erzeugten Strom bedarfsorientiert einspeisen zu können. Über den Projekt-

verlauf haben die Wissenschaftler flexible Varianten einer BioPower2Gas-Anlage, eines Biomethan-BHKW und einer Biogasanlage untersucht, als Modellanlagen konzipiert, erbaut und simulativ analysiert. Anschließend haben sie die Anlagen in der Praxis klimaeffizient, energetisch und wirtschaftlich optimiert betrieben und evaluiert. Ferner wurden die drei Technologieoptionen auf ihr Potenzial hin verglichen, Strom bedarfsorientiert zu liefern und zu beziehen und Vorteile für das Gesamtsystem zu generieren. Anhand von Modellsimulationen hat der Verbund zudem überprüft, ob die Flexibilisierungsansätze auf ein regionales Versorgungskonzept übertragbar sind. Außerdem haben die Forscherinnen und Forscher die Werte der Anlagen hinsichtlich Treibhausgasemissionen, Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Verträglichkeit im Verteilnetz bewertet und daraus Geschäftsmodelle für den flexiblen Betrieb gemäß den Vorgaben des EEG abgeleitet.

Projektkoordinator war das Forschungsinstitut IdE Institut dezentrale Energietechnologien. Zudem waren der Technologieentwickler MicrobEnergy, der Netzbetreiber EnergieNetz Mitte, der Energieversorger EAM EnergiePlus und das Ingenieurbüro CUBE Engineering sowie als assoziierter Partner das Bioenergiedorf Jühnde beteiligt. Das BMWi hat BioPower2Gas mit rund 700.000 Euro gefördert.

Kraftwerkstechnik sowie CO₂-Abscheidung und -Speicherung



Konventionelle Kraftwerke leisten im Rahmen der Energiewende einen wichtigen Beitrag, um Deutschland mit genügend Energie zu versorgen. Allerdings wandeln sich ihre Aufgaben: Während die Anlagen bisher auf lange Betriebsphasen im sogenannten Volllastbetrieb ausgelegt waren, müssen sie nun flexibel reagieren, um witterungsabhängige Schwankungen bei der Stromproduktion durch Wind oder Sonne auszugleichen.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Laut Zeitplan der Bundesregierung sollen ab 2050 erneuerbare Energien 80 Prozent des Stroms erzeugen. Konventionelle Kraftwerke nehmen auf dem Weg dahin wichtige Aufgaben wahr. So decken sie derzeit noch einen Großteil des Strombedarfs: 2016 hat der Anteil des aus Kohle, Gas und Öl produzierten Stroms rund 57 Prozent betragen. Um die Energiewende erfolgreich umzusetzen und damit auch die Klimaziele der Bundesregierung zu erreichen, wird der Beitrag fossiler Energieträger an der Stromproduktion in Deutschland allerdings in den nächsten Jahren stetig reduziert werden.

Parallel dazu wandeln sich die Aufgaben konventioneller Kraftwerke. Statt möglichst viel Strom zu produzieren, müssen sie nun die unterschiedlichen Einspeisemengen aus den erneuerbaren Energien durch sogenannte Residu-

allasten zuverlässig ausgleichen. Auf diese Weise wird die bundesweite Versorgungssicherheit gewährleistet. Da der Anteil der Erneuerbare-Energien-Lieferanten stetig wächst, müssen konventionelle Kraftwerke auf schnelles An- und Abfahren und auf niedrige Auslastungsgrade – sogenannte Teil- oder Minimallastbetriebe – umgerüstet werden. 2016 ging zudem mit dem niedersächsischen Kraftwerk Buschhaus das erste von mehreren Braunkohlekraftwerken in die „Sicherheitsreserve“. Bei dieser bundespolitischen Maßnahme werden Braunkohlekraftwerke mit einer Gesamtleistung von 2,7 Gigawatt für vier Jahre in Bereitschaft gehalten, bevor sie endgültig vom Netz genommen werden.

Auch wenn in Ländern wie Deutschland oder Dänemark der Anteil der fossilen Energieträger an der Stromproduktion in den nächsten Jahrzehnten rückläufig sein wird: Weltweit zeichnet sich eine gegenläufige Entwicklung ab. Nach Prognosen der Internationalen Energieagentur (IEA)

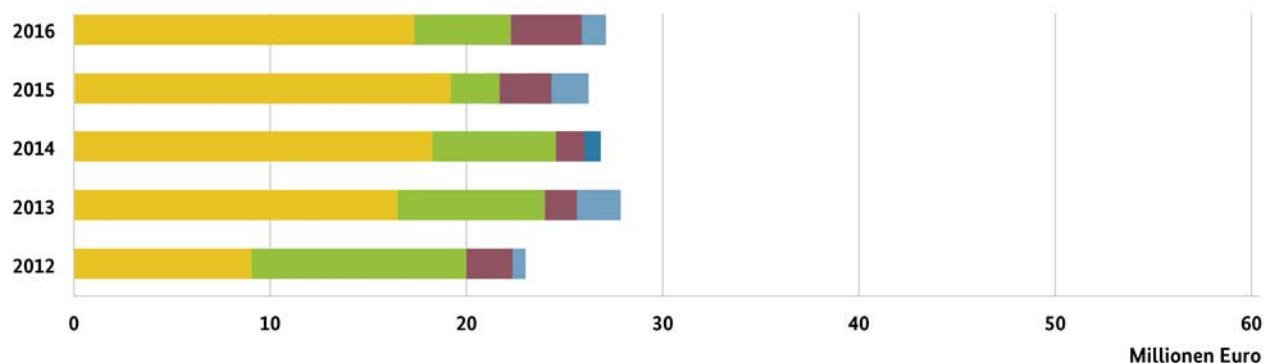
wird der Anteil des aus Kohle, Öl und Gas erzeugten Stroms bis zum Jahr 2035 um bis zu 86 Prozent zunehmen, und danach – je nach zugrunde gelegtem Szenario – bei einem Anteil zwischen 54 und 67 Prozent liegen. Rund um den Globus ist effiziente Kraftwerkstechnik „Made in Germany“ sehr gefragt. Deutsche Anlagenbauer und Komponentenhersteller profitieren von der starken Nachfrage und exportieren ihre Produkte. Durch die hohen Wirkungsgrade ihrer Kraftwerksanlagen tragen sie weltweit dazu bei, dass Ressourcen effizienter genutzt werden.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

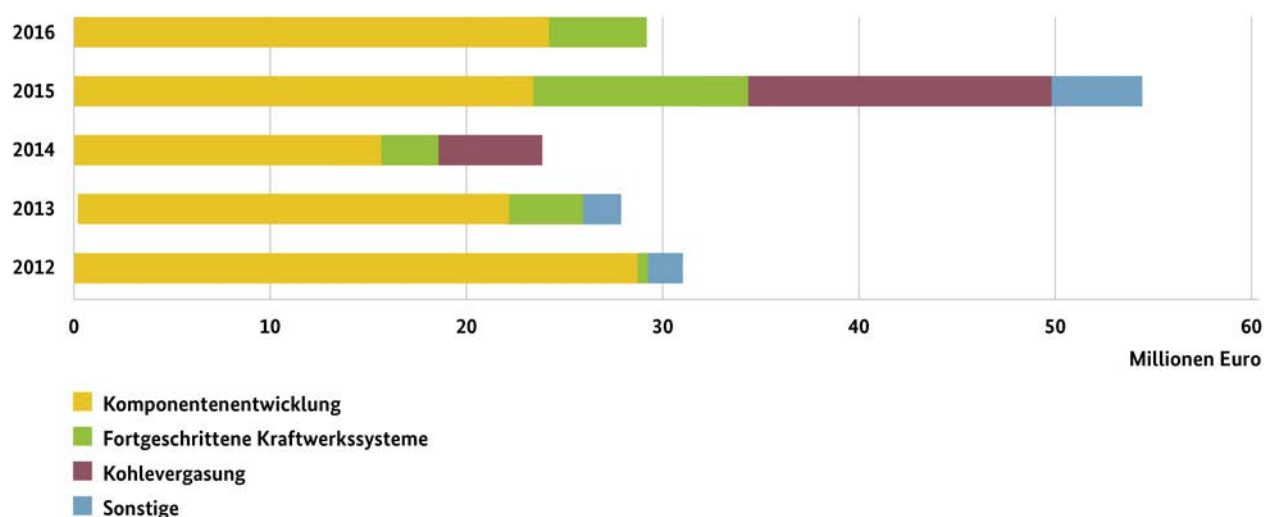
Durch die veränderten Aufgaben im Rahmen der Energiewende stehen die Kraftwerksbetreiber vor einer Reihe von Herausforderungen. Konventionelle Kraftwerke müssen zu einem kosten- und ressourceneffizienten Teil- und Mindestlastbetrieb ertüchtigt werden. Dazu gehören neben schnellen An- und Abfahrsgeschwindigkeiten auch der Einsatz unterschiedlicher Brennstoffe und brennstoffflexible Verbrennungssysteme. Diese veränderten Betriebsbedingungen belasten Bauteile und Material in ungewohnter Weise, da Anlagen ursprünglich auf Dauerbetrieb mit stetiger Last ausgelegt worden sind. In den vergangenen Jahren

Fortsetzung Seite 57

Kraftwerkstechnik und CCS: Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016



Kraftwerkstechnik und CCS: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012



IM FOKUS: TURBOMASCHINEN

Den Turbo eingelegt

Deutschlands wandelnder Strommarkt stellt konventionelle Kraftwerke vor völlig neue Aufgaben. Während die Anlagen über Jahrzehnte auf lange Betriebsphasen mit konstanter Stromnachfrage ausgelegt waren, müssen sie nun flexibel und schnell reagieren, um witterungsabhängige Schwankungen bei der Stromproduktion durch erneuerbare Energiequellen auszugleichen. Technische Innovationen sind notwendig, damit der Betrieb mit häufigem An- und Abfahren sowie unterschiedlichen Teillasten effizient und wirtschaftlich ablaufen kann. Was sind dabei die größten technischen Herausforderungen? Dr. Dirk Goldschmidt, Vorsitzender der AG Turbo* Programmleitung, gibt einen Einblick in die aktuellen Entwicklungen.

Herr Dr. Goldschmidt, Turbinen sind das Herz der Kraftwerke. Wie müssen sie technisch modifiziert werden, damit sie den neuen Anforderungen gerecht werden?

Viele Jahre war die Steigerung der Effizienz der Turbomaschinen primäres Ziel der Entwicklung. Dies hat sich mit der Energiewende geändert: Nun steht die Steigerung der Flexibilität sowohl im Betrieb als auch in der Wahl des Brennstoffs für neue und bestehende Anlagen im Mittelpunkt der Forschungsanstrengungen. Klar ist: Die gewünschte Flexibilität darf nicht zu einer eingeschränkten Lebensdauer, Zuverlässigkeit oder Verfügbarkeit führen. Ganz im Gegenteil, Turbomaschinen müssen noch robuster gegenüber der steigenden Zahl an Betriebszyklen werden. Hinzu kommen Umweltaspekte, insbesondere die Verringerung von Schadstoff- und Treibhausgasemissionen, sowie die Frage der Wirtschaftlichkeit der Anlagen unter den veränderten Betriebsbedingungen. Turbomaschinen bestimmen maßgeblich die Eigenschaften und die Wettbewerbsfähigkeit des gesamten Kraftwerks. Die Technologieentwicklung in der AG Turbo nimmt hierbei eine Schlüsselrolle ein.

Die Forschungsaktivitäten zu Turbinen werden seit über 30 Jahren in der AG Turbo erfolgreich gebündelt. In diesem Jahr startet beispielsweise ECOFLEX-turbo, ein auf fünf Jahre angelegter Forschungsverbund der AG. Was sind die aktuellen Schwerpunktthemen des Forschungsverbunds?

Um der Komplexität und Vielzahl der Forschungsaufgaben gerecht zu werden, wurde dem Programm ECOFLEX eine Struktur mit den Schwerpunkten Verdichtung, Verbrennung, Kühlung und Expansion gegeben. Zwei Beispiele aus dem umfangreichen Forschungsprogramm:

Im Bereich Verdichtung wurden in den vorausgegangenen AG-Turbo-Vorhaben Technologien für immer höhere Verdichtungsverhältnisse erarbeitet und zugleich die Komponentenwirkungsgrade weiter gesteigert. Für eine hohe Betriebsflexibilität mit sehr schnellen und häufigen Lastwechseln sind aber nun noch robustere Verdichter erforderlich, die über einen möglichst breiten Arbeitsbereich einen hohen Wirkungsgrad erzielen. Entscheidend für die komplexer werdenden Auslegungsaufgaben sind effiziente Analyse- und Simulationstools. An diesen wird im Rahmen von ECOFLEX-turbo geforscht.

Stichwort Verbrennung: In der Vergangenheit wurden erhebliche Fortschritte im Verständnis der Verbrennungsvorgänge erzielt, die trotz gesteigerter Temperatur und Energiedichte in den Brennkammern von Gasturbinen zu thermoakustisch stabilen Verbrennungssystemen mit niedrigen Emissionen führten. Im Programm ECOFLEX-turbo werden nun die Aspekte zur Last- und Brennstoffflexibilität wesentlich intensiver behandelt. Der zunehmende Einsatz von Flüssiggas, Biogas, Hochofengas oder Synthesegas erfordert breitere Brennstoffspezifikationen.

* Die AG Turbo ist ein Zusammenschluss von Hochschulen, Forschungszentren und Industrieunternehmen, der sich bzgl. der vorwettbewerblichen, anwendungsorientierten Turbinenforschung in Deutschland abstimmt.



Dr. Dirk Goldschmidt arbeitet in der Division Power & Gas der Siemens AG und ist Vorsitzender der AG Turbo.

Turbomaschinen „Made in Germany“ sind nicht nur in Deutschland, sondern auch auf dem Weltmarkt sehr gefragt. Welche Leistungsmerkmale stehen hier im Vordergrund?

Die heute bekannten Szenarien lassen zwar einen globalen Wandel beim Energiebereitstellen hin zu den erneuerbaren Energien erkennen, sie zeigen aber auch, dass fossil befeuerte Kraftwerke auf lange Sicht ihre Bedeutung behalten werden. Insbesondere für gasbefeuerte Kombikraftwerke, welche Gas- und Dampfturbinen als Energiewandlungsmaschinen vereinen, wird ein starkes Wachstum prognostiziert. Es gibt daher neben dem gezielten Ausbau der Nutzung der regenerativen Primärenergien keine ernsthafte Alternative für den Klimaschutz, als die Effizienzreserven der klassischen Kraftwerkstechnik mit ihren fossilen Brennstoffquellen konsequent auszuschöpfen.

Das Interview führte Ilse Trautwein, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

konnten durch Forschung und Entwicklung bereits zahlreiche technische Anpassungen und Optimierungen erfolgen (siehe auch „Im Fokus: Turbomaschinen“, Seite 56).

Technische Innovationen sind weiterhin gefragt, um den CO₂-Ausstoß zu reduzieren. Moderne Braunkohlekraftwerke erzielen mittlerweile Wirkungsgrade von über 43 Prozent. Auch durch CO₂-Abscheidung und -speicherung lässt sich der Ausstoß von Treibhausgasen minimieren. Das Abtrennen kann in unterschiedlichen Verfahren erfolgen, etwa nach Verbrennung in einer CO₂-Wäsche aus dem Abgas (Post-Combustion) oder nach Kohlevergasung (CO₂-reduziertes IGCC-Kraftwerk, Pre-Combustion), oder durch Verbrennen in Sauerstoffatmosphäre (Oxyfuel). Alle drei Verfahren werden parallel entwickelt und bereits in Pilotanlagen getestet. Das BMWi fördert zahlreiche Forschungsvorhaben, die sich mit den Themen beschäftigen.

Strategie der Forschungsförderung

Die Forschungsförderung des BMWi ist darauf ausgelegt, die Kraftwerkstechnologie effizienter, sauberer und flexibler werden zu lassen. Zentrale Forschungsschwerpunkte sind daher verschiedene CO₂-Reduktionstechniken sowie das Erforschen innovativer Werkstoffe und Materialien. Ziel des Verbundvorhabens **MemKoR** (siehe auch „Abgabe von Kohlendioxid befreien“, Seite 60) ist es beispielsweise, das Freisetzen von CO₂ in die Atmosphäre zu reduzieren. Des Weiteren werden Entwicklungen innovativer Simulationsverfahren von Seiten des BMWi gefördert, die dazu beitragen, die veränderten Betriebsbedingungen mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien in flexiblen Modellen abzubilden. Im Forschungsvorhaben **DYNSTART** (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 58) untersuchen Wissenschaftler in einem Simulationsprojekt, wie die gewünschte Flexibilität in Kohlekraftwerken mit und ohne CCS-Technologie umgesetzt werden kann.

Ein wichtiger Baustein der Förderpolitik des Bundes ist das Forschungsnetzwerk Energie – Flexible Energieumwandlung, das 2016 aus der COORETEC-Initiative des BMWi hervorgegangen ist. Die Mitglieder des Netzwerks unterstützen mit fachlicher Expertise die Weiterentwicklung der Kraftwerkstechnologien in Deutschland. Im Auftrag des Ministeriums identifizieren Fachleute aus Hochschulen, Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen im engen Dialog mit der Politik Forschungs- und Entwicklungserfordernisse.

Fortsetzung Seite 59

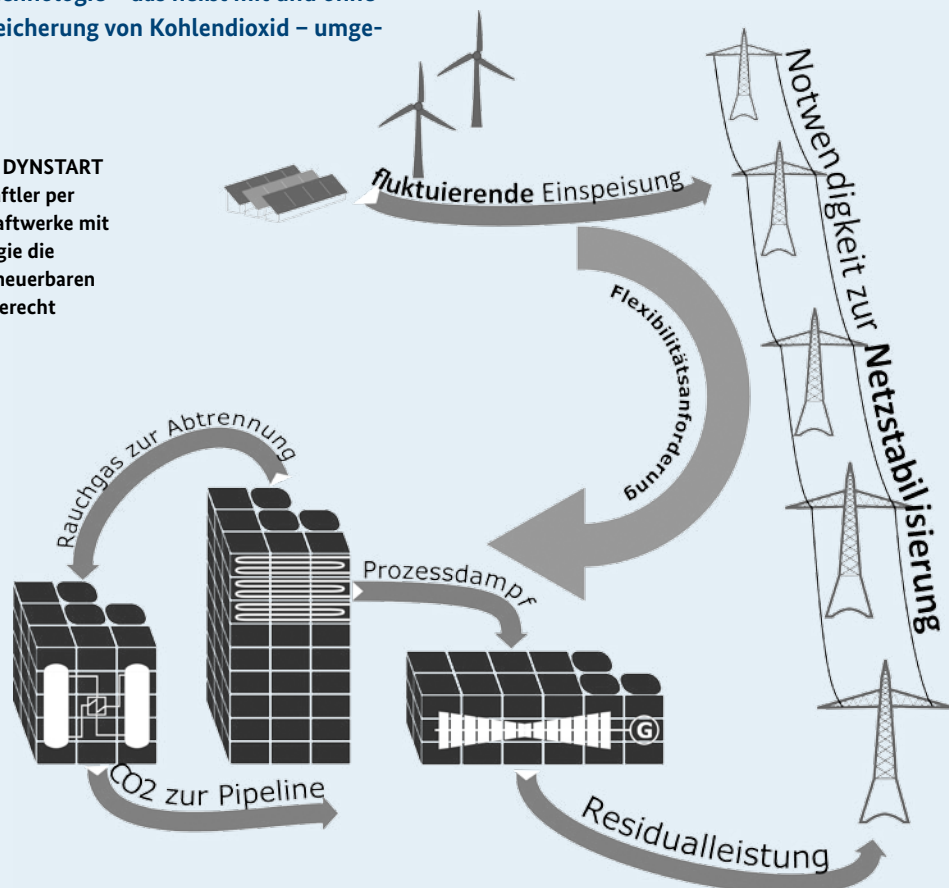
HIGHLIGHT

Große Hilfe mit kleinen Lasten

Die Energiewende setzt auf Sonne, Wind und andere regenerative Energien. Doch diese sind unbeständige Lieferanten – je nachdem, wie die Wetterlage ist. Konventionelle Kraftwerke haben daher die Aufgabe, Versorgungslücken auszugleichen, indem sie elektrische Energie je nach Bedarf bereitstellen. Dafür müssen die Anlagen immer häufiger an- und abgefahren sowie bei unterschiedlichen Teillasten betrieben werden – Eigenschaften, für die viele der Anlagen ursprünglich gar nicht ausgelegt worden sind. Im Forschungsvorhaben DYNSTART untersuchen Wissenschaftler der Technischen Universität Hamburg-Harburg gemeinsam mit ihren Partnern in einem groß angelegten Simulationsprojekt, wie die gewünschte Flexibilität in Kohlekraftwerken mit und ohne CCS-Technologie – das heißt mit und ohne Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid – umgesetzt werden kann.

Im Forschungsvorhaben DYNSTART untersuchen Wissenschaftler per Simulation, wie Kohlekraftwerke mit und ohne CCS-Technologie die Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen bedarfsgerecht ergänzen können.

„Ziel unseres Forschungsvorhabens ist es, eine eindeutige Aussage darüber zu treffen, ob und gegebenenfalls wie die Kraftwerke sowohl technisch als auch wirtschaftlich in der Lage sein werden, bei Mindestlasten von bis zu 12,5 Prozent (der Nennlast, Anm. d. Red.) zu operieren“, erläutert Projektkoordinator Prof. Dr.-Ing. Alfons Kather. In dem Vorgängerprojekt DYNCAP sind bereits Kraftwerksszenarien mit einem Lastbereich zwischen 40 und 100 Prozent analysiert worden. Für die weiterführenden Untersuchungen im Schwachlastbetrieb innerhalb des DYNSTART-Verbunds erweitern die Projektpartner die frei zugängliche Modelica-Bibliothek



ClaRaCCS. Der Fokus liegt hier insbesondere auf Komponenten, welche für den Schwachlastbetrieb als kritisch angesehen werden. Hiermit soll herausgefunden werden, welche technischen Aspekte die Flexibilität von Dampfkraftwerken begrenzen und wie sich diese Grenzen so verschieben lassen, dass die zunehmende Integration von fluktuierenden Erzeugern gelingt. Die Simulationsergebnisse werden zur Validierung mit Messwerten aus Referenzkraftwerken wie dem Steinkohlekraftwerk Heyden verglichen.

Um das Verhalten von Kraftwerken mit und ohne CCS-Technologie modellieren zu können, muss die Regelungstechnik der Prozesse abgebildet werden. „In konventionellen Kraftwerken sind diese in entsprechenden Richtlinien wie der VDI 3508 zusammengefasst“, berichtet Alfons Kather. Für Kraftwerksprozesse mit CO₂-Abtrennung dagegen existieren bisher noch keine Regelungskonzept-Richtlinien. Daher müssen diese für sämtliche Betriebszustände – vom An- und Abfahren über Normal- bis hin zum Schwachlastbetrieb – entwickelt werden. Dies beinhaltet zum Beispiel beim Oxyfuel-Prozess den Umschaltvorgang von Luft- auf Sauerstoff-Betrieb oder beim Post-Combustion-Capture-Prozess das Regeln des Dampfmassenstroms zum Wärmetauscher des Desorbers. Außerdem werden sowohl für konventionelle Kraftwerke als auch für die CCS-Technologien alternative modellbasierte Regelungskonzepte untersucht, mit denen sich die An- und Abfahrprozesse optimieren lassen. In die Modelica-Bibliothek ClaRaCCS müssen dementsprechend neue regelungstechnische Komponenten integriert werden, mit deren Hilfe die Regelungskonzepte effizient abgebildet werden können.

Das BMWi fördert das Vorhaben DYNSTART, an dem neben verschiedenen Instituten der Technischen Universität Hamburg-Harburg auch die Unternehmen XRG Simulation, TLK-Thermo, ESI ITI und Uniper Kraftwerke mitarbeiten, mit rund 1,6 Millionen Euro.

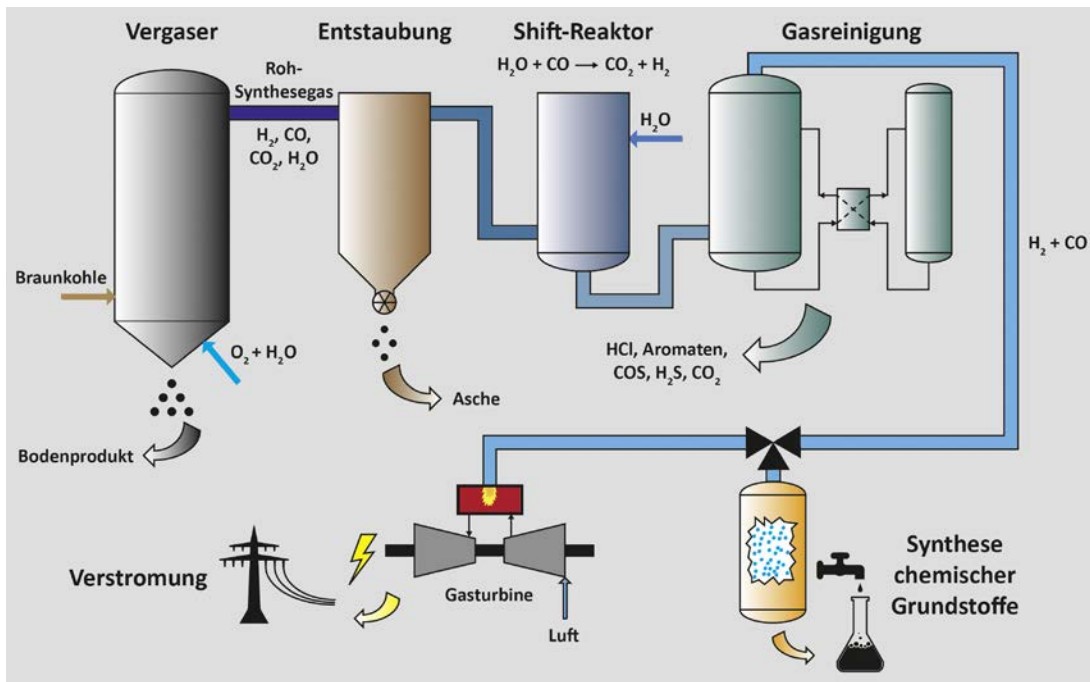
Im Bereich der Kraftwerkstechnik sowie CO₂-Abscheidung und -Speicherung hat das BMWi im Jahr 2016 73 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 29 Millionen Euro bewilligt (2015: 108 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 54 Millionen Euro). Für 312 laufende Projekte hat das Ministerium rund 27,2 Millionen aufgewendet (2015: 277 Projekte für rund 26,2 Millionen Euro).

Auswahl geförderter Projekte

Aus eins mach zwei: Strom und Kraftstoff aus Braunkohle

Kohle kann durch die Kombination von energetischer und stofflicher Verwertung (Polygeneration) wesentlich effizienter genutzt werden. Ein kombinierter Gas-/Dampfturbinenprozess mit integrierter Vergasung (engl. IGCC) eignet sich besonders, um feste Brennstoffe wie Braunkohle zu vergasen und auf diesem Weg ein energetisch hochwertiges Synthesegas zu erzeugen. Dieses kann entweder in einer Gasturbine mit anschließendem Abhitze-dampferzeuger zur Stromproduktion genutzt werden oder durch eine katalytische Synthese hochwertige chemische Grundstoffe oder Treibstoffe produzieren. Der Auslastungsgrad des IGCC-Kraftwerks kann erhöht werden, indem ein konstanter Synthesegasstrom erzeugt wird. Dieser wird bei hohem Strombedarf ausschließlich zur Stromproduktion und bei niedrigerem Strombedarf verstärkt zum Herstellen von Kraftstoff genutzt.

Ziel des Forschungsprojekts **FABIENE** ist es, ein Anlagenkonzept zu entwickeln und zu testen, das sich zur flexiblen Produktion von Strom und Kraftstoffen aus Braunkohle eignet (siehe auch Schema auf Seite 60 oben). Die Projektkoordination liegt bei der Technischen Universität Darmstadt, die das Forschungsvorhaben gemeinsam mit RWE Power und der ThyssenKrupp Industrial Solutions verfolgt. Innerhalb des Projekts soll eine bestehende Wirbelschicht-Versuchsanlage zur Vergasung fester Brennstoffe mit einer thermischen Leistung von 0,5 Megawatt um eine Gasaufbereitungsanlage erweitert werden, so dass ein Synthesegas erzeugt werden kann, das in einem Katalysatorstand in Kraftstoffe konvertiert wird. Dabei soll die gesamte Prozesskette vom Rohstoff bis zum Produkt betrachtet werden. Das BMWi unterstützt FABIENE mit rund 9,1 Millionen Euro.



Das FABIENE-Projekt-schemata zeigt, wie durch einen Polygenerationsprozess sowohl Strom aus Braunkohle als auch chemische Grundstoffe hergestellt werden können.

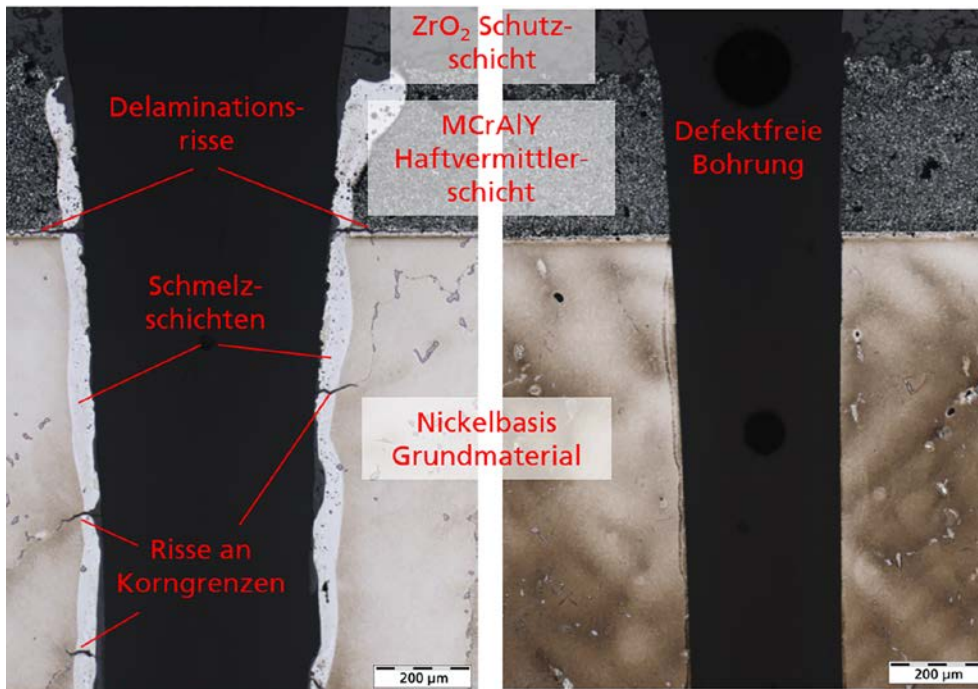
Abgase von Kohlendioxid befreien

Durch das Verbrennen von Kohle und Gas entsteht CO₂. Ziel des Verbundvorhabens **MemKoR** (Membranverfahren für die Abtrennung von Kohlendioxid aus Kraftwerksrauchgasen) ist es, das Freisetzen dieses Treibhausgases in die Atmosphäre zu reduzieren. Durch den Einsatz von Gas-separationsmembranen am Ende des Kraftwerksprozesses kann das CO₂ gezielt abgetrennt und entweder gespeichert oder weiterverwendet werden. Die geplanten Entwicklungen erfolgen im Labor- und Pilotmaßstab. Unter realen Bedingungen werden diese im RWE Braunkohlekraftwerk Niederaußem und im EnBW Rheinhafen-Dampfkraftwerk in Karlsruhe getestet. Untersucht werden sowohl Membranwerkstoffe aus Polymeren als auch solche aus Keramik. Die ausgewählten Werkstoffe lassen bevorzugt CO₂ aus dem Rauchgasstrom passieren und reichern es bei Anlegen einer Partialdruckdifferenz auf der Niederdruckseite der Membran an.

Das Verbundvorhaben wird vom Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) koordiniert. HZG-Wissenschaftler entwickeln gemeinsam mit ihren Partnern des Forschungszentrums Jülich und der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut in Karlsruhe innovative Membranmaterialien und Verfahrenstechnologien. Dabei müssen vor allem die veränderten Betriebsbedingungen von Kraftwerken – und die damit verbundenen Herausforderungen an die Materialien und Verfahrenstechnologien – in Zeiten der Energiewende berücksichtigt werden. Dazu gehören insbesondere die



Module mit Polymermembranen trennen CO₂ aus Kraftwerksrauchgasen.



Die Abbildung zeigt einen metallgraphischen Querschnitt einer mittels ultrakurzgepulster Laserstrahlung hergestellten Kühlluftbohrung (rechts) im Vergleich mit einer konventionell hergestellten Laserbohrung (links).

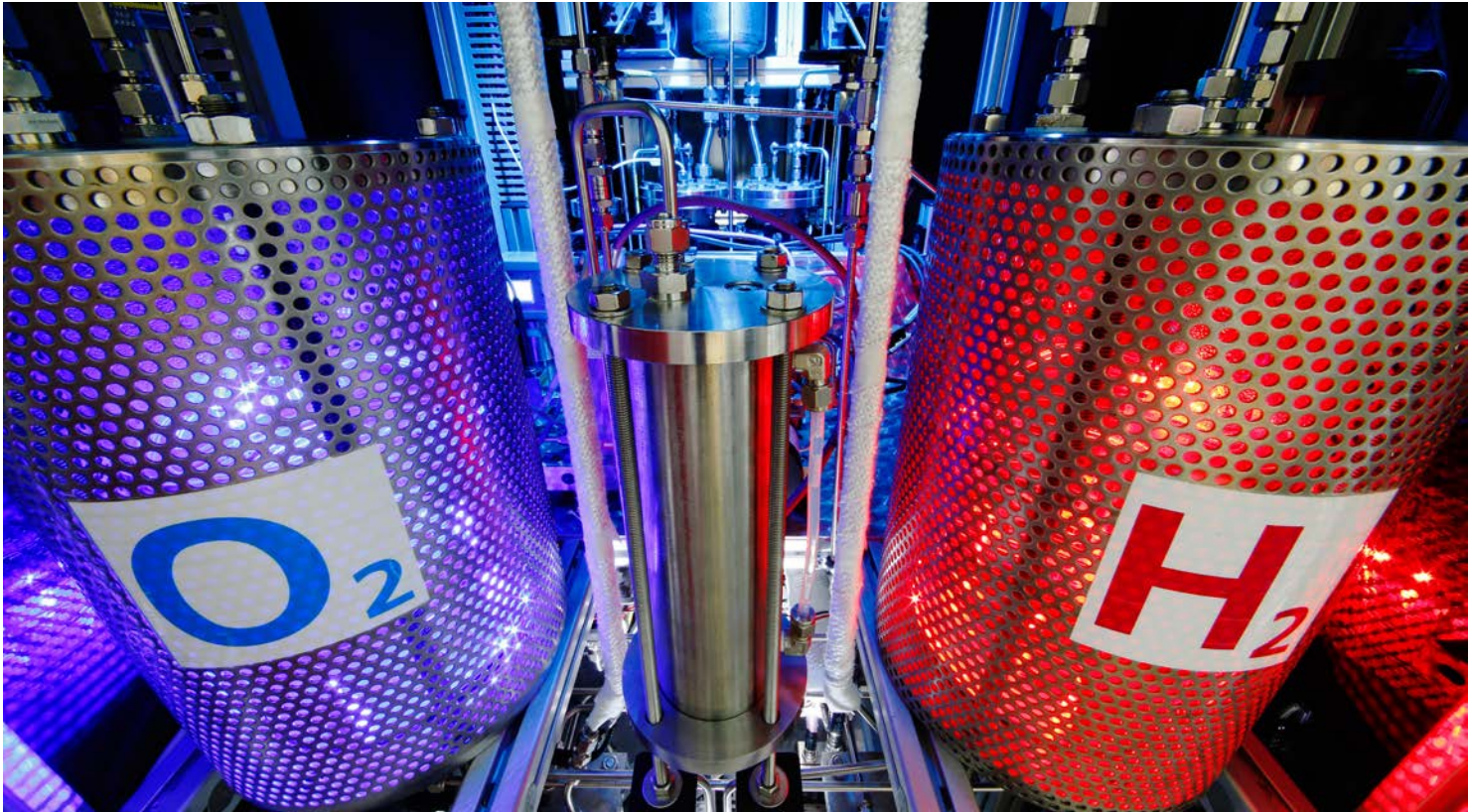
Lastflexibilität und das Behandeln von Teilströmen. Das Projekt trägt dazu bei, dem Klimawandel entgegenzuwirken. Neben der eigentlichen Membrantechnologie kommen im Verbundvorhaben auch andere Komponenten wie zum Beispiel Gebläse, Vakuumpumpen und Filter auf den Prüfstand. Prozesssimulationsmodelle sollen zudem dabei helfen, den Einsatz und die Wirtschaftlichkeit der entwickelten Technologie unter ihren spezifischen Randbedingungen abzuschätzen. Das BMWi fördert MemKoR mit rund 2,5 Millionen Euro.

Ultrakurzgepulstes Laserstrahlbohren

Konventionelle Kraftwerke haben im Zuge der Energiewende die Aufgabe, das fluktuierende Einspeisen erneuerbarer Energien zu unterstützen. Die Anlagen müssen daher häufig herauf- und heruntergefahren werden, um die jeweils nachgefragte Residuallast bereitzustellen. Die schnellen und häufigen Lastwechsel mit ihren starken Temperaturwechseln beanspruchen viele Bauteile, unter anderem Turbinenschaufeln und -brennkammern. Der Betrieb von modernen und effizienten Gasturbinen erfordert deshalb sowohl hochwarmfeste Werkstoffe mit zusätzlichen Korrosionsschutz- und Wärmedämmschichten als auch den Einsatz fortschrittlicher Kühltechnologien. Kühlluft wird dabei durch feine Bohrkanäle geleitet und bildet einen Film auf den Schaufeloberflächen. Beim Laserstrahlbohren dieser Kanäle kommt es im Bereich der Bohrlochwand häufig zu signifikanten Veränderungen und Defekten wie Schmelzschichten, Rissen oder Rückwandschädigungen.

Im Projekt **Laserstrahlbohren von Wärmedämmschichtsystemen** entwickelt die RWTH Aachen zusammen mit dem Forschungszentrum Jülich die Bohrtechnologie weiter. Im Mittelpunkt des Forschungsprojekts steht das Bohren mittels ultrakurzgepulster Laserstrahlung. Aufgrund des verdampfungsdominierten Materialabtrags können qualitativ hochwertige Bohrungen nahezu defektfrei erzeugt werden, so dass die Lebensdauer der Turbinenkomponenten vergrößert werden kann. Infolgedessen müssten beispielsweise Turbinenschaufeln seltener ausgetauscht werden, so dass teure und vor allem energieintensiv gewonnene Werkstoffressourcen geschont werden. Parallel laufende Analysen der Bauteilschäden durch Lebensdaueruntersuchungen helfen, den Laserbohrprozess zu validieren. Darüber hinaus soll innerhalb des Forschungsprojekts eine Online-Qualitätskontrolle von Bohrungen weiterentwickelt werden. Das BMWi fördert den Verbund mit rund 570.000 Euro.

Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien



Durch die effiziente und schadstoffarme Nutzung eines nachhaltigen Energieträgers wie Wasserstoff können Brennstoffzellen künftig konventionelle Energiewandler verdrängen und CO₂-Emissionen im Verkehr und in der stationären Energieversorgung reduzieren. Obwohl erste Brennstoffzellen-Heizgeräte und -Fahrzeuge kommerziell verfügbar sind, muss der Reifegrad dieser Technologie noch weiter ausgebaut werden.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Wenn sich Wasserstoff und Sauerstoff vermischen und entzünden, dann erzeugt das eine gewaltige Explosion, bei der eine große Menge an Energie freigesetzt wird. Auch die Brennstoffzelle gewinnt Energie, wenn Wasserstoff und Sauerstoff sich verbinden – allerdings ganz kontrolliert. Neue Brennstoffzellen-Heizgeräte erzeugen als Mini-KWK-Anlagen Wärme und elektrische Energie mit über 90 Prozent Wirkungsgrad. Sie lassen sich mit Erdgas, Methan oder Wasserstoff – gewonnen aus erneuerbaren Energien oder Biomasse – betreiben.

Brennstoffzellen-Heizungen (BZH) können dezentral und bedarfsgerecht Wärme erzeugen sowie mit dem erzeugten Strom netzentlastend oder netzunabhängig eingesetzt werden. Allein in Japan sind mehr als 120.000 Brennstoffzellen-Heizgeräte installiert – hier ist die Kommerzialisie-

rung schon weit fortgeschritten. Mit dem Start der Serienfertigung sehen deutsche Hersteller eine wesentliche Herausforderung darin, die Herstellungskosten weiter zu senken. Aktuell liegen die Preise für BZH-Systeme noch über 20.000 Euro pro Kilowatt. Vor zwei Jahren ist das erste Heizgerät mit Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) zur Serienreife entwickelt worden. Das BMWi fördert außerhalb der Forschungsförderung den Einbau von Brennstoffzellen-Heizungen seit August 2016 mit einem Investitionszuschuss von bis zu 40 Prozent sowohl beim Neubau als auch bei einer energetischen Sanierung. Mit dem Technologieeinführungsprogramm sollen stationäre Brennstoffzellen-Heizungen als zukunftsweisende Technologie zur gleichzeitigen hocheffizienten Strom- und Wärmeerzeugung breitenwirksam am Markt etabliert werden.

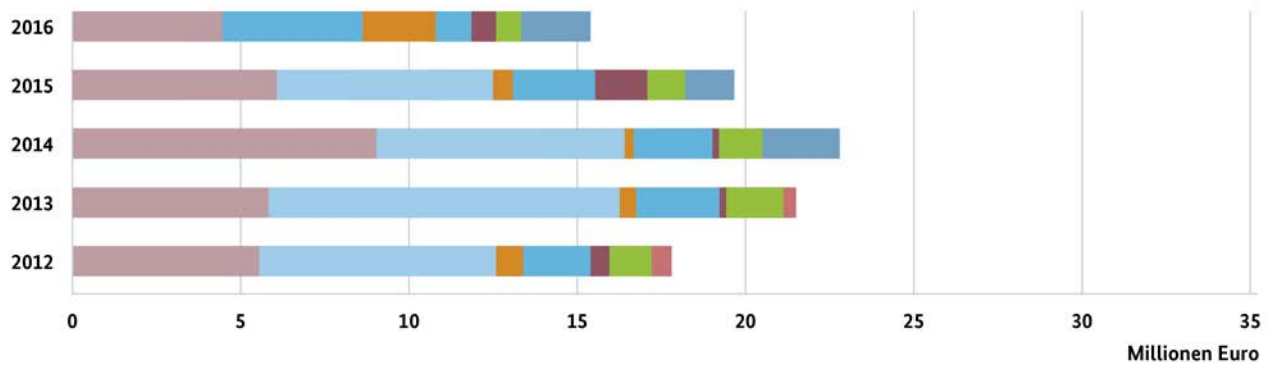
Brennstoffzellen eignen sich aber nicht nur für den Heizungskeller: Inzwischen sind die ersten Serienfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb auf den Straßen unterwegs. Auch eine flächendeckende Wasserstofftankstellen-Infrastruktur wird greifbar: Bis 2023 sollen in Deutschland durch die Industrieinitiative H₂ Mobility rund 400 Stationen aufgebaut werden. Ein weiterer Meilenstein auf dem Weg zur CO₂-neutralen Mobilität ist 2016 der Jungfernflug eines Brennstoffzellen-Flugzeugs gewesen.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

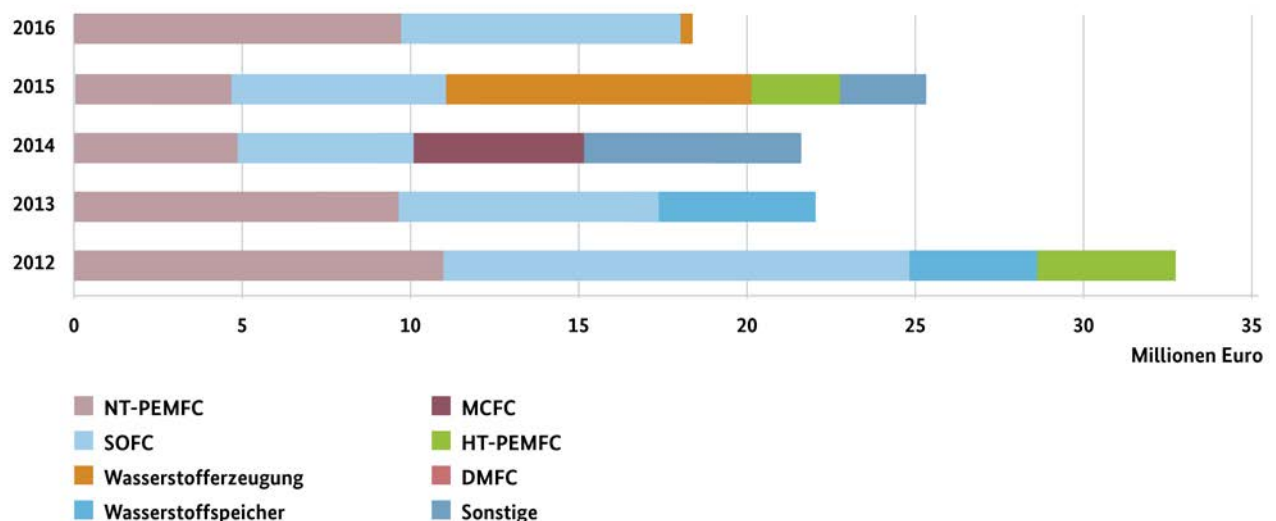
Als Automobilantrieb ist die Brennstoffzelle effizient: Sie erreicht einen Systemwirkungsgrad von 45 Prozent und ist damit fast doppelt so effizient wie ein Verbrennungsmotor. Damit die Mobilität mit Brennstoffzellen in Deutschland bis 2050 einen signifikanten Anteil erreicht, entwickeln und optimieren Wissenschaftler in verschiedenen Forschungsvorhaben für mobile Anwendungen geeignete Systeme und Komponenten. Diese müssen langlebig und leistungsstark, zugleich auch besonders leicht und kompakt sowie robust und vibrationstolerant sein, um wirtschaftlich konkurrenzfähig zu werden. Denn nur so

Fortsetzung Seite 66

Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie: Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016



Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012



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

IM FOKUS: BRENNSTOFFZELLENFERTIGUNG

Forschung für eine Brennstoffzellenfertigung in Deutschland

Innovative Brennstoffzellentechnologie „Made in Germany“ hat erhebliches Potenzial, steht jedoch im Wettbewerb mit Japan, Korea und Kanada. Das BMWi fördert mit Forschung und Entwicklung die nächsten Generationen von Brennstoffzellen und will damit die Basis für eine international wettbewerbsfähige Brennstoffzellentechnologie in Deutschland schaffen.

Kompakte, robuste, langlebige sowie kosten- und anwendungsgerechte Systeme sind das Ziel. Den Reifegrad der Brennstoffzellentechnologie weiter zu verbessern und den Weg für eine Fertigung in Deutschland zu ebnet, sind die Herausforderungen für Forscher und Entwickler, die an nächsten Generationen Brennstoff-

zellen arbeiten. Im Fokus der Förderung steht deshalb die Forschung entlang der gesamten Wertschöpfungskette von den einzelnen Komponenten bis zum System.

„Wir sehen in Deutschland eine Reihe vielversprechender Zulieferer für die Kernbestandteile eines Brennstoffzellenstapels. In **HyMotion5** haben wir die Kompetenzen der Partner ElringKlinger, Greenerity, Umicore und Freudenberg gebündelt und entwickeln gemeinsam mit diesen Zulieferern erstmals einen Brennstoffzellenstapel „Made in Germany“, sagt Gerold Hübner von Volkswagen. Er ist Projektkoordinator im vom BMWi mit rund 9,4 Millionen Euro geförderten Forschungsvorhaben HyMotion5.



Glassmelze aus dem Induktionsofen zur Herstellung von Glaslot-Dichtungen für Brennstoffzellen

Mehrere Brennstoffzellen-Ebenen zusammenschaltet sind ein sogenannter Zellenstapel und sorgen für die anwendungsgerechte, höhere Spannung. Er ist eine Art Minikraftwerk, in dem durch eine chemische Reaktion von Wasserstoff aus Tanks und Sauerstoff aus der Umgebungsluft mit über 300 eng geschichteten Zellmembranen Strom erzeugt wird – völlig abgasfrei. Da sich in der Brennstoffzelle mechanisch nichts bewegt, arbeitet sie fast geräuschlos und mit hohem elektrischen Wirkungsgrad von mehr als 40 Prozent – ein Verbrennungsmotor schafft gerade mal 25 Prozent.

Der zu entwickelnde Stapel soll technologisch an den internationalen Standard anknüpfen und Optionen aufzeigen, Brennstoffzellen für den Massenmarkt langfristig deutlich günstiger werden zu lassen. Deutsche Automobilbauer greifen für ihre Brennstoffzellenfahrzeuge bisher ausnahmslos auf Stapel ausländischer Hersteller zurück. **HyMotion5** hat sich zum Ziel gesetzt, einen großen Teil der Wertschöpfungskette bis hin zum eigentlichen Stapelaufbau in Deutschland darzustellen und damit erstmals die Grundlage für einen deutschen Stapelhersteller aufzubauen.

Neben dem Aufbau einer eigenen Entwicklungskompetenz für den Brennstoffzellenstapel und die Stapelbauteile entwickelt Greenerity im Vorhaben eine eigene Membran-Elektroden-Einheit (MEA) mit deutlich reduziertem Edelmetallanteil und damit geringeren Materialkosten. Die Wissenschaftler wollen die Leistungsdichte und Degradation der niedrig beladenen MEA verbessern und deren Toleranz gegenüber Betriebsparameterschwankungen – wie zum Beispiel der Temperatur oder Feuchtigkeit – erhöhen.

Brennstoffzellensysteme haben hohe Anforderungen hinsichtlich Dichtung, Homogenität, mechanischer Verspannung und Minimierung elektrischer Widerstände. MEAs (siehe auch „EXTRAMEA“, Seite 68), Katalysatoren, Gasdiffusionsmedien (siehe auch Bericht „Innovation durch Forschung 2015“, Seite 61), Bipolarplatten oder auch Dichtungen: Sie alle sind wichtige Einzelkomponenten für den zusammenschalteten Brennstoffzellenstapel und die damit einhergehenden Innovationen der Schlüssel für eine erfolgreiche Brennstoffzellentechnologie.

Um den Reifegrad der Technologie, das Potenzial sowie das Know-how in Deutschland weiter auszubauen, fördert das BMWi Forschungsaktivitäten in diesem Bereich. Im Zentrum stehen dabei die Zuverlässigkeit der einzelnen Komponenten und die Kostenreduktion der Brennstoffzellensysteme.

kann die Technologie bei der nachhaltigen Energieversorgung in Deutschland eine Schlüsselrolle einnehmen. Das BMWi fördert Forschung und Entwicklung einer nächsten Generation Brennstoffzellen über alle Stationen der Wertschöpfungskette, die den Reifegrad der Technologie verbessern, und ebnet damit den Weg für eine Fertigung in Deutschland (siehe auch: „Im Fokus: Brennstoffzellenfertigung“, Seite 64).

Ziel ist, die Lebensdauer der Brennstoffzelle deutlich über 20.000 Betriebsstunden hinaus in Richtung 60.000 Stunden zu verbessern und so eine echte Alternative für stationäre Anwendungen wie die Gebäudeheizung zu bieten. Hinzu kommt die Entwicklung kostengünstiger Lösungen sowohl bei Kernkomponenten – wie etwa Membran-Elektroden-Einheiten (MEA) im Projekt **EXTRAMEA** (siehe auch Seite 68) – als auch bei peripheren Komponenten (Pumpen, Ventile, Sensoren).

Festoxidbrennstoffzellen (SOFC – Solid Oxide Fuel Cell) zeichnen sich durch Robustheit und einen besonders hohen Wirkungsgrad aus. Bei den SOFCs mit einer Betriebstemperatur von mehr als 750 Grad Celsius wird jedoch das Dichtungsmaterial stark beansprucht. Deshalb entwickeln Forscher im Forschungsvorhaben **Seals** (siehe auch Seite 69) glasbasierte Dichtungssysteme für die Hochtemperaturbrennstoffzelle.

Strategie der Forschungsförderung

Die Bedeutung der Brennstoffzelle im künftigen Energiesystem ist unumstritten. Denn ihre effiziente Energiewandlung bietet viele Vorteile bei der stationären und der mobilen Energieversorgung. Für Forschung und Entwicklung sind kompakte, robuste, langlebige, kosten- und anwendungsgerechte Systeme die Herausforderungen der Zukunft.

Im Verkehrsbereich und beim Speichern regenerativer Energien ist Wasserstoff ein wesentlicher Baustein einer nachhaltigen Energiewirtschaft. Wenn Windkraftwerke mehr Strom produzieren, als das Netz aufnehmen kann, besteht zum Beispiel die Möglichkeit, die überschüssige Energie zur Elektrolyse von Wasser zu nutzen und den erzeugten Wasserstoff zu speichern oder in das Erdgasnetz einzuspeisen. Für diese Elektrolyse kann eine invers betriebene Brennstoffzelle eingesetzt werden. Kurzfristig stellt diese vielversprechende Option noch keine wirtschaftlich vertretbare Lösung dar und ist

Fortsetzung Seite 68

HIGHLIGHT

Ein Filter für die Brennstoffzelle

Autoabgase und Schadstoffe in der Luft mindern die Leistung von Brennstoffzellen. Im Forschungsvorhaben ALASKA klären Forscher, welche Filter zukünftig in E-Autos eingebaut werden müssen, damit Brennstoffzellen leistungsfähig bleiben und ihre Lebensdauer verlängert wird.

Spurengase wie Stickstoffmonoxid oder -dioxid sind nicht nur für den Menschen giftig, sie belasten auch Brennstoffzellen in Elektrofahrzeugen. Dabei können Spitzenwerte in Tunneln oder von vorausfahrenden Autos besonders schädlich sein. Solche Zusammenhänge erforscht das Institut für Energie- und Klimaforschung am Forschungszentrum Jülich im Konsortium **ALASKA** – Auswertung von Luftschadstoffszenarien zur Auslegung von Schadgasfiltern und Kathodenregenerationszyklen für Automotiv-Brennstoffzellen. Mit einem mobilen Labor erfassen die Wissenschaftler in Städten, Straßentunneln oder auf Autobahnen neben Stickoxiden erstmals auch Verbindungen mit besonders hohem Schadpotenzial wie Ammoniak und Schwefeldioxid.

Auf Basis der Jülicher Daten analysiert das Zentrum für Brennstoffzellen-Technik (ZBT) in Duisburg – dem gleichzeitig die Projektkoordination des Forschungsvorhabens obliegt –, welche Schäden durch einzelne Gase, ein Gasgemisch bei Normalbetrieb oder Spitzenbelastung an der Brennstoffzelle entstehen.

Grundsätzlich wird im Automobilbereich eine Lebensdauer der Brennstoffzelle von 6.000 Betriebsstunden bzw. zehn Jahren angestrebt. Die Forscher wollen mit ALASKA zeigen, dass sich die Lebensdauer einer Brennstoffzelle mit einem geeigneten Filtersystem deutlich erhöhen lässt sowie Leistungseinbußen durch kurzfristige Schadstoff-Spitzenkonzentrationen abgefangen werden können.

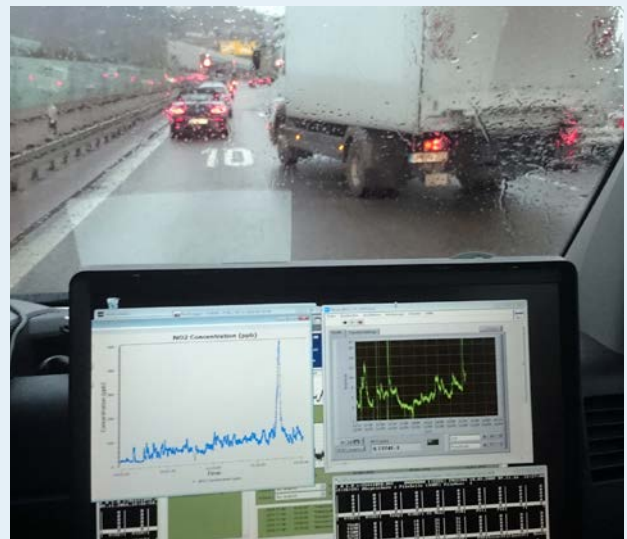
Wenn der Einsatz an Edelmetall (Platin) in der Brennstoffzelle zur Kostenreduktion weiter verringert wird, haben Schadstoffe aus der Luft eine nochmals erhöhte negative Wirkung auf die Brennstoffzelle und damit auch auf ihre Lebensdauer. Somit haben die in ALASKA untersuchten Filter das Potenzial, signifikant Kosten zu senken, indem sie Brennstoffzellen mit reduzierter Platinbelastung vor Luftschadstoffen schützen.



Welchen Belastungen Luftfilter und Brennstoffzellen ausgesetzt sind, untersuchen Dr. Dieter Klemp (links) und Dr. Robert Wegener (rechts) im Vorhaben ALASKA mit einem mobilen Labor.

Weiter wollen die Wissenschaftler im Forschungsvorhaben ALASKA Regenerationsstrategien entwickeln, mit denen nicht gefilterte Schadgase wieder aus dem Brennstoffzellen-Stack (siehe auch „Im Fokus: Brennstoffzellenfertigung“, Seite 64) ausgetragen werden, um so das System robuster zu machen und die Lebensdauer der Brennstoffzellen zu verlängern.

Neben dem Zentrum für Brennstoffzellen-Technik (ZBT), dem Institut für Energie- und Klimaforschung am Forschungszentrum Jülich und Daimler ist auch die Firma MANN+HUMMEL ein Projektpartner in ALASKA. Sie wird das geeignete Filtersystem entwickeln, das dann in einem weiteren Schritt unter realen Bedingungen vom Projektpartner Daimler in einem Fahrzeug getestet wird. Das BMWi fördert das Forschungsvorhaben ALASKA mit rund 1,2 Millionen Euro.



Online-Abgasmessung im Stuttgarter Feierabendverkehr mit „Mobilab“, dem mobilen Labor des Forschungszentrums Jülich

deshalb weiterhin ein Schwerpunkt in Forschungs- und Demonstrationsprojekten (siehe auch Kapitel „Energiespeicher“, ab Seite 70).

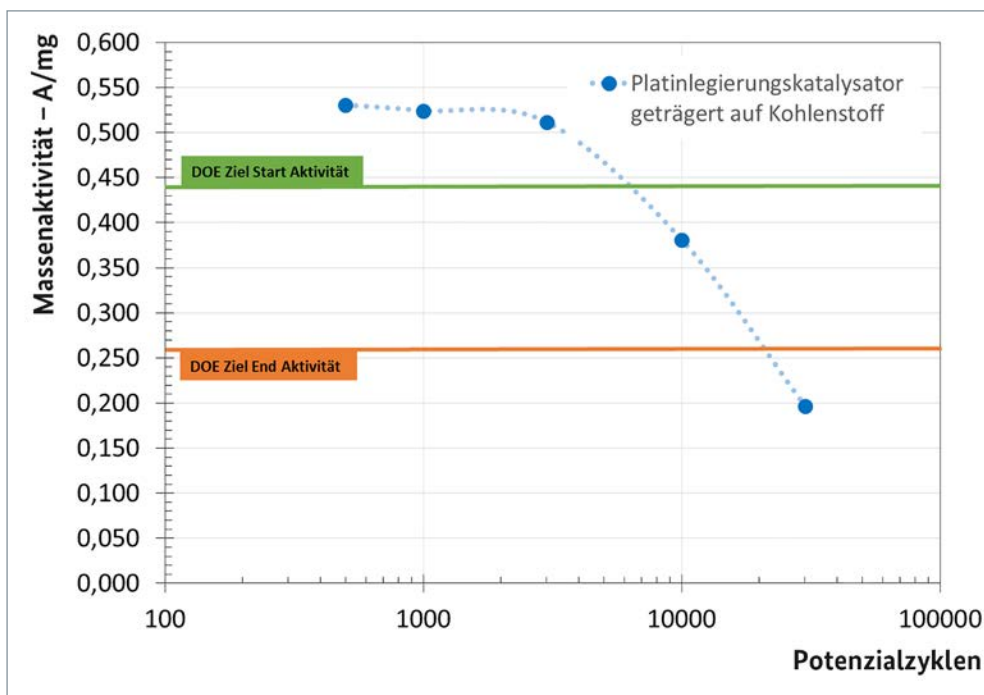
Die BMWi-Förderung für Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien ist eingebunden in das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellen (NIP), das seit 2016 als Regierungsprogramm NIP2 fortgesetzt wird. Ziel ist, die Technologie in den nächsten zehn Jahren (2016 bis 2025) zur Marktreife zu bringen, um in Deutschland die industrielle Wertschöpfung der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie international konkurrenzfähig aufzubauen.

Im Bereich Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien hat das BMWi im Jahr 2016 die Energieforschung mit rund 15,4 Millionen Euro für 126 laufende Projekte gefördert (2015: 119 Projekte mit 19,7 Millionen Euro). 28 Projekte mit einem Fördervolumen von 18,5 Millionen Euro sind 2016 neu bewilligt worden (2015: 42 Projekte mit rund 25,4 Millionen Euro).

Auswahl geförderter Projekte

EXTRAMEA – EXTRem langlebige Automobil-MEAs

Der elektrochemische Prozess einer Proton-Austausch-Membran-Brennstoffzelle (PEM-BZ) findet in der Membran-Elektroden-Einheit (MEA – Membrane Electrode Assembly) statt. Die MEA besteht aus einer für Protonen durchlässigen Membran, einer beidseitigen Katalysatorschicht aus Platin, Legierungen und den Gasdiffusionsschichten. Hier kommt es zu einer kontrollierten, elektrochemischen Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff aus der Luft: Die bei der Protonen-Bildung freigesetzten Elektronen erzeugen Strom, weitere Produkte sind Wärme und Wasser. Die MEA ist das elektrochemische Kernstück der PEM-Brennstoffzelle und die Komponente mit dem größten Einfluss auf die Leistungscharakteristik. Das Einzelvorhaben **EXTRAMEA** – Extrem langlebige Automobil-Membran-Elektroden-Einheiten soll die Voraussetzung für die Etablierung einer international wettbewerbsfähigen,



Forschungsvorhaben
EXTRAMEA: Degradation
nach den Potenzialzyklen

degradationsstabilen MEA-Technologie in Deutschland schaffen, die mit den Wettbewerbern in diesem Bereich aus Nordamerika, Korea und Japan mithalten kann. Wissenschaftler von Greenerity entwickeln ein MEA-Konzept mit Verbesserungen hinsichtlich Zellspannungsumkehrtoleranz, Start/Stopp-, Last-, Massentransport- und Einfrier-/Auftau-Zyklen sowie chemischer und mechanischer Membranstabilität. Die MEA soll für die Fahrzeuggeneration 2020 eine notwendige Lebensdauer von 5.000 Stunden (250.000 km) bei einem leistungsspezifischen Edelmetalleinsatz von 0,24 Gramm Platin pro Kilowatt robust erreichen. Bei einem 100-Kilowatt-Motor und einem Platinpreis von 30 Euro pro Gramm ergäben sich pro Fahrzeug Edelmetallkosten von 720 Euro. Das Platin wird im elektrochemischen Prozess als Katalysator benötigt und ist unabdingbar. Platin kann nach der Nutzung des Fahrzeugs beinahe zu 100 Prozent wiederverwertet werden, dennoch wird es als kritischer Kostenfaktor für das Gesamtfahrzeugkonzept angesehen. Ziel des vom BMWi mit rund 2 Millionen Euro geförderten Vorhabens ist daher die Entwicklung von MEAs mit hoher Leistung, ausreichender Stabilität und reduziertem Edelmetalleinsatz.

SealS – Glaskeramik-Dichtungen für SOFC-Stacks

Bei der Hochtemperatur-Brennstoffzelle (SOFC – Solid Oxide Fuel Cell) werden Anode, Elektrolyt, Kathode und die Elektronen sammelnde Bipolarplatte schichtweise zu einer Einzelzelle zusammengefügt. Mehrere Einzelzellen zusammen können zu einem leistungsstärkeren Stack verschaltet werden. SOFC-Stacks müssen bei hohen Betriebstemperaturen oberhalb von 650 Grad Celsius stark wechselnden Bedingungen standhalten. Die Dichtungen von Stacks reagieren empfindlich auf thermische Schwankungen: Denn die Lotfügung besteht aus Silber, das unter den Betriebsbedingungen Poren bildet, sodass die Fügestelle stark altert. Das reduziert die Lebenserwartung und Zuverlässigkeit der SOFC. Im abgeschlossenen Forschungsvorhaben **Sealing Stacks** – Glasbasierte Fügesysteme für die Hochtemperatur-Brennstoffzelle haben Wissenschaftler eine langlebigere und technologisch einfachere Dichtung aus Glas bzw. Glaskeramiken für SOFC-Stacks entwickelt. Der Einsatz von Glasloten zur Dichtung und Fügung von SOFC ist an geeignete Gläser mit hohen Anforderungen gekoppelt. Sie müssen unter den Betriebsbedingungen von SOFC-Stacks eine hohe chemische Beständigkeit gegenüber den Interkonnektor- und Elektrolytmaterialien sowie

aggressiven Atmosphären aufweisen und dem Stack eine gewisse mechanische Stabilität verleihen. Erst das Zusammenspiel dieser Eigenschaften zeichnet ein langzeitstabiles Glaslot aus. Das in SealS entwickelte Dichtungskonzept ist stabil, kostengünstig und weist im Vergleich zum derzeit eingesetzten System (Metall-Keramik-Fügung) eine hohe thermomechanische Stabilität auf und erlaubt aufgrund seiner chemischen Eigenschaften keine Porenbildung. Das Vorhaben ist von ElringKlinger koordiniert worden. Weiterer Projektpartner waren das Fraunhofer-Institut für Silicatiforschung ISC und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Das BMWi hat die Entwicklung glasbasierter Fügesysteme für die Hochtemperatur-Brennstoffzelle im Vorhaben Sealing Stacks mit 1,5 Millionen Euro gefördert.

STEP – Forschung für marktreife Brennstoffzellen

Brennstoffzellen befinden sich an der Schwelle zur Markteinführung. Doch vor einer breiten Anwendung in Energiewirtschaft, Konsumgüter- sowie Nutzfahrzeugindustrie müssen sie noch zuverlässiger und kostengünstiger werden. Im abgeschlossenen Forschungsvorhaben **STEP** – Safe Thermo-mechanical and Electro-chemical Performance haben Forscher vom Technical Research Centre of Finland (VTT) und Forschungszentrum Jülich gemeinsam mit den Komponentenherstellern Elcogen Oy und ElringKlinger SOFC-Brennstoffzellen-Stacks getestet, notwendige Entwicklungsarbeiten abgeleitet und diese gemeinsam umgesetzt. Grundlage für die deutsch-finnische Zusammenarbeit in der Energieforschung nach dem Berliner Modell war der **Strategische Energie-Technologien-Plan (SET-Plan)**. Das Ziel von STEP war das Zusammenführen etablierter, europäischer SOFC-Stack-Entwickler und -Hersteller zu einem Konsortium, das eine effektive und nachhaltige Entwicklung der SOFC-Technologie vorantreibt. Der Koordinator ElringKlinger hat im Vorhaben metallische Komponenten für den Stack hergestellt, Elcogen Oy aus Finnland keramische Zellen. Insgesamt konnten im dreijährigen Vorhaben (2013–2016) die Stack-Leistung sowie Qualität gesteigert und die Kosten gesenkt werden. Das BMWi hat die deutschen Partner im europäischen Forschungsvorhaben STEP mit rund 1,7 Millionen Euro gefördert.

Energiespeicher



Für die Sektorkopplung von Strom-, Wärme-, Kälte- und Mobilitätsmarkt stellen Energiespeicher eine zunehmend interessante Flexibilitätsoption dar. Zudem tragen sie dazu bei, die Schwankungen in den Versorgungsnetzen auszugleichen, die durch das Einspeisen erneuerbarer Energien entstehen, und schaffen dadurch Flexibilität für deren weiteren Ausbau. Auf diese Weise erhöhen Speicher die Dynamik und Systemstabilität, indem sie Überschüsse aufnehmen und zu Spitzenzeiten wieder an das Verteilnetz abgeben.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Elektrische Speicher haben ihre positive Entwicklung 2016 fortgesetzt. So wurden weltweit rund 2,9 Gigawattstunden netzgekoppelter Speicherkapazitäten neu installiert. Bis 2025, davon gehen Analysen von IHS Markit aus, könnten diese bei 21 Gigawattstunden liegen. Wesentliche internationale Wachstumsmärkte sind dabei die USA und Australien bei den stationären Batteriespeichern sowie Japan bei Wasserstoffspeichern.

Die wesentlichen Technologien bei den stationären Anwendungen sind einerseits Power-to-Gas-Anwendungen, also Verfahren für das Umwandeln von erneuerbarem Strom zu Wasserstoff oder Methan mit Hilfe von Elektrolyseuren (siehe auch „Modulare Elektrolysesysteme machen Power-to-Gas wirtschaftlich“, Seite 81). Andererseits gehören

Batteriesysteme, wie beispielsweise Lithium-Ionen oder Redox-Flow (siehe auch „Im Fokus: Redox-Flow-Batterien“, Seite 72), dazu sowie Druckluft- und Wasserstoff- oder Schwungradspeicher (siehe auch „Mehr Schwung für die Energiewende“, Seite 79) und Superkondensatoren.

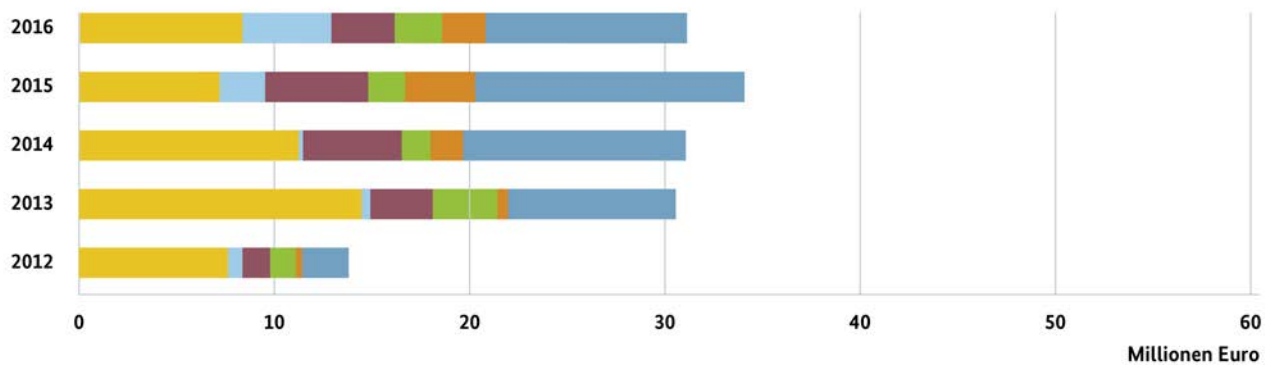
Elektrische Energiespeicher werden vor allem bei der Sektorkopplung wichtig. Darunter versteht man das wirtschaftliche Verflechten der bisher getrennten Märkte für Strom, Wärme, Kälte und Kraftstoffe. Auf diese Weise können Synergien entstehen, die zu einer besseren Energieeffizienz und einem flexibleren Gesamtsystem mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien führen. An der technologischen Schnittstelle dieser Sektoren setzen Speicher an und gewährleisten das effiziente Zusammenwirken.

Schon 2017 können Batteriesysteme laut Experten die Speicherparität erreichen. Das bedeutet, dass die Gesteungskosten für Elektrizität, die mit einer PV-Anlage erzeugt und im Haus zwischengespeichert wird, gleichauf liegen mit klassischem Haushaltsstrom vom Energieversorger. Möglich machen dies sinkende Kosten pro Kilowattstunde und steigende Kapazitäten für PV-Heimspeicher. Eine Reihe Anbieter hat weltweit bereits Produkte auf den Markt gebracht, und es ist davon auszugehen, dass Angebot und Nachfrage in diesem Bereich weiter wachsen. Gleichzeitig wird intensiv geforscht, um die Technologien noch leistungsfähiger, günstiger und langlebiger zu machen.

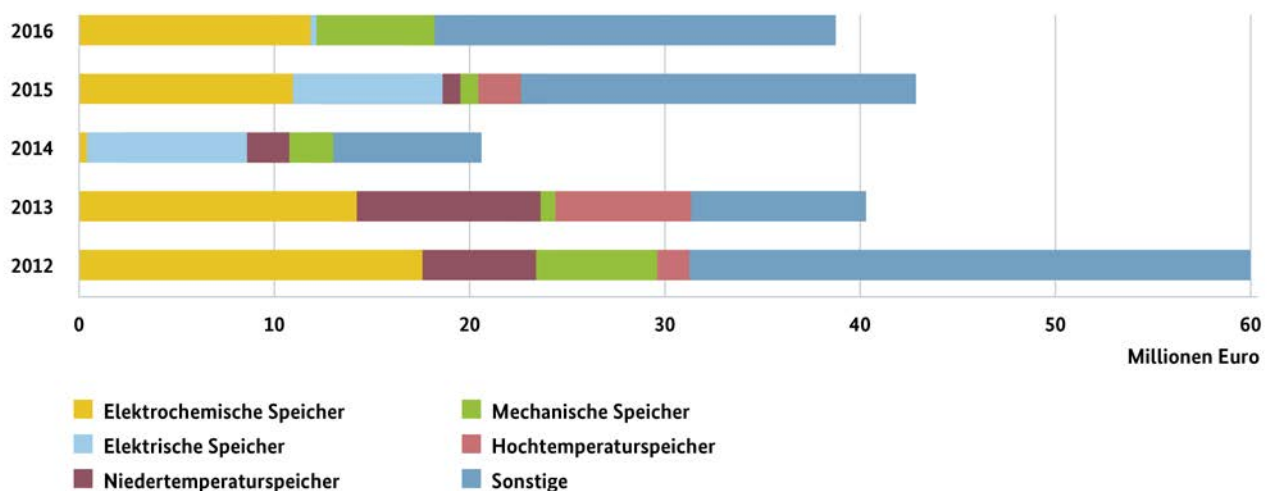
Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Power-to-Gas ist ein Schwerpunkt der Speicherforschung, denn noch ist dieses Verfahren sehr kostenintensiv. Projekte wie **GreenH2** (siehe auch „Wasserstoff preiswert, lastflexibel und nachhaltig erzeugen“, Seite 80) wollen das ändern. Auch der Aufbau einer wettbewerbsfähigen Stack-Produktion in Deutschland – als Basis einer vollständigen Wertschöpfungskette – ist eines der Ziele, die das BMWi mit seiner Projektförderung unterstützt. Hierzu forschen mehrere Verbünde, wie beispielsweise **NeStPEL** (siehe auch „Wasserstoffspeicher auf dem Weg zur Marktreife“, Seite 77).

Energiespeicher: Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016



Energiespeicher: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012



Druckluftspeicher sind als schnell regelbare Kraftwerke ebenfalls ein wichtiger Forschungsbereich, da sie einerseits überschüssigen Strom aufnehmen und andererseits bei Bedarf rasch wieder zur Verfügung stellen. Als adiabate (wärmedichte) Speicher nutzen sie Wärmeenergie und erhöhen so die Energieeffizienz. Anwendungen dieser Art könnten Tagesschwankungen ausgleichen. Wenn sie am Regelenenergie- und Kapazitätsmarkt teilnehmen, könnten sie in Kombination mit Erneuerbare-Energien-Anlagen konventionelle Kraftwerke ersetzen. Das größte Potenzial ist ihre Leistung. Diese liegt im dreistelligen Megawatt-Bereich bis hin zu einigen Gigawatt und das zu vergleichbaren Kosten wie bei einem Pumpspeicher. Ein Projekt hierzu ist **InSpEE** (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 78). Dabei untersuchen Wissenschaftler, wie sich Zechstein-Salzstrukturen als Kavernenspeicher für Druckluft und Wasserstoff nutzen lassen.

Auch bei den Pumpspeichern könnten sich neue Optionen für die Energiewende durch das Umrüsten ehemaliger Steinkohlebergwerke ergeben. Hierzu untersucht die Universität Bochum mit zwei Partnern, wie sich ein solches System unter Tage wirtschaftlich und technisch umsetzen lässt (siehe auch „Im Fokus: Pumpspeicherkraftwerke“, Seite 74).

Wie in anderen Bereichen auch, spielt auch für Energiespeicher die Digitalisierung eine steigende Rolle. Das nutzt beispielsweise das Verbundprojekt **green2store** (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 76). Die Forscher haben einen integrativen, virtuellen Stromspeicher entwickelt, der freie, dezentrale Kapazitäten über eine Cloud-Lösung bündelt und dem Markt zur Verfügung stellt.

Strategie der Forschungsförderung

Eine 2016 erstellte begleitende Erfolgskontrolle zur Forschungsinitiative Energiespeicher der Bundesregierung, an der neben dem BMWi auch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) beteiligt ist, hat gezeigt, dass bei den meisten Speichertechnologien noch weiterer Forschungsbedarf besteht. Allerdings gibt es auch einige Projekte, aus denen heraus kommerziell verfügbare Anwendungen entstanden sind, die demnächst auf dem Markt verfügbar sein werden. Perspektivisch liegt der Forschungsbedarf bei den Energiespeichern vor allem in der Untersuchung systemtechnischer Fragestellungen, Skalierung, Kosten, Alterung, Leistungsfähigkeit sowie Betriebs- und Geschäftsmodelle. Fortsetzung Seite 77

IM FOKUS: REDOX-FLOW-BATTERIEN

Alles im Fluss

Redox-Flow-Batterien zählen zu den elektrochemischen Stromspeichern. Noch sind bis zur Marktreife weitere Entwicklungsschritte zu bewältigen. Prof. Dr. Christina Roth von der Freien Universität Berlin beschäftigt sich mit grundlegenden Fragestellungen zu diesem Batterietyp und forscht intensiv an der Weiterentwicklung.

Frau Professor Roth, was macht Redox-Flow-Batterien für die Energiewende interessant?

Redox-Flow-Batterien beweisen gerade als Langzeitspeicher hohe Effizienz und Sicherheit. Sie sind interessant, weil man sie auch in den Megawattbereich skalieren kann. Das heißt, sie sind vor allem für großformatige Anwendungen geeignet, zum Beispiel gekoppelt mit Windrädern oder Photovoltaikanlagen. Vor allem wenn die Systemgröße steigt, würde ich die Redox-Flow-Batterie anderen Batterietypen vorziehen. Man kann sie aber sowohl im kleineren als auch im größeren Maßstab gut einsetzen.

Kapazität, Kosten und Leistung sind große Herausforderungen. Wie wollen Sie diese bewältigen?

Ich argumentiere weniger gern mit Kosten und Leistung, sondern lieber mit Materialaktivität und -stabilität bzw. Systemaktivität und -stabilität. Der Status quo ist, dass es schon große Pilotanlagen und Prototypen gibt. Aber das ist kein Grund, um sich zurückzulehnen, sondern ist die eigentliche Herausforderung, an den kleinen Stellschräubchen weiterzuentwickeln, wie an anderen Elektrodenmaterialien, um größere Leistungsbereiche abzudecken oder auch an der Systemtechnik zu feilen. Aber die Kosten werden sich in jedem Fall weiter reduzieren. Ab dem Moment, in dem es eine Fertigung und mehrere gleichwertige Hersteller auf dem Markt gibt und auch die Systemgröße steigt, sinken die Kosten automatisch.

Gibt es Potenzial für grundlegend andere Redox-Flow-Typen mit Elektrolyten ohne Vanadium?

Das ist gerade ein ganz aktives Thema. Die Vanadium-Zellen funktionieren, deswegen will man jetzt die



Prof. Dr. Christina Roth forscht am Institut für Chemie und Biochemie der FU Berlin im Bereich Physikalische und Theoretische Chemie zu Redox-Flow-Batterien.

Energiedichte erhöhen und die Elektrolytkosten senken. Derzeit kursieren viele spannende Ideen für neue Elektrolytchemien, zum Beispiel preisgünstigere, organische Elektrolyte.

Welche konkreten Forschungsziele haben Sie sich gesteckt?

Wir konzentrieren uns auf die Elektroden. Kommerzielle Elektrodenmaterialien sind Kohlenstoffvliese oder -filze. Dabei untersucht meine Gruppe vor allem, welche Eigenschaften für deren Aktivität und die Alterungseffekte relevant sind. Ein besonderes Anliegen ist mir die systematische Charakterisierung der Kohlenstoffmaterialien, idealerweise im Batteriebetrieb. Das ist aktuell noch eine große Herausforderung.

Was ist der Forschungsstand zu Alterung?

Da eine Redox-Flow Batterie nicht auf Phasenumwandlung basiert, sollte sie theoretisch weniger altern als eine Lithium-Ionen-Batterie. Aber das ist eine Frage, die noch nicht zu Ende diskutiert ist, denn momentan kann man die Alterung nur prognostizieren, weil die Datenbasis fehlt. Aber wir sehen, dass es Schadensfälle durch Degradation gibt, und denken deswegen, dass es ein sehr spannendes Forschungsthema ist. Was uns dabei interessiert, ist, wie unterschiedliche Kohlenstoffmaterialien ihre

Aktivität und Stabilität im Betrieb verändern. Dafür wollen wir beschleunigte Tests entwickeln. Diese sollen nach Komponenten aufschlüsseln, welche Leistungsverluste Membran, Elektrode oder Bipolarplatte über die Zeit verursachen.

Welche Anwendungsbereiche sehen Sie für Redox-Flow-Batterien?

Allen voran die Zwischenspeicherung erneuerbarer Energien in einem stationären Langzeitspeicher, indem man die Batterie mit Photovoltaik- oder Windenergieanlagen koppelt. Es gibt aber auch bereits ein interessantes Start-up (Volterion), das das Vanadium-System fürs Eigenheim anbietet. Das ist, aus meiner Sicht, eine der kleinsten Einsatzgrößen, die man sich vorstellen kann. Ansonsten sprechen wir vor allem über die großen Container neben Windparks. Es gibt natürlich auch immer mal wieder Berichte über Redox-Flow-Systeme im mobilen Bereich. Allerdings würde ich da Brennstoffzellen oder Lithium-Ionen-Batterien den Vorzug geben.

Wie ist die Perspektive für die Hochskalierung?

Die Skalierung der Redox-Flow-Systeme ist durchaus ausbaufähig. Bei Elektrodengrößen im Quadratmetermaßstab ist viel Engineering erforderlich. Das ist nicht so einfach zu bewerkstelligen, sondern bedeutet noch viel Arbeit an Einzelkomponenten, wie zum Beispiel Dichtungen oder an der Nachstellkraft flexibler Materialien, um den dauerhaften elektrischen Kontakt zwischen Filz und Bipolarplatte – und damit die Leistung – sicherzustellen.

Wie schätzen Sie die internationale Entwicklung ein?

Da fallen mir sofort Japan, China, Australien, USA und Großbritannien als Hauptakteure ein, die vor allem auch in großen Anlagen denken. Aus Deutschland kommt auch viel Aktivität, wengleich die Anlagen hierzulande eher kleiner dimensioniert zu sein scheinen.

Das Interview führte Mareike Lenzen, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

IM FOKUS: PUMPSPEICHERKRAFTWERKE

Zurück in die Zukunft? Alte Zechen als Stromspeicher nutzen

Mit dem Stopp der Steinkohleförderung geht im Ruhrgebiet eine prägende Ära zu Ende. Dass dies auch ein Anfang sein kann, wollen Wissenschaftler im Bergwerk Prosper-Haniel in Bottrop beweisen und erforschen daher, inwiefern sich die Zeche nach ihrer Schließung im Jahr 2018 zu einem Pumpspeicherkraftwerk umrüsten lässt und so einer neuen Zukunft entgegensieht. Prof. Dr.-Ing. Hermann-Josef Wagner von der Ruhr-Universität Bochum und Koordinator des Verbundprojekts UPSW2, gibt Einblick.

Herr Professor Wagner, wie funktioniert ein unterirdischer Pumpspeicher?

Vom Grundprinzip her ähnlich wie ein klassischer Pumpspeicher, nur unter Tage. Das Speichern der Energie erfolgt, indem Wasser durch den Einsatz von Strom aus einem Untertagestollen von einer Pumpe in einen oberirdischen Stausee gepumpt wird. Steigt die Stromnachfrage, wird das Wasser über den Schacht nach unten geleitet und treibt so die Turbine an, die auf diese Weise elektrische Energie erzeugt. Technisch basiert solch ein Speicher auf bereits etablierten, bewährten Komponenten, wie sie auch oberirdische Pumpspeicherkraftwerke erfolgreich nutzen. Er erbringt einerseits Wirkleistung und kann Leistungsspitzen im System abfangen. Andererseits, und diese Rolle wird öffentlich kaum wahrgenommen, kann der Speicher Blindleistung bereitstellen, die beispielsweise zum Betrieb von Motoren benötigt wird.

Wie würde das konkret im Fall von Prosper-Haniel aussehen?

Das Konzept sieht ein geschlossenes System mit einem Oberbecken in Form eines künstlich angelegten Sees und einem neu aufgefahrenen Speicherring bei einer Teufe von circa 500 Metern vor. Unsere Berechnungen haben ergeben, dass das wirtschaftlichste Modell hierfür der Bau eines neuen ringförmigen Stollens mit einer Länge von rund 12 Kilometern und einer Breite von 7 Metern bei einem Radius von 1.900 Metern ist. Das optimale Volumen sind 600.000 m³. Dabei sollen Francis-Pumpturbinen zum Einsatz kommen, da dieses System sowohl pumpen als auch Strom erzeugen kann und damit einen reversiblen Anlagenbetrieb ermöglicht.



Prof. Dr.-Ing. Hermann-Josef Wagner ist Leiter des Lehrstuhls Energiesysteme und Energiewirtschaft (LEE) an der Ruhr-Universität Bochum.

Ihr Projekt hat eine große potenzielle Strahlkraft über Bottrop hinaus. Wovon hängt ab, ob sich eine Zeche eignet?

Tatsächlich wäre Prosper-Haniel der weltweit erste Speicher dieser Art und hätte damit Vorbildcharakter für die aktive Nachnutzung von Bergwerken. Grundsätzlich kommen nur Zechen in Frage, die derzeit noch aktiv sind, da die Schachtzugänge nach der Schließung in der Regel verfüllt werden und die Schächte auch verfallen. Der Vorteil dieser Standorte ist, dass die geologischen Formationen im Untergrund sehr genau bekannt sind und man damit sehr gut vorausplanen kann. Zudem können durch die Tiefe des Steinkohleabbaus große Fallhöhen umgesetzt werden. Bei Prosper-Haniel kommt hinzu, dass eine ausreichend große Fläche für den Stausee über Tage vorhanden ist und das Bergwerk über einen schrägen Schacht verfügt, über den sich unkompliziert Material und Mitarbeiter unter Tage bringen lassen. Die meisten Zechen haben hingegen senkrechte Schächte. Darüber hinaus ist der Bergbau tief in der Region verankert und in der Regel hinterlässt der Steinkohlebergbau eine gut ausgebaute Infrastruktur, die auch einem Pumpspeicher zugutekommt. Zum Beispiel ist die Anbindung an das elektrische Übertragungsnetz über sehr kurze Distanzen möglich.

Was sind die größten Herausforderungen?

Die rechtlichen Rahmenbedingungen und die technische Machbarkeit sind geklärt. Aktuell liegt unsere Hauptaufgabe darin, Investoren für den Pumpspeicher zu gewinnen. Hier sind vor allem Energieversorger für uns interessant. Aber auch Wind- und Solarverbände, die autarke Versorgungssysteme aufbauen wollen, sind für uns interessante Gesprächspartner. Des Weiteren sind Speicher dieser Art derzeit noch nicht wirtschaftlich. Das heißt, auch daran müssen wir weiter arbeiten.

Worauf liegt der Fokus der nächsten Phase Ihrer Forschung?

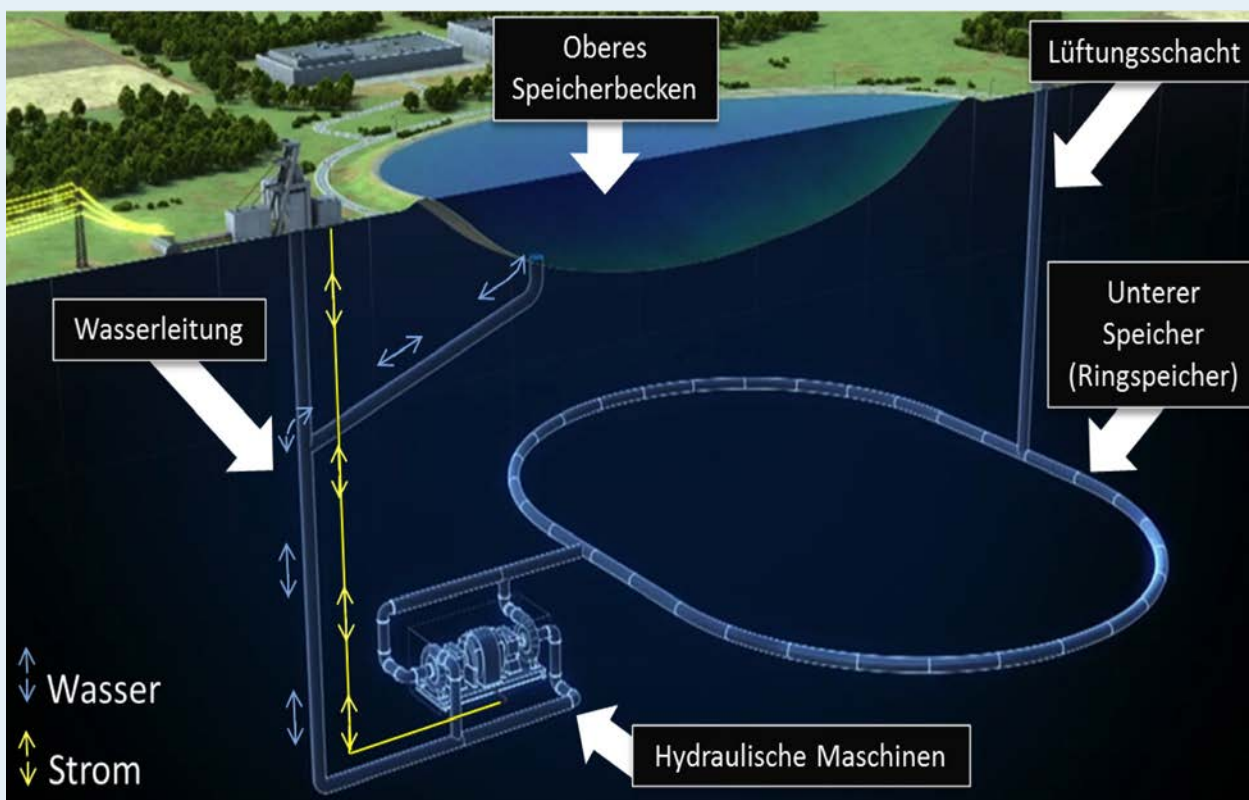
Während wir im ersten Teil unserer Forschung vor allem Finanzierungs- und technische Aspekte betrachtet haben, liegt unser Schwerpunkt nun auf der Konkretisierung des Konzepts. So beschäftigen wir uns beispielsweise mit den Kosten für eine Kilowattstunde Strom und mit Wirtschaftlichkeitsrechnungen. Aber auch die Sicherheit spielt eine Rolle.

Wie viel Strom könnte denn in der Bottroper Zeche künftig gespeichert werden?

In Prosper-Haniel könnte eine elektrische Kraftwerksleistung von circa 210 Megawatt installiert werden und so viel Wasser gespeichert werden, um für rund vier Stunden volle Leistung zu liefern. Die geplante Anlage hat einen Wirkungsgrad von circa 80 Prozent. Durch seine schnelle Anfahrtschwindigkeit kann der Pumpspeicher als schnelle Reserve agieren und bei plötzlich ansteigender Stromnachfrage kurzfristig reagieren oder auch im Falle eines Systemausfalls einspringen.

Das Interview führte Mareike Lenzen, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Die schematische Darstellung zeigt das Konzept für das Untertage-Pumpspeicherwerk.



HIGHLIGHT

Wolkige Aussichten – Integrativer Stromspeicher in der Cloud

Die Digitalisierung hat mittlerweile auch die Energiewende voll erfasst. Dass die Cloud nicht nur ein Phänomen der IT-Branche ist, sondern auch für die Energiewirtschaft großes Potenzial hat, hat nun das Verbundvorhaben green2store bewiesen. Denn die Projektpartner haben einen integrativen, virtuellen Stromspeicher („Energy Storage Cloud“) entwickelt. Die Energy Storage Cloud stellt für Energiehändler, Anlagenbetreiber und Verbraucher Speicherkapazitäten bereit – und folgt damit dem Prinzip des Cloud-Computing. Auf diese Weise können verschiedenste Akteure Energiespeicher nutzen, ohne sie selbst vorhalten zu müssen. Zudem ermöglicht das Bündeln eine höhere Auslastung der einzelnen Speicher.

Die neun beteiligten Verbundpartner aus Industrie und Forschung haben praxisnah die Möglichkeiten und Grenzen virtueller Speicher untersucht und erprobt. Die Forscher haben dafür reale, an verschiedenen Standorten befindliche Batteriespeicher unterschiedlicher Betreiber zu gemeinsamen virtuellen Kapazitäten gebündelt und anschließend zentral über eine IT-Cloud zusammengefasst. Dabei war eine der wesentlichen Frage, wie dezentrale Speichersysteme wirtschaftlich

In green2store haben die Forscher an verschiedenen Standorten befindliche Batteriespeicher zu gemeinsamen virtuellen Kapazitäten gebündelt und zentral über eine IT-Cloud zusammengefasst.



und zuverlässig betrieben werden können. Um das Potenzial zu untersuchen und geeignete Geschäftsmodelle abzuleiten, haben die Partner den Mehrfachnutzen der Speicher sowohl vom technischen und ökonomischen Standpunkt her als auch aus ökologischer und rechtlicher Sicht bewertet. So ist ein funktionsfähiger Lösungsansatz für intelligent vernetzte, dezentrale Batteriespeicher entstanden.

Für den überregionalen Feldtest mit 13 Speichern haben die Verbundpartner anschließend einen Ortsnetzspeicher und neun Hausspeicher in Altenoythe bei Oldenburg, einen Campusspeicher in Stuttgart und einen Quartierspeicher in einem Wohnkomplex in Flein bei Heilbronn in einer virtuellen Großspeicher-Cloud miteinander vernetzt und diesen zwölf Monate im Betrieb erprobt. Unter anderem haben dabei die Forscher die Kombination verschiedener Betriebsstrategien unterschiedlicher Akteure in Bezug auf Kommunikation und Steuerung getestet.

Die Energiespeicher-Cloud kann zur Integration erneuerbarer Energien in die Versorgungssysteme beitragen, indem sie der Belastung der Verteilnetze durch das schwankende Einspeisen regenerativ erzeugten Stroms entgegenwirkt und diese so aufnahmefähiger für erneuerbare Lieferanten elektrischer Leistung machen kann. Zudem hat das Projekt gezeigt, dass das Zusammenspiel verschiedener Speicher auch über große räumliche Distanzen gelingen kann.

Das Projekt verbindet die drei Welten Energie, Telekommunikation und Informationstechnologie. Der Verbund ist Teil des vom BMWi geförderten Leuchtturms „Batterien in Verteilnetzen“ der Forschungsinitiative Energiespeicher. Das Ministerium hat das von EWE geleitete Konsortium mit rund 4,6 Millionen Euro Fördermitteln unterstützt.

Im Februar 2017 hat das BMWi eine Förderbekanntmachung „Energie und Verkehr“ zur intelligenten Sektorkopplung veröffentlicht, die im Herbst/Winter 2016 vorbereitet wurde. Sie legt den Schwerpunkt auf Forschung und Entwicklung von Technologien und Konzepten, welche die enge Verzahnung von Energiewirtschaft bzw. -technologien und dem Verkehrssektor unterstützen. Dadurch werden Wege aufgezeigt, um den Beitrag des Verkehrssektors zur Energiewende und für den Klimaschutz zu erhöhen.

Im Jahr 2016 hat das BMWi im Bereich der Energiespeicher 263 laufende Vorhaben gefördert und 68 Forschungsprojekte neu bewilligt. Für die laufenden Projekte hat das Ministerium rund 31,2 Millionen Euro Fördermittel (2015: 34,1 Millionen Euro) aufgewendet. Die Neubewilligungen haben einen Gesamtfördermittelansatz von rund 38,6 Millionen Euro (2015: rund 42,8 Millionen Euro).

Auswahl geförderter Projekte

Wasserstoffspeicher auf dem Weg zur Marktreife

Die Elektrolyse von Wasser ist der Kernbestandteil für Stromspeicher basierend auf dem Power-to-Gas-Verfahren. Gerade die PEM-Elektrolyse (Proton Exchange Membrane, PEM) ist dafür besonders geeignet. Um die Technologie marktreif zu machen, muss das Herstellen von erneuerbarem Wasserstoff allerdings wirtschaftlicher und effizienter werden.

Das vom Forschungszentrum Jülich koordinierte und wissenschaftlich begleitete Projekt **NeStPEL** beschäftigt sich mit neuartigen, kostengünstigen Stromkollektoren, den Gasdiffusionsschichten (Gas Diffusion Layer, GDL) für die PEM-Elektrolyse. Die Kollektoren stellen einen zentralen Kostentreiber des Stacks und damit der Wasserstoff-Gestehungskosten dar. Die GDL besteht üblicherweise aus gesinterten, porösen Titanplatten. Diese müssen im Betrieb hohen technischen Anforderungen genügen. Dazu zählen große elektrische Lasten, kleine elektrische Widerstände, geringe Korrosionsraten, hohe mechanische Stabilität und gute Mediendurchlässigkeit. Die Forscher wollen nun neuartige Design- und Produktionskonzepte für die metallischen GDL-Strukturen im großtechnischen Maßstab erarbeiten. Die Kollektoren sollen so ohne Einbußen des Leistungsvermögens spürbar kosteneffizienter werden.

HIGHLIGHT

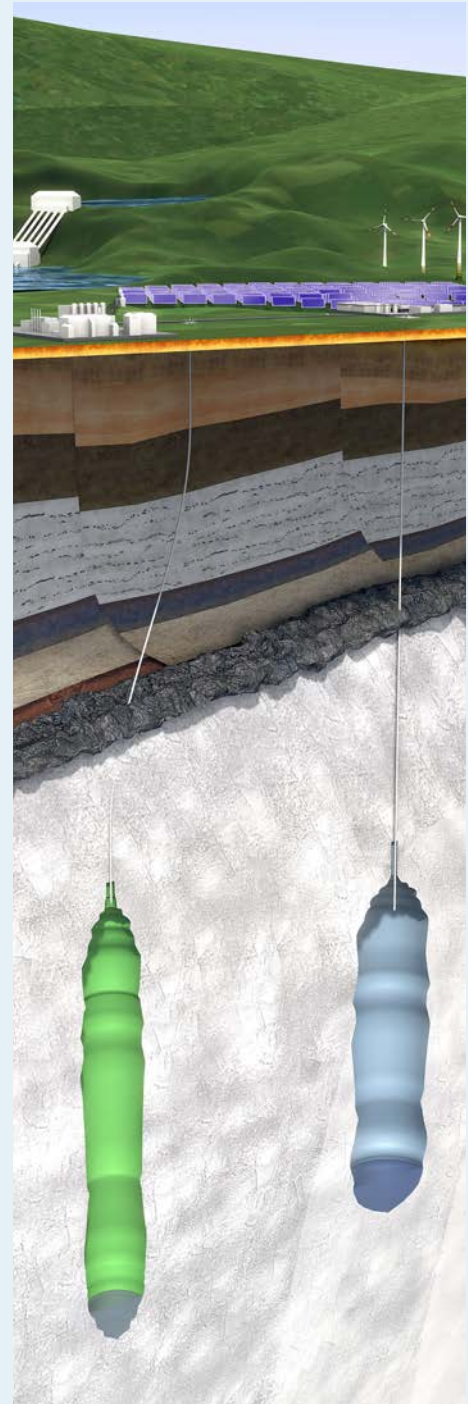
Druckluft und Wasserstoff in Salzkavernen speichern

Salz wurde früher auch „das weiße Gold“ genannt und liegt in unterschiedlichen Strukturen, Formen und Teufen vor. Alleine unter dem norddeutschen Festland und der deutschen Nord- und Ostsee befinden sich etwa 700 dieser Strukturen. Die Lagerstätten bestehen aus Steinsalz, ein Gestein, das vor Millionen Jahren aus konzentriertem Meerwasser entstanden ist. Die Salzstöcke könnten nun das Lager für eine andere wertvolle Ressource werden: erneuerbare Energie. Doch wie viel Potenzial hat ein solcher Speicher? Und wie ließe sich dieses unterfangen technisch und praktisch umsetzen?

Dieser Frage geht ein Forschungskonsortium der drei Partner KBB Underground Technologies, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und des Instituts für Geotechnik Hannover (IGtH) der Leibniz Universität Hannover nach. Innerhalb des Projekts **InSpEE** haben die Verbundpartner Zechstein-Salzstrukturen als mögliche Speicher für Druckluft und Wasserstoff untersucht. Bislang nutzen Betreiber von Kavernenspeichern größtenteils diese Strukturen aufgrund der relativ großen Homogenität und eines geringen Feststoffanteils des Gesteins. Deren Vorkommen beschränken sich allerdings auf den Norden Deutschlands. Dies war daher auch der regionale Schwerpunkt des Vorhabens. Das Konsortium hat dabei Planungsgrundlagen und Auswahlkriterien für das Errichten von Kavernenspeichern erarbeitet und ein Informationssystem realisiert. Das Projekt war Teil des Leuchtturms „Wind-Wasserstoff“ der Forschungsinitiative Energiespeicher der Bundesregierung und wurde mit rund 1,2 Millionen Euro durch das BMWi gefördert.

Die Anschlussforschung innerhalb von **InSpEE-DS** beschäftigt sich nun mit der Analyse des Speicherpotenzials sogenannter Mehrfach- und Doppelsalinare und flach lagernder Salzformationen in ganz Deutschland. Dabei hängt das Speichervolumen einzelner Kavernen eng mit ihrem inneren Aufbau zusammen. Folglich liegt der Fokus der Wissenschaftler darauf, eine geeignete Methode zu erarbeiten, um den inneren Aufbau noch nicht erkundeter Salzstrukturen prognostizieren zu können. „Eines unserer Kernziele ist es, am Ende des Projektes in der Lage zu sein, Aussagen über Salzstrukturen bundesweit hinsichtlich ihrer Eignung als Energiespeicher treffen zu können. Und das bereits in einem relativ frühen Stadium der Standorterkundung. Die Herausforderung ist dabei, dass derzeit nur wenige Kenntnisse über den Internbau der Salinar-Formationen vorliegen“, erklärt Sabine Donadei von KBB Underground Technologies und Koordinatorin des Verbunds. Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 1,8 Millionen Euro.

Die Forschung wird durch das Projekt **RiSa** der Leibniz Universität Hannover ergänzt, das das Risiko für das Entstehen und Ausbreiten thermisch induzierter und druckgetriebener Risse im Salzgestein bei unsachgemäßem Anlagenbetrieb untersucht. RiSa erhält rund 700.000 Euro Förderung des BMWi.



Schematische Darstellung einer Wasserstoffkaverne (grün) und einer Druckluftkaverne (blau) im Salzgestein

Teststand für ein Schwingmassenspeicher-Modell mit Hochtemperatursupraleitungslager



Die erfolgversprechendsten Ansätze sollen künftig in Zellstapeln von der Kilowatt- bis zur Megawatt-Klasse zum Einsatz kommen. Damit wollen die Wissenschaftler die Wettbewerbsfähigkeit von PEM-Elektrolysesystemen vorantreiben und einen Beitrag zum Aufbau einer deutschen Stack-Produktion leisten.

Das BMWi fördert NeStPEL, an dem neben dem Forschungszentrum Jülich auch Siemens und das Metallverarbeitungsunternehmen GKN Sinter Metals Engineering beteiligt sind, mit rund 950.000 Euro.

Mehr Schwung für die Energiewende

In den dezentral organisierten Stromnetzen der Zukunft steigt die Zahl der Energieerzeuger, die über Wechselrichter einspeisen, während direkt einspeisende Generatoren konventioneller Kraftwerke weniger werden. Damit fehlt dem Netz Schwungmasse, die bislang kurzfristige Leistungsspitzen glättet, schnelle Reserven bereitstellt und Frequenz- und Spannungsschwankungen ausgleicht. Eine interessante Lösung sind Schwungradspeicher. Sie sind wartungsarm und verfügen über kurze Reaktionszeiten, hohe Zyklusfestigkeit sowie geringe Kosten und sichern so eine unterbrechungsfreie Versorgung. Außerdem können Betreiber sie dezentral neben einem Windrad oder PV-Kraftwerk aufstellen, der Stromtransport über lange Distanzen entfällt.

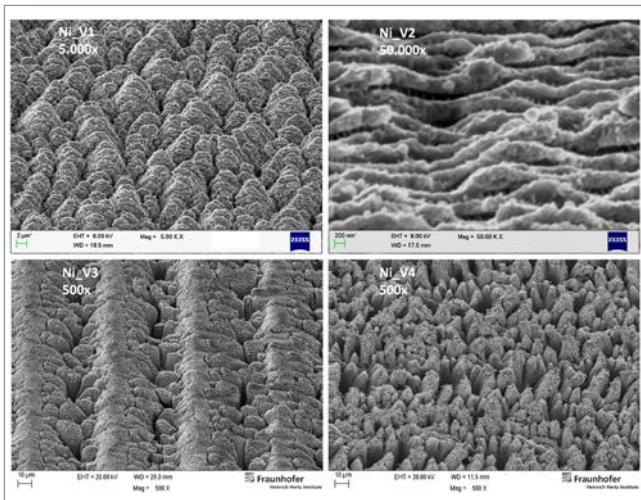
Die Wissenschaftler des Verbunds **ENERSPHERE** entwickeln derzeit einen Schwingmassenspeicher mit einer hohen Leistungs- und Energiedichte weiter, der Strom als Rotationsenergie zwischenspeichert. Die Schwungräder wollen die Forscher mit Hochtemperatursupraleitungslagern (HTS-Lager) ausstatten, um elektrische Verluste zu reduzieren und die Betriebssicherheit zu erhöhen. Im Projektverlauf wollen die Partner einen Demonstrator von 250 bis 500 Kilowatt testen, den sie mit Erneuerbare-Energien-Anlagen koppeln können. So erproben sie, wie der Speicher die Leistungsunterschiede zwischen Wettervorhersage und tatsächlich erzeugtem Strom kompensieren kann. Zusätzlich untersuchen die Wissenschaftler, wie die Technologie Oberschwingungen im Netz aktiv filtern oder Systemdienstleistungen erbringen kann, wie Sekundenreserve bei Leistungsfluktuationen oder Blindleistung zum Spannungserhalt.

Das Technologieunternehmen Babcock Noell koordiniert das Vorhaben, an dem die Technische Universität Braunschweig und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) mitbeteiligt sind. Das BMWi fördert den Verbund mit rund 1,8 Millionen Euro.

Wasserstoff preiswert, lastflexibel und nachhaltig erzeugen

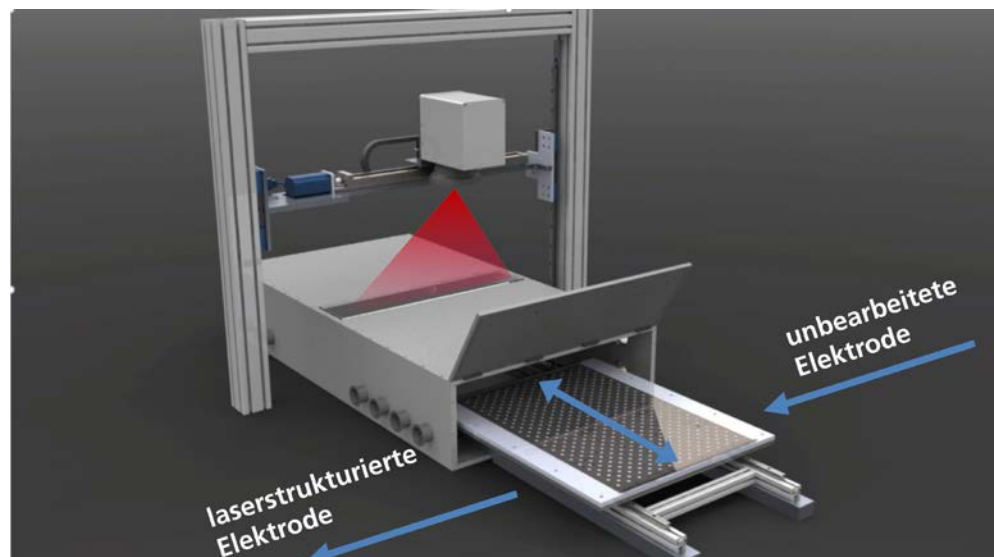
Durch die Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff lässt sich überschüssiger Strom klimafreundlich speichern. Auf dem Weg zur Marktreife muss das Power-to-Gas-Verfahren allerdings noch Hürden bei der Kostenstruktur, Lastflexibilität und Herstellung meistern.

Im Projekt **GreenH2** will das Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut (HHI) auf dem Gebiet weitere Fortschritte erzielen und arbeitet dazu mit fünf Industriepartnern zusammen. Das Konsortium entwickelt und erprobt neuartige Elektrodenmaterialien für



Die Aufnahme zeigt die Oberflächen von Nickelelektroden.

Die Grafik zeigt eine Prozesskammer zur Herstellung von erneuerbarem Wasserstoff.



die alkalische Elektrolyse von Wasser. Diese sollen bei deutlich höheren Stromdichten gegenüber herkömmlichen Materialien nicht nur günstiger sein, sondern auch eine bessere Effizienz mit über 80 Prozent aufweisen sowie mit 90.000 Stunden besonders langlebig sein und auch im Betrieb mit fluktuierendem Strom zuverlässig funktionieren.

Ihr Ziel wollen die Forscher durch eine innovative Strukturierung der elektrokatalytischen Metalloberflächen durch Femtosekunden-Laserpulse erreichen. Im Vergleich zu herkömmlichen Elektrodenmaterialien, wie Raney-Nickel, besitzen sie eine sehr hohe elektrochemisch aktive Oberfläche, die aufgrund der hohen Dichte an Defektstellen, wie Ecken oder Kanten, zu einer hohen katalytischen Aktivität für die Wasserstoff- und Sauerstoffentwicklung führt. Kommerzielle Raney-Nickel-Elektroden erreichen Wasserstoffentwicklungsüberspannungen von circa 200 mV bei Stromdichten von 300 mA cm⁻². Die Werte konnten mit ersten laserstrukturierten Elektroden auf Nickelbasis annähernd erreicht und bei parallel entwickelten Elektroden aus laserstrukturiertem Titan mit geringsten Mengen Edelmetallkatalysator sogar übertroffen werden. Des Weiteren zeigt die laserstrukturierte Variante schon jetzt konstante Austauschstromdichten über den gesamten relevanten Bereich. Das ist besonders für den effizienten Betrieb mit fluktuierendem Strom entscheidend. Zudem profitieren die laserstrukturierten Materialien von einer extrem hohen mechanischen Belastbarkeit und weisen so eine große Langzeitstabilität auf. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 4,1 Millionen Euro.

Modulare Elektrolysesysteme machen Power-to-Gas wirtschaftlich

Mit dem wachsenden Anteil erneuerbarer Energien steigt der Bedarf nach saisonalen Speicherkapazitäten – auch auf Basis stofflicher Speicher. Hierfür ist die Elektrolyse eine wichtige Schlüsseltechnologie. Noch hemmen allerdings hohe und leistungsbezogen stark variierende Investitionskosten die breite Einführung von Power-to-Gas (PtG) in den Markt. So sind beispielsweise kleine Elektrolyseure von circa 100 Kilowatt bezogen auf ihre Leistung deutlich teurer als große Elektrolyseure von 500 Kilowatt.

Um den Markteintritt von Elektrolyseuren zu beschleunigen, erforscht ein Wissenschaftlerteam des Verbunds **EcoPtG** die Möglichkeiten des Technologietransfers aus der Automobilindustrie, um ein modulares Low-Cost-Elektrolysesystem der 100-Kilowatt-Klasse zu entwickeln. Damit wollen sie die wirtschaftliche Herstellung von CO₂-neutralem Wasserstoff demonstrieren und das Speichern von erneuerbar erzeugtem Strom ermöglichen. Die Kosten-

reduktion soll durch ein simples Konzept, vereinfachte Fertigungsverfahren und günstige Materialien wie Kunststoff gelingen.

Das Projekt bildet eine Schnittstelle zwischen dem Einsatz von Power-to-Gas als stoffliche Speichertechnologie für den stationären Bereich und dem Mobilitätssektor, bei dem ein Umstieg auf erneuerbare Energieträger – wie Wasserstoff – einen klimafreundlichen Weg zur Dekarbonisierung des Verkehrs darstellt.

Projektkoordinator ist die IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr. Weitere Projektbeteiligte sind das Unternehmen Wasserelektrolyse Hydrotechnik (HT), das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und das Reiner Lemoine Institut (RLI). Das BMWi unterstützt das Forschungsprojekt mit rund 3,4 Millionen Euro Fördermitteln.

Durch den Einsatz modularer Elektrolysesysteme werden Power-to-Gas-Anwendungen wirtschaftlich.



Stromnetze und Netzintegration erneuerbarer Energien



Stromnetze sind die Verbindungsebene zwischen der Erzeugungs-, Speicher- und Verbrauchsinfrastruktur. Durch den Wechsel von wenigen zentralen hin zu vielen dezentralen Energieanlagen wachsen nun die Anforderungen an Übertragungs- und Verteilnetze in Deutschland. Dies erfordert eine konsequente Ausrichtung auf eine sichere, intelligente und flexible Betriebsführung und neuartige Komponenten. Auf diese Weise ist das Energiesystem auch in Zukunft in der Lage, eine exzellente Versorgung zu klimafreundlichen und bezahlbaren Bedingungen aufrechtzuerhalten.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Stromnetze ermöglichen den Austausch und die Verteilung von Energie. Ihre systemische Bedeutung als zentrales Koordinierungselement gewinnt mit dem weiteren Ausbau erneuerbarer Energien kontinuierlich an Gewicht, denn aus dem Anstieg dezentraler, fluktuierend einspeisender Anlagen folgt ein erhöhter Regelungsbedarf. Nur durch eine entsprechende Netzinfrastruktur und flexible Betriebsstrategien lassen sich Erzeugung und Verbrauch angleichen, aber auch Frequenz und Spannung konstant halten. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, ist der Um- und Ausbau der Übertragungsnetze für die Höchstspannung und der Verteilnetze für die Hoch-, Mittel- und Niederspannung eine notwendige Voraussetzung. Gleichzeitig sollen smartere Netze die Integration immer größerer Anteile erneuerbarer Energien ermöglichen und durch

eine intelligente und effizientere Feinabstimmung und das Vernetzen von Stromproduzenten und -konsumenten den Netzausbaubedarf begrenzen. Mit dieser Aufgabe ist Deutschland nicht allein. Weltweit sind 2015 laut Thomson Reuters rund 197 Milliarden US-Dollar in intelligente Stromnetze investiert worden.

Einen großen Einflussfaktor auf die Stromnetzinfrastruktur stellt die Digitalisierung dar (siehe auch „Im Fokus: Digitalisierung der Stromversorgung“, Seite 84). Sie ermöglicht einerseits einen flexibleren und dynamischen Netzbetrieb und damit die weitere Integration fluktuierender Erzeugungskapazitäten. Andererseits schafft sie neue Fragestellungen zur Versorgungssicherheit, Datensicherheit und -speicherung und zur Kompatibilität der eingesetzten Informations- und Kommunikationstechnologien. Das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende und das Gesetz

zur Weiterentwicklung des Stromnetzes – beide hat der Deutsche Bundestag im Juni 2016 verabschiedet – haben dabei den legislativen Grundstein für die Umsetzung eines intelligenten Versorgungssystems in der Praxis gelegt. Doch unabhängig von den rechtlichen Rahmenbedingungen gilt es, technische und konzeptionelle Hürden zu überwinden. So widmet sich das Forschungsprojekt **eSafeNet** beispielsweise der Frage, wie Energie und Daten flexibel transportiert werden können (siehe auch „Das intelligente Energienetz von morgen“, Seite 89).

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Der Forschungsbedarf für die Anpassung der Stromnetzinfrastruktur an die Anforderungen der Energiewende umfasst unter anderem die Entwicklung von Informations- und Kommunikationslösungen für einen intelligenten und flexiblen Betrieb. Hier stehen neben der Definition und Standardisierung von Schnittstellen für den Datenaustausch oder Prognoseverfahren auch das bidirektionale Energiemanagement und der Stromhandel im Fokus. Um ein flächendeckendes Smart Grid umzusetzen, müssen neue Steuer- und Regelstrategien und Netzmanagementsysteme entwickelt werden. Auch bei der Netzplanung und der Systemsimulation sind weitere Arbeiten notwendig. Einen Ansatz für eine stärkere Flexibilisierung durch die Digitalisierung betrachtet das Projektteam **FLAixEnergy** (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 88). Der Verbund erarbeitet eine Energieflexibilitätsplattform, um den regionalen Stromverbrauch industrieller Anwender zu synchronisieren und zu vermarkten.

Die Erträge von Wind- und Solarkraftwerken sind abhängig von den Wetterverhältnissen. Somit hat die Meteorologie einen großen Einfluss auf den Betrieb von Stromnetzen. IT-gestützten Prognoseverfahren kommt damit eine entscheidende Bedeutung zu, um die Netzsicherheit zu erhalten. Ein Beispiel hierzu ist der Verbund **EWELiNE** (siehe auch Bericht „Innovation durch Forschung“ für das Jahr 2015, Seite 84). Das Vorhaben hat sich mit innovativen Wettermodellrechnungen beschäftigt und wurde im November 2016 erfolgreich abgeschlossen.

Da Erneuerbare-Energien-Anlagen künftig Systemdienstleistungen bereitstellen müssen, um so zu einer sicheren und stabilen Stromversorgung beizutragen, sind auch hier neue Konzepte und technische Lösungen gefordert. Dazu zählt beispielsweise, dass Wind- oder Solarkraftwerke

den Frequenz- und Spannungserhalt im Netz unterstützen oder Blindleistung bereitstellen. Auf diese Weise übernehmen sie sukzessive Aufgaben, die bisher konventionelle Kraftwerke erbringen. Das BMWi fördert in diesem Zusammenhang Forschungsprojekte, wie **PV-Wind-Symbiose** (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 87) und **WindKraft** (siehe auch „Neue Regelungskonzepte für Windenergieanlagen“, Seite 93).

Ein Energiesystem mit vielen umrichterbasierten Erzeugungsanlagen stellt andere Ansprüche an die eingesetzten Planungs- und Betriebsmittel als die bisherigen Kraftwerksparks. Deshalb fördert das BMWi die Forschung und Entwicklung neuer Lösungsansätze hierzu. Eines der unterstützten Projekte ist **Verteilnetz 2020** (siehe auch „Optimales Zusammenspiel innovativer Komponenten in Verteilnetzen“, Seite 92). Der Verbund beschäftigt sich mit Komponenten, die den Spannungserhalt und die Netzqualität auch bei einem hohen Anteil erneuerbarer Energie garantieren.

Der Wandel der Stromnetzinfrastruktur erfordert nicht nur Innovationen bei den technischen Komponenten, auch die in diesem Marktumfeld tätigen Unternehmen und Netzbetreiber müssen ihre Geschäftsmodelle auf die neuen Gegebenheiten anpassen. Hier gibt es noch einiges an Entwicklungsbedarf, zum Beispiel, wie neue IT-Dienstleistungen in dieser Umgebung künftig kommerziell vermarktbar sind.

Strategie der Forschungsförderung

Für das Stromnetz der Zukunft sind neuartige leistungselektronische Komponenten notwendig. Um dem Innovationsprozess stärker zur Seite zu stehen, hat das BMWi 2015 einen entsprechenden Förderaufruf veröffentlicht. Aus einem intensiven Auswahlprozess sind 16 Vorschläge, wie **DC-Industrie** (siehe auch „Effiziente Versorgung industrieller Fertigungsanlagen mit Gleichstrom“, Seite 90), zur Förderung ausgewählt worden. Diese sind größtenteils 2016 gestartet.

Im September 2016 hat in Berlin ein Statusseminar der Forschungsinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ der Bundesregierung stattgefunden. Auf der ersten Konferenz der gemeinsamen Fördermaßnahme des BMWi mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) haben rund 310 Teilnehmer über Fortschritte und erste Forschungsergebnisse diskutiert. Das BMWi fördert innerhalb der Initiative 248 der insgesamt 312 Projekte. Und auch auf der Ebene des vom BMWi initiierten *Fortsetzung Seite 86*

Big Data im Stromnetz

Big Data wird stetig relevanter für das Energiesystem von morgen. Während daraus einerseits neue Chancen entstehen, erzeugen die Datenmengen andererseits aber auch neue Herausforderungen. Professor Dr. Sebastian Lehnhoff des Oldenburger Informatik-Instituts OFFIS forscht auf dem Gebiet und erläutert im Interview seine Sicht.

Herr Professor Lehnhoff, was versteht man unter Big Data?

Unter Big Data versteht man Massendaten, die im Kontext der Digitalisierung in verschiedenen Anwendungsdomänen anfallen. Mit dem Begriff unmittelbar verbunden sind die Aufgaben der Analyse, Nutzung, Sammlung und Vermarktung dieser Daten. Das „Big“ bezieht sich sowohl auf das Volumen als auch auf die Geschwindigkeit, mit der Daten anfallen und verarbeitet werden müssen, sowie auf die Bandbreite von Datentypen und -quellen. Des Weiteren versteht man hierunter insbesondere das Nutzen neuartiger Verfahren der Computational Intelligence zum automatischen Lernen relevanter Zusammenhänge aus Daten und die Anwendung dieser Korrelationen in Echtzeit zur Optimierung unternehmerischer Prozesse, zum Beispiel der Betriebsführung von Stromnetzen.

Was bedeutet Big Data für die Stromnetze der Zukunft?

Größere Verteilnetzbetreiber sammeln heute bereits etwa zwei Terabyte Daten pro Jahr in ihrer Langzeitar Archivierung, woraus ein kontinuierlich wachsender Archivierungsbedarf entsteht. Dieser dürfte durch die zu erwartende Erweiterung auf Messwerte aus der Mittel- und Niederspannungsebene um weitere ein bis zwei Größenordnungen ansteigen. Damit wird die Datenhandhabung zu einem Big-Data-Problem. Neben dem steigenden Volumen wächst die Notwendigkeit, schnell auf diese Daten für Verarbeitungsschritte im operativen Netzbetrieb zuzugreifen. So besteht aktuell bereits der Bedarf nach schnellen Prognosen mit Daten aus der Langzeitar Archivierung, um zum Beispiel effizient auf Einspeiseschwankungen reagieren zu können. Mit der Verfügbarkeit zusätzlicher Daten in Langzeitar chiven werden sich mittels Big-Data-Analyseverfahren neue Instrumente für die Unterstützung der Netzplanung und prädiktive Betriebsmittelwartung herauskristallisieren.

Welche Hindernisse gilt es zu überwinden, um Big Data erfolgreich zu nutzen?

Heutige Leitsysteme sind monolithisch gewachsen und stark kundenindividualisiert. Die Integration externer Datenquellen, um Plausibilitätsprüfungen durchzuführen und Kombinations- oder Vermarktungsprognosen zu bilden, sind daher nur mit erheblichem Aufwand zu realisieren oder technisch nicht machbar. Es müssen neue Architekturkonzepte für die Integration der Big-Data-Technologien und Netzleitsysteme erforscht und entwickelt werden. Ein vielversprechender Ansatz ist die Definition einer offenen und standardisierten Schnittstellen-/Referenzarchitektur für Netzleitsysteme unter Berücksichtigung von Big-Data-Technologien, um dem Entwicklungsdruck der erforderlichen – größtenteils neuen – Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen nachzukommen. Dies ermöglicht den Einsatz etablierter Big-Data-Lösungen zur Echtzeitanalyse von Datenströmen, zur Langzeitar chivierung und -auswertung, zur Integration heterogener Daten sowie zur Datenvisualisierung. Sie kommen in anderen Domänen bereits erfolgreich zum Einsatz, weisen einen hohen Reifegrad auf und können anstelle von geschlossenen Neuentwicklungen mit geringen Kosten adaptiert werden. Diesem Ziel widmet sich unter anderem **openKONSEQUENZ**, ein Industriekonsortium für Open-Source-Software für den Netzbetrieb. Daneben fehlt es – wie in anderen Branchen auch – oftmals an Experten, die aus all diesen Daten möglichst viele neue Erkenntnisse gewinnen. Allerdings kann die Technologie mittel- und langfristig auch dabei helfen, solche personellen Engpässe zu beseitigen durch einfach zu bedienende, stärker automatisierte Werkzeuge.

Wie stellt man sicher, dass die unterschiedlichsten Daten aus heterogenen Quellen miteinander kompatibel und qualitativ verwertbar sind?

Um die mit der Datenheterogenität verbundenen Probleme zu überwinden, bietet sich der Einsatz einer Branchen-Ontologie an, die die Semantik der Daten unabhängig von Software-Systemen vorgibt und damit die Daten aus unterschiedlichen Quellen kompatibel zueinander macht. Im Energiesektor wird zur Standardisierung seit Jahren das Common Information Model (CIM) als eine Branchen-Ontologie für Stamm- und Bewegungsdaten von internationalen Standardisierungsgremien und Übertragungsnetzbetreibern entwickelt. Diese findet nun durch openKONSEQUENZ und die Initiative Bundesdisplay für Smart Metering („Green Button“) auch in der Mittel- und Niederspannung



Prof. Dr. Sebastian Lehnhoff
forscht am Oldenburger
Informatik-Institut OFFIS.

Eingang, so dass hier langfristig eine geringere Daten-Heterogenität in Smart Grids zu erwarten ist. Was die Datenqualität betrifft, so müssen hier zum einen die automatisierten Qualitätsmanagement-Verfahren, die wiederum Big-Data-basiert sein können, weiter verbessert werden, um den steigenden Volumina gerecht zu werden. Darüber hinaus müssen die Netzbetreiber sensibilisiert werden, damit diese organisatorisch für ein tägliches Datenqualitätsmanagement Sorge tragen.

Kritische Infrastrukturen, wie Stromnetze, müssen besonders vor Manipulationen und Cyberangriffen geschützt sein. Wie kann man dies gewährleisten?

IKT-Systeme werden in Zukunft immer enger zusammenwachsen – Stichwort „IT/OT-Konvergenz“. OT steht für Operational Technology. So werden etwa Netzleitsysteme Informationen über virtuelle Kraftwerke, Wetterprognosen, Preisinformationen oder lokalen Verbrauch und Erzeugung aus intelligenten Messsystemen benötigen, um die Systemsicherheit effizient zu erhöhen. Der sogenannte „Air Gap“ als Sicherheitsmaßnahme – die physikalische Trennung zwischen OT- und IT-Systemen – hat ausgedient. Es müssen nun bewährte Security-Mechanismen auf IT- und OT-Komponenten des Stromsystems als Ganzes adaptiert werden, weil durch die fortschreitende Digitalisierung neue Angriffsszenarien entstehen. Ein erster Schritt in diese Richtung ist die Etablierung einer nach den Vorgaben des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) konformen Public-Key-Infrastruktur zur Kommunikation mit Energiekomponenten in der Niederspannungsebene innerhalb des Gesetzes zur Digitalisierung.

Besondere Herausforderungen sind Interaktionen zwischen den Komponenten eines Smart Grids, die wegen der gestiegenen Systemkomplexität aufgrund einer wachsenden Anzahl von dezentralen Erzeugungseinheiten und Marktakteuren oft ein nicht-deterministisches Verhalten aufweisen. Einen hundertprozentigen Schutz vor Cyber-Angriffen oder -Manipulationen wird es aufgrund der inhärenten Systemkomplexität

dezentraler Energieversorgung nicht geben! Daher werden die Behandlung von Störfällen („Incident Management“), das Beheben möglicher Schäden zur Laufzeit („Disaster Recovery“) und letztlich der Aufbau von angriffstoleranteren Systemen („Intrusion Tolerance“) wichtige Bausteine sein.

Datenarchivierung spielt im Stromnetz der Zukunft eine zentrale Rolle. Welche Ansätze gibt es, um sicherzustellen, dass Daten unterschiedlichster Herkunft sicher gespeichert werden und dennoch kurzfristig für umfangreiche Analysen und Berechnungen zur Verfügung stehen?

Sowohl im Bereich der Datenarchivierung, aber vor allem in der Geschwindigkeit der Handhabarmachung sogenannter polystrukturierter Daten hat sich in den letzten Jahren einiges getan. Moderne Lösungen zur Speicherung und performanten Weiterverarbeitung von Big Data setzen auf das Zerlegen von Berechnungsaufgaben in möglichst kleine Teile, die dann zur parallelen Verarbeitung auf möglichst viele Rechner verteilt und anschließend als Ergebnis wieder zusammengeführt werden. Mit Hilfe solcher Verfahren können Zusammenhänge und Regeln auf historischen Daten trainiert werden, die für Echtzeitanalysen in Datenstrommanagement-Systemen zur Anwendung gebracht werden, um zum Beispiel teilautomatisiert kritische Netzzustände vorherzusagen. Ergänzend hierzu wird beim sogenannten In-Memory-Computing der Arbeitsspeicher eines Computers als Datenspeicher genutzt, was – im Gegensatz zu Daten, die auf einer Festplatte liegen – sehr viel höhere Zugriffsgeschwindigkeiten und damit interaktive Analysen auf großen Ausschnitten der historischen Daten eines Netzbetreibers ermöglicht. Hinzu kommen Lösungen, die auf analytische Datenbanken setzen, die Daten für häufige Auswertungen vorverdichten oder vorfiltern und so einen vor allem schnellen Zugriff ermöglichen. Durch eine Kombination dieser Technologien können riesige Datenmengen kurzfristig, oftmals sogar in Echtzeit, verarbeitet werden. Innerhalb des kürzlich gestarteten Forschungsprojekts **NetzDatenStrom** im 6. Energieforschungsprogramm wird insbesondere erforscht werden, wie diese Technologien am besten kombiniert werden können, um den Netzbetrieb von Smart Grids optimal durch Big Data zu unterstützen.

Das Interview führte Mareike Lenzen, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Forschungsnetzwerks Stromnetze ist die Vernetzung vorangeschritten. So sind 2016 zahlreiche neue Mitglieder beigetreten, so dass der Zusammenschluss nun rund 160 Personen aus Wissenschaft, Industrie und Vertreter aus Politik und Verwaltung unter sich vereint. Für das Jahr 2017 sind das nächste Treffen und einige Workshops geplant, um die Entwicklung dieses Innovationsfelds zu diskutieren.

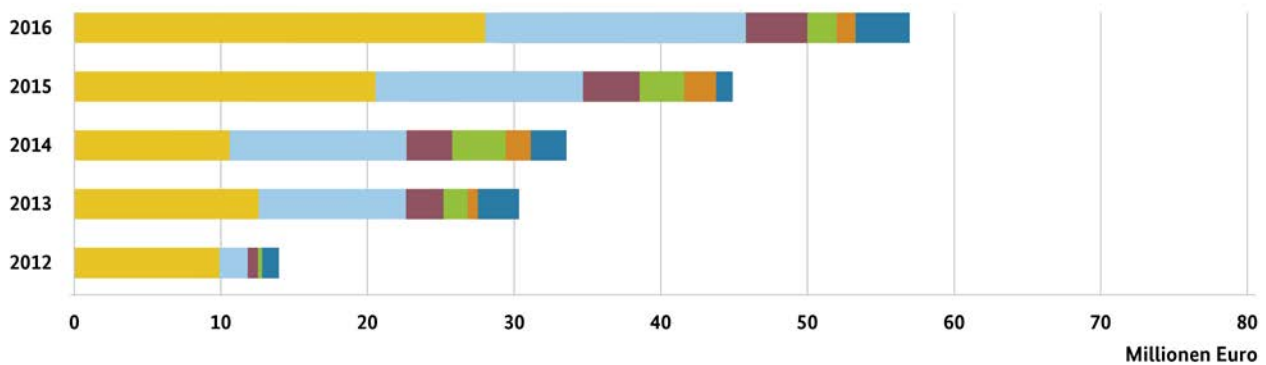
Die internationale Zusammenarbeit in der Energieforschung gewinnt an Bedeutung. Dies gilt auch für den Bereich der Stromnetze und wird unter anderem durch das ERA-Net Smart Grids Plus vorangetrieben (siehe auch „Im Fokus: ERA-Net Cofund“, Seite 136). Dort fördern 21 europäische Länder und Regionen gemeinsam Forschung und Entwick-

lung für den Aufbau einer intelligenten Stromversorgungsinfrastruktur. Eines der Projekte innerhalb dieser Fördermaßnahme mit deutscher Beteiligung ist **uGRIP** (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 91).

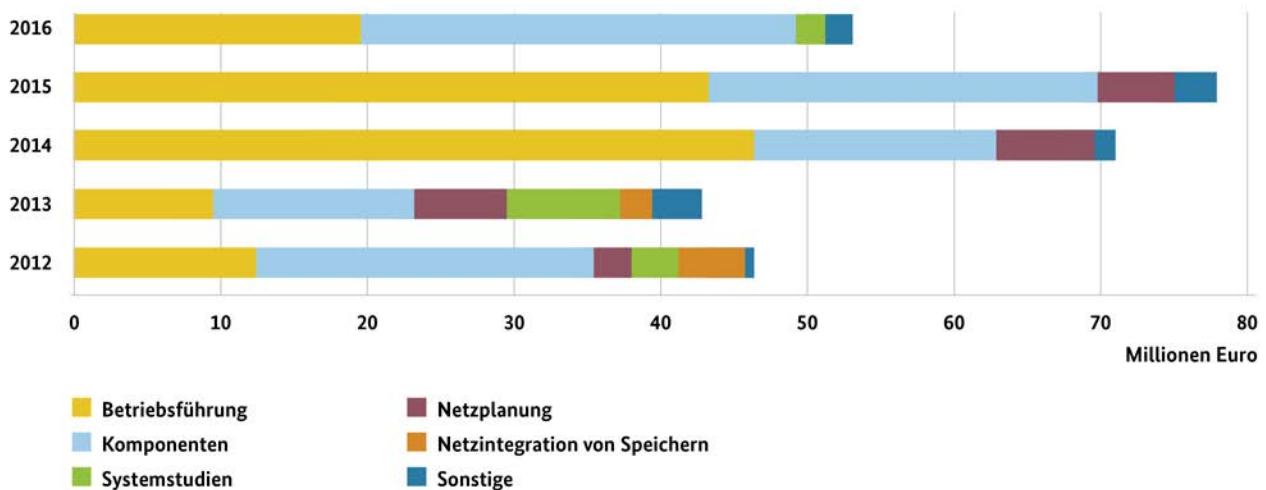
Die Projektförderung durch das BMWi für den Bereich Stromnetze hat 2016 für insgesamt 119 neu bewilligte Projekte rund 53,2 Millionen Euro (2015: rund 77,9 Millionen Euro) umfasst. Für die 527 laufenden Vorhaben wurden 2016 rund 56,9 Millionen Euro (2015: rund 44,9 Millionen Euro) aufgewendet.

Zukünftig besteht weiterer Förderbedarf unter anderem bei der Entwicklung geeigneter Fortsetzung Seite 89

Stromnetze: Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016



Stromnetze: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012



HIGHLIGHT

Die perfekte Symbiose: PV- und Windkraftwerke für Wirk- und Blindleistung

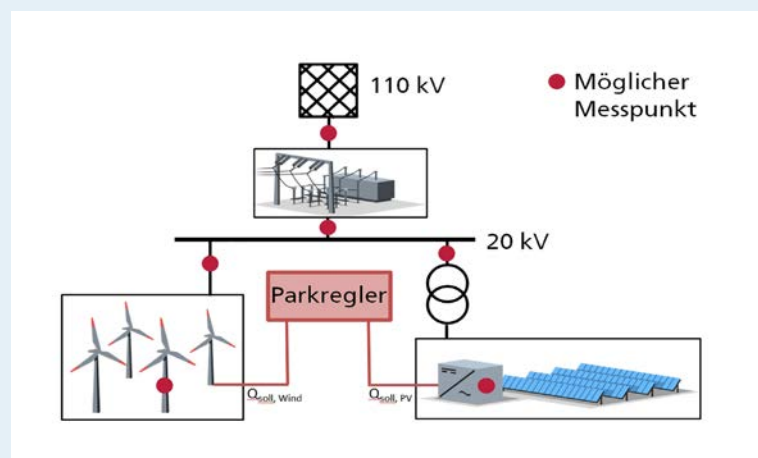
Derzeit speisen Erneuerbare-Energien-Kraftwerke primär Wirkleistung in das Netz ein. Zusätzlich sollen sie nun vermehrt Blindleistung bereitstellen, um die Netzspannung stabil zu halten und den Energietransport zu unterstützen. Insbesondere können direkt an die Hochspannungsebene angeschlossene Photovoltaik- und Windkraftwerke einen wichtigen Beitrag zur Netzregelung leisten. Auf diese Weise können dezentrale Stromerzeugungsanlagen künftig sukzessive konventionelle Kraftwerke ersetzen, die diese Aufgabe bislang übernehmen.

Im Projekt **PV-Wind-Symbiose** wollen Wissenschaftler hierfür die ergänzenden Eigenschaften von Flächenkraftwerken, wie kombinierten PV- und Windenergieanlagen, ausnutzen. In dem Vorhaben des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE mit dem Institut elenia der Technischen Universität Braunschweig untersuchen die Forscher daher repräsentative Regelstrategien, Park- und Netzkonstellationen und Netzzustände. Im Fokus stehen insbesondere die technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeitsaspekte. Das Konsortium erhofft sich Erkenntnisse über den Wirkungsgrad, die Betriebs- und Nachrüstungskosten sowie Rückschlüsse auf die Spannungsqualität. Dabei gehen die Partner auch der Frage nach, inwiefern sich die Wirk- und Blindleistungskapazitäten von PV- und Windkraftwerken auf lokaler Ebene ergänzen und ob sich daraus Schlussfolgerungen über das regionale Vermarktungspotenzial

ergeben. „Photovoltaikkraftwerke und Windkraftanlagen ergänzen sich häufig sehr gut, was die Zeitpunkte ihrer maximalen Netzeinspeisung betrifft“, erklärt Robin Grab, Projektverantwortlicher für das Fraunhofer ISE. „Diese komplementäre Eigenschaft wollen wir uns zunutze machen, um auch die Bereitstellung von Blindleistung aus Erneuerbaren zu optimieren. Dabei arbeiten wir eng mit einem Netzbetreiber sowie mit Industriepartnern aus dem Wind- und Photovoltaikbereich zusammen.“

Konkret vermisst das Verbundteam zunächst eine Pilotanlage in ihrem aktuellen Zustand und sammelt Daten zum umgebenden Netzbereich ein. Diese Felddaten untersuchen die Partner durch Simulationen und Analysen auf Optimierungspotenziale und entwickeln daraus Regelstrategien. Die Hard- und Software der Pilotanlage passt das Konsortium anschließend an die neuen Strategien an und überprüft diese in einer zweiten Messkampagne. Dabei untersuchen die Wissenschaftler mögliche Rückwirkungen auf die Spannungsqualität und Systemstabilität.

Das Projekt soll dazu beitragen, das vergütete Bereitstellen von Blindleistung als Systemdienstleistung besser bewerten zu können und gegebenenfalls neue Anreize für Investoren und Kunden von Anlagenherstellern zu schaffen. Das BMWi fördert dies mit rund 730.000 Euro. Das Vorhaben ist Teil der Forschungsinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“.



Vermessung eines Flächenkraftwerks

Gemeinsamer Betrieb von PV- und Windkraftwerk

HIGHLIGHT

Strommarkt 2.0 – Flexibilitätscluster für die industrielle Stromnachfrage

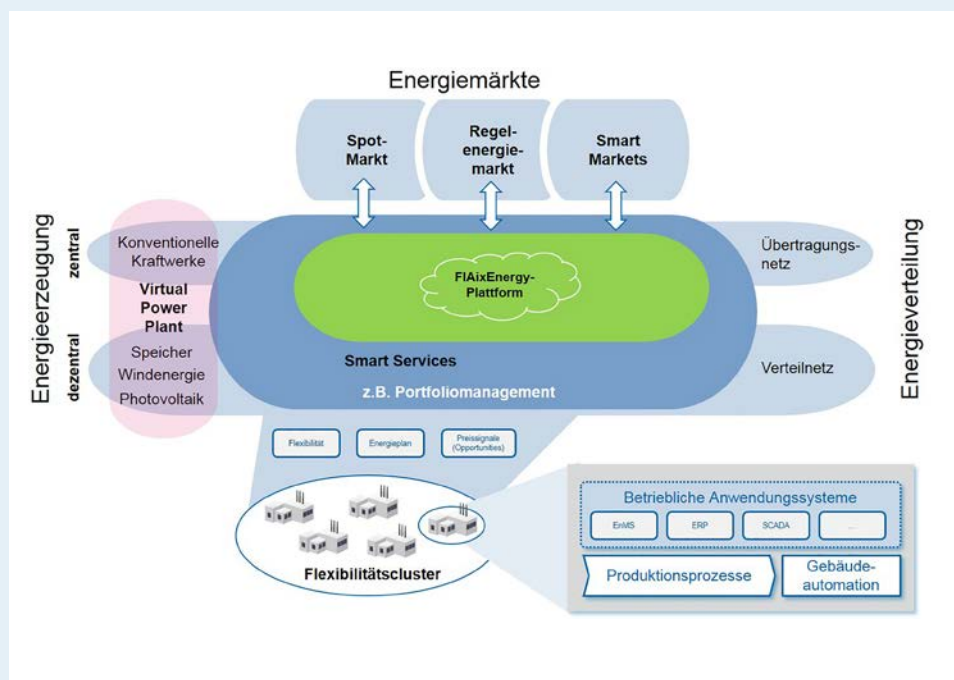
Mit jedem Solarkraftwerk und jedem Windrad steigt der Anteil kleiner, dezentraler Stromerzeuger und damit auch der Akteure im Netz, die auf die Stabilität des Systems Einfluss nehmen. Die Anlagenbesitzer sind oftmals Verbraucher und Betreiber in einem, somit fließt der Strom nicht mehr nur in eine Richtung. Dies sorgt für Schwankungen bei der Netzspannung und später auch bei den Energiepreisen an der Strombörse, seit mit der Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes im Jahr 2014 die Möglichkeit zur Direktvermarktung besteht.

Im Projekt **FLAixEnergy** entsteht derzeit eine innovative Plattform, die regionale industrielle Stromverbraucher und virtuelle Kraftwerke in der Modellregion Aachen zu Flexibilitätsclustern bündelt. Durch ein mehrstufiges Modell will das Verbundkonsortium den Grundstein für ein Smart Grid legen, innerhalb dessen ein Ausgleich zwischen Energieangebot und -nachfrage erzielt wird. Für das Management der Flexibilitäten innerhalb der Plattform gilt dabei: je lokaler, desto besser. So ist ein Ausgleich auf lokaler Verteilnetzebene dem auf überregionaler Übertragungsnetzebene stets vorzuziehen.

Zunächst fassen die virtuellen Kraftwerke mehrere dezentrale Erneuerbare-Energien-Anlagen zusammen und vermarkten die Flexibilität der einzelnen Erzeuger gemeinsam. Die Wissenschaftler erarbeiten dafür ein Verfahren, um die verschiedenen Einheiten automatisch zu bündeln. Dieses Vorgehen garantiert zudem eine hohe Leistungsstabilität.

Herzstück der Plattform soll ein Mechanismus sein, der die Flexibilität der industriellen Verbraucher bewertet und ihnen auf dieser Basis die Partizipation am Energiemarkt (Regelenergiemarkt, Spotmarkt) ermöglicht. Die Analyse bezieht auch das individuelle Speicherpotenzial der Unternehmen mit ein. Da Elektrofahrzeuge künftig für die Integration von Stromspeichern in das Energiesystem eine wichtige Rolle spielen, sind auch die Ladestrategie und -steuerung von E-Autos Bestandteil des Projekts. Mit Hilfe einer cloudbasierten Kommunikationsinfrastruktur sollen die verschiedenen Akteure schließlich miteinander im Strommarkt interagieren können. Zudem soll die Energiemanagementplattform für eine energieflexible Produktionsplanung und -steuerung mit Hilfe geeigneter Schnittstellen Portfolioeffekte nutzen. Im weiteren Projektverlauf wollen die Wissenschaftler die FLAixEnergy-Plattform als Prototyp in der Modellregion Aachen implementieren und testen. Insgesamt wollen die Forscher dazu beitragen, die hohe Versorgungssicherheit vor Ort zu erhalten und gleichzeitig klimafreundlicher zu gestalten.

Den Verbund koordiniert das Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR) an der RWTH Aachen. Insgesamt sind neun Partner aus Wissenschaft und Industrie daran beteiligt. Das BMWi fördert das Vorhaben mit 3,1 Millionen Euro.



Die Grafik zeigt die Flexibilitätsplattform im Energiesystem der Zukunft.

Informations- und Kommunikationstechnik für einen sicheren, intelligenten und flexiblen Netzbetrieb. Hier sind weiterhin Lösungen zur Definition und Standardisierung von Schnittstellen, Prognoseverfahren und Anwendungen für ein bidirektionales Energiemanagement und den Energiehandel gefragt. Außerdem sind neue Steuer- und Regelstrategien sowie innovative Netzmanagementsysteme ebenso notwendig wie geeignete Geschäftsmodelle, um Smart Grids zu realisieren. Nach wie vor ist auch im Bereich der Systemdienstleistungen von Erneuerbare-Energien-Anlagen Forschung und Entwicklung notwendig, damit Wind- oder Solaranlagen künftig hier ihren Beitrag zu Stabilität und Versorgungssicherheit leisten können. Zudem erfordert die Energiewende eine veränderte Netzplanung und Simulationswerkzeuge, um das Systemverhalten in Bezug auf die Stromnetzinfrastruktur präzise einschätzen und steuern zu können.

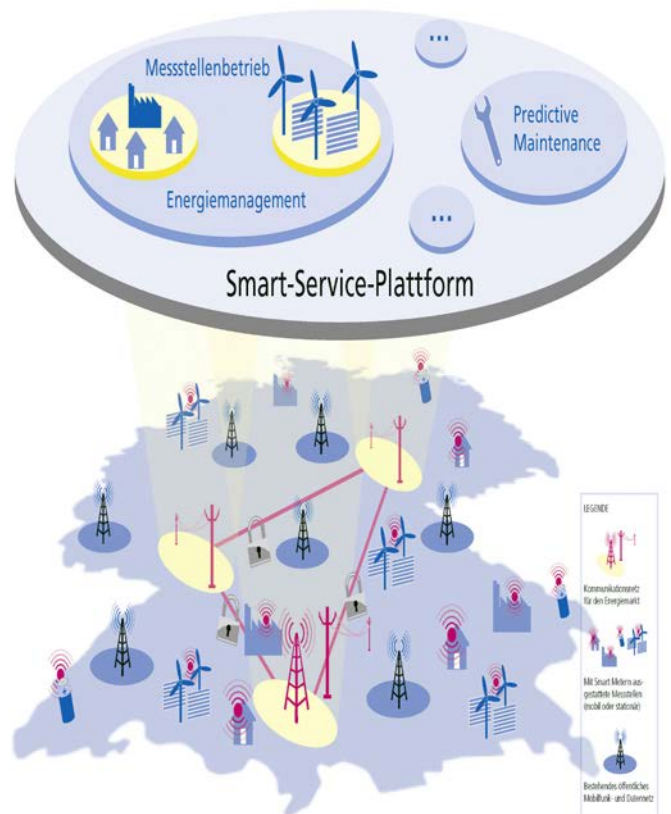
Auswahl geförderter Projekte

Das intelligente Energienetz von morgen

Die nächste Digitalisierungsstufe ist das Internet der Energie (IdE) und umfasst das intelligente Vernetzen aller Komponenten des Energiesystems über geeignete Schnittstellen. Das erfordert den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Damit rücken im Smart Grid neben klassischen Aufgaben auch die Systemsicherheit und das Datenmanagement in den Fokus.

Im Projekt **eSafeNet** entsteht ein effizientes und sicheres Kommunikationsnetz für das Internet der Energie. Es soll alle Akteure der Energiewirtschaft integrieren und durch zuverlässige IKT-Übertragungstechnik intelligent miteinander verbinden. Über diese Struktur sollen die Systemelemente selbstständig Prozesse aufeinander abstimmen und optimieren sowie große Datenmengen, zum Beispiel über Smart Meter, austauschen. Dazu koppeln die Projektpartner Informations- und Kommunikationstechnologien mit dem Energienetz.

Zunächst liegt der Schwerpunkt auf der szenenbasierten Auswahl geeigneter technischer und struktureller Ansätze. Für den Aufbau der Infrastruktur setzen die Partner auf Mobilfunk als Primärtechnologie, unterstützt durch kabelgebundene Übertragungstechnologien. In Feldversuchen wollen sie das Kommunikationsnetz exemplarisch testen. Dabei muss das System den Anforderungen an die Stabilität,



Im Projekt eSafeNet entsteht ein intelligentes Kommunikationsnetz für das Internet der Energie.

Zuverlässigkeit und Sicherheit kritischer Infrastrukturen gerecht werden.

Mit speziell aufbereiteten Daten und einem innovativen Geschäftsmodell will das Konsortium eine Smart-Service-Plattform für Erzeuger, Vermarkter und Verbraucher entwickeln. Die Plattform soll außerdem sicherheitsrelevante und weitere Smart Services durch entsprechende Anbieter bereitstellen. Dies soll den Anteil erneuerbarer Energie im Verteilnetz durch das Koppeln von Informations- und Energienetz steigern und die hohe Versorgungssicherheit erhalten.

Die Koordination hat die RWTH Aachen übernommen. Zudem sind zwei Forschungseinrichtungen und sechs industrielle Partner beteiligt. Das Vorhaben ist Teil der Forschungsinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ der Bundesregierung und wird vom BMWi mit rund 3,5 Millionen Euro gefördert.



Ein Automobilwerk verbraucht pro Jahr so viel Energie wie eine mittelgroße Stadt – besonders Roboter sind dabei unersättlich. Durch einen intelligenten Austausch von (Brems-)Energie über das zentrale DC-Netz kann der Energieverbrauch minimiert werden.

Effiziente Versorgung industrieller Fertigungsanlagen mit Gleichstrom

In Produktionsbetrieben ist die dreiphasige 400-Volt-Wechselstromversorgung der Standard. Derzeit vollzieht sich jedoch ein Wandel hin zu energieeffizienten, drehzahlveränderlichen elektrischen Antrieben. Dadurch setzen immer mehr Anlagenbetreiber Frequenzumrichter mit einem Gleichspannungszwischenkreis ein. Somit muss der Strom ständig verlustreich und kostenintensiv von Wechselspannung (AC) auf Gleichspannung (DC) gewandelt werden.

Um dies zu umgehen, entsteht im Projekt **DC-INDUSTRIE** ein intelligentes, offenes Gleichstromnetz (DC-Netz), das Energie bedarfsorientiert innerhalb von industriellen Produktionsanlagen verteilen kann. Durch den Wegfall von Leistungselektronik wollen die Wissenschaftler die Gerätekosten spürbar senken. Zudem wollen sie energetische Potenziale realisieren, indem sie Wandlungsverluste auf ein Minimum senken. Wichtige Schritte hierfür sind

standardisierte Schnittstellen, eine erhöhte Leistungsdichte innerhalb der elektrischen Antriebe sowie der Wegfall der dezentralen AC/DC-Wandlung in den Umrichtern. Darüber hinaus sollen Erneuerbare-Energien-Anlagen und Speicher einfach und flexibel integriert werden können. Ein intelligentes Netzmanagement soll Einspeiselastspitzen vermeiden und eine hohe Versorgungssicherheit für die Produktion gewährleisten. Zudem wollen die beteiligten Partner die Verfügbarkeit der Anlagen steigern und auch bei der Installation Optimierungsmöglichkeiten nutzen, beispielsweise durch einen modularisierteren Aufbau.

Mit dem Vorhaben wollen die Verbundpartner die Energieeffizienz in der Produktion spürbar steigern und Potenzialfelder erschließen, die über das isolierte Verbessern von Einzelgeräten hinausgehen. Die Koordination hat Siemens übernommen. Insgesamt sind 14 Partner aus Wissenschaft und Industrie beteiligt. Das BMWi fördert die Forschung mit rund 6,3 Millionen Euro.

HIGHLIGHT

Klein aber oho: systemdienliches Verhalten von Microgrids durch lokale Märkte

Unter Microgrids versteht man lokale, in sich geschlossene intelligente Stromverteilungsnetze, die kleinere Energieerzeuger, -speicher und -verbraucher vor Ort zusammenführen. Ihr grundsätzlicher Aufbau und ihre Funktionsweise entsprechen einem Smart Grid. Hinter den intelligenten Mini-Netzen steht die Grundidee, dass viele kleine Stromerzeuger die Verwundbarkeit des Systems reduzieren und somit die Flexibilität und die Netzsicherheit positiv beeinflussen.

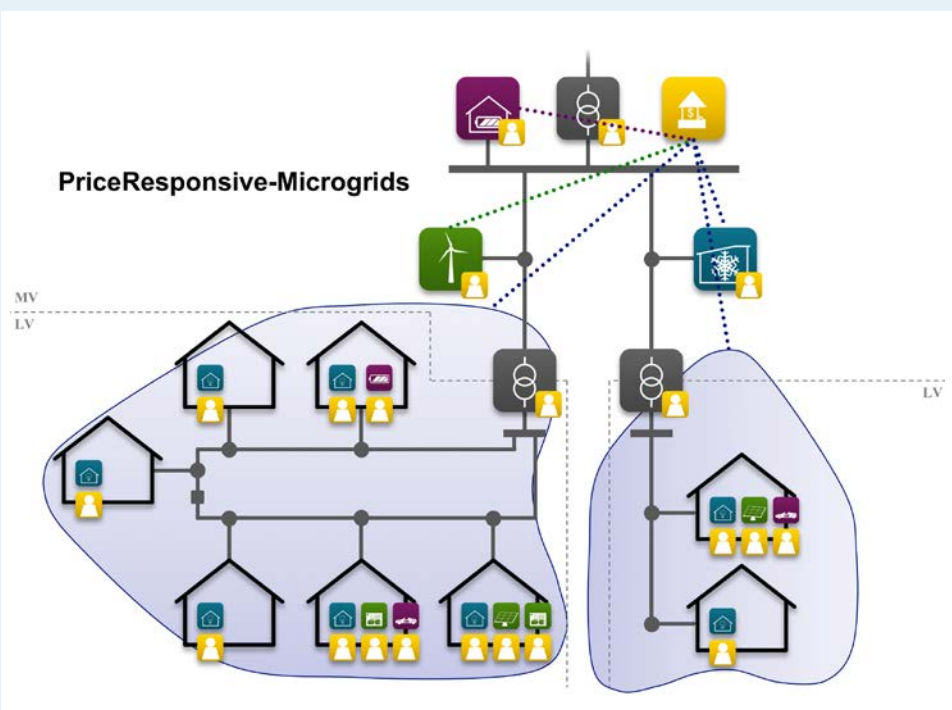
Im Projekt **uGRIP** untersucht das Oldenburger Institut OFFIS gemeinsam mit internationalen Partnern das systemdienliche Verhalten von Microgrids durch lokale Märkte. Das OFFIS kooperiert hierzu bei seiner Forschung mit der kroatischen Universität Zagreb, dem ebenfalls aus Kroatien stammenden Unternehmen Končar Power Plant and Electric Traction Engineering (KONCAR-KET) sowie der DTU – Danmarks Tekniske Universitet aus dem dänischen Lyngby. In dem Vorhaben entwickeln die Wissenschaftler ein preissensibles Microgrid als eine effiziente Maßnahme, um die Flexibilität des Energiesystems zu erhöhen. Das Netz umfasst sowohl dezentrale erneuerbare als auch konventionelle Kraftwerke und Energiespeicher sowie flexible Lastsysteme.

Hierzu wollen die Forscher mögliche Hemmnisse identifizieren, die einem breiten Einsatz der Technologie im Wege stehen, und dafür Lösungsstrategien erarbeiten. Dabei setzt das internationale Konsortium auf intelligente Anwendungen, beispielsweise aus dem Bereich der Informations- und Kommunikati-

onstechnologien (IKT). „Durch den steigenden Anteil erneuerbarer Energien an der Gesamtstromerzeugung kommt ein immer größerer Anteil von elektrischer Energie aus nur bedingt prognostizierbaren dezentralen Quellen. In uGRIP werden Microgrids über Preisreize eines lokalen Marktes motiviert, sich netzstabilisierend zu verhalten – sogenannte price responsive microgrids. Das Herunterbrechen des Gesamtenergiesystems in überschaubare Microgrids macht die Möglichkeiten selbstorganisierender Steuerungen für das Gesamtsystem nutzbar und regt regionale Geschäftstätigkeit auf den Energiemärkten an“, erläutert Verbundkoordinator Professor Dr. Sebastian Lehnhoff von OFFIS.

Das Vorhaben ist aus einem Förderaufruf des ERA-Net Cofund Smart Grids Plus hervorgegangen (siehe auch „Im Fokus: Intelligent europaweit vernetzen“, Seite 136). Das BMWi fördert den deutschen Teil der Forschung mit rund 250.000 Euro.

Auch über das Projekt hinaus engagiert sich OFFIS in der ERA-Net Plus Knowledge Community. Diese legt ihren Schwerpunkt auf das Management von Anwendungsbeispielen der Modellierung der Systemarchitektur und auf den fachlichen Austausch zu Microgrid-Szenarien.

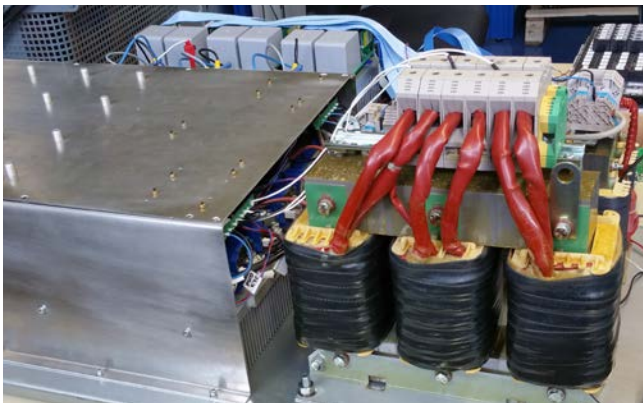


Die Grafik zeigt die Koordination von Microgrids über einen lokalen Markt.

Optimales Zusammenspiel innovativer Komponenten in Verteilnetzen

Die große Zahl an Verbrauchern mit Schaltnetzteilen sowie die zunehmende Anzahl von umrichterbasierten, dezentralen Erzeugungsanlagen in der Niederspannungsebene stellen die Verteilnetzbetreiber vor neue Herausforderungen, um die Netzqualität (Spannungsband, Oberschwingungen) zu sichern und eine zu hohe Auslastung der Betriebsmittel zu vermeiden.

Innerhalb des Projekts **Verteilnetz 2020** entwickelt ein Forschungsverbund innovative Betriebsmittel, um die Verteilnetze aufnahmefähiger für dezentrale und regenerativ

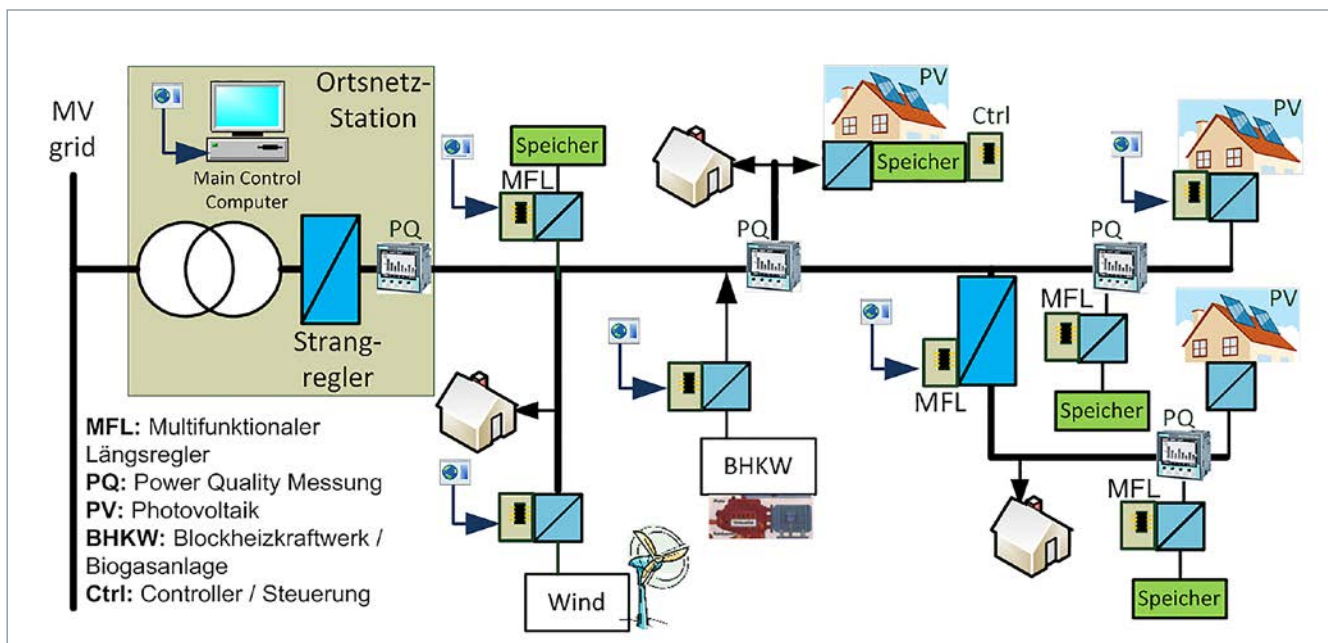


Laboraufbau der Regleinheit für den Längsregler

erzeugte Energie zu machen – und das bei gleichbleibend hoher Netzqualität. Zu den Komponenten zählen Wechselrichter, die mit Hilfe der Blindleistungsregelung zum Spannungserhalt beitragen, sowie stufenlose multifunktionale Längsregler, welche ebenfalls Spannung erhalten sollen, aber auch zur Symmetrierung und dem Filtern von Oberschwingungen verwendet werden sollen. Zudem arbeiten die Forscher an Stromspeichern, die in der Lage sind, dezentral erzeugte Energie netzdienlich zu speichern und abzugeben.

Der weitere Fokus liegt auf dem Vernetzen dieser Betriebsmittel zu einem übergeordneten, zentralen Regulationssystem. Hierfür kommt die Breitband-Powerline-Kommunikationsinfrastruktur (BPL) sowie geeignete Leittechnik zum Einsatz. Im Zuge des Forschungsprojekts wird der Gesamtaufbau zunächst simulativ untersucht und in anschließenden Labortests praktisch verifiziert. Anschließend wird das entwickelte System in einem Feldversuch im Verteilnetz des beteiligten Netzbetreibers erprobt.

Die Technische Universität München koordiniert das Vorhaben. Insgesamt besteht das Konsortium aus zehn Projektpartnern, welche sich aus den Bereichen Forschung (Hochschulen), Netzbetrieb, Wechselrichter, Batteriespeicher, Messtechnik, Netzautomatisierung sowie Kommunikationstechnik zusammensetzen. Das BMWi fördert den Verbund mit rund 3 Millionen Euro.



Vernetzung der aktiven Betriebsmittel zu einem Smart Grid

Neue Regelungskonzepte für Windenergieanlagen

Die Netzanschlussregeln setzen von Synchrongeneratoren eine Mindestleistung voraus, die zu keinem Zeitpunkt unterschritten werden darf. Bisher erbringen konventionelle Kraftwerke diese Systemdienstleistung. Künftig sollen allerdings vermehrt Erneuerbare-Energien-Anlagen diese Aufgabe übernehmen. Einen Schritt in diese Richtung will das Konsortium von **WindKraft** gehen. Die Koordination hat der Windkraftanlagenhersteller Senvion übernommen. Zudem ist die Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin beteiligt.

Der Verbund beschäftigt sich mit effizienten Konzepten für die netzstützende Regelung und die Regelung am Verknüpfungspunkt von Windenergieanlagen (WEA). Die neuen Verfahrensansätze sollen die Umrichter der WEA dahingehend ertüchtigen, flexibel auf den tatsächlichen Spannungs- und Leistungsbedarf des Netzes reagieren zu können. Die Forschungsgrundlage bilden Wechselrichter und Hardwarekonfigurationen, die bereits aktiv im Einsatz sind. Ein wichtiger Bezug der Wissenschaftler sind zudem

die mechanischen Eigenschaften der Windkraftwerke. Neben technischen spielen aber auch wirtschaftliche Aspekte eine zentrale Rolle. Über die Regelungsstrategien hinaus wollen die Forscher die Inselfähigkeit der WEA gewährleisten. Auf diese Weise können Windparks bei einem Ausfall des Hochspannungsnetzes einspringen und so die Versorgung weiter aufrechterhalten.

Im weiteren Verlauf wollen die Wissenschaftler die Konzepte mit Hilfe eines „Hardware-in-the-loop-Tests“ (HITL) mit einem Umrichter im Labor durch Simulationen überprüfen. HITL ist eine Testmethode, um die spätere Anwendbarkeit von Konzepten oder Systemen abzusichern. Im Anschluss testet das Konsortium die erfolgreichen Ansätze in der Praxis in einem Windpark. Funktioniert der Forschungsansatz im realen Einsatz, könnten Windenergieanlagen künftig konventionelle Kraftwerke bei den Systemdienstleistungen ersetzen. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 2,8 Millionen Euro.

Der WindKraft-Verbund beschäftigt sich mit effizienten Konzepten für die netzstützende Regelung und die Regelung am Verknüpfungspunkt von Windenergieanlagen.



Energieoptimierte Gebäude und Quartiere



Energiesparende Gebäude und integrative Energiekonzepte, nach denen Gebäude und Quartiere auf Basis erneuerbarer Energien mit Strom, Wärme und Kälte versorgt werden, sind wichtige Bausteine für den Erfolg der Energie- und Wärmewende in Deutschland. Mit der Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN bündelt das BMWi die angewandte Energieforschung für diesen Bereich künftig unter einem Dach.

Knapp 35 Prozent des Energieverbrauchs und rund ein Drittel der CO₂-Emissionen entfallen in Deutschland auf Gebäude und Quartiere. In diesem Bereich gibt es enormes Potenzial, den Energiebedarf zu reduzieren und den verbleibenden Bedarf auf Basis erneuerbarer Energiequellen effizient zu decken. Schon um mehr als 12 Prozent konnte der Wärmebedarf in Gebäuden zwischen 2008 und 2014 gesenkt werden, und im Jahr 2015 haben erneuerbare Energien bereits mehr als 13 Prozent zur Deckung des Wärmeverbrauchs in Deutschland beigetragen. Um das Ziel eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands bis zum Jahr 2050 möglichst kostengünstig zu erreichen, sind Forschung und Entwicklung äußerst wichtig. Denn einerseits muss die Energiewende im Gebäudebereich zukünftig schneller als bisher erfolgen, andererseits sind viele einfach zu tätige Maßnahmen bereits erfolgt.

Mit der Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG) hat die Bundesregierung eine Gesamtstrategie für den Sektor vorgelegt. Sie integriert den Strom-, Wärme- und Effizienzbereich und schafft damit einen klaren Handlungsrahmen für die Energiewende im Gebäudebereich. Um den Primärenergiebedarf von Gebäuden bis 2050 um rund 80 Prozent gegenüber 2008 zu senken, müssen durch Effizienzmaßnahmen am Gebäude je nach Energieträger mindestens rund 60 Prozent Endenergie eingespart werden. Dafür sind innovative Technologien und Konzepte unabdingbar, die schon jetzt in der Baupraxis einen wichtigen Beitrag leisten können. Der Energieverbrauch energieeffizient sanierter Wohnhäuser und Neubauten ist heute schon signifikant niedriger als der eines Durchschnittsgebäudes im Jahr 2008: 60 bis 95 Prozent Reduktion sind möglich. Das belegt eine im Jahr 2016 veröffentlichte Studie der Deutschen Energie-Agentur (dena). Um die Energiewende aber im gesamten Gebäudebestand umzusetzen, sind auf allen Ebenen

weitere Innovationen gefragt. Dieser Bedarf reicht von der Entwicklung einzelner Technologien über das effiziente Zusammenspiel im System bis hin zu Quartieren.

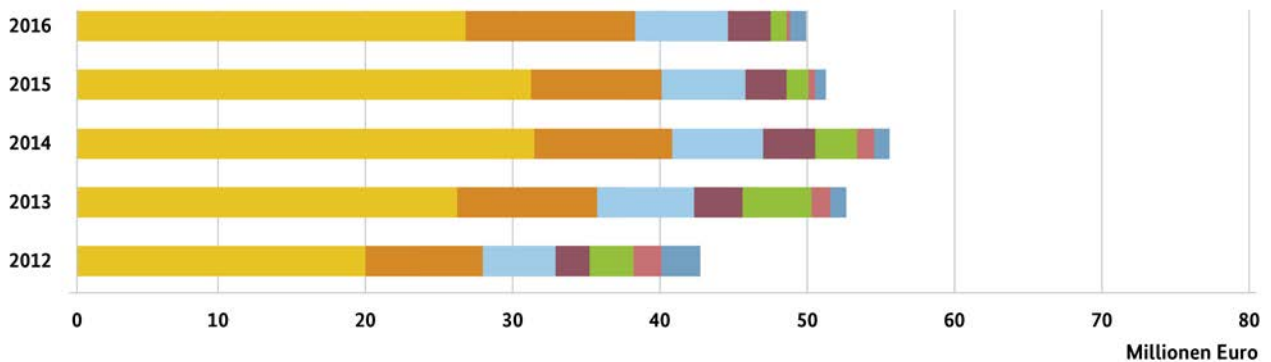
Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Hochschulen, Forschungseinrichtungen oder öffentliche Liegenschaften können durch ihre zentrale Verwaltung, fachliche Expertise und ihren heterogenen Gebäudebestand eine wichtige Vorreiterrolle einnehmen und Impulse für die gesamtstädtische Entwicklung liefern. Exemplarisch ist

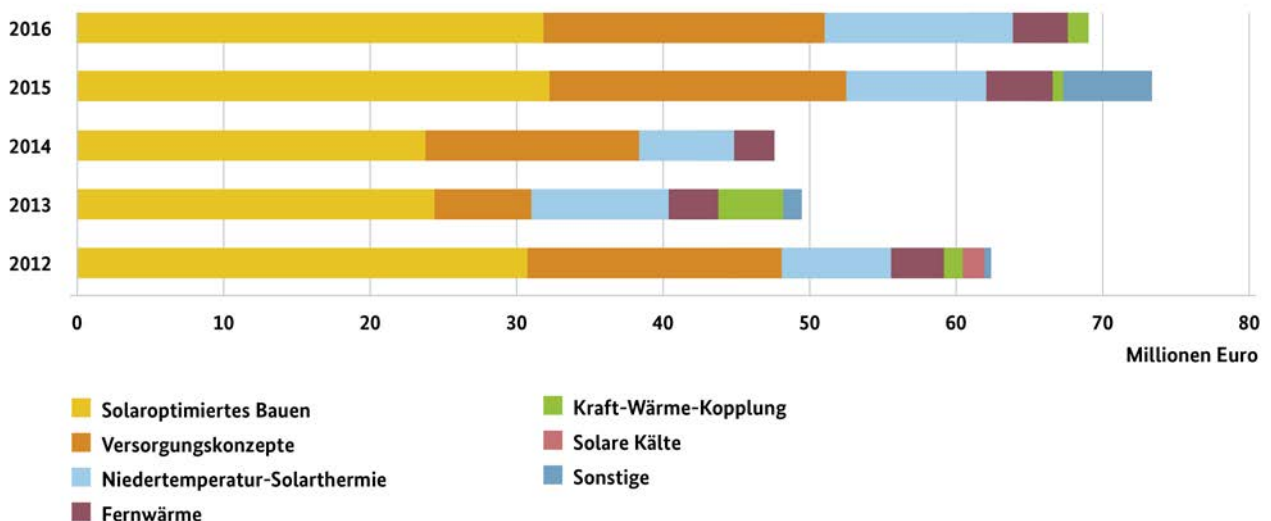
der **Klimaneutrale Campus der Leuphana Universität in Lüneburg** zu nennen: Das im Förderschwerpunkt EnEff:Campus mit rund 3,4 Millionen Euro geförderte Vorhaben ist 2016 als Drittplatzierter mit dem Deutschen Nachhaltigkeitspreis ausgezeichnet worden. Die Wissenschaftler entwickeln für den Campus und das angrenzende Stadtgebiet ein nachhaltiges Energiekonzept. Ihr Ziel ist eine klimaneutrale Strom- und Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energieträgern. Teil des Projektes ist auch ein Aquifer, in dem die Forscher überschüssige Wärme aus dem Sommer speichern und im Winter wieder abgeben wollen (siehe auch „Aquifere für Quartiere“, Seite 102).

Fortsetzung Seite 97

Energieoptimierte Gebäude und Quartiere: Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016



Energieoptimierte Gebäude und Quartiere: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012



IM FOKUS: PLANUNGSWERKZEUGE

Wie in der Forschung entwickelte Planungswerkzeuge Gebäude und Quartiere energieeffizienter machen

Simulationsgestützte Planungswerkzeuge setzen frühzeitig entscheidende Weichenstellungen für ein ressourcenschonendes, nachhaltiges und energetisch optimiertes Bauen. Carsten Beier vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT spricht im Interview über die Komplexität integraler Planung und den Transfer der in der Forschung entwickelten Planungswerkzeuge in die Praxis. Er bringt seine Expertise in das Team der aktuellen wissenschaftlichen Begleitforschung für Gebäude und Quartiere ein und war Projektleiter der abgeschlossenen Begleitforschung EnEff:Stadt (2008–2015).

Herr Beier, welche Rolle haben softwarebasierte Planungswerkzeuge für Gebäude und Quartiere?

Nur softwarebasierte Planungswerkzeuge können komplexe Planungsaufgaben im Bereich Gebäude und Quartiere lösen: Neben der Energieeffizienz gehören die Nutzung erneuerbarer Energien sowie die Systemkopplung zwischen Strom und Wärme zu den Herausforderungen integraler Planung, die verschiedene Lösungsansätze und Technologien vergleicht, kombiniert und bewertet. So lassen sich energetisch sinnvolle und wirtschaftlich umsetzbare Konzepte identifizieren und umsetzen. Isolierte Lösungen, die lokal zu einer verbesserten Energieeffizienz führen, sich aber im Gesamtsystem negativ auswirken, sind nicht zielführend. Eine bessere Umsetzbarkeit gelingt nur mit einer Kombination energetischer, wirtschaftlicher und systemorientierter Lösungsansätze.

Welche Anforderungen haben Planer in der Praxis an zu entwickelnde Planungstools?

Die Anwendung der Planungswerkzeuge darf nicht viel Zeit kosten, auch im Hinblick auf die erforderliche Datenerhebung. Neben einer benutzerfreundlichen Oberfläche sind Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit des Vorgehens und der Ergebnisse wichtig. Den Anforderungen aus der Praxis müssen auch die Anforderungen gegenübergestellt werden, die sich aus Problemen des Energiesystems und der Umsetzung der Energiewende ergeben.



„Die Umsetzung der Energiewende stellt neue Anforderungen an die Entwicklung von Planungswerkzeugen“, sagt Carsten Beier vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT.

Inwieweit können unterschiedliche Planungswerkzeuge untereinander vernetzt und Daten kompatibel und verlustarm ausgetauscht werden?

Um Werkzeuge miteinander verknüpfen zu können, sind standardisierte Schnittstellen für den Datenaustausch erforderlich. Das ist aufgrund der Vielzahl an Zielstellungen und der sich daraus ergebenden Anforderungen an die Datenbasis die wesentliche Herausforderung. Weiter muss berücksichtigt werden, dass in den unterschiedlichen Planungsphasen viele Akteure mit unterschiedlichen Kenntnissen und Anforderungen involviert sind. Aufgabe der Forschung ist es, hierfür Lösungen zu entwickeln, um das Potenzial, das die Kombination von Planungswerkzeugen hat, zu erschließen und die Planung energieeffizienter Gebäude und Quartiere zu verbessern.

Wie praxistauglich sind die in der Forschung entwickelten Planungswerkzeuge?

Eine große Anzahl an Planungswerkzeugen wird bereits in der Praxis eingesetzt. Die Bandbreite reicht von Eigenentwicklungen bis zu kommerziellen Werkzeugen. Forschungsprojekte stellen höhere Anforderungen an die Lösungsansätze, sodass weit komplexere Fragestellungen angegangen werden. Um diese begreifbar zu machen und zu lösen, werden in der Forschung Modellierungsumgebungen entwickelt. Diese komplexen Fragestellungen stellen hohe Anforderungen an den Anwender und die Datenbasis, weshalb die Anwendung dieser Werkzeuge bislang überwiegend auf Forschungsprojekte und auf Nutzer aus dem wissenschaftlichen Umfeld beschränkt ist.

Wie kann die Kluft zwischen den in der Forschung entwickelten und in der Praxis verwendeten Planungswerkzeugen verringert werden?

Dazu ist eine breite Anwendung der Werkzeuge in der Praxis erforderlich. Erst wenn Praktiker und Wissenschaftler in Umsetzungsprojekten zusammenarbeiten, kann eine praxisorientierte Weiterentwicklung gelingen. Als sehr wertvoll hat sich die Analyse der in der Förderinitiative EnEff:Stadt eingesetzten Planungshilfsmittel erwiesen. Sie liefert einen Überblick und bringt die Anwendung in der Praxis voran. Weiter sollte das Know-how der Anwender in Bezug auf die Grundlagen der Modellierung verbessert werden. Dies kann sowohl über die Zusammenarbeit mit Experten als auch über Aus- und Weiterbildung erfolgen.

Welche Themen werden aus Ihrer Sicht in Zukunft für Forschung und Entwicklung im Bereich Planungswerkzeuge wichtig?

Die Komplexität der Planungsaufgaben steigt, und daran müssen sich die eingesetzten Planungswerkzeuge messen lassen. Neben der Vielzahl der Einsatzmöglichkeiten ist die Integration unterschiedlicher Akteure eine wesentliche Anforderung. Der Übergang zwischen den Planungsphasen und den im Projekt wechselnden Akteuren muss in der Entwicklung von Planungswerkzeugen berücksichtigt werden. Auch die Umsetzung der Energiewende stellt neue Anforderungen an die Entwicklung von Planungswerkzeugen: Verbraucher wie Gebäude und Quartiere müssen stärker mit den Energieversorgungssystemen interagieren. Nur so kann die Energiewende gelingen.

Das Interview führte Annika Zeitler, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Ein wachsendes Forschungsgebiet für Gebäude und Quartiere ist derzeit die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT): Denn innovative Gebäudetechnik und intelligente elektrische, thermische sowie digitale Vernetzung können Quartiere energetisch maßgeblich optimieren. Forscher wollen das im gerade gestarteten Verbundvorhaben **EnQM – Energieoptimiertes Quartier Margarethenhöhe** in Essen zeigen.

Mehr als die Hälfte des Endenergieverbrauchs entfällt auf den Wärmesektor. Hier entstehen rund 26 Prozent der gesamten deutschen Treibhausgas-Emissionen. Vor diesem Hintergrund wird deutlich: Die Energiewende kann ohne Wärmewende nicht gelingen. Vor allem Dänemark gilt in Sachen Wärmewende als Vorreiter in Europa. Im Land wird nahezu die Hälfte der Fernwärme durch erneuerbare Energien bereitgestellt und die Dänen decken die Hälfte ihres Wärmebedarfs über Wärmenetze ab. In Deutschland fördert das BMWi im Förderschwerpunkt EnEff:Wärme innovative Technologien und Konzepte für optimierte Wärmenetze. Sie sind ein wesentlicher Baustein, um erneuerbare Energiequellen wie Solarthermie, Geothermie oder auch die Einspeisung von Industrieabwärme bestmöglich zu nutzen (siehe auch „Im Fokus: Wärmenetze“, Seite 98; siehe auch „Abwärmeatlas“, Seite 117). Wärmekatastern wird in Forschung und Entwicklung eine wichtige Bedeutung als integrales Planungswerkzeug zugesprochen. Im 2016 gestarteten Forschungsvorhaben **DynamiKa** entwickeln Wissenschaftler etwa ein dynamisches, geoinformationsbasiertes Planungstool zur kommunalen Wärmeplanung (siehe auch „Im Fokus: Planungswerkzeuge“, Seite 96).

Auch die Solarthermie leistet in Verbindung mit energieeffizientem Bauen einen wichtigen Beitrag für eine zuverlässige Wärmeversorgung. Zwei Drittel der zentralen sowie ein Drittel der dezentralen Heizungsanlagen könnten bis zum Jahr 2050 mit Solarthermie ausgestattet sein. Das prognostiziert eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE. Um das Wärmeenergiepotenzial der Solarthermie in Zukunft wirtschaftlich zu nutzen und in Wärmenetze einzuspeisen, fördert das BMWi Forschung und Entwicklung in diesem Bereich. Im Forschungsvorhaben **SpeedColl2** erforschen Wissenschaftler zum Beispiel die Gebrauchsdauer von Solarkollektoren und deren Komponenten (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 104).

Auch andere Länder investieren in Forschung und Entwicklung im Bereich energieoptimierter Gebäude und Quartiere. Internationale Zusammenarbeit *Fortsetzung Seite 99*

IM FOKUS: WÄRMENETZE

Forschung für energieeffiziente Wärmenetze

Die Transformation des Energiesystems stellt Wärmenetze in Deutschland vor neue Herausforderungen: Sie müssen effizient, ökologisch und wirtschaftlich sein. Die Forschungsinitiative EnEff:Wärme fördert neue Konzepte und innovative Technologien in diesem Bereich, um den Ausbau von Wärmenetzen voranzubringen.

Wärmenetze sind ein wesentlicher Baustein, wenn es um den Erfolg der Wärmewende in Deutschland geht. Sie schaffen die Bedingungen, um erneuerbare Energien wie Solarthermie, Geothermie oder auch die Einspeisung von Industrieabwärme (siehe auch „Abwärmeatlas“, Seite 117) bestmöglich zu nutzen. Ihr Ausbau muss schnell, kostengünstig, energieeffizient und zuverlässig erfolgen.

Über ein Wärmenetz werden mehrere Gebäude mit thermischer Energie zum Heizen und zum Bereitstellen von Warmwasser versorgt. Die Energie wird nicht in jedem Gebäude einzeln produziert, sondern in Form von warmem Wasser von einem oder mehreren Einspeisern aus über das Wärmenetz zu den Verbrauchern geführt. Der Transport erfolgt in einem wärme gedämmten Rohr-

system, das überwiegend in der Erde verlegt ist. Je nach Anzahl der Verbraucher und Einspeiser, sowie nach ihrer Entfernung vom Erzeuger, ist das Wärmenetz technisch sehr aufwändig und komplex – von der einzelnen kurzen Rohrleitung bis hin zum weitverzweigten Nah- oder Fernwärmenetz.

Mit der Forschungsinitiative EnEff:Wärme fördert das BMWi gezielt die Optimierung von Wärmenetzen. Ein Fokus liegt auf energie- und kosteneffizienten Technologien und Konzepten. Denn aktuell stehen dem notwendigen Ausbau von Wärmenetzen nach wie vor hohe Investitionskosten entgegen. Im abgeschlossenen Forschungsvorhaben **Innovative Fernwärmeverteilung** haben Wissenschaftler den wirtschaftlich optimierten Ausbau der Fernwärme auf gleichbleibendem Sicherheitsniveau unter anderem mit grabenlosen Verlegetechniken von Kunststoffmantelrohrleitungen erforscht. Im konventionellen Leitungsbau wird ein Graben ausgehoben und mit einer Verbauwand ausgestattet – dieses Verfahren ist zeit- und kostenintensiv. Bei grabenlosen Verlegetechniken wird die Leitung von einer Startbaugrube oder direkt von der Geländeoberfläche unter-



Messtechnik am grabenlos verlegten Kunststoffmantelrohr



Graben mit Verbauwand aus dem Forschungsvorhaben „Innovative Fernwärmeverteilung“

irdisch verlegt. Teilweise ist die grabenlose Verlegung die einzige Möglichkeit, einen bestimmten Trassenverlauf zu realisieren. Die Technik lässt sich für alle Arten von Rohren anwenden und ist für flexible Fernwärmerohre und Stahlmantelrohre schon mehrfach erfolgreich eingesetzt worden. Das mit rund 2,1 Millionen Euro geförderte und von der AGFW – Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK – koordinierte Vorhaben hat Grundlagenwissen für diese Verlegetechniken erarbeitet. Das Forscherteam hat nachgewiesen, dass diese Technologie praxistauglich ist.

Das am häufigsten eingesetzte Rohr bei Wärmenetzen ist das Kunststoffmantelrohr. Um belastbare Daten über die Alterung dieser Rohre zu erhalten, haben die GEF Chemnitz, die IMA Dresden sowie das Leibniz-Institut für Polymerforschung in Dresden zusammen mit weiteren Partnern aus Fernwärmewirtschaft und Forschung Proben von Kunststoffmantelrohren aus der betrieblichen Praxis und Laborexperimenten untersucht. Die Ergebnisse des 2016 abgeschlossenen und mit rund 2,4 Millionen Euro geförderten Forschungsprojekts **Qualitätssicherung Kunststoffmantelrohr** ermöglichen Aussagen zum Alterungsverhalten und zu den Möglichkeiten zeittraffender Alterungsprüfungen.

Im laufenden Vorhaben **Technische Gebrauchsdaueranalyse von Wärmenetzen**, das vom BMWi mit rund 1,3 Millionen Euro gefördert wird, entwickelt ein Wissenschaftlerteam Bewertungsverfahren für bestehende und zukünftige Wärmenetze. Die Forscher des AGFW und weitere Projektpartner wollen damit Aussagen über den Zustand der Netze und deren Fahrweisen ermöglichen, sodass sie zuverlässig und effizient einsatzfähig sind. Mit der Gebrauchsanalyse können die Effekte der Energiewende – die Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem – analysiert und quantifiziert werden. Das Forschungsvorhaben schafft damit ein Werkzeug, das die Wirtschaftlichkeit bei Netzbetrieb und Netzinstandhaltung, aber auch beim Netzausbau verbessert.

Mit den aus der Forschung entwickelten Technologien und Konzepten für optimierte Wärmenetze können Brennstoffe eingespart, Wärmeverluste reduziert, Anlagen besser ausgelastet sowie ihre Leistung gesteigert und die Lebensdauer verlängert werden.

findet hier zum Beispiel in den multilateralen Technologieinitiativen District Heating and Cooling (Wärme und Kälte), Solar Heating and Cooling (solare Wärme und Kälte) sowie Energy in Buildings and Communities (Energie in Gebäuden und Quartieren) im Technologienetzwerk der Internationalen Energieagentur (IEA) statt. Im Forschungsvorhaben **Advanced Lighting for Retrofitting Buildings** hat ein internationales Konsortium etwa die Beleuchtungsanierung von Nicht-Wohngebäuden analysiert und gezeigt, wie Energie eingespart und gleichzeitig die Beleuchtungsqualität gesteigert werden kann.

Die Vielfalt der adressierten Themen wird auch an den folgenden Beispielen deutlich: Das **Plus-Energiegebäude** der Schule in **Rostock Reutershagen** demonstriert neue Konzepte für die Gebäudehülle (siehe Seite 106). Funktionale Materialien mit niedrigem thermischen Emissionsgrad (zum Beispiel Schilfgras) untersucht das Forschungsvorhaben **HL-Dämmputz** (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 100). Die Entwicklung solaroptimierter Fenster und low-e-Beschichtungen (Low-Emissivity-Glas, niedrige Wärmeabstrahlung) zum großflächigen Einsatz steht im Fokus des Projekts **Follow-e** (siehe Seite 106). Mit dem wachsenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien werden darüber hinaus auch gebäudeintegrierte Wärme- und Stromspeicher eine bedeutendere Rolle für Gebäude und Quartiere spielen (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 102).

Strategie der Forschungsförderung

In Zukunft stehen systemische Ansätze statt Einzellösungen und eine effiziente Energieinfrastruktur noch stärker im Fokus der Forschungsförderung. Das BMWi hat die bisherigen Förderschwerpunkte Energieoptimiertes Bauen (EnOB), Energieeffiziente Stadt (EnEff:Stadt) und Energieeffiziente Wärmeversorgung (EnEff:Wärme) einschließlich der Forschung zu thermischen Energiespeichern und zur Niedertemperatur-Solarthermie unter der Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN zusammengefasst. Auch die in 2016 veröffentlichten Förderbekanntmachungen EnEff. Gebäude.2050 und Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt fallen darunter.

Mit bis zu 150 Millionen Euro fördert das BMWi unter der ressortübergreifenden Förderbekanntmachung Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt (BMW/BMBF) Projekte, die zeigen, wie durch Innovationen und intelligente Vernetzung energetisch hochwertige, lebenswerte Gebäude und

Quartiere entstehen können. Neben technologischen werden hier insbesondere auch sozial-ökologische und sozio-ökonomische Aspekte berücksichtigt. Die Förderbekanntmachung EnEff.Gebäude.2050 stellt, außerhalb des 6. Energieforschungsprogramms, weitere 35 Millionen Euro für modellhafte Innovations- und Transformationsprojekte bereit. Unter dieser Initiative fördert das BMWi in 2017 auch einen Ideenwettbewerb zu Gebäuden und Quartieren der Zukunft. Konsortien aus Planern und Bauherren sowie Stadtverwaltungen und Hochschulen sind hier adressiert, Ideen und Konzepte einzureichen.

Als Schnittstelle zwischen Forschung, Praxis und Politik verbindet das Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren mit seinen mittlerweile fast 700 Mitgliedern die Wissenschaftler und Themen der Branche. Für zukunfts-sichere Lösungen und den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis ist das offene Netzwerk mit der breitgefächerten Expertise seiner Akteure ein Schlüssel für die Energiewende und liefert der Bundesregierung elementare Impulse für das nächste Energieforschungsprogramm.

Für die inhaltliche Vernetzung der Forschungsbereiche wertet ein interdisziplinäres Team der wissenschaftlichen Begleitforschung alle laufenden und abgeschlossenen Projekte im Bereich Gebäude und Quartiere aus. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler planen, Werkzeuge und Erkenntnisse für alle Akteure mit der interaktiven Landkarte der Projekte zur Verfügung zu stellen – eine Datenbank, die Informationen zu projektspezifischen Kennwerten, Ergebnissen und Kernaussagen gibt.

Im Bereich Gebäude und Quartiere hat das BMWi im Jahr 2016 die Energieforschung mit rund 49,7 Millionen Euro für 531 laufende Projekte gefördert (2015: 51,2 Millionen Euro für 486 Projekte). 148 Projekte mit einem Förder-volumen von rund 69,2 Millionen Euro sind 2016 neu bewilligt worden (2015: 159 Projekte mit rund 73,5 Millionen Euro).

Fortsetzung Seite 102

HIGHLIGHT

Hochleistungs-Dämmputz aus Schilfgras

Es kommt aus Asien, kann bis zu vier Meter hoch werden, ist pflegeleicht und hat in seinen Stängeln außergewöhnlich viele Hohlräume. Aus dem Großgras Miscanthus wollen Agrarwissenschaftler der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn einen Hochleistungs-Dämmputz für Häuserfassaden entwickeln.

Der natürliche Dämmstoff im Chinaschilf Miscanthus ist das schwammartige Parenchym. Die einzelnen Poren des Gewebes sind im Pflanzenstängel außergewöhnlich gut und viel verteilt, sodass Wärme diesen Porenraum nur schwer durchdringen kann. Im Forschungsvorhaben **HL-Dämmputz** sollen diese hervorragenden baustatischen, bauphysikalischen und bauakustischen Eigenschaften von Miscanthus genutzt werden, um einen neuartigen Putz mit sehr guten Wärmedämmeigenschaften herzustellen. „Wir sind gerade dabei, das Porenvolumen genau zu bestimmen, und stehen vor der Herausforderung, wie wir den geernteten Miscanthus zerkleinern, damit möglichst wenig Poren zerstört werden und die Isolationsleistung der Pflanze optimal bleibt“, sagt Prof. Dr. Ralf Pude, Projektleiter und Leiter des Fachbereichs für nachwachsende Rohstoffe an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Suche nach der optimalen Form und Größe der Partikel

Im Labor untersuchen die Wissenschaftler Poren grober und feiner Miscanthus-Häcksel unterschiedlichster Genotypen der Pflanze. Ziel ist – für die Weiterverarbeitung zum Hochleistungs-Dämmputz –, so viel Luftporenstrukturraum wie möglich zu haben. Denn: je mehr Poren, desto besser die Dämmung. In einem weiteren Schritt werden die zerkleinerten Miscanthus-Partikel in ein Bindemittel eingemischt und der Porenraum dadurch noch einmal vergrößert. „Das ist quasi wie Aufschäumen in der Badewanne: Es werden immer neue Poren mit Hilfe des Bindemittels eingebracht“, erklärt

Pude. Gleichzeitig sorgt das Bindemittel aber auch dafür, dass Miscanthus später als Putz an der Wand kleben bleibt und die luftigen Poren sich nicht mit Wasser vollsaugen. Denn sonst würde Miscanthus seine wärmedämmenden Eigenschaften verlieren und wäre als Dämmstoff unbrauchbar. „Das Bindemittel konserviert die Luftporen und sorgt dafür, dass die Partikel auch Wärme speichern können“, erklärt Michael Petry von der Firma Petry Oberflächentechnik, der auch zum Team der Wissenschaftler gehört.

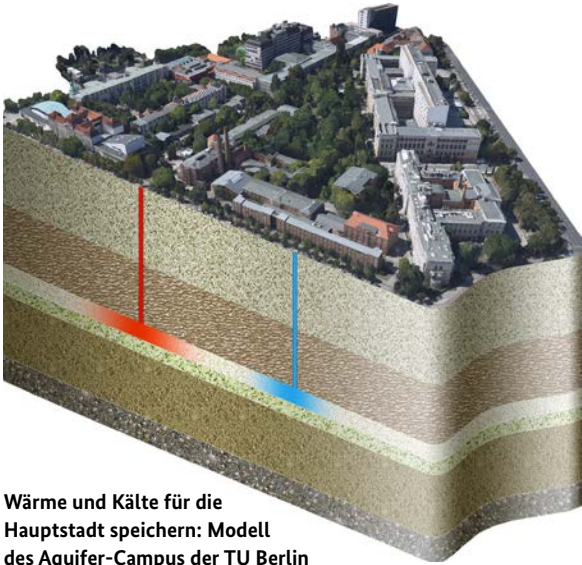
Ein Hochleistungs-Dämmputz aus Miscanthus verringert maßgeblich den Primärenergieeinsatz und ist darüber hinaus recyclebar. Auch das Klima profitiert: Jährlich bindet die Pflanze während ihres Wachstums pro Hektar Anbaufläche 30 Tonnen des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid und spart auch als Wärmedämmung CO₂ ein.

HL-Dämmputz: maximale Schichtstärke von 3 Zentimetern

„Eine nur 3 Zentimeter dicke Schicht aus dem entwickelten Dämmstoff hat bei ersten Messungen bereits hervorragende Dämmwerte gezeigt“, erklärt Pude. Wie stabil die Fasern bleiben, hängt davon ab, wie viel Silizium im Schilf enthalten ist. Der Stoff verbindet sich bei der Mineralisation mit dem Bindemittel. Pude und seine Kollegen erforschen im Vorhaben, wie dieser Vorgang genau abläuft. Sie wollen bis zum Projektende im Jahr 2018 einen Hochleistungs-Dämmputz entwickeln, der nachhaltiger ist als Produkte, die derzeit auf dem Markt sind. Das BMWi fördert das Forschungsprojekt HL-Dämmputz mit rund 2,3 Millionen Euro. Weiterer Projektpartner neben der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn ist das Unternehmen Knauf Gips.



Prof. Ralf Pude (links) und Michael Petry entwickeln gemeinsam einen Hochleistungs-Dämmputz aus nachwachsenden Rohstoffen.



Wärme und Kälte für die Hauptstadt speichern: Modell des Aquifer-Campus der TU Berlin

Auswahl geförderter Projekte

Aquifere für Quartiere

Aquifere sind poröse, tiefe Grundwasserschichten. Sie haben ein erhebliches Potenzial, wenn es darum geht, Wärme und Kälte zu speichern. Denn im Vergleich zu anderen thermischen Speichern ist ihre Speicherkapazität sehr groß. Wenn Aquifere im Erdinneren erschlossen und als Langzeitspeicher genutzt werden, könnten sie künftig zur Wärme- und Kälteversorgung ganzer Stadtquartiere beitragen: Im Sommer werden die Aquifere mit überschüssiger Wärme, etwa aus Solar- oder Blockheizkraftwerken, gespeist. Im Winter werden umliegende Wohnhäuser und andere Gebäude mit der Wärme aus den Aquiferspeichern versorgt. Darüber hinaus versorgt die im Winter in den Erdboden eingelagerte Kälte im Sommer Kühlsysteme. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass bis zu 80 Prozent der gespeicherten Energie auch nach Monaten wieder zutage gefördert werden kann. Das aus dem Aquiferspeicher geförderte Warmwasser kann direkt oder aber geringfügig aufgeheizt für Gebäudeheizungen genutzt werden.

Bisher gibt es in Deutschland drei erschlossene Aquiferspeicher. Das BMWi sieht in der innovativen Technologie einen signifikanten Beitrag zur Wärmewende und fördert das Vorhaben **ATES Berlin** (Aquifer Thermal Energy Storage) mit rund 3,2 Millionen Euro. Im Verbund erforschen das Deutsche GeoForschungsZentrum (GFZ), das Institut für Energietechnik und der Fachbereich Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Berlin sowie die Universität der Künste Berlin (UdK) am Beispiel des Campus TU Berlin/UdK, wie saisonale Speicher in ein Energieversorgungssystem für Stadtquartiere eingebunden werden können. Aktuell werten die Forscher die Daten einer 560 Meter tiefen Bohrung aus, die klären soll, inwiefern der Berliner Untergrund Wärme und Kälte für die Hauptstadt speichern kann.

HIGHLIGHT

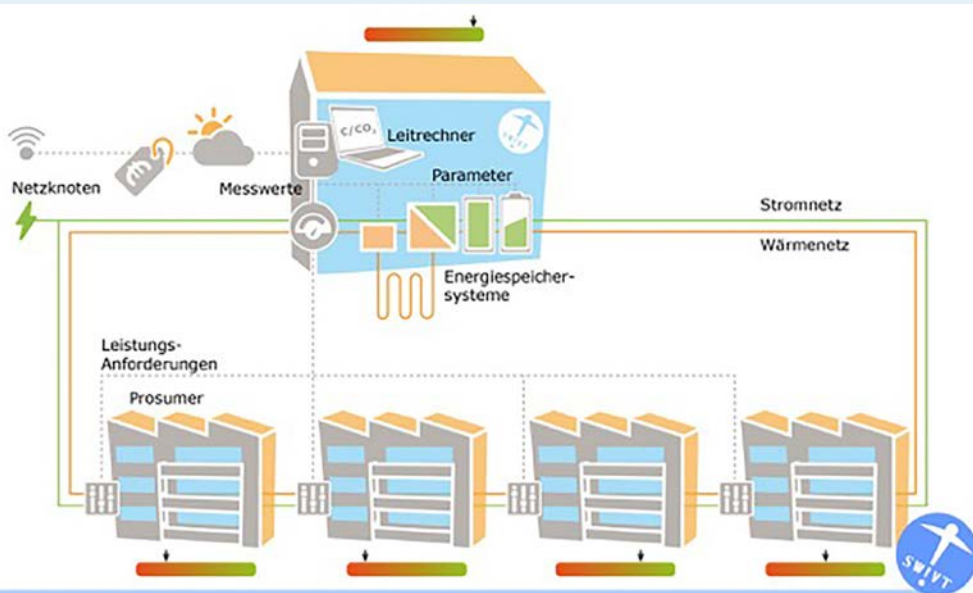
Wohnquartiere energieeffizient sanieren

Auf Basis erneuerbarer Energien Strom und Wärme für ein Wohnquartier erzeugen, speichern und über ein intelligentes Energiemanagementsystem steuern: Sogenannte energiepositive Bausteine verbessern im Forschungsvorhaben SWIVT die Energiebilanz einer bestehenden Siedlung signifikant.

„Jeder einzelne Siedlungsbaustein ist eine Art Generator für eine nachhaltige Quartiersentwicklung und verbessert die Akzeptanz innovativer Technologien wie Energiespeichersystemen“, erklärt Projektkoordinator Prof. Dr.-Ing. Jens Schneider vom Institut für Statik und Konstruktion der Technischen Universität Darmstadt. Im Verbundvorhaben **SWIVT – Siedlungsbausteine für bestehende Wohnquartiere – Impulse zur Vernetzung energieeffizienter Technologien** – analysieren Wissenschaftler umfassend eine bestehende Darmstädter Siedlung aus den 1950er Jahren. Mit den gewonnenen Daten erstellen die Projektpartner Konzepte für das Speichern und Vernetzen thermischer und elektrischer Energie auf Quartiersebene. In der Entwurfsphase sind dabei auch unterschiedliche, in der Förderinitiative EnEff:Stadt entwickelte Planungstools (siehe auch „Im Fokus: Planungswerkzeuge“, Seite 96) mit Echtdateien getestet worden.

Für die Darmstädter Postsiedlung entwickeln die Forscher im Vorhaben ein hybrides Speichersystem: Für die elektrische Speicherung wird ein hochdynamischer kinetischer Energiespeicher mit einer Lithium-Ionen-Batterie verbunden, während für die thermische Speicherung Erdwärmekörper mit einem Phasenwechsel- (PCM-) Speichersystem verwendet werden. „Mit der Kombination elektrischer und thermischer Speicher zu einem hybriden Speichersystem sowie einem übergreifenden, systemischen Energiemanagement verbessert sich die Energiebilanz der Siedlung in einem Schritt bereits erheblich, ohne stärker in den Bestand einzugreifen“, so Schneider.

Rund 40 Prozent des Energieverbrauchs entfallen in Deutschland derzeit auf bestehende öffentliche sowie private Gebäude. Sie stehen für fast 20 Prozent des gesamten CO₂-Ausstoßes. Bisher liegt der Schwerpunkt einer energetischen Sanierung von Quartieren oft in der Verbesserung der Gebäudehülle – das heißt: klassisches Dämmen mit unterschiedlichen Technologien – und in der Einbindung innovativer Einzelkomponenten in das jeweilige Energiesystem. Speichertechnologien



werden besonders im Bereich Strom bisher kaum berücksichtigt; im Bereich Wärme beschränken sich diese zumeist auf kleine Systemlösungen. Ein Energiekonzept mit einem gekoppelten Strom-Wärme-Netz und entsprechend eingebundenen Energiespeichern ist bisher auf Quartiersebene noch nicht umgesetzt. Im Forschungsvorhaben SWIVT stehen neben hochwertigem Wohnraum und einem hybriden Speichersystem insbesondere auch die intelligente Steuerung der Energieflüsse im Fokus. „Das schafft Synergien und macht erhebliche Energieeinsparpotenziale sicht- und nutzbar“, so Schneider.

Die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen der TU Darmstadt, der Universität Stuttgart und das Unternehmen AKASOL gehen davon aus, dass sich mit SWIVT die Energiebilanz der Darmstädter Siedlung im Vergleich zur konventionellen Sanierung um mindestens 30 Prozent, bei gleichzeitig minimalem Sanierungseingriff, verbessert. Sie erforschen mit dem Vorhaben und den Projektpartnern Bauverein und Entega modulare Strategien einer dezentralen Energieerzeugung und -verteilung, die auf andere bestehende Wohnquartiere übertragbar sind. Das BMWi fördert das Forschungsvorhaben SWIVT mit rund 2 Millionen Euro.

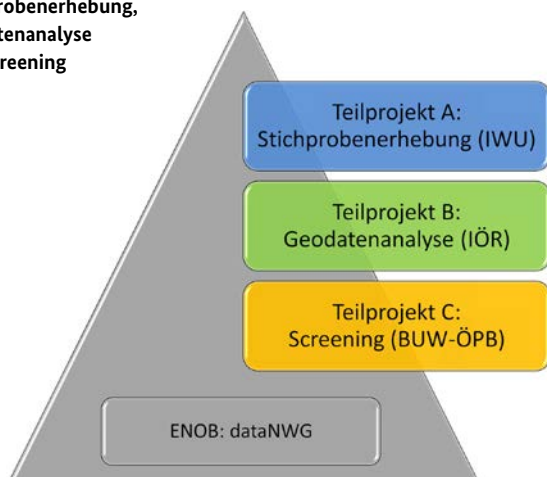
Verbundvorhaben SWIVT: Mit Erzeugung erneuerbarer Energie, Integration hybrider Speichersysteme und einem intelligenten Energiemanagement verbessern Siedlungsbausteine die Energiebilanz der Darmstädter Postsiedlung.

ENOB:dataNWG – Forschungsdatenbank für Nichtwohngebäude

Im Gegensatz zu Wohngebäuden sind Nichtwohngebäude in Deutschland nicht in einer amtlichen Statistik erfasst. Diese Wissenslücke soll das Verbundvorhaben **ENOB: dataNWG** schließen. Das Konsortium aus dem Institut Wohnen und Umwelt (IWU) als Verbundkoordinator, dem Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) und der Bergischen Universität Wuppertal will mit der Forschungsdatenbank statistisch relevante Informationen über die Struktur von Nichtwohngebäuden in Deutschland sowie den energetischen Zustand und dessen Dynamik geben: In welchem Zustand sind die Gebäude und ihre technischen Anlagen? Wie werden sie aktuell genutzt? Um was für Gebäudetypen handelt es sich? Wie groß und wie alt sind sie? Hat sich ihre Struktur in den vergangenen Jahren verändert? Wie hoch ist der Verbrauch an Brennstoffen und elektrischer Energie?

Die Datenbank gibt Aussage über die Raten der Modernisierung und Instandhaltung für Nichtwohngebäude. Damit sollen Szenarien entwickelt werden, wie der Gebäudesektor in Deutschland auf die Klimaschutzziele der Bundesregierung ausgerichtet werden kann. Im Bereich der gewerblichen Immobilienmärkte – vor allem Büro-, Einzelhandels- und Logistikimmobilienmärkte – wird mit Hilfe der Datenbank die Markttransparenz verbessert und es sollen darüber hinaus Rückschlüsse auf die Motivation der Akteure bei Investitionsentscheidungen gezogen werden. Die Wissenschaftler kombinieren in ENOB:dataNWG klassische Methoden der Stichprobenerhebung mit neuen Möglichkeiten

Projektpyramide dataNWG:
Stichprobenerhebung,
Geodatenanalyse
und Screening



HIGHLIGHT

Wie lange lebt ein Solarkollektor?

Egal, ob auf dem Berg, am Meer oder in der Wüste: Solarkollektoren sind extremen klimatischen Bedingungen ausgesetzt. Wie zuverlässig sind diese solarthermischen Anlagen? In SpeedColl2 erforschen Wissenschaftler die Gebrauchsdauer von Solarkollektoren und deren Komponenten und untersuchen, wie diese verbessert werden kann.

An verschiedenen Extremstandorten und im Labor haben das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und das Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart gemeinsam mit 14 Industriepartnern im Verbundvorhaben **SpeedColl**

Selbst auf der Zugspitze in den deutschen Alpen halten die solarthermischen Kollektoren Wind, Wetter und hohen Temperaturwechseln stand.



von 2011 bis 2015 getestet, wie beständig solarthermische Kollektoren gegen Feuchtigkeit, UV-Strahlung, Temperatur- und Salzkonzentrationen sind. „Frühzeitig Forschung und Entwicklung zu betreiben, deren Ergebnisse die Alterungsbeständigkeit von Solarkollektoren und Komponenten sicherstellt, ist der Branche ein wichtiges Anliegen, bei dem wir sie unterstützen können“, erklärt Karl-Anders Weiß vom Fraunhofer ISE und Projektleiter von SpeedColl und SpeedColl2.

Im Basisvorhaben SpeedColl haben die Forscher Solarkollektoren unterschiedlicher Hersteller Freibewitterungstests unterzogen und diese im Labor abgebildet (siehe Bericht „Innovation durch Forschung“ 2014, Seite 101). Dabei hat sich gezeigt, dass die solarthermischen Kollektoren aus dem Premiumsegment hoch belastbar und langlebig sind. **SpeedColl2** ergänzt und

vervollständigt die Forschung und wertet die meteorologischen und materialspezifischen Daten aus, um aussagekräftige Prüfverfahren und Modelle für die Lebensdauer und Nachhaltigkeit der Solarkollektoren in verschiedenen klimatischen Regionen zu entwickeln.

So können die solarthermischen Anlagen frühzeitig auf ihre Eignung, etwa am Äquator oder auf der Zugspitze, getestet werden. „Die geplanten Untersuchungen formen die Basis für die Entwicklung mathematischer Modelle für standortspezifische Gebrauchsdauer-Abschätzungs-Verfahren“, erklärt Weiß. „Sie sind der erste Schritt, um belegbare Aussagen über die Lebensdauer treffen zu können sowie maßgeschneiderte und kosteneffiziente Produkte für den jeweiligen Zielmarkt zu entwerfen.“

Um die Gebrauchsdauer von Solarkollektoren zu erforschen, untersuchen die Wissenschaftler zunächst das Mikroklima in den Kollektoren: Welchen Zusammenhang gibt es zwischen Staubtransport in der Luft und Materialabtrag? Speichert die Wärmedämmung des Kollektors Feuchte? Wird Feuchte durch Klebe- und Dichtstoffe transportiert? Wie ist die Wechselwirkung von abrasiven und korrosiven Belastungen auf Oberflächen? Welchen Einfluss hat der Aufbau des Kollektors auf die im Kollektor auftretenden Luftströmungen und den Luftaustausch mit der Umgebung? „Erst wenn wir diese Forschungsfragen beantworten, können wir die Zusammenhänge zwischen Umgebungsklima und Mikroklima im und am Kollektor verstehen“, sagt Karl-Anders Weiß. Diese Relationen geben den Forschern dann eine fundierte physikalisch-chemische Basis, um die mathematischen Modelle für ein aussagekräftiges Gebrauchsdauer-Abschätzungs-Verfahren zu entwickeln. Weiter untersucht SpeedColl2 den ökologischen Fußabdruck der Solarkollektoren. Hierfür entwerfen die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen ein auf die Solarthermie angepasstes Bewertungsschema, das die spezifische Lebensdauer der einzelnen Anlagen einbezieht. Das BMWi fördert das Verbundvorhaben SpeedColl2 mit rund 1,7 Millionen Euro.



ETFE-Folien für das Raubtierhaus im Münchner Zoo



der Geoinformatik, wie zum Beispiel den amtlichen Hausumringen (HU-DE) oder den amtlichen 3D-Gebäudemodellen (LoD1-DE). Daraus eröffnet sich die Möglichkeit, den Sektor der Nichtwohngebäude künftig mit Hilfe einer repräsentativen Stichprobe belastbar und kostengünstig zu erforschen. Das BMWi fördert das Vorhaben innerhalb der Förderinitiative Energieoptimiertes Bauen mit insgesamt rund 3,2 Millionen Euro.

Follow-e – energieeffiziente Folienarchitektur

Bauen mit Folienkonstruktionen ist ein Zukunftsmarkt. Denn sie sind eine wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Dachkonstruktionen, wenn es um die freitragende Überspannung großer Flächen geht. Transparente Membranflächen reduzieren dabei das Eigengewicht von Außenhaut und Tragsystem eines Gebäudes auf ein Minimum.

Vor allem der Fluorpolymer-Werkstoff Ethylen-Tetrafluoräthylen, kurz ETFE genannt, hat sich in der Membran- und Leichtbauweise als geeignet erwiesen. Die Verbindung der biegeweichen und strapazierfähigen ETFE-Membranen mit Tragstrukturen – zumeist aus Stahl und Stahlseilen – erlaubt der Folienarchitektur spektakuläre Konstruktionen. Das extrem geringe Eigengewicht, die hohe Licht- und UV-Durchlässigkeit, die hohe chemische Beständigkeit gegenüber Säuren und Laugen, die relativ lange Nutzungsdauer und die nahezu vollständige Recyclebarkeit machen die Fluorpolymerfolie zu einem wirtschaftlichen und ressourcenschonenden Baustoff. Im Forschungsvorhaben **Follow-e** haben Wissenschaftler der ROWO Coating Gesellschaft für Beschichtung, der Dunmore Europe, der TRUMPF Hüttlinger und des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE transparente low-e-Beschichtungen (low-emissivity =

niedrige Wärmeabstrahlung) mit dazugehöriger Schutzlackierung auf ETFE-Polymermaterialien erforscht: Eine hauchdünne, durchsichtige Aluminiumschicht wird mit Hilfe eines industriellen Beschichtungsverfahrens auf die ETFE-Folie aufgebracht und reduziert den Emissionsgrad. Sie dient als Wärme- und Sonnenschutzschicht und verbessert die Strahlungs- und Wärmebilanz in der Praxis.

Das BMWi hat das Vorhaben Follow-e mit rund 1,3 Millionen Euro gefördert und wird die Forschung und Entwicklung energiesparender Beschichtungen im Gebäudebereich in Zukunft mit weiteren Fördermitteln unterstützen.

Energieeffiziente Schule in Rostock Reutershagen

Innovative technische Lösungen auf Basis erneuerbarer Energien übernehmen seit November 2015 die Energieversorgung der **Plus-Energie-Schule in Rostock Reutershagen**. Die über den Eigenbedarf der Schule hinaus produzierte Energie wird in das Netz der Stadt eingespeist. Kombiniert mit hohen Dämmstandards und einer umfassenden Gebäudeleitetchnik können Energiekosten reduziert und CO₂-Emissionen gesenkt werden.

In enger Zusammenarbeit mit der wissenschaftlichen Begleitforschung ist das Energiekonzept vom Spatenstich im Jahr 2007 bis in die Gegenwart weiterentwickelt und optimiert worden: Die Wärmeversorgung der Schule läuft über Fernwärme, die Stromversorgung über gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen; zusätzlich sind zwei Kleinwindkraftanlagen vorgesehen.



Demonstrationsbauvorhaben
EnEff:Schule: Plus-Energie-Schule
in Rostock Reutershagen

Das dreigeschossige Bestandsgebäude des Gymnasiums ist durch eine vorgesetzte Holzverkleidung energetisch saniert, der ehemalige Flur um eine unbeheizte Zwischenklimazone erweitert – er verbindet den Altbau mit dem Neubau. An der Kopfseite des Gymnasiums sind weiter ein dreigeschossiges Foyer und eine Grundschule errichtet worden. Die aufwändig konzipierte Gebäudeleittechnik steuert die Beleuchtung, Lüftung und Wärmeversorgung.

In einem wissenschaftlichen Begleitmonitoring soll nun die Nachhaltigkeit des Projektes getestet und untersucht werden, ob sich die Ergebnisse aus dieser speziellen Bauweise der Schule auch auf größere öffentliche Gebäude übertragen lassen. Das BMWi fördert die energieeffiziente Schule der Zukunft in Rostock Reutershagen mit rund 4,8 Millionen Euro in der Forschungsinitiative EnOB-Energieoptimiertes Bauen. Projektpartner der Plus-Energie-Schule in Rostock Reutershagen sind die Hansestadt Rostock, Eigenbetrieb KOE Rostock und die Hochschule Wismar.

ResoField – Wie der Supermarkt in Zukunft Lebensmittel energieeffizient kühlt

Die meisten Kältemaschinen werden durch elektrischen Strom angetrieben, aber auch thermische und mechanische Antriebe sind möglich: In der Praxis hat sich die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) bewährt, bei der die Wärme einer Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) eine Kältemaschine antreibt. Wärmequellen sind dabei Fernwärmenetze, Gasturbinen oder Blockheizkraftwerke (BHKW). Im Forschungsvorhaben **ResoField** binden Wissenschaftler der Technischen Universität Dresden gemeinsam mit Edeka und Resotec eine im Vorgängervorhaben **ResoFreeze** entwickelte und

jetzt umgerüstete Resorptionskälteanlage mit BHKW und Eisspeicher in die Energieversorgungskette eines Supermarkts ein. Unter Realbedingungen wollen sie das Energieeinsparpotenzial einer neuen KWKK-Anlagengeneration untersuchen. In der Demonstrationsanlage können Strom und Kältebedarf mit einem Eisspeicher voneinander entkoppelt werden. Das steigert die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit des gesamten Versorgungssystems. Bei vergleichsweise niedrigen Außentemperaturen in der Nacht und damit günstigen Bedingungen wird so Kälte erzeugt und im Eisspeicher gepuffert. Die gespeicherte Kälte kann dann zusätzlich zur Kälteleistung der Resorptionsanlage zum Kühlen der Lebensmittel bei hohem Kältebedarf genutzt werden. Um eine Unterversorgung auszuschließen, integrieren die Wissenschaftler im System eine redundante Kompressionskälteanlage. Weiter setzen sie im Gegensatz zu konventionellen Anlagen ein speziell umgerüstetes BHKW mit erhöhten Kühlwassertemperaturen ein, um einen möglichst großen Bereich des Kältebedarfs abzudecken. Das Motorkühlwasser des BHKW wird zur Wärmeversorgung und damit als Antriebsenergie für die Resorptionskälteanlage genutzt. Wenn ein höheres Temperaturniveau für die Versorgung der Resorptionskälteanlage zur Verfügung steht, kann die Anlage auch bei höheren Umgebungstemperaturen noch effizient betrieben werden. Für die technischen Herausforderungen, die an die automatisierte Resorptionskälteanlage gestellt werden, entwickelt das Forscherteam eine neuartige integrative Steuerung. Diese wird in die bisherige Mess-Steuer-Regelungstechnik (MSR) und das Monitoring-Konzept des Supermarkts integriert und über zuvor definierte Schnittstellen mit einer übergeordneten Steuerung kommuniziert. Das BMWi fördert das Vorhaben ResoField mit rund 800.000 Euro.

Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen



Branchen wie Maschinenbau, Fahrzeugbau, Elektrotechnik, Baustoffe, Chemie, Glas, Papier oder etwa Eisen und Stahl gehören zu den großen industriellen Energieverbrauchern in Deutschland. Hierauf entfällt rund ein Drittel der insgesamt in Deutschland verbrauchten Energie. Das BMWi fördert die intensive Erforschung neuer sowie die Weiterentwicklung noch nicht am Markt etablierter energieeffizienter Technologien in diesem Bereich.

Etwa 44 Prozent der in Deutschland verbrauchten Endenergie entfallen auf die Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Rund zwei Drittel dieser Endenergie werden hier in Form von Wärme benötigt. Mechanische Energie, etwa zum Betrieb von Motoren oder Maschinen, sorgt für circa ein Viertel des Verbrauchs; Raumwärme hat nur einen kleinen Anteil. Wichtigster Energieträger der Industrie ist Gas mit einem Anteil von gut 27 Prozent, vor Strom mit 21 Prozent und Mineralöl mit 20 Prozent. Erneuerbare Energien spielen nach Angaben des Bundesamts für Statistik mit etwa 3 Prozent bisher nur eine untergeordnete Rolle.

Um den Primärenergieverbrauch bis 2020 um 20 Prozent und im Jahr 2050 um 50 Prozent im Vergleich zum Jahr 2008 zu senken, müssen jedoch ungenutzte Potenziale in Industrie und Gewerbe identifiziert, bemessen sowie

energieeffiziente Technologien entwickelt werden. Denn Energieeffizienz und die intensivere Nutzung von erneuerbaren Energien nimmt für den Industriesektor eine Schlüsselrolle bei der Energiewende ein.

Unternehmen, die keine Energie einsparen oder keine energieeffizienten Produkte, Dienstleistungen und Verfahren anbieten, werden es künftig auf dem Markt schwerer haben, sich zu behaupten. Dabei sind die Einsparpotenziale der unterschiedlichen Branchen weit gefächert und reichen von der Optimierung eines Antriebs, Motors oder einer Pumpe über einen neu gestalteten mechanischen und thermischen Verarbeitungsschritt bis zu völlig neu entwickelten Produktionsprozessen. Das BMWi fördert die Forschung und Entwicklung energieeffizienter und ressourcenschonender Technologien in der Breite des Industriesektors und stärkt damit die Position der deutschen Industrie im internationalen Wettbewerb.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Die Entwicklungen zur energetischen Optimierung einzelner Maschinen sind mittlerweile an vielen Stellen nahezu ausgereizt. Deshalb stehen nun auch gesamte Prozessketten in Herstellungsverfahren und das energetische Zusammenspiel vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt im Fokus der Forschungsförderung. Exemplarisch für die Aktivitäten im neuen **Forschungsfeld Fertigungstechnik** ist im März 2016 an der Technischen Universität in Darmstadt die **ETA-Fabrik** eröffnet worden. Das vom BMWi mit rund 8 Millionen Euro geförderte Demonstrationsvorhaben zeigt am Beispiel einer für die metallverarbeitende Industrie typischen Fertigungskette, wie der Primärenergiebedarf reduziert werden kann: Das Gesamtsystem Fabrik funktioniert dabei wie ein Organismus. Alle Aggregate und selbst die Fabrikhalle als Gebäudehülle sind in Energienetzen zusammengeschlossen. So wird zum Beispiel die Abwärme des Härteofens über Wärmepumpen in die Wärmeleitungen eingespeist und kann an anderer Stelle zur Erwärmung des Reinigungsbad genutzt werden. Elektrische Schwungmassenspeicher federn Stromspitzen ab. Über Wärmetauscher, thermische Speicher und Absorptionskältemaschinen wird das Wärmenetz auch durch dünne Röhren in der Betonfassade geführt – Halle und Büroräume können so im Sommer energiesparend gekühlt und im Winter angenehm geheizt werden. Die Wissenschaftler gehen davon aus, dass in der ETA-Fabrik durch das optimale Zusammenwirken bisher unabhängig betrachteter Bereiche bis zu 40 Prozent an Primärenergie eingespart werden können.

Bisher geht ein hoher Teil der eingesetzten Primärenergie in vielen industriellen Prozessen als Abwärme verloren. Im **Forschungsfeld Abwärmenutzung** untersuchen und bewerten Wissenschaftler dieses bislang ungenutzte Potenzial im auf drei Jahre angelegten Forschungsprojekt **Abwärmeatlas**. Sie stellen zusammen, wo und wie viel Abwärme es in Deutschland gibt. Im nächsten Schritt können dann Konzepte entwickelt werden, um diese Einsparpotenziale zu nutzen (siehe Seite 117). Aus industrieller Abwärme lässt sich mit Hilfe thermoelektrischer Generatoren (TEG) zum Beispiel höherwertige elektrische Energie gewinnen. Schon kleine Temperaturdifferenzen genügen, damit TEG emissions- und geräuschlos elektrischen Strom erzeugen können. Die industrielle Verbreitung dieser Technologie scheiterte bislang jedoch an der aufwändigen und teuren Modulherstellung. Im Verbundvorhaben **Highly efficient manufacturing of ThermoElektric Generators**, kurz **High-TEG**, haben Forscher aus Forschungseinrichtungen

und Industrie daran gearbeitet, leistungsfähige und haltbare TEG günstig herzustellen und für den Massenmarkt vorzubereiten. In Kooperation mit dem Forschungsprojekt **ThermoHEUSLER** sind Materialien entwickelt worden, die sehr gute Effizienzwerte erreichen und in technisch relevanten Mengen hergestellt werden können. Die Herstellungskosten für diese TEG könnten mit dem entwickelten vollautomatischen Verfahren um 70 Prozent reduziert werden, sodass ein breiter Einsatz – zum Beispiel um den Kraftstoffverbrauch in Fahrzeugen zu senken – wirtschaftlich wird. Das BMWi-geförderte Forschungsvorhaben **High-TEG** ist dafür im November 2016 mit dem Deutschen Nachhaltigkeitspreis ausgezeichnet worden.

Ein weiterer Preisträger in 2016 ist das mit rund 5,9 Millionen Euro geförderte Forschungsvorhaben **AmpaCity**, das den Deutschen Innovationspreis für Klima und Umwelt für die weltweit längste Strecke eines Hochtemperatur-Supraleiterkabels bekommen hat. In Essen transportiert das 1.000 Meter lange supraleitende Kabel mit 40 Megawatt nahezu ohne Verlust fünf Mal so viel Strom wie herkömmliche Kabel. Während Leitermaterialien wie Kupfer oder Aluminium einen Teil des Stroms in Wärme umwandeln, arbeitet das Supraleiterkabel praktisch ohne Übertragungsverluste. Denn es nutzt die Eigenschaften spezieller keramischer Materialien, deren spezifischer elektrischer Widerstand unterhalb einer bestimmten Temperatur verschwindet. 30 Jahre nach der Erfindung von Hochtemperatursupraleitern ist im Rahmen des **Forschungsfelds Hochtemperatursupraleitung** 2016 auch eine Pilotproduktion dieser innovativen Technologie im rheinischen Rheinbach gestartet. Sie soll weitere Erkenntnisse zur Herstellung der nahezu idealen Leiter liefern, um eine großtechnische Serienproduktion zu ermöglichen. Supraleiter können sowohl in der Energietechnik, bei speziellen Industrieanwendungen als auch im Netzschutz vielfältig verwendet werden und schaffen die Möglichkeit, die Effizienz des gesamten Energiesystems zu erhöhen (siehe auch „**3S-SupraStromSchiene**“, Seite 121). Die Pilotproduktion ist ein weiterer wichtiger Schritt in Richtung Marktreife und ein elementarer Baustein für den Erfolg der Energiewende in Deutschland.

Für eine industrielle, rationelle Energieverwendung gelten insbesondere Querschnittstechnologien als erfolgversprechende Ansatzpunkte. Hierzu zählt neben der Abwärmenutzung aus Thermoprozessen (siehe auch „Im Fokus: Thermoprozessanlagen“, Seite 112), dem Einsatz solarer Prozesswärme und innovativer Mess-, Steuer- und Regelungstechnologien bis hin zur

Fortsetzung Seite 113

ohne Verluste in der Qualität des Produkts. Dieses Forschungsvorhaben wird vom BMWi mit rund 1,3 Millionen Euro gefördert.

In Zusammenarbeit mit dem Projekt **KIPro** der Universität Bremen werden für **ErProPlus** unterschiedliche Lösungskomponenten entwickelt und in der industriellen Anwendung in zwei verschiedenen Produktionsumgebungen getestet. KIPro untersucht, wie die Energieeffizienz in Industrieanlagen mit einem KI-unterstützten IT-System verbessert werden kann. Die Benutzeroberfläche der KI-Software und der Aufbau der nötigen MSR-Technologie sollen möglichst einfach sein. So wollen die Wissenschaftler eine wirtschaftliche und praktikable Adaptierbarkeit der KI in unterschiedlichsten Unternehmen schaffen und den Energieverbrauch einzelnen Teilschritten der Produktion zuordnen. Erweiterte Energiemanagementsysteme erfassen diese Energiedaten, verknüpfen sie mit der aktuellen Produktionssituation und ermitteln Kennzahlen zur Bewertung der Prozessgüte. Die Forscher der Universität Bremen nutzen im Vorhaben dieses aufbereitete Wissen und bieten den Produktionsmitarbeitern gezielt Entscheidungshilfen für die Wahl der optimalen Prozessparameter einer energieeffizienten Produktion an. Das Vorhaben Fu²-Experte hat zum Beispiel gezeigt, dass sich durch den Einsatz von KI Futtermittel bestimmter Rezepturen bis zu 20 Prozent energieeffizienter herstellen lassen.

KIPro, gefördert mit rund 1,4 Millionen Euro, erfasst neben der Verarbeitung von Kartoffeln zu Tiefkühlprodukten und der Mischfutterproduktion auch die Daten des Forschungsvorhabens **vKBP** – Energieeffizienzerhöhung vollautomatischer Kanalbällenpressen durch intelligente Stoffdatenerfassung. Hier geht es darum, in einem Betrieb der Abfallbranche das Transportvolumen recyclingfähiger Stoffe wie Papier, Karton oder Kunststoffe möglichst energieeffizient zu verringern und ein Produkt in Form eines maßgetreuen und optimal dichten Ballens zu erhalten. Projektpartner des mit rund 1,5 Millionen Euro geförderten Vorhabens ist Sutco Recycling Technik. Die Wissenschaftler wollen die Energieeffizienz mit einer auf KI basierten Materialerkennung steigern und die Prozesssteuerung an die sich ständig wechselnden Input-Parameter anpassen. Das sichert eine gleichbleibende Qualität des Endproduktes und vermeidet zusätzliche Transportfahrten.

Der Einsatz künstlicher Intelligenz in der Produktion reduziert den Energieverbrauch, schont Ressourcen und unterstützt wesentlich die Ziele des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung für den Bereich der Industrie. Das BMWi schafft mit Forschung und Entwicklung künstlicher Intelligenz in der Produktion einen wichtigen Baustein für die Anwendung dieser Modelle in der Praxis.



IM FOKUS: THERMOPROZESSANLAGEN

Aluminium effizienter schmelzen

Die Metallerzeugung gehört zu den größten Energieverbrauchern der Wirtschaft. Im Bereich der Aluminiumschmelzprozesse ist der Energieaufwand sehr hoch. Die Kosten für Energie übertreffen die Kosten für Schmelzöfen innerhalb eines Jahres oft um ein Mehrfaches. Die Aluminiumschmelzöfen der nächsten Generation müssen sich durch geringere CO₂-Emissionen und einen verminderten Materialverlust auszeichnen, meint Professor Dr. Hubertus Semrau, geschäftsführender Gesellschafter des Aluminiumschmelzofenbauers ZPF.

Welche Anforderungen haben Sie für Aluminiumschmelzöfen an Forschung und Entwicklung?

Um Aluminium zu schmelzen, sind Temperaturen bis zu 1.050 Grad Celsius nötig. Das Ofensystem muss dabei so abgedichtet sein, dass über keine Leckage unkontrolliert Sauerstoff eintritt. Wenn Dichtungen oder Deckel aber undicht sind, oxidiert Aluminium zu Korund. Das ist nach dem Diamanten der zweithärteste Werkstoff der Welt. Wenn Sie sich einen ausbetonierten Ofen vorstellen, dann kann das sogar so weit gehen, dass der Stahl und die Schweißnähte außen reißen. Diese Defizite müssen rechtzeitig erkannt und behoben werden, damit der Korund den Ofen nicht auseinanderdrückt. Eine verbesserte Führung der Prozessparameter – wie zum Beispiel Temperatur oder Sauerstoffgehalt – minimiert in neuen Ofensystemen die Korundbildung und verbessert die Effizienz. Mit neuer Ofentechnik und -geometrie lassen sich etwa 15 Prozent Energie einsparen. Diese Ziele gehen einher mit dem Wunsch eines einfachen Handlings und eines möglichst geringen Gasverbrauchs.

Welchen Einfluss hat Abbrand auf die Effizienz des Ofens?

Oxidation, Temperatur- oder auch die Flammenführung des Brenners stehen im direkten Zusammenhang mit dem Abbrand eines Ofensystems. Material geht verloren und damit auch Produktionserlös: Wenn ich bei 1 Tonne Aluminiumschmelze 5 Prozent Abbrand habe, dann verliere ich pro Betriebsstunde 50 Kilogramm Material. Das heißt an einem Tag geht über eine Tonne Material pro Ofen verloren und die kostet aktuell über 1.600 Euro.



Professor Dr. Hubertus Semrau ist geschäftsführender Gesellschafter des Aluminiumschmelzofenbauers ZPF.

Welche Ergebnisse hat ZPF in Forschung und Entwicklung schon erzielt?

Aluminiumschmelzöfen der nächsten Generation müssen sich durch geringere CO₂-Emissionen und einen verminderten Materialverlust (Abbrand) auszeichnen. Im Forschungsvorhaben EDUSAL I und II – Energieeffizienzsteigerung und Schmelzprozessoptimierung durch die sensorische Erfassung des Schmelzgutes und des Schmelzbereiches von Aluminiumschmelzöfen – hat die ZPF gemeinsam mit weiteren Partnern unter anderem den Abbrand verschiedener Aluminiumlegierungen im Ofensystem untersucht. Mit Hilfe der Ergebnisse kann ein optimales Schmelz- und Ofenregime gasbeheizter Industrieschmelzöfen realisiert werden. Der Fokus im Vorhaben lag hier vor allem auch auf der Entwicklung eines schwenkbaren Brennersystems, das optimal auf das Schmelzgut ausgerichtet werden kann.

Warum kann ein schwenkbares Brennersystem im Aluminiumschmelzofen die Energieeffizienz steigern?

Verglichen mit einer statischen Position des Brenners kann bei einem beweglichen Brenner von einer starken Steigerung der Schmelzleistung ausgegangen werden. Um die Position und die Menge des Schmelzgutes auf der Schmelzbrücke zu erfassen, kommt ein optisches Messsystem zum Einsatz. Diese Sensorik liefert die entsprechenden Informationen an die Steuerung der Ofenanlage. In der Steuerung werden die Daten umgesetzt, und der Brenner wird richtungs- und leistungsmäßig



Blick in einen Aluminiumschmelzofen

auf das Schmelzgut ausgerichtet. Dadurch verkürzt sich die Schmelzzeit und die Energieeffizienz des Ofens wird verbessert.

Das heißt mit EDUSAL gibt es jetzt auch Daten, die Informationen über den Aluminiumschmelzprozess und den Zustand des Schmelzgutes liefern. Liegt hier die Zukunft der Schmelzanlagen?

Das ist richtig. Mit den Ergebnissen aus Edusal lassen sich der Schmelzprozess und der Zustand des Schmelzguts auf der Brücke überwachen und auswerten. Künftig müssen die Ofensysteme noch autarker werden, wenn es darum geht, die Anlagen energie- und kosteneffizienter zu gestalten. Jetzige Verbräuche von circa 65 Kubikmeter Gas pro eingeschmolzene Tonne Aluminium sind noch zu hoch. Mit Forschung und Entwicklung haben wir die Möglichkeit, einen Datenpool aufzubauen, der als Grundlage für weitere, notwendige Forschungsaktivitäten dient. Die Öfen sind sensorisch längst noch nicht so erfasst, dass wir jeden prozessrelevanten Parameter optimal steuern können. Künstliche Intelligenz (siehe auch „Im Fokus: Künstliche Intelligenz“, S. 110) ist bei der großen anfallenden Datenmenge auch hier das Stichwort für die Forschung. Darüber hinaus stehen natürlich alle anderen Dinge, wie feuerfeste Materialien, Ofengeometrien und Brennertechnik, laufend auf dem Prüfstand.

Das Interview führte Annika Zeitler, Wissenschaftsjournalistin beim Projekträger Jülich.

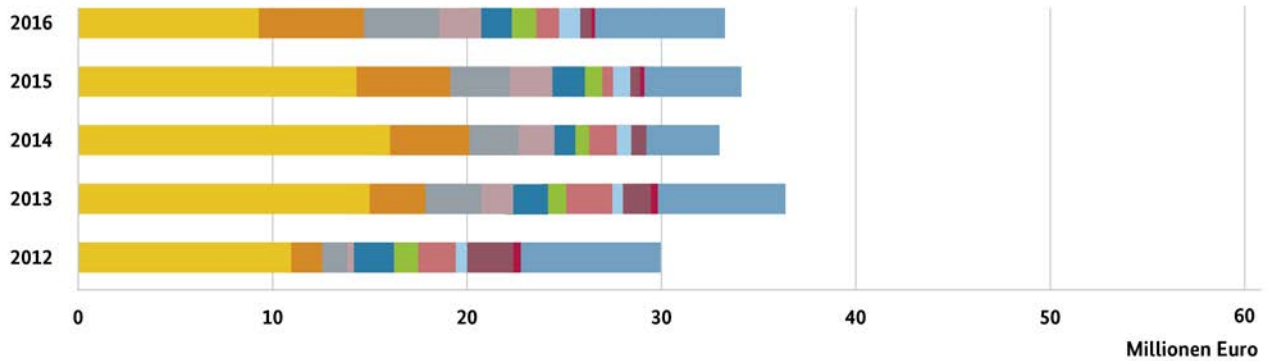
Künstlichen Intelligenz (siehe auch „Im Fokus: Künstliche Intelligenz“, Seite 110) auch die Prozessbeschleunigung, etwa in der chemischen Industrie. Im Forschungsvorhaben **MiMEP** entwickeln Wissenschaftler zum Beispiel ein Mikro-Massenspektrometer, mit dem die Zusammensetzung eines Produkts im Produktionsstrom direkt und ohne Zeitverlust analysiert und optimal geregelt werden kann (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 115).

Strategie der Forschungsförderung

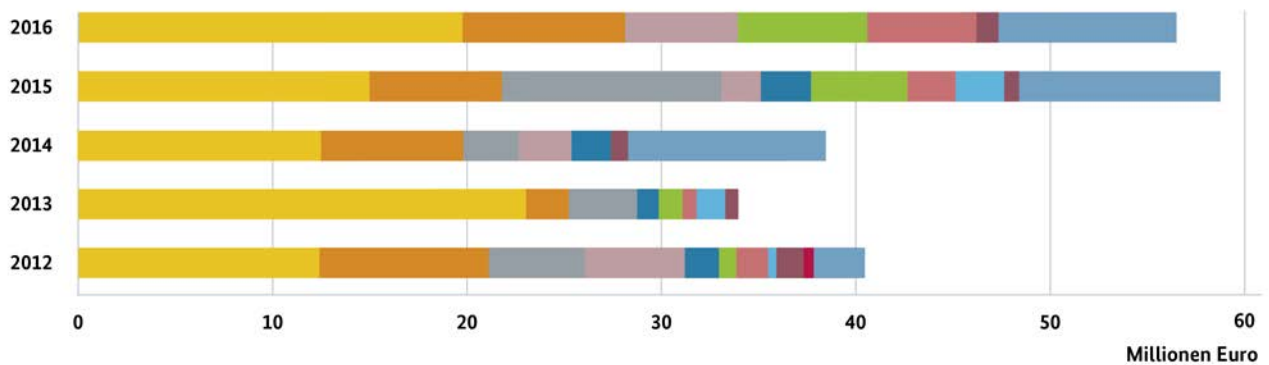
Die Energieforschung im Forschungsgebiet Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen zeichnet sich durch eine breite thematische sowie technologische Vielfalt aus. Um hier gezielte Forschung und Entwicklung zu ermöglichen und Fördermaßnahmen effizient zu halten, hat das BMWi 2016 die Forschungsfelder Industrie und Gewerbe etabliert und als Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe in seine strategische Vernetzung integriert: Forschungsfeld chemische Verfahrenstechnik, Forschungsfeld Hochtemperatursupraleitung, Forschungsfeld Tribologie, Forschungsfeld Fertigungstechnik, Forschungsfeld Abwärmenutzung, Forschungsfeld Gas- und Industriemotoren, Forschungsfeld Eisen und Stahl. In diesen themenspezifischen Forschungsfeldern werden strategische Schlüsselthemen des Forschungsbereichs Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen künftig gebündelt, die langfristig wichtige Synergien schaffen. Als Schnittstelle zwischen Forschung, Politik und Praxis ermöglichen die Forschungsfelder den themenspezifischen wissenschaftlichen Austausch, langfristige Forschungsk Kooperationen sowie programmatische Weiterentwicklungen. Gleichberechtigt tritt die Förderung von Einzelthemen hinzu.

Die Projektförderung des BMWi im Bereich Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen hat sich im Jahr 2016 auf rund 33,4 Millionen Euro für 378 laufende Projekte (2015: rund 34,1 Millionen Euro für 339 laufende Projekte) belaufen. Neu bewilligt sind 115 Projekte mit insgesamt rund 56,6 Millionen Euro Fördersumme (2015: 115 Projekte mit rund 58,5 Millionen Euro).

**Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen:
Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016**



**Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen:
Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012**



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

HIGHLIGHT

Mikro-Massenspektrometer für energieeffiziente Prozesse in der Chemie

Im Forschungsvorhaben MiMEP forschen Wissenschaftler an einem Mikro-Massenspektrometer, das direkt in den chemischen Prozess eingebunden werden soll. Mit ihm kann die Zusammensetzung des Produkts in kürzester Zeit analysiert und optimal geregelt werden. So lassen sich in den energieintensiven chemischen Prozessen bis zu 25 Prozent Energie einsparen.

„Mit der Analysetechnik eines Mikro-Massenspektrometers ist es möglich, direkt und ohne Zeitverlust auf die Qualität eines Produkts zu schließen, sodass der Prozess in Abhängigkeit von der Produktqualität geregelt werden kann“, sagt Projektkoordinator Winfred Kuipers von KROHNE. In chemisch-verfahrenstechnischen Produktionsanlagen werden die qualitätsrelevanten Größen eines Produkts häufig anhand von Proben abseits der Anlage in einem Labor bestimmt. Diese Arbeitsabläufe sind zeitaufwändig. Der Prozess wird über nicht-stoffeigenschaftenbezogene Messgrößen wie zum Beispiel Temperatur oder Druck geregelt.

„Wir wollen ein kostengünstiges, robustes und wartungsarmes Mikro-Massenspektrometer entwickeln, das Prozesse kontinuierlich und mit hoher Genauigkeit überwacht“, so Kuipers. So könne das Potenzial der Massenspektrometrie optimal ausgeschöpft werden. Die Forscher des Konsortiums gehen davon aus, dass Messergebnisse bzw. Prozessdaten mit dem Mikro-Massenspektrometer innerhalb von 30 Sekunden vorliegen, einschließlich Entnahme und Aufbereitung einer Probe. Das funktioniert voll automatisiert, genauso wie die Messung, Inter-

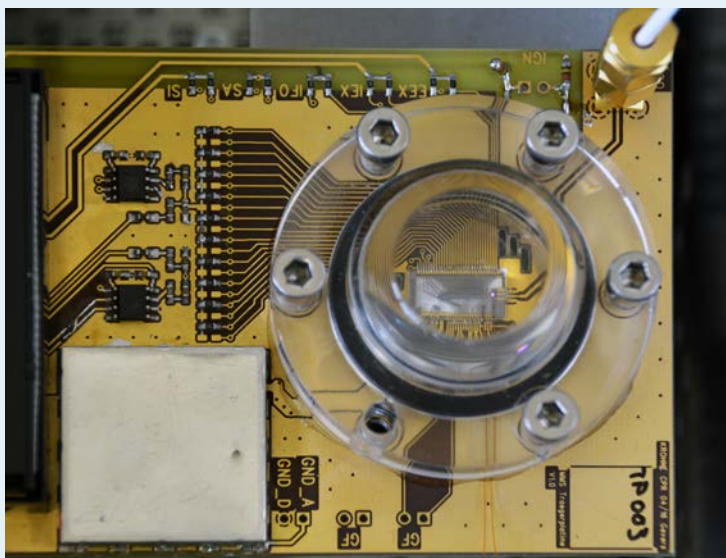
pretation und Rückmeldung der Werte an den laufenden Prozess. Diese prozessnahe Onlineanalytik schafft die Basis, um Prozesse über stoffeigenschaftenbezogene Messgrößen optimal zu regeln.

Herausforderung ist, ein Mikro-Massenspektrometer zu entwickeln, das für verschiedene Prozesse genutzt und damit möglichst universell eingesetzt werden kann. Mit den entsprechenden Messdaten können dann verschiedenste energieintensive chemische Prozesse sehr nah an der Spezifikationsgrenze und damit energieoptimal gefahren werden.

Ein herkömmliches Prozess-Massenspektrometer ist in seiner Größe vergleichbar mit einem kleinen Kühlschrank: „Wir sind in der Lage, das ganze System in einem Schuhkarton zu verpacken, in dem auch der Mikro-Sensor ist“, erklärt Kuipers. Der winzige Chip ist fingernagelgroß und Herzstück des Mikro-Massenspektrometers. Hier ist die Probengasionisation mit Hilfe eines Mikro-Plasmas über die Massentrennung bis hin zu der Ionenstrommessung integriert. Die Anforderungen an die Leistungen des Mikro-Chips sind hoch. Existierende Chips altern im Betrieb sehr schnell, sodass die Langzeitstabilität weiter erhöht werden muss. Im Vorhaben wollen die Wissenschaftler einen Chip-Träger entwickeln, der einfach und kostengünstig auszuwechseln ist – so wie zum Beispiel die Patrone eines Druckers einmal im halben Jahr gewechselt wird. Die elektronische Messtechnik des Chips muss extrem schnell und rauscharm sein, um die Stoffe genau messen zu können.

„Weiter wollen wir die Auflösung verbessern, um nah beieinanderliegende Massen unterscheiden zu können“, so Kuipers zum aktuellen Stand der Chip-Fertigung.

Neben KROHNE sind BASF, Bayer und die Ruhr-Universität Bochum weitere Partner im Forschungsprojekt MiMEP. Das BMWi unterstützt die Entwicklung des Mikro-Massenspektrometers für die chemische Prozessindustrie mit rund 2,7 Millionen Euro.



Dieser Chip ist das Herzstück des Mikro-Massenspektrometers.

HIGHLIGHT

Wie Wasser künftig energieeffizient gewonnen wird

Rohrleitungen und Armaturen ausbauen, ersetzen und zum optimalen Zeitpunkt reinigen sowie energieeffiziente Pumpensysteme einsetzen: All diese Maßnahmen verbessern energetisch und ökonomisch die Wassergewinnung in Deutschland.

Im Verbundvorhaben **ENERWAG (Energieeffizienz in der Wassergewinnung: Praxisuntersuchungen und Empfehlungen)** untersuchen Wissenschaftler die Energieeinsparpotenziale in der Wassergewinnung und erarbeiten Maßnahmen, die den Energieeinsatz und damit auch die Energiekosten in der Wasserversorgung senken. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen werden bei den beteiligten Wasserversorgungsunternehmen erprobt und sollen allen Wasserversorgungsunternehmen in Deutschland zum Abschluss des Vorhabens im Jahr 2017 zur Verfügung gestellt werden.

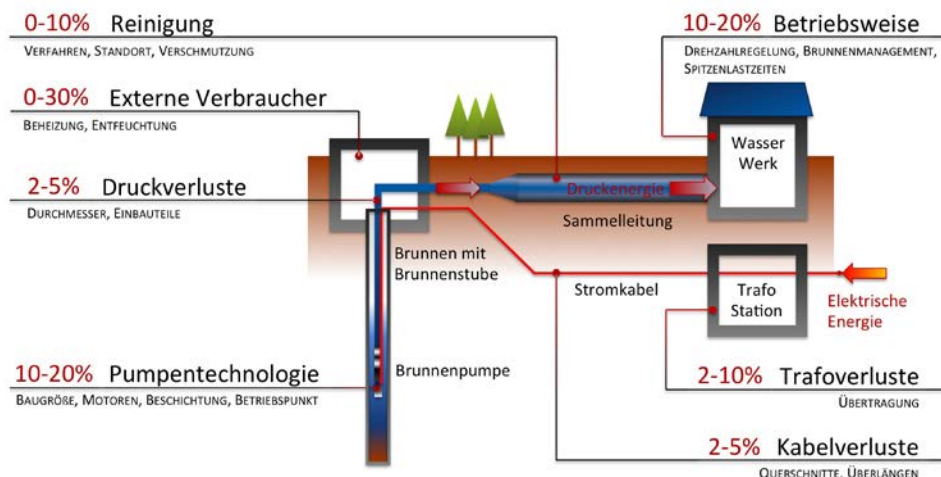
„Der Fokus der Wasserversorgung liegt auf der zuverlässigen Bereitstellung von qualitativ hochwertigem Trinkwasser. Methodische Untersuchungen zur praktischen Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen sind bisher kaum durchgeführt worden“, erklärt Projektkoordinator Dr. Ing. Mathias Ernst, Leiter der Forschungsstelle

des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) in Hamburg und Professor am Institut für Wasserressourcen und Wasserversorgung der Technischen Universität Hamburg. Weitere Projektpartner im Verbundvorhaben sind die Berliner Wasserbetriebe und die Hamburger Wasserwerke. Die Wissenschaftler erfassen Daten bestehender Brunnen und Leitungen: Gemessen werden Wasserdruck, Durchfluss und Energieverbrauch. Daraus ergeben sich Informationen zu Wirkungsgraden von Pumpen, zu Rohrleitungsabschnitten und Energieeinsparpotenzialen. „Wir gehen sehr detailliert vor und schauen uns die jeweiligen Komponenten systematisch an, bei denen Energieverluste entstehen“, sagt Ernst.

In der Wassergewinnung wird ein großer Teil der Energie für den Betrieb von Brunnenpumpen benötigt, die nach Bedarf Wasser fördern müssen: Je nachdem, wie viele Brunnenpumpen oder sogar Brunnengalerien zu- oder abgeschaltet sind, variieren die transportierten Wassermengen beträchtlich. Das heißt auch: Der Arbeitspunkt und der Wirkungsgrad der Pumpen ändern sich ständig. Seit 2015 gibt es eine neue Generation von Brunnenpumpen mit einem Energieeinsparpotenzial von 5 bis 10 Prozent gegenüber der bisherigen Technologie. „Wenn wir die Drehzahl dieser Pumpen optimal ausnutzen und regeln, können wir in der Wassergewinnung

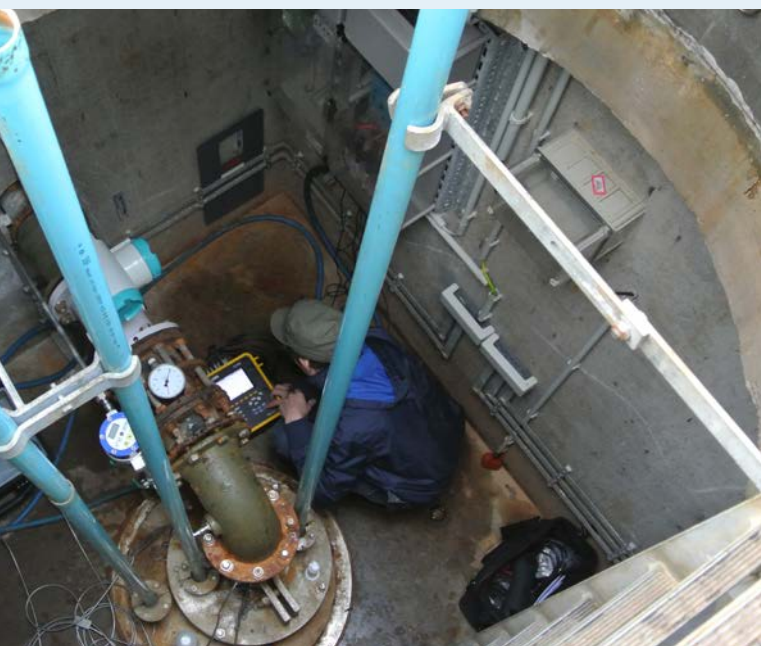
ENERWAG: Energieeinsparpotenziale in der Wassergewinnung

Einsparpotenziale



voraussichtlich weitere 10 bis 20 Prozent Energie einsparen“, davon ist Mathias Ernst überzeugt. Noch sind die hocheffizienten und drehzahlgeregelten Brunnenpumpen für unterschiedliche hydraulische Bedingungen im Betrieb nicht störungsfrei etabliert. Um zwölf hocheffiziente Brunnenpumpen in einer Galerie bei unterschiedlichen Betriebszuständen und damit unterschiedlicher Drehzahlregelung auf ihr Energieeinsparpotenzial zu untersuchen, wird aktuell das Wasserwerk Tegel in Berlin im Zusammenhang mit ENERWAG umgebaut.

Eine weitere Maßnahme, um Energie einzusparen, ist die Analyse bestehender Brunnenausbauten. Sind etwa Brunnenstubenheizungen im Winter notwendig und welchen Einfluss haben Einbauten wie Durchflussmessgeräte, Klappen oder Schieber auf den Energieverbrauch? Weiter untersucht das Wissenschaftlerteam die Reinigung der Rohrleitungen zum richtigen Zeitpunkt. Denn bisher erfolgt die Reinigung in der Praxis nur auf Basis von Erfahrungswerten und damit in kaum nachvollziehbar festgelegten Abständen. Die Projektpartner erarbeiten im vom BMWi mit rund 760.000 Euro geförderten Vorhaben ENERWAG Nachweise über den wirtschaftlichen Einsatz hocheffizienter Brunnenpumpen, energieeffizienter Brunnenausbauten, energetisch angepasster Rohrreinigungsintervalle sowie eines energieeffizienten Betriebsmanagements in der Wassergewinnung.

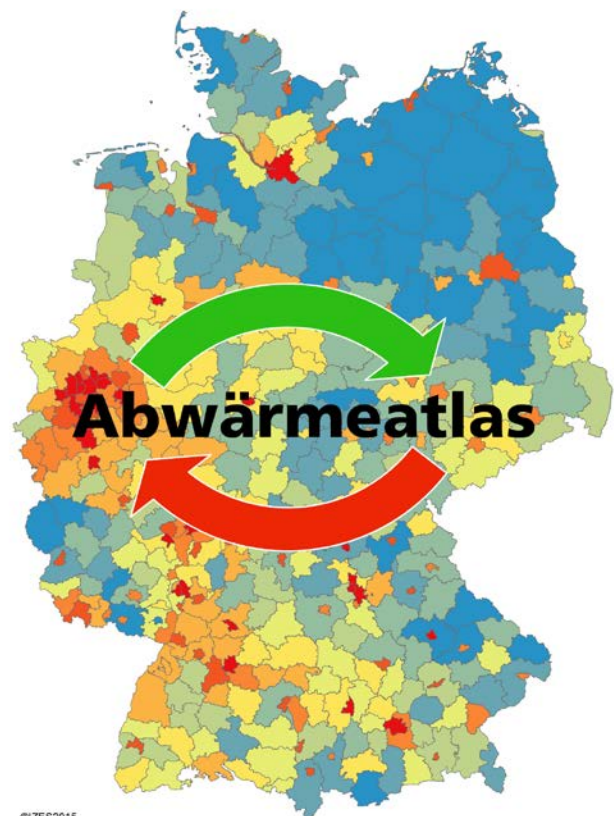


Auswahl geförderter Projekte

Abwärmeatlas für die Industrie

In Industrie und Gewerbe verlässt der überwiegende Teil verwendeter Energie die Einsatzbereiche in Form von Abwärme. Mit Hilfe eines Abwärmeatlas soll dieses enorme Potenzial in ausgewählten Branchen der Industrie kenntlich und die Energie effizient nutzbar gemacht werden.

Das bis heute vorhandene Datenmaterial reicht nicht für eine detaillierte Analyse der Abwärmequellen sowie der damit verbundenen Nutzungsmöglichkeiten aus. Die Wissenschaftler wollen im Verbundvorhaben **Abwärmeatlas** – Erhebung, Abschätzung und Evaluierung von industrieller Abwärme – eine bessere Basis für die effiziente Nutzung von Energie in der Industrie aufbauen. Sie tragen in dem auf drei Jahre angelegten Forschungsprojekt (Projektstart: 2015) Daten zu Art und Größe industrieller Abwärmequellen sowie zu Technologien für die Abwärmenutzung aus Modellregionen in Deutschland zusammen,



©IZES2015

Das Forschungsvorhaben Abwärmeatlas trägt Daten zu Art und Größe industrieller Abwärmequellen sowie zu Technologien für die Abwärmenutzung aus ganz Deutschland zusammen.

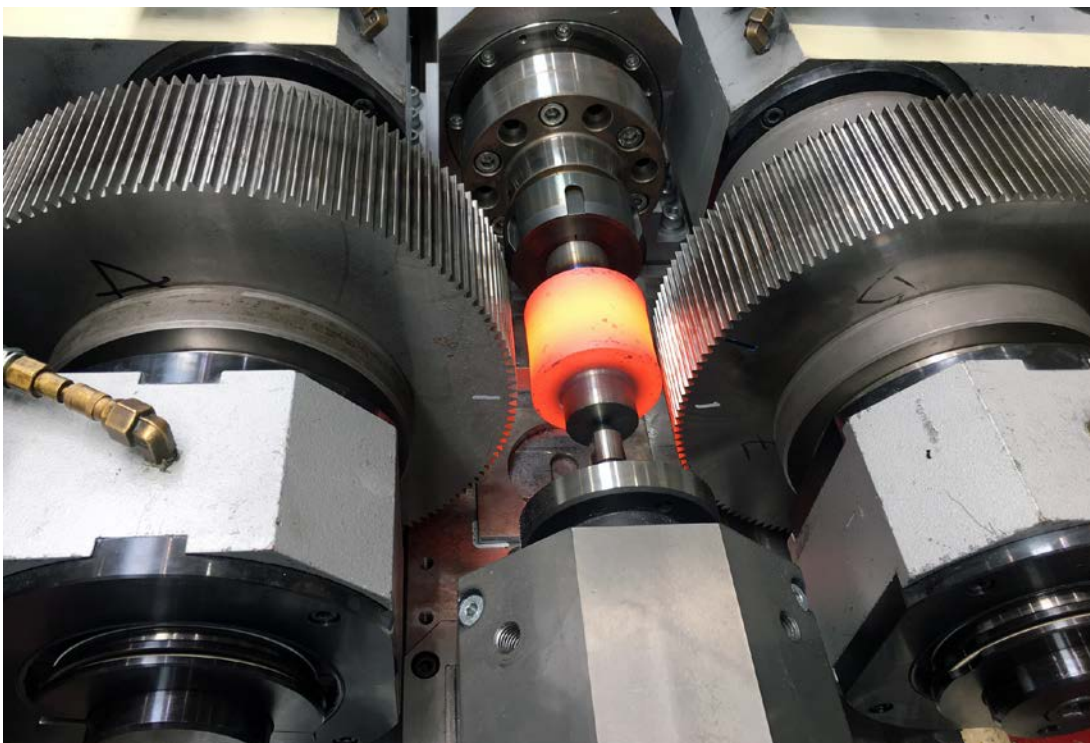
bewerten diese und setzen sie in einen Gesamtzusammenhang. Die Daten dieser repräsentativen Befragung dienen als Grundlage für eine national skalierbare Potenzialabschätzung.

Das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM koordiniert das Vorhaben Abwärmeatlas. Weitere Projektpartner sind das Institut für Zukunftssysteme IZES und das Institut für Demoskopie Allensbach. Die Wissenschaftler überprüfen verschiedene Werte durch Vor-Ort-Messungen, nehmen Befragungen vor und untersuchen Technologien zur Abwärmenutzung auf ihre Wirtschaftlichkeit und ihren aktuellen Forschungsbedarf. Das BMWi fördert das Verbundvorhaben mit rund 1,1 Millionen Euro.

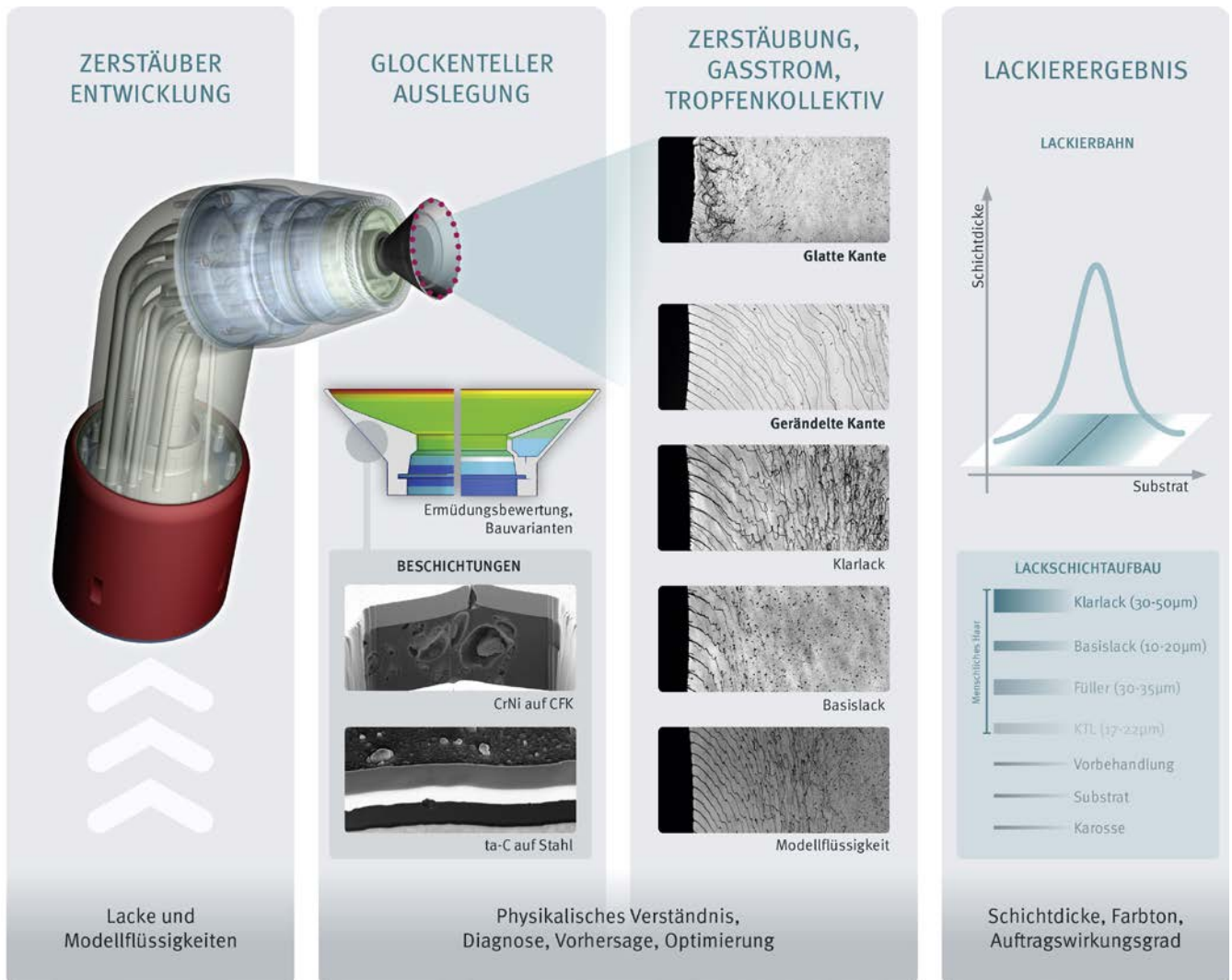
GEAR FORM – Großzahnräder energie- und ressourcensparend herstellen

Große Zahnräder für Windräder, Schiffsantriebe, Kraftwerksturbinen oder Bergbaumaschinen herzustellen ist in der Produktion aufwändig und energieintensiv. Beim Fräsen wird viel Material abgetragen und der Herstellungsprozess dauert sehr lange. Im Verbundvorhaben **GEAR FORM** entwickeln Wissenschaftler und

Experten aus der Industrie für Großzahnräder ein neues, alternatives Walzverfahren. Mit Hilfe eines Warmumformverfahrens soll die Vorverzahnung der Räder ressourcenschonender und energiesparender werden. Das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU koordiniert das Vorhaben. Weitere Forschungspartner sind der Getriebe-Hersteller Moventas, der Induktionstechnik-Spezialist EMA-TEC sowie die Härtereie Reese und Dreiling Maschinenbau. Die Entwickler wollen mit dem im Forschungsprojekt eingesetzten Warmumformverfahren umfangreiche Energieeinsparungen und verringerte Herstellungskosten im Vergleich zu den derzeitigen Prozessen erreichen. Sie gehen davon aus, mit dem neuen Verfahren bis zu 15 Prozent des für die Herstellung benötigten Materials einzusparen. Erste Versuche im kleineren Maßstab haben bereits gute Ergebnisse geliefert und sollen nun auf großmodulige Zahnräder übertragen werden. Für die Anwendung im vorgesehenen Durchmesserbereich von bis zu 1 Meter wollen die Projektbeteiligten eine entsprechend dimensionierte und für das Warmwalzen angepasste Maschinenteknik entwickeln. Die Wissenschaftler planen, bis zum Projektende eine Versuchseinrichtung mit integrierter Erwärmungseinheit aufzubauen und erste energie- und ressourcensparende Großzahnräder zu fertigen. Das BMWi fördert das Verbundvorhaben GEAR FORM mit rund 4,4 Millionen Euro.



GEAR FORM:
Induktiv erwärmte
Walzteilausgangsform
in Walzposition



Zusammenhänge bei der Zerstäuberentwicklung und Glockentellerauslegung zu Tropfenbildung, Gasstrom und Lackierergebnis unter Einbeziehung der Lackparameter

Innovative Hochrotationszerstäuber für Lackierprozesse

Rotationszerstäuber werden für großindustrielle Lackierprozesse eingesetzt: So wird die Karosserie eines Autos zum Beispiel mit einem Hochrotationszerstäuber bei Drehzahlen bis zu 80.000 Umdrehungen pro Minute lackiert. Der Lack wird dabei an der rotierenden Glockentellerkante zerstäubt und durch Lenklüfte auf die Oberfläche gebracht. Ein elektrostatisches Feld mit einer Hochspannung von 65 bis 90 Kilovolt zwischen Zerstäuber und Bauteil erhöht den Auftragswirkungsgrad. Konventionelle Systeme stoßen hier, mit steigenden Anforderungen an die Anlagen- und Applikationstechnik industrieller Lackierprozesse, zunehmend an ihre Grenzen.

Im Verbundvorhaben **Energieeffiziente und ressourcenschonende Lackauftragsverfahren durch Hochrotationszerstäuber nicht konventioneller Bauart** entwickeln Wissenschaftler ein neues verfahrens- und werkstoffmechanisches Zerstäuberkonzept, das wirtschaftlich ist

und Lackverluste – sogenanntes Overspray – minimiert. Sie schaffen so erhebliches Potenzial, den Energie- und Materialverbrauch im Lackierprozess zu reduzieren.

Der Hochrotationszerstäuber in schlankerer Bauform und mit kleineren zu beschleunigenden Massen ermöglicht höhere Rotations- und Transversalgeschwindigkeiten. Im Vergleich zum Stand der Technik soll der Zerstäuber im Prozess eine homogenere Lackschicht mit geringerer Schichtstärke auftragen als bisher. Verbunden mit einem engeren Spektrum der Tropfengröße wird der Lackvolumenstrom, bei gleichbleibender Zerstäubungsfeinheit, gesteigert. Die Forscher wollen herausfinden, wie genau Tröpfchen beim Lackieren entstehen und im Zerstäuber-Nahfeld mit der Gasphase wechselwirken, um so die ideale Tröpfchengrößenverteilung am Zerstäuber einzustellen. Für den Glockenteller untersuchen sie außerdem verschiedene Grundwerkstoffe (Aluminium- und Titanlegierungen sowie carbonfaserverstärkte Kunststoffe – CFK) mit darauf aufgetragenen Beschichtungen hinsichtlich Ermüdung, Verschleiß und Korrosion.

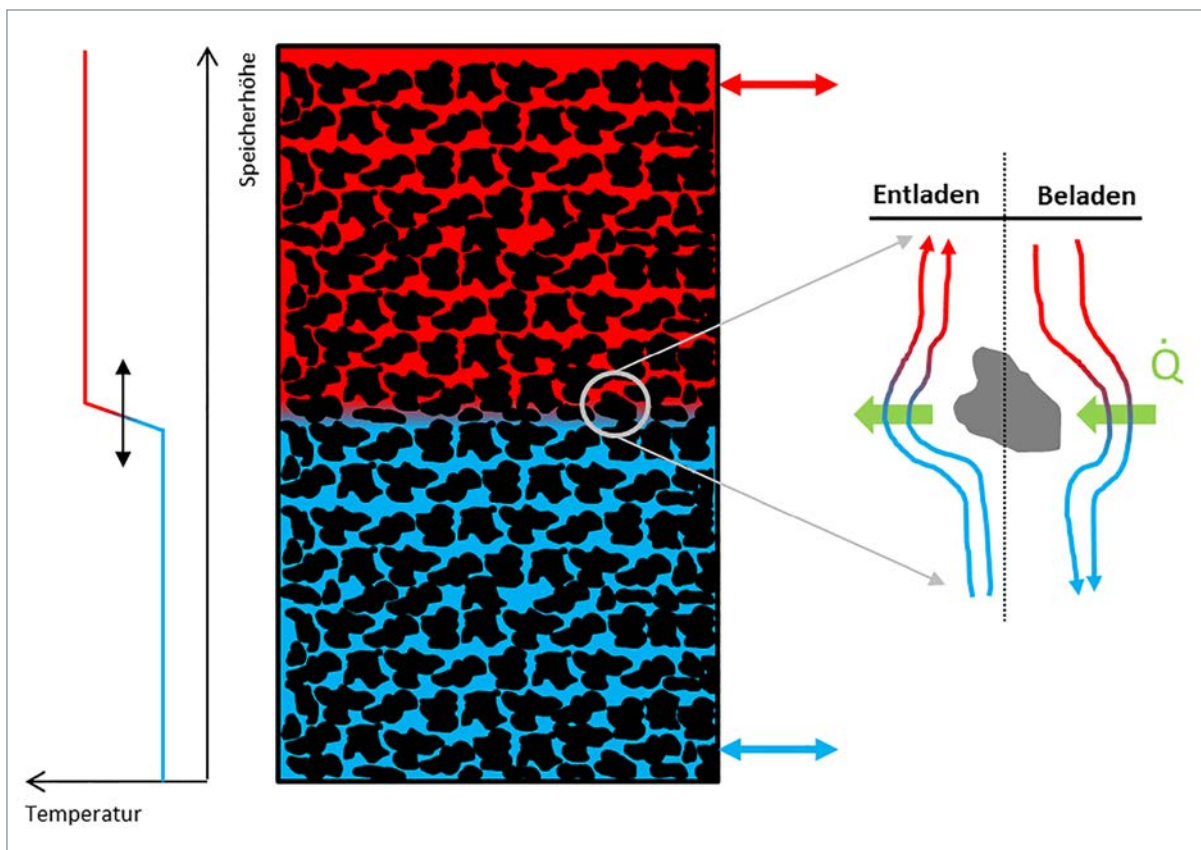
Das Forschungsvorhaben koordiniert die Firma EISENMANN Anlagenbau. Weiterer Projektpartner ist die Universität Stuttgart. Das BMWi fördert das Verbundvorhaben mit rund 2,1 Millionen Euro.

Gießerei nutzt Abwärme des Schmelzofens

In Gießereien wird der größte Teil der Energie für den Schmelzofen benötigt, in dem Metalle erhitzt und verflüssigt werden, um sie später in Form zu gießen (siehe auch „Im Fokus: Thermoprozessanlagen“, Seite 112). Im Forschungsvorhaben **iAST** – industrielle Abwärmenutzung einer Gießerei durch thermische Energiespeicherung in Kombination mit einem Absorptionsprozess – wollen Wissenschaftler die Abwärme des Schmelzofens speichern und diese während der Stillstandszeiten des Ofens für Lackierungsarbeiten nutzen. Auf diese Weise kann auf das Verbrennen von Erdgas zum Trocknen der Lacke in der Gießerei verzichtet werden. Durch die Abwärmenutzung lässt sich der Energieeinsatz für den Lackierungsprozess

erheblich senken und der Verbrauch an Primärenergie sowie der damit verbundene Ausstoß von Treibhausgasen reduzieren. Das Konsortium aus dem Bayerischen Zentrum für angewandte Energieforschung (ZAE Bayern), der Gießerei Heunisch und dem Anlagenbauer Küttner entwickelt in **iAST** einen Hochtemperaturspeicher. Größte Herausforderung an das Speichersystem sind die großen Wärmemengen bei Temperaturen bis 300 Grad Celsius. Im Labor haben die Forscher hierzu einen Zweistoffspeicher mit Thermoöl und Gestein als Wärmeträger entwickelt. Sie testen unterschiedliche Gesteinsaufschüttungen aus Basalt, Granit oder Quarzkies und erforschen die optimale Materialgröße und das Verhältnis zum Thermoöl im Wärmespeicher für einen energieeffizienten Prozess der Gießerei. Im Vergleich zu etablierten Speichertechniken, wie reinen Thermoölspeichern oder Druckwasserspeichern, ist der neue Zweistoffspeicher kostengünstiger. Der nächste Schritt im Forschungsvorhaben ist der Transfer des Speichersystems aus dem Labor in die Gießerei unter realen Betriebsbedingungen. Das BMWi fördert das Forschungsvorhaben **iAST** mit rund 1,6 Millionen Euro.

iAST: Funktionsprinzip eines als Zweistoffspeicher ausgeführten thermischen Energiespeichers



Supraleitende Hochstromschienen für energieintensive Industrieprozesse

Hochtemperatursupraleiter (HTSL) gehören zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts: Supraleitende Leiterbahnen können bis zu 100 Mal so viel Strom wie ein Kupferdraht mit vergleichbaren Dimensionen leiten. Mit sehr geringen Leiterquerschnitten übertragen sie bei Betriebstemperaturen um minus 200 Grad Celsius hohe Ströme ohne elektrischen Widerstand. Damit sind die Verluste und Baugrößen deutlich geringer und auch ihre Material- und Energieeffizienz besser als für konventionelle Systeme aus Kupfer oder Aluminium. Und das macht sie für die Industrie sehr interessant.

In großtechnischen und stromintensiven Prozessen der Grundstoffindustrie – wie etwa für die Herstellung von Chlor, Kupfer oder Aluminium – können künftig kom-

pakte supraleitende Hochstromschienen eingesetzt werden, die Ströme im zwei- und dreistelligen Kiloamperebereich leiten. Im Verbundvorhaben **3S-SupraStromSchiene** entwickeln Wissenschaftler eine supraleitende Hochstromschiene auf Basis von YBCO-Supraleitern (Yttrium-Barium-Kupferoxid), gekühlt mit Flüssigstickstoff. Sie soll ab Frühjahr 2017 im rauen Betrieb einer Chlorelektrolyse den Nachweis erbringen, dass 20 Kiloampere Strom über eine Distanz von 25 Metern im Dauereinsatz und unter realen Betriebsbedingungen übertragen werden können. Die Forscher wollen mit dem Vorhaben nachweisen, dass die Technologie einsatzfähig, industrietauglich und wirtschaftlich ist.

Das BMWi fördert das Verbundvorhaben „3S-SupraStromSchiene – Supraleitendes Hochstromsystem für DC-Anwendungen“ mit rund 1,7 Millionen Euro. Koordiniert wird der Verbund von Vision Electric Super Conductors. Weitere Projektpartner sind das Institut für Luft- und Kältetechnik in Dresden und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Erfolgreicher Test eines Supraleiterbündels mit 20 Kiloampere im flüssigen Stickstoff



Elektromobilität



Bis zu ein Drittel der Wertschöpfung eines Elektroautos fällt auf die Batterie. Sie gilt als Schlüsselkomponente für den Durchbruch der Elektromobilität, weil sie bislang die Reichweite begrenzt und die Fahrzeuge teuer macht. Das BMWi fördert Forschung und Entwicklung zuverlässiger, leistungsfähiger und kostengünstiger Batterietechnologien.

Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

Die Chancen, die Elektromobilität für das Klima und die Energiewende bietet, liegen auf der Hand: Lädt man E-Fahrzeuge mit Strom aus Sonne und Wind, fahren sie ohne Schadstoffausstoß. Das erklärte Ziel der Bundesregierung ist es, Deutschland zum Leitmarkt und Leitanbieter der Elektromobilität zu entwickeln. Mehrere Industriekonsortien, darunter auch Autohersteller, haben erklärt, in Zukunft Batterien selber zu bauen. Sie planen dafür in Deutschland eigene Batteriefabriken. Damit könnte eine Batterieproduktion „Made in Germany“ schon bald Realität werden.

Die deutsche Autoindustrie zählt derzeit mit 30 Elektro-Serienmodellen weltweit zu den Leitanbietern für Elektromobilität. Hierzulande verzeichnet das Kraftfahrtbundesamt (KBA) 2016 3.405 E-Mobile (Elektro- und Hybridfahrzeuge) als neu zugelassen (Stand: 31.12.2016). Damit belegt

Deutschland in Europa hinter Frankreich und Großbritannien Platz drei. Die Branche geht davon aus, dass der Anteil von Elektrofahrzeugen an den Pkw-Neuzulassungen im Jahr 2025 weltweit bei 15 bis 25 Prozent liegen könnte. Der weltweit größte Absatzmarkt für E-Autos ist derzeit China.

Mit der Kaufprämie für Elektrofahrzeuge hat die Bundesregierung ein klares Signal gesetzt. Auch der Fuhrpark des Bundes soll künftig zu mindestens 20 Prozent elektrisch sein. Kommunen wie Berlin und Hamburg setzen ab sofort auf E-Mobilität im Nahverkehr und planen, zusammen bis zu 200 Elektrobusse einzusetzen. Wissenschaftler arbeiten aktuell im Forschungsvorhaben **ELAAN** an einem verbesserten emissionsfreien, elektrischen Antriebssystem für kommunale Fahrzeuge (siehe auch „Kapitel Internationale Zusammenarbeit“, Seite 134).

Für den Ausbau der Ladeinfrastruktur will die Regierung Fördermittel in Höhe von 300 Millionen Euro einsetzen.

In Deutschland gibt es in naher Zukunft 9.000 öffentliche bzw. halb-öffentliche Ladestandorte für E-Mobile (Stand 12/2016). Das Tanken von Strom vereinfacht seit März 2016 die Ladesäulenverordnung. Sie schreibt vor, dass künftig alle neuen E-Tankstellen in Deutschland mit europaweit einheitlichen Steckern ausgestattet sein müssen. Auch die Europäische Union will die Infrastruktur der E-Mobilität vorantreiben und fordert in einem Gesetzentwurf eine Steckdosenpflicht für Neubauten und Sanierungsobjekte.

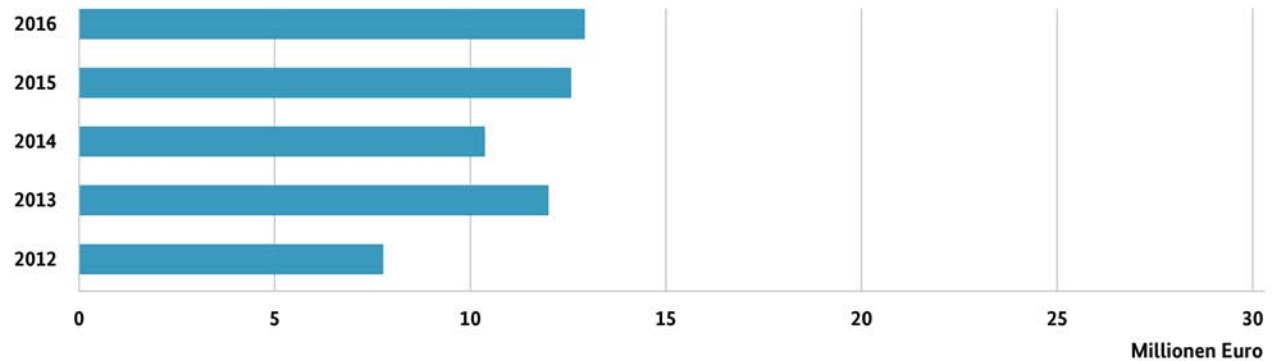
Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Das BMWi setzt in seiner Forschungsförderung auf die Batteriezelle und entsprechende Fertigungstechnologien als Grundlage für fahrzeugtaugliche Batteriesysteme. Kriterien wie Lebensdauer, Sicherheit, Funktionalität und Kosten müssen durchgängig verstanden sowie weiter

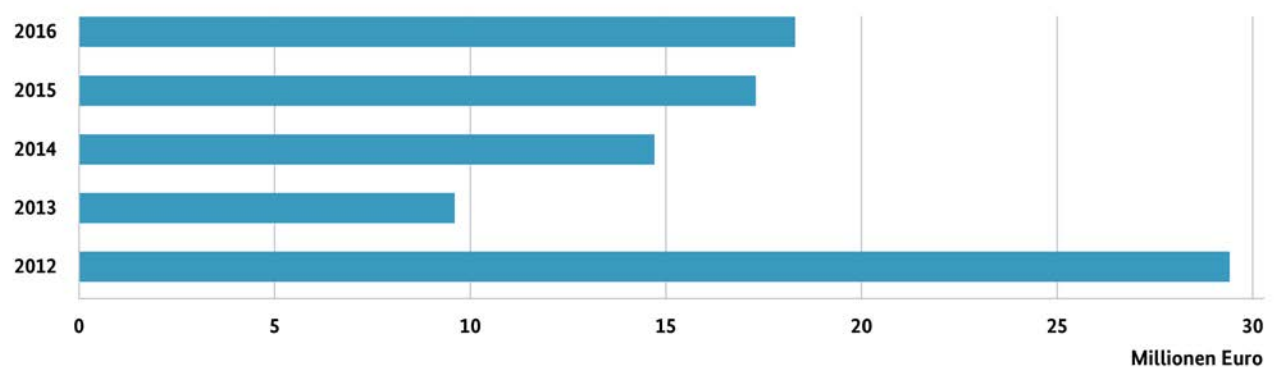
optimiert werden, um international wettbewerbsfähig zu bleiben. Im Forschungsvorhaben **LiMo** arbeiten Wissenschaftler an einer nächsten Generation Batteriezellen mit verbesserter Reichweite für das E-Auto. Der Fokus liegt hier auf Lithium-Ionen-Batterien (siehe auch Seite 124).

Neben der Batteriezellenforschung umfassen die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des BMWi aber auch Themen entlang der gesamten Wertschöpfungskette wie Antriebstechnik, Standardisierung, Netzintegration sowie die intelligente Abrechnung von Strom an Ladesäulen und Infrastruktur. Elektrofahrzeuge können für überschüssigen grünen Strom auch als Stromspeicher genutzt werden. Sie lassen sich systemstabilisierend ins Stromnetz einbinden und öffnen damit den Markt für neue Geschäftsmodelle. Im Forschungsvorhaben **NET-INES** (Netzintegration mobiler Energiespeicher: Testbasierte Evaluierung, technische Potenziale und Bereitschaft von

Elektromobilität: Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016



Elektromobilität: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012



Fahrzeughaltern) haben Wissenschaftler verschiedene Be- und Entladestrategien sowie Vermarktungsoptionen untersucht. Eine künftige Elektroflotte kann demnach für fluktuierenden Strom aus erneuerbaren Quellen ein Zwischenspeicher sein. Wie und in welchem Umfang dieses Potenzial gehoben werden kann, ist Gegenstand weiterer Forschung und Entwicklung.

Strategie der Forschungsförderung

Mit dem Ansatz einer technologieoffenen, systemischen und zugleich marktorientierten Förderung trägt das BMWi zu dem Ziel der Bundesregierung bei, Deutschland bis 2020 zum Leitanbieter und zum Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln. Batterien sind ein zentrales Element für die Elektrifizierung des Antriebs, zudem können sie zur Integration erneuerbarer Energien in das Gesamtenergiesystem beitragen. Noch sind weitere Forschung und Entwicklung nötig, um die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Batterien zu steigern, die Kosten zu senken, die Sicherheit und Zuverlässigkeit zu erhöhen sowie Batterien optimal in das Energiemanagement von Fahrzeugen zu integrieren. Umgekehrt sind zukunftsweisende Arbeiten zur Integration von Elektrofahrzeugen in Energiesysteme durch gesteuertes Laden und Entladen erforderlich.

Das BMWi hat im Jahr 2016 die Energieforschung im Bereich Elektromobilität mit rund 12,9 Millionen Euro für 79 Projekte gefördert (2015: 57 Projekte mit 12,6 Millionen Euro). 41 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 18,4 Millionen Euro sind 2016 neu bewilligt worden (2015: 25 Projekte mit rund 17,4 Millionen Euro).

Auswahl geförderter Projekte

LiMo und LiSta – neue Batterietechnologien

Lithium-Ionen-Systeme stehen für hohe Energiedichten, Wirkungsgrade und spezifische Energie sowie für eine geringe Selbstentladung. Bei entsprechendem Zellmanagement weisen sie darüber hinaus eine hohe Zuverlässigkeit auf. Aber sie sind immer noch vergleichsweise teuer. Damit das Elektroauto erfolgreich wird, müssen die Speicherkapazität der Batterien deutlich gesteigert und ihr Gewicht sowie die Kosten gesenkt werden.

Im Forschungsvorhaben **LiMo** erforscht die VW-VM Forschungsgesellschaft gemeinsam mit Volkswagen, der Hochschule Aalen und der Technischen Universität München neue Materialien und Zelldesigns für temperatur- und zyklensichere sowie kosteneffiziente Lithium-Ionen-Batterien für Elektro- und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge (Steckdosen-Hybride, die sowohl mit dem Verbrennungsmotor funktionieren, als auch über das Stromnetz geladen werden können). Im Vorhaben wollen Forscher die Zellchemie und Fertigungstechnologie für Lithium-Ionen-Batteriezellen verbessern und eine nächste Generation von Batteriezellen entwickeln. Die Wissenschaftler erforschen Zellen mit erhöhter Sicherheit und einer Energiedichte bis zu 700 Wh/l. In Kooperation mit deutschen Anlagenherstellern werden innovative und besonders schnelle Fertigungsprozesse auf den Forschungsanlagen erprobt. Das BMWi fördert das Forschungsvorhaben LiMo mit rund 10,5 Millionen Euro.

Die Forschung an Lithium-Ionen-Batteriezellen für die stationäre Energiespeicherung in Deutschland fördert das Ministerium im Vorhaben **LiSta** mit insgesamt rund 3,1 Millionen Euro. Der Fokus liegt hier auf Speichern für den Lastenausgleich im Verteilernetz und aus Photovoltaikanlagen. Im Vorhaben forschen die VW-VM Forschungsgesellschaft, VARTA Storage und die Hochschule Aalen an den Systemen Lithium-Eisenphosphat (LFP) auf der Kathodenseite und den Varianten Kohlenstoff (C) und Lithium-Titanat (LTO) auf der Anodenseite. Für diese Speicher sollen in Zukunft effiziente, umweltfreundliche und kostengünstige Herstellmethoden eingesetzt werden – organische Lösemittel könnten hier etwa durch wasserbasierte Prozesse ersetzt werden.

Großformatige Lithium-Ionen-Forschungszelle der VW-VM Forschungsgesellschaft

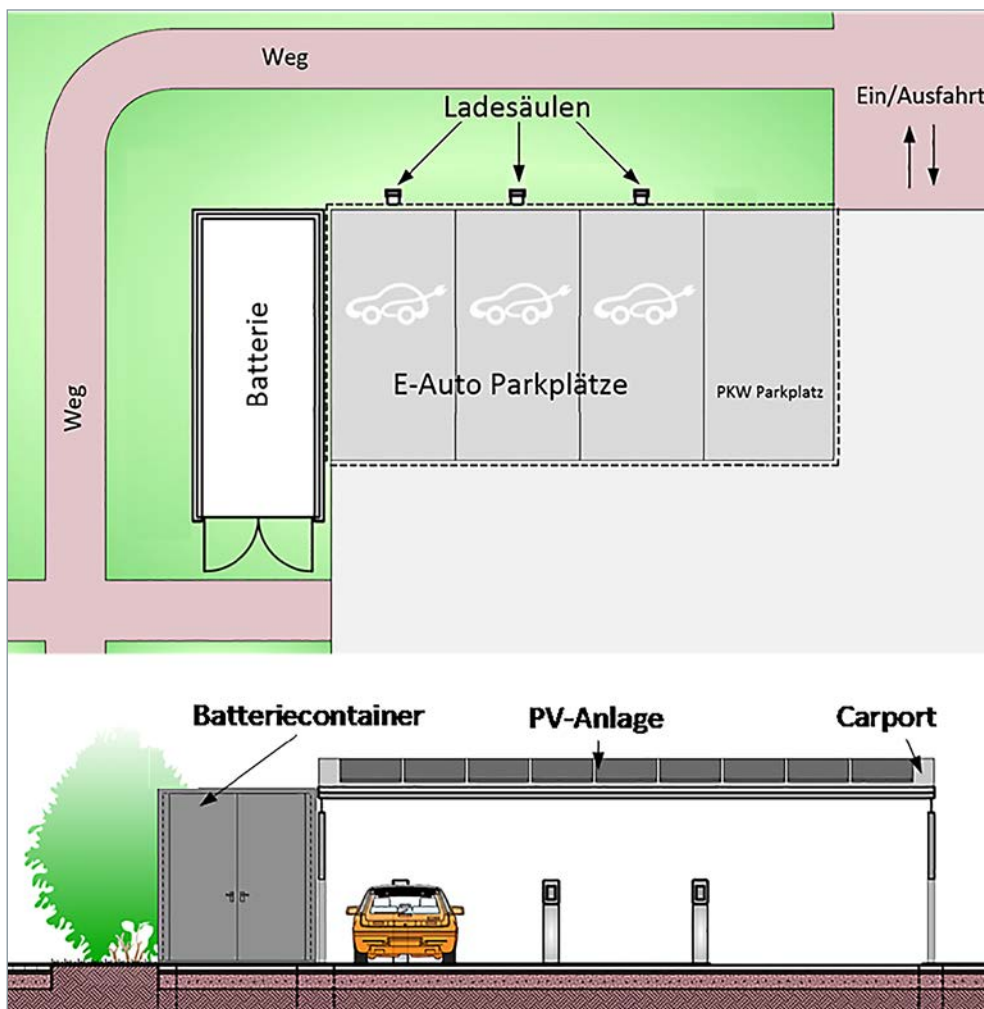


OptiCharge – Optimiertes, speichergestütztes Lademanagement für autarke, regenerativ betriebene Stromparkplätze

Im Verbundvorhaben **OptiCharge** entwickeln Wissenschaftler des Instituts für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) gemeinsam mit der Universität des Saarlandes, der Technischen Universität Kaiserslautern und SCHMID Energy Systems eine Ladestation für Elektrofahrzeuge, genauer: eine quasiautarke, regenerativ versorgte und speichergestützte Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. Insgesamt werden drei Schnellladepunkte (Typ-2-Stecker, Lademodus 3) und ein Ladepunkt mit Schukostecker (Lademodus 1) realisiert. Die Ladepunkte bzw. die vier Parkplätze werden

von einem Carport überspannt, auf dem eine Photovoltaikanlage installiert ist. Die Ladung der Elektrofahrzeuge soll möglichst autark erfolgen, also unabhängig vom öffentlichen Netz nur über die auf dem Dach des Carports installierte 10-kWp-PV-Anlage gespeist werden. Zur Pufferung der stark fluktuierenden PV-Erzeugung dient eine Vanadium-Redox-Flow-Batterie (VRFB). Die Kombination der einzelnen Komponenten und vor allem die Einbindung der VRFB stellt ein bisher einzigartiges Konzept zur Ladung von Elektrofahrzeugen dar. Neben dem Aufbau der Testanlage sind die Schwerpunkte des Vorhabens die Entwicklung von Methoden zur Konzeption und Dimensionierung einer derartigen Ladeinfrastruktur, wobei für das Energiemanagement auch neu entwickelte stochastische Prognose- und Regelungsalgorithmen eingesetzt werden. Das BMWi fördert das Verbundvorhaben mit rund 1,2 Millionen Euro.

Skizze der in OptiCharge geplanten Anlage am Standort InnovationsCampus Saar in Saarbrücken-Burbach (oben die Draufsicht und darunter die Ansicht von vorne)



Energiesystemanalyse



Methoden und Instrumente der Systemanalyse dienen dem Bereitstellen von Orientierungswissen, um die Energieerzeugung und -umwandlung über Speicher-, Verteilungs- und Übertragungssysteme für eine große Anzahl unterschiedlicher Verbraucher abbilden und analysieren zu können. So liefert diese Forschungsdisziplin die Grundlage für das Verständnis eines stabilen Zusammenwirkens aller Einzelelemente und die Entwicklung neuer Perspektiven für ein zukunftsfähiges Energiesystem. Die Wirkung einzelner Technologien auf das Gesamtgefüge lässt sich dabei durch Modellierung und Simulation beurteilen.

Einflussfaktoren und neue Entwicklungen

Die Energiewirtschaft wirkt in einem komplexen Umfeld aus technischen, ökologischen, (sozio-)ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen. Jede Innovation und jedes neue Konzept muss sich daran messen lassen und auch im Zusammenspiel in diesem Gesamtgefüge zuverlässig funktionieren. Einen wichtigen Einfluss übt dabei die Digitalisierung aus. Sie durchdringt immer mehr Bereiche und auch das Energiesystem wird stärker denn je unter dem Stichwort Internet der Energie (IdE) durch das intelligente und effiziente Vernetzen von Komponenten und Akteuren mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) bestimmt. Einerseits schafft dies Herausforderungen für die Systemsicherheit, die Datenverarbeitung oder das Speichern von Big Data, andererseits entsteht durch die große Datenflut auch eine umfassendere

Grundlage für präzisere Modellierung und realitätsnahe Analysen. Die notwendigen Werkzeuge dafür entstehen durch die Forschung disziplinübergreifender Verbünde. So widmet sich beispielsweise das Projektteam von **BEAM-ME** der Entwicklung von Beschleunigungsstrategien für Big Data Analytics (siehe auch Highlight-Projekt, Seite 131).

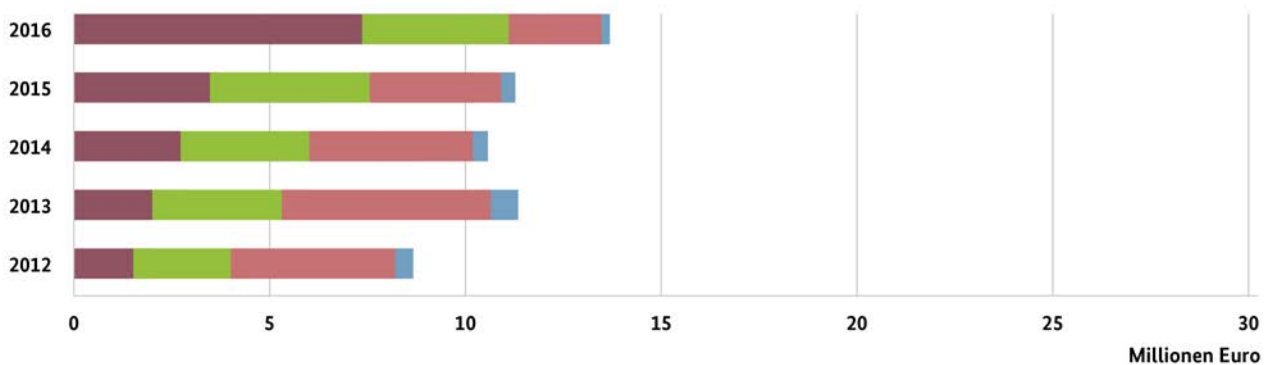
Auch die intelligente Sektorkopplung zwischen Strom-, Wärme-, Kälte- und Gasmarkt sowie Verkehr ist ein wesentlicher Einflussfaktor für die Systemanalyse, denn der flexible Austausch zwischen diesen Anwendungsbereichen erfordert mehr Detailwissen und präzisere Prognoseverfahren. Nur so können die verschiedenen Systemelemente entlang der Wertschöpfungskette und über Sektoren hinweg miteinander interagieren und die hohe Versorgungssicherheit zuverlässig aufrechterhalten. Dieses veränderte regulatorische Umfeld bedarf einer stärkeren datentech-

nischen Vernetzung und einer umfassenderen planerischen Grundlage, die neue technische Anwendungen ebenso miteinbeziehen wie kurz-, mittel- und langfristige Einflussfaktoren. Aber auch das Schaffen kompatibler Schnittstellen und Berechnungswerkzeuge kommt hinzu. Das BMWi fördert zu dieser Thematik unter anderem das Projekt **LKD-EU** (siehe auch „Verbesserte Rechenmodelle für Planung und Betrieb eines zunehmend integrierten Energieversorgungsystems“, Seite 129).

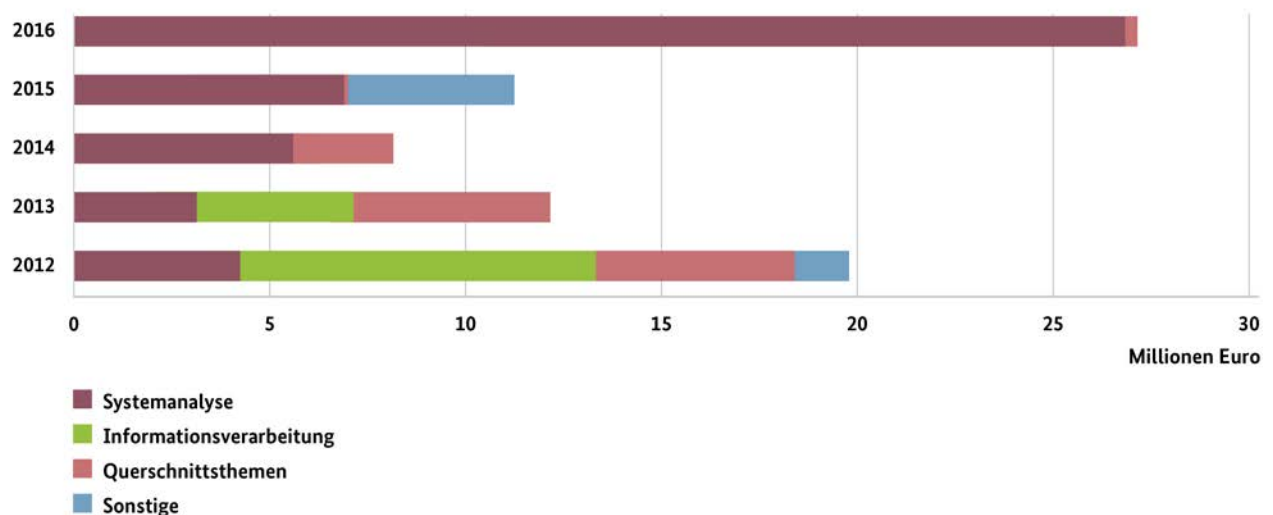
Genau an dieser Stelle setzen Open Source und Open Data an (siehe auch „Im Fokus: Open Source Modellierung“, Seite 128). Denn damit ein komplexes Gefüge, wie das

Energieversorgungssystem, an allen Enden der Wirkkette reibungslos und dynamisch agieren kann, ist die Kommunikationsfähigkeit aller Systemteilnehmer eine notwendige Voraussetzung. Die Vielzahl an Softwaresystemen, Programmiersprachen, Datengrundlagen und Parametern ist jedoch eine Herausforderung. Somit rücken quelloffene Verfahren (Open Source) und offene Datenbestände (Open Data), die zur freien Nutzung zur Verfügung gestellt werden, für das Modellieren und Simulieren immer stärker in den Vordergrund der Forschung. Ein Beispiel hierzu ist das Verbundprojekt **open_FRED** (siehe auch „Durchblick im Datenschungel“, Seite 132).

Systemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende: Verteilung der Fördermittel zwischen 2012 und 2016



Systemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2012



IM FOKUS: OPEN-SOURCE-MODELLIERUNG

Open Data und Open Source steigern Effizienz, Innovation und Qualität

Unter Open Source versteht man quelloffene Softwareprogramme, die Nutzer frei verfügbar anwenden und anpassen können. Auch für das detaillierte und realitätsgetreue Nachbilden und Prognostizieren energiewirtschaftlicher Zusammenhänge in der Systemanalyse ist dies ein Weg für mehr Transparenz, nachvollziehbarere Modelle und besser übertragbare Ergebnisse. Verschiedene Initiativen und Projekte belegen die große Bereitschaft, innerhalb des Forschungsgebiets barrierefreie Planungstools zu entwickeln und mit anderen Wissenschaftlern zu teilen.

Big Data aus heterogenen Quellen und eine schier unendliche Zahl an Modellierungs- und Planungswerkzeugen stellen für systemanalytische Betrachtungen eine große Herausforderung dar. Denn je breiter gefächert die Grundlagen für Systemsimulationen, desto weniger sind sie vergleichbar und desto aufwändiger ist das Aufbereiten und Harmonisieren der Daten für sektorübergreifende Analysen. Open Source und Open Data hingegen fördern den wissenschaftlichen Austausch und Synergieeffekte für mehr planerische Effizienz und zuverlässigere Ergebnisse. Darüber hinaus können quelloffene Modellierungstools zu robusteren Anwendungen führen, durch den steten Einsatz und das Weiterentwickeln der Werkzeuge durch die Nutzer.

„Open Source und Open Data sind eine Grundvoraussetzung für nachvollziehbare, transparente Forschung. Es bietet die Chance für Qualitätssteigerung, denn je mehr Augen auf Daten und Codes schauen, desto mehr der sich immer wieder einschleichenden Fehler werden entdeckt und behoben. Offene Lizenzen schaffen zudem Rechtssicherheit für Nutzer und Bereitsteller“, erklärt Dr. Frauke Wiese, Wissenschaftlerin an der Europa-Universität Flensburg und Koordinatorin des Projekts

Open Power System Data (OPSD). Das vom BMWi geförderte Vorhaben beschäftigt sich mit Open Data und will qualitätsgeprüfte Daten für die Stromsystem-Modellierung identifizieren, aufbereiten und dokumentieren. Diese stehen im Anschluss in einer offenen und frei zugänglichen Online-Datenplattform zur Verfügung.

„Ich sehe die größte Herausforderung darin, Open Data und Open Source nicht nur auf einzelne Projekte einzugrenzen, sondern offene Standards für Forschung selbstverständlich zu machen. Öffentlich geförderte Forschung muss nutzbar für die Gesellschaft sein. Werden nicht nur Forschungsergebnisse, sondern auch Daten und Codes unter offenen Lizenzen zur Verfügung gestellt, können Forschungsprojekte aufeinander aufbauen und sich den wichtigen Fragen widmen, anstatt – wie momentan oft der Fall – zeitaufwändige Datenrecherche zu reproduzieren. Open Data und Open Source steigern Effizienz, Innovation und Qualität der Forschung“, so Wiese weiter.

Das BMWi fördert verschiedenste Projekte zu quelloffenen Datenbanken und Simulationsmodellen, wie beispielsweise **open_FRED** (siehe auch „Durchblick im Datendschungel“, Seite 132). Auch innerhalb des Forschungsnetzwerks Energiesystemanalyse hat das Thema eine hohe Priorität. Die Mitglieder beschäftigen sich mit diesem Schwerpunkt in den Arbeitsgruppen „Daten und Datenbanken“ und „Transparenz“. Aber auch international engagieren sich zahlreiche Wissenschaftler und Einrichtungen innerhalb der **Open Energy Modelling Initiative (openmod)** für einen aktiven Austausch zu Open Source. Dieser von Systemmodellierern ins Leben gerufene weltweite Zusammenschluss setzt sich für offene Modelle und Daten ein. Auch zahlreiche deutsche Forscher und Institutionen wirken daran mit.

Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Systemanalytische Forschung wird von der energiewirtschaftlichen Praxis geprägt. Während im bisherigen Energiesystem der Nutzer oft im Hintergrund blieb, da die Versorgung über zentrale Kraftwerke und ein lineares Verteilungsprinzip geregelt wurde, steigt mit der Energiewende nun spürbar die Bedeutung sozioökonomischer Faktoren. Das gilt auch für Modellierungen und Planungstools, die das menschliche Verhalten in ihren Berechnungen stärker einbeziehen müssen. Immer mehr Forscher greifen diesen Ansatz auf und integrieren dies in ihre Werkzeugentwicklung. Hierzu zählt beispielweise das Projekt **Sozio-E2S**, das im November 2016 gestartet ist und den Einfluss soziokultureller Kriterien auf die Transformation des Energiesystems untersucht.

Sozioökonomische Betrachtungen können wertvolle Hinweise liefern, welche Energietechnologien und Effizienzmaßnahmen sich langfristig durchsetzen könnten, indem sie die Akzeptanzfähigkeit der Nutzer untersuchen. Denn die Potenzialanalyse von Systemen, Technologien und Konzepten und die Analyse der Auswirkung geänderter Rahmenbedingungen sind und bleiben eine wichtige Säule der Systemanalyse. Bei der technisch-ökonomischen Bewertung können Wissenschaftler – unter anderem auch dank der vorgestellten Einflussfaktoren – ihre Modelle immer stärker verfeinern und detailgenauer darstellen. So schafft die Systemanalyse eine noch bessere Abbildung der Realität und zukunftssichere Prognosen, die eine bessere energiewirtschaftliche und -politische Planung ermöglichen. Dazu will auch das Vorhaben **Technologien für die Energiewende** (siehe auch „Der richtige Mix innovativer Technologien“, Seite 130) als Bestandteil des strategischen Leitprojekts **Trends und Perspektiven der Energieforschung** seinen Beitrag leisten: Es untersucht die Rolle, die unterschiedliche Technologiepfade und Energieanwendungen künftig spielen könnten.

Strategie der Forschungsförderung

Ein wichtiges Element der forschungspolitischen Strategie des BMWi ist das Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse. Mit mittlerweile mehr als 330 Mitgliedern hat sich das im Dezember 2015 gegründete Netzwerk zu einer festen Austauschplattform und wichtigen Anlaufstelle für Wissenschaftler und Akteure entwickelt. 2016 haben die

Teilnehmer unter anderem in webbasierten Arbeitsgruppen die verschiedenen Schwerpunktthemen der Systemanalyse diskutiert und wollen gemeinsame Strategien, beispielweise zu Vergleichbarkeit und Transparenz oder Modellkopplungen, vorantreiben.

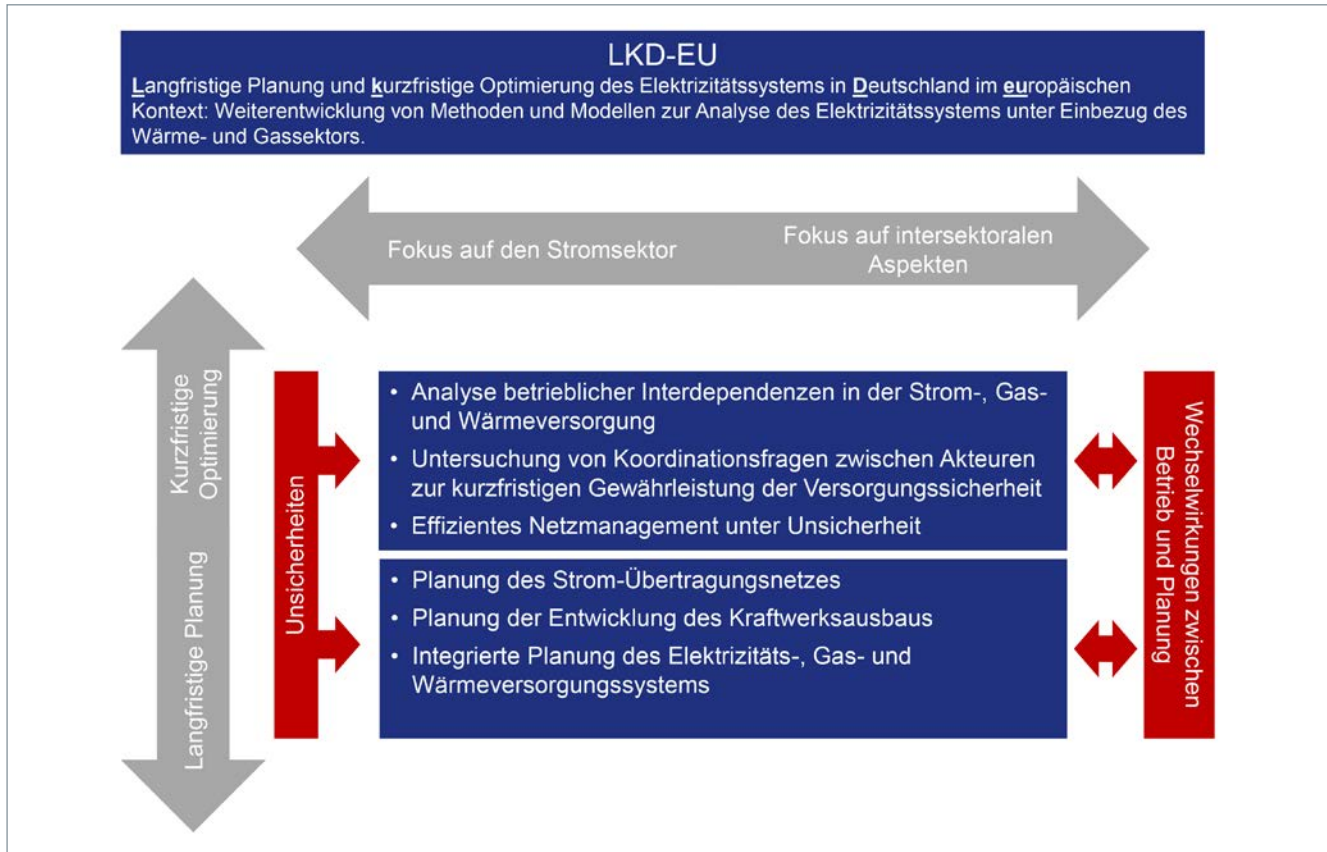
Im Förderbereich der Energiesystemanalyse hat das BMWi 2016 insgesamt 67 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 27 Millionen Euro neu bewilligt (2015: 11,2 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 13,7 Millionen Euro in 147 bereits laufende Forschungsvorhaben (2015: rund 11,2 Millionen Euro). Der Anstieg ist nicht zuletzt durch einen zielgerichteten Förderaufruf des BMWi zu Modellierungsfragen begründet, aus dem die überwiegende Mehrheit der neu gestarteten Forschungsarbeiten hervorgegangen ist.

Auswahl geförderter Projekte

Verbesserte Rechenmodelle für Planung und Betrieb eines zunehmend integrierten Energieversorgungssystems

Das verstärkte Verbinden des Stromsektors mit der Gas- und Wärmeversorgung, beispielsweise durch die Kraft-Wärme-Kopplung oder zukünftig etwa durch das Nutzen von Power-to-Gas-Verfahren, birgt erhebliche Potenziale, die Kosten der Energieversorgung zu senken und natürliche Ressourcen besser zu nutzen. Die Planungs- und Betriebsentscheidungen in einem solchen System werden jedoch mit zunehmender Integration komplexer und stellen neue Herausforderungen an die in diesem Zusammenhang verwendeten Methoden und Modelle zur Entscheidungsunterstützung: Nur wenn diese Komplexität beherrscht wird, lassen sich die vorgenannten ökonomischen und ökologischen Potenziale bestmöglich umsetzen.

Eine besondere Rolle spielt dabei der Umgang mit Unsicherheiten. Diese zu beherrschen ist gerade in komplexen Systemen besonders herausfordernd. Denn eine effiziente und zuverlässige Energieversorgung muss in der Lage sein, sich sowohl in der kurzfristigen Betriebsführung als auch in der langfristigen Planung an sich ändernde Rahmenbedingungen anzupassen. Das Forschungsprojekt **LKD-EU** greift diese Problematik auf und entwickelt konkret für das deutsche Elektrizitätsversorgungssystem Methoden und Modelle für Betrieb und Planung. Dabei berücksichtigen die Wissenschaftler die derzeitigen und zukünftigen Schnittstellen zum Gas- und Wärmever-



Die Grafik gibt einen Überblick über die Fragestellungen des Projektes LKD-EU.

gungssystem sowie Wechselwirkungen mit den europäischen Nachbarländern.

Das aus einem Förderaufruf des BMWi zur Energiesystemanalyse hervorgegangene Projekt erhält rund 870.000 Euro Fördermittel des Ministeriums. Die Koordination hat die Technische Universität Berlin übernommen. Ferner sind das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin), die Technische Universität Dresden und die Universität Duisburg-Essen an dem Vorhaben beteiligt.

Der richtige Mix innovativer Technologien

Die Innovationskraft deutscher Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Universitäten und Hochschulen hat eine große Bandbreite neuer Technologien für die Energiewende hervorgebracht. Einige von ihnen sind bereits im Stadium der Marktreife oder sogar der Marktdurchdringung, andere stehen noch am Anfang. Welchen konkreten

Beitrag die einzelnen Optionen künftig leisten können, ist noch weitgehend offen und hängt von verschiedensten Faktoren ab.

Das strategische Leitprojekt **Technologien für die Energiewende** untersucht vor diesem Hintergrund, welche Rolle die verschiedenen Anwendungen für das Energiesystem und den Wirtschaftsstandort Deutschland spielen könnten. Es analysiert aber auch, wo gegebenenfalls noch zentrale Lücken für die Umsetzung der Energiewende und weitergehender F&E-Bedarf bestehen. Die Wissenschaftler führen dazu eine umfassende, auf mehreren Kriterien basierende, vergleichende Technologieanalyse und -bewertung durch, bei der sie Status und Perspektiven ebenso betrachten wie Innovations- und Marktpotenziale. Zudem wollen die Forscher den deutschen Entwicklungsgrad im internationalen Kontext einordnen und so einen Beitrag dazu leisten, Wertschöpfung und Exportchancen einordnen zu können. Auch Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz, des Infrastrukturbedarfs und der Systemkompatibilität werden behandelt.

Fortsetzung Seite 132

HIGHLIGHT

Fast so schnell wie beamen

Mit der fortschreitenden Energiewende gewinnen systemanalytische Modelle, Methoden und Szenarien für die Planungs- und Versorgungssicherheit an Relevanz. Big Data spielt dabei eine zunehmend wichtigere Rolle. Um nun angesichts stetig wachsender Datenmengen hochkomplexe Energiesysteme realitätsnah und verlässlich abbilden und simulieren zu können, sind leistungsstarke und schnelle Rechenmodelle notwendig.

Modellierungssoftware unterstützt Anwender dabei, aus den verflochtenen Zusammenhängen der Energiewirtschaft und heterogenen Daten unterschiedlichster Quellen valide Vorhersagen für künftige Szenarien zu entwickeln. In Zeiten von Big Data hat sich jedoch gezeigt, dass die existierenden Energiesystemmodelle, die technologiescharf Investitionen und Einsätze optimieren helfen, aufgrund der komplexen Fragen mit den gängigen mathematischen Methoden an die Grenzen der heute verfügbaren, dezentralen Rechenleistungen stoßen. So gehen viel Zeit und Ressourcen verloren.

Innerhalb des Projekts **BEAM-ME** erarbeiten Wissenschaftler Beschleunigungsstrategien der anwendungsorientierten Mathematik und Informatik, um beste-

hende Energiesystemmodelle um räumlich und zeitlich hochauflösendere Strukturen zu erweitern. Sie wollen hierzu geeignete mathematische Algorithmen entwickeln und implementieren, welche die derzeit bestehenden Hindernisse hochkomplexer systemanalytischer Modelle zu lösen helfen. Dadurch will der Verbund die Zuverlässigkeit und damit die entscheidende Aussagekraft erheblich steigern. Das Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) koordiniert das Vorhaben, an dem fünf weitere Partner aus Wissenschaft und Industrie beteiligt sind.

Das Ziel der Forschung besteht konkret darin, das Potenzial auszuschöpfen, das parallelisiertes Rechnen auf Hochleistungsrechnern (HLR) mit einem verteilten Arbeitsspeicher bietet. Dazu sind sowohl auf der Seite der Lösungsalgorithmen als auch hinsichtlich der Implementierung neuer Rechenstrategien in die einzelnen Energiesystemmodelle weitgehende Entwicklungsschritte notwendig. Im Detail wollen die Wissenschaftler Strategien, mit deren Hilfe Nutzer Eingaben mit deutlich weniger Rechenzeit bearbeiten können, identifizieren, anhand spezifischer, vielschichtiger Simulationsläufe testen und anschließend vergleichen. Als Grundlage dient ihnen das komplexe Energiesystemmodell REMix, das bereits auf Großrechnern zum Einsatz kommt. Darüber hinaus wollen die Forscher die Variantenberechnungen ausweiten, um langfristige Simulationen mit höherem Genauigkeitsgrad zu ermöglichen, bei denen Instabilitäten und lokale Extrema in den Kalkulationen erkannt und korrigiert werden. Im Anschluss wollen die Partner die Ergebnisse standardisieren und für Dritte verfügbar machen.

Das Projekt ist aus einem Förderaufruf zur Energiesystemanalyse des BMWi im Frühjahr 2015 hervorgegangen. Das Ministerium unterstützt das Vorhaben mit rund 3,3 Millionen Euro Zuwendung.

Geschwindigkeit ist bei der Analyse von Big Data für Energiesystemmodelle ein wichtiger Faktor für zuverlässige Ergebnisse.



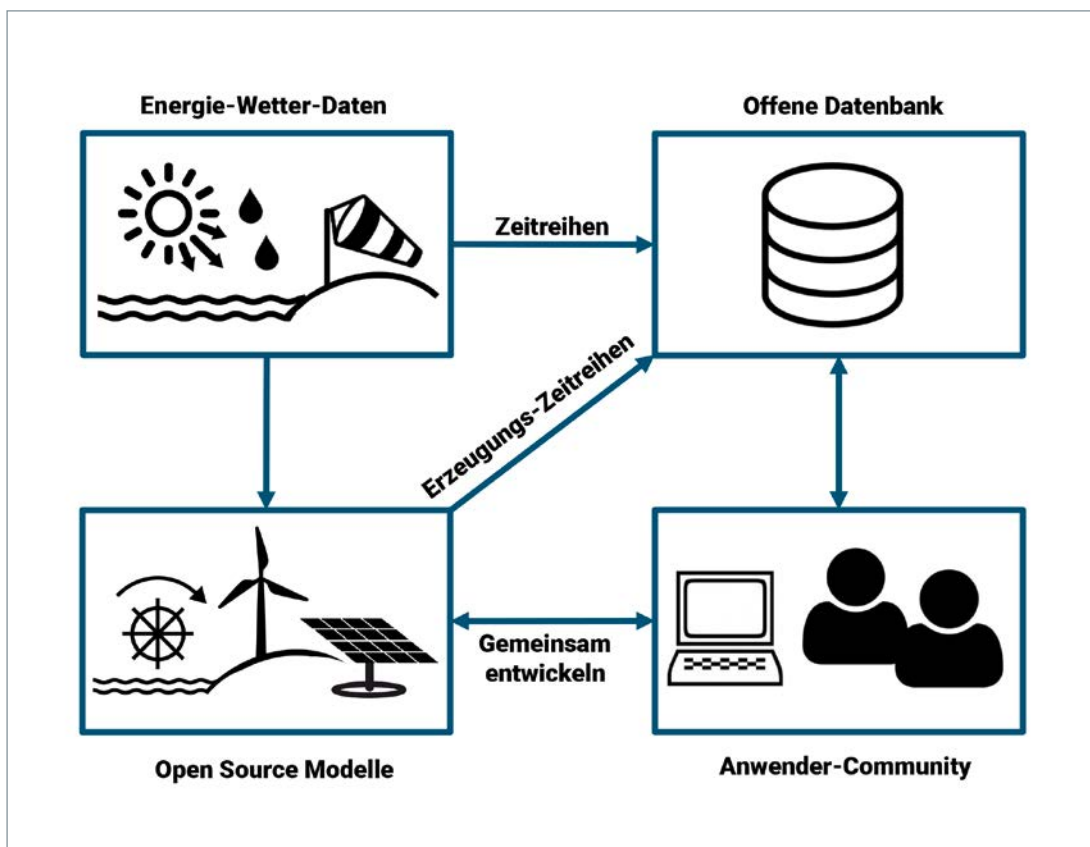
Das Projekt schließt an die Studie „Energietechnologien 2050“ des BMWi an und will dessen Ergebnisse weiterentwickeln. So soll wichtiges Orientierungswissen für die öffentliche Hand, Unternehmen und Forscher entstehen für das Identifizieren wettbewerbsorientierter Forschungs- und Entwicklungsprioritäten. Die Ergebnisse wollen die Wissenschaftler sowohl in den Forschungsnetzwerken Energie als auch in der Energiewende-Plattform Forschung und Innovation des BMWi vorstellen und diskutieren.

Neben dem koordinierenden Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie sind das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) und das IZES – Institut für ZukunftsEnergieSysteme beteiligt. Die Technikbewertung wird von zehn weiteren Forschungsinstituten unterstützt. Das BMWi fördert das Projekt mit rund 1 Million Euro.

Durchblick im Datenschungel

Open Source ermöglicht Anwendern einen freien Zugang zu Modellierungswerkzeugen für die Energiewende und trägt so zu einer einheitlichen Datenbasis und damit zur Vergleichbarkeit von Systemmodellen bei. Im Projekt **open_FRED** entwickeln Wissenschaftler eine offene und transparente Datenbank für Einspeisezeitreihen und Energiesystemmodelle. Im Kern erstellen die drei beteiligten Partner einen auf die Systemmodellierung abgestimmten 15-jährigen Wetterdatensatz für Deutschland und eine darauf aufbauende, offene Community-Software für das Berechnen von Stromerzeugungs- und Einspeisezeitreihen aus fluktuierenden erneuerbaren Energien. Angepasste Kraftwerks- und Grunddaten ergänzen dies. Als Open-Source-Plattform soll die Software das Erstellen, Anpassen und Veröffentlichen von Photovoltaik-, Wind- und Wasserkraftenergieerzeugungsmodellen ermöglichen und damit einen neuen Standard für Eingangsdaten der Systemanalyse schaffen. Dieser Ansatz schont Ressourcen und schafft einheitlichere, transparentere und verlässlichere Ergebnisse.

Das Schema zeigt das Zusammenwirken der open_FRED-Datenbank mit den Anwendern, Datenquellen und Analysemodellen.



Um die Nachhaltigkeit der Projektergebnisse zu gewährleisten, legen die Forscher ein besonderes Augenmerk auf den Aufbau einer Nutzer-Community. Damit wird eine frei zugängliche Basis zum wissenschaftlichen Austausch über die Grundlagen der Analysen und Modelle geschaffen. Mit dem Vorhaben tragen die Wissenschaftler dazu bei, Simulationsmodelle zu harmonisieren und kollaborative Entwicklungsplattformen voranzutreiben. Damit beschreiten die Verbundpartner neue Wege, denn bisher gibt es in diesem Umfang noch keine frei verfügbare Datengrundlage.

An dem Projekt sind das Reiner Lemoine Institut als Projektkoordinator sowie das Helmholtz-Zentrum Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung und das Institut für Intelligente Kooperierende Systeme der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg beteiligt. Das BMWi fördert open_FRED mit rund 770.000 Euro.

Systemanalyse und Modellierungen unterstützen Entscheider und Planer, indem sie wertvolles Orientierungswissen für das Energiesystem der Zukunft bereitstellen.



Internationale Zusammenarbeit



Globale Herausforderungen lassen sich dann gut bewältigen, wenn die Lösungen ebenfalls global gesucht werden. Das gilt im Besonderen für den Klimawandel. Daher haben die Regierungsvertreter der sieben führenden Industrienationen auf dem G7-Gipfel in Japan im Mai 2016 beschlossen, stärker in der Förderung von Energie- und Klimaforschung zu kollaborieren, um diese Aufgabe durch internationale Zusammenarbeit gemeinsam zu lösen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie verfolgt in seiner Förderpolitik bereits seit vielen Jahren erfolgreich den Ansatz bi- und multinationaler Kooperation in der Energieforschung, ob mit ausgewählten Ländern, auf EU-Ebene oder weltweit.

Europäische Zusammenarbeit

Die Mehrheit der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union wird ihre verbindlichen Ausbauziele für erneuerbare Energien bis Ende dieser Dekade erreichen. Das zeigt, welche großen Leistungen durch gemeinsame Bemühungen möglich sind. Das Zusammenwachsen erfordert zunehmend gemeinsame Ziele und Regeln. So gewinnt der grenzübergreifende Transport von Energie immer mehr an Bedeutung. Mit der 2015 gestarteten **Energieunion** hat die EU zudem eine gemeinsame Basis für eine sichere, bezahlbare und klimafreundliche Energieversorgung in Europa geschaffen. Sie fußt auf den fünf Säulen Versorgungssicherheit, Energiebinnenmarkt, Energieeffizienz, Dekarbonisierung der Wirtschaft und Energieforschung. Die Basis für die europäische Förderung der Energieforschung legt das

Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union **Horizont 2020**. Das bis 2020 laufende Programm ist mit rund 80 Milliarden Euro Fördermitteln ausgestattet und damit das bislang größte Forschungs- und Innovationsprogramm der EU. Die nicht-nukleare Energieforschung erhält dabei über die Gesamtlaufzeit von sieben Jahren rund 5,9 Milliarden Euro.

Die politisch-strategische Ausrichtung aller Energiethemen erfolgt über den **Strategischen Energie-Technologie-Plan (SET-Plan)**. Dieser unterstützt die Zusammenarbeit zwischen EU-Ländern, Unternehmen, Forschungseinrichtungen und der EU selbst beim Aufbau einer klimafreundlichen, kosten- und ressourceneffizienten Energieversorgung und ist eng in die Förderstrategien der Mitgliedsstaaten eingebunden. Die Förderung von Innovationen erfolgt nach dem

Mehrebenenprinzip der Europäischen Union. So fördern Institutionen auf regionaler, nationaler sowie trans- und internationaler Ebene Projekte, die den Übergang in ein klimafreundliches Energieversorgungssystem unterstützen. Das BMWi fördert zahlreiche Projekte nach dem SET-Plan, wie beispielsweise **ELAAN** (siehe auch „ELAAN – emissionsfreies, elektrisches Antriebssystem für Nutzfahrzeuge“ in der rechten Spalte).

Alle zwei Jahre veröffentlicht die EU-Kommission auf der Grundlage des SET-Plans Arbeitsprogramme (Work Programmes) sowie darauf aufbauende Ausschreibungen (Calls) zu den einzelnen Themen. Der Schwerpunkt für die Förderperiode 2016/2017 liegt auf wettbewerbsfähiger, kohlenstoffarmer Energie. Unter anderem werden mit dem Instrument der ERA-Net Cofunds Anreize für Forschung und Entwicklung gesetzt (siehe auch „Im Fokus: ERA-Net Cofund“, Seite 136). Dabei fördert jede teilnehmende Regierung Projekte von Zuwendungsempfängern aus ihrem Land. Dieses Vorgehen folgt dem Prinzip des Berliner Modells. Mit sieben ERA-Net Cofunds im Bereich der Energieforschung wird so der internationale Austausch und die Nutzung von Synergieeffekten gestärkt.

Internationale Energieagentur (IEA)

Nicht nur auf europäischer, sondern auch auf globaler Ebene arbeiten Regierungen, Forschungsinstitute, Universitäten und Industrieunternehmen eng in der Energieforschung zusammen. Die Internationale Energieagentur (IEA) bietet die Plattform für weltweite Kooperation in dieser Frage. Die IEA ist eine selbstständige Einrichtung innerhalb der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) und hat sich unter anderem zum Ziel gesetzt, die Regierungen ihrer Mitgliedsländer in Energiefragen zu beraten und somit zu einer sicheren und wirtschaftlichen sowie nachhaltigen, umwelt- und klimaverträglichen Energieversorgung beizutragen. Praktisch verfolgt werden diese Ziele in verschiedenen Arbeitsgruppen (Working Parties) und Technologiekoooperationsprogrammen (TCP), welche das gesamte energietechnologische Spektrum abbilden. Deutschland ist an allen vier Working Parties und 24 der insgesamt 39 aktuell laufenden TCPs beteiligt. So entwickeln beispielsweise die Firma Steca Elektronik und das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) innerhalb des Task 9 „Deployment of PV Services for Regional Development“ des TCP zur Photovoltaik (PVPS) Konzepte

weiter, um autarke PV-Hybridsysteme und PV-Dieselnetze nachhaltiger und effizienter betreiben zu können (siehe auch „Langlebige Energieversorgung in entlegenen Regionen“, Seite 137). Alle Aktivitäten zu Forschung und Entwicklung von Energietechnologien begleitet und koordiniert das „Committee on Energy Research and Technology“ (CERT). Das BMWi vertritt in diesem Gremium die Bundesregierung. Durch die internationale Zusammenarbeit innerhalb der IEA entstehen neue Synergien und Impulse für die Energiewende und gemeinsame Lösungsansätze für weltweite Herausforderungen.

Auswahl geförderter Projekte

ELAAN – emissionsfreies, elektrisches Antriebssystem für Nutzfahrzeuge

Nutz- und Antriebsfahrzeuge bei der Stadtreinigung, in Logistikunternehmen, im Garten- und Straßenbau, in der Abfallentsorgung oder bei Räumdiensten werden in der Regel mit Dieselmotoren angetrieben. Für diese Fahrzeugklasse der Kommunen und kommunaler Dienstleister erforschen Wissenschaftler im Verbundvorhaben **ELAAN** ein emissionsfreies, elektrisches Antriebssystem. Auf Basis

Fortsetzung Seite 137



Die Kehrmaschine verfügt über ein emissionsfreies, elektrisches Antriebssystem.

IM FOKUS: ERA-NET COFUND

Intelligent europaweit vernetzen

Das **ERA-Net Smart Grids Plus** ist eine staatenübergreifende Forschungsförderinitiative von 21 europäischen Ländern und Regionen innerhalb des Forschungsrahmenprogramms Horizont 2020 der Europäischen Union. Mit ERA-Net unterstützt die Europäische Union das Erforschen und Weiterentwickeln von Spitzentechnologien und das Identifizieren neuer Marktfelder. Auf diese Weise wollen die beteiligten Partner die Wettbewerbsfähigkeit klimafreundlicher Hochtechnologie in Europa stärken. Insgesamt ist Deutschland an neun europäischen ERA-Net-Initiativen innerhalb der Herausforderung „Sichere, saubere und effiziente Energie“ (Challenge Energy) von Horizont 2020 beteiligt.

Mit ERA-Net Smart Grids Plus verfolgen die beteiligten Partner das Ziel, eine intelligente Stromversorgungsinfrastruktur aufzubauen, die die Integration erneuerbarer Energien ebenso ermöglicht wie den Einsatz flexibler Verbraucher- und Produktionstechnologien. Die Initiative unterstützt die Forschung und Entwicklung von Technologien, Marktdesigns und von verbraucher-spezifischen Anpassungen, die zu einem Gelingen einer intelligenten Energieversorgung beitragen können. Dabei orientiert sich die Initiative am Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan) der EU (siehe auch Seite 137) und der EEGI-Roadmap (European Electricity Grid Initiative Roadmap), dem Europäischen Strategieplan für eine Europäische Stromnetzinitiative.

„Unsere Energiesysteme erleben derzeit einen kräftigen Innovationsschub. Den damit verbundenen Umbau der Energie- und Technologielandschaft effizient und zielorientiert zu gestalten erfordert den intensiven Austausch und die Zusammenarbeit über Landesgrenzen hinweg, insbesondere, wenn wir den Wirtschafts- und Innova-

tionsstandort Europa stärken wollen. ERA-Net Smart Grids Plus organisiert die effektive Zusammenarbeit einschlägiger Forschungs- und Entwicklungsprogramme und die gemeinsame Finanzierung von Projekten. Aufbauend auf den Ergebnissen von Demonstrationsprojekten in den EU-Ländern entsteht ein gemeinsames Expertennetzwerk, das konzentriertes Wissen zur Gestaltung der nächsten Entwicklungsschritte auf aktuellstem Stand für Entscheidungsträger aus Wirtschaft und öffentlichem Sektor verfügbar macht“, betont Michael Hübner vom österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Chair des ERA-Net Cofund Smart Grids Plus.

Aus dem ersten Förderaufruf (Call) des Cofunds aus dem Jahr 2015 ist unter anderem das Verbundvorhaben **uGRIP** hervorgegangen (siehe auch Highlight „Klein aber oho: systemdienliches Verhalten von Microgrids durch lokale Märkte“, Seite 91). Insgesamt unterstützt die Förderung im ERA-Net 21 Projekte aus 19 Ländern und Regionen mit einem Gesamtfördervolumen von 31 Millionen Euro. Ungefähr 10 Millionen Euro davon beträgt das EU-Cofund. Das BMWi steuert bis zu 4,3 Millionen Euro für die Projekte deutscher Zuwendungsempfänger bei. An den Vorhaben sind 128 Partner aus ganz Europa beteiligt. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind im Jahr 2016 gestartet.

Der zweite Förderaufruf ist im Frühjahr 2016 erfolgt. Die Partnerstaaten und -regionen stellen hierfür ein Gesamtbudget von rund 25 Millionen Euro für Forschung und Entwicklung zur Verfügung. Die ersten Vorhaben dieses Aufrufs werden voraussichtlich 2017 ihre Arbeit aufnehmen.



Smart Grids Plus
ERA-Net

einer Batterie als Leistungs- und Energiepuffer und eines emissionsfreien Brennstoffzellen-Reichweitenverlängerers (Range Extender) entwickelt LADOG gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und der Firma Heinzmann einen elektrischen, hybriden Antriebsstrang. Die eingesetzte Hochleistungsbatterie deckt die Spitzenlast des Nutzfahrzeugs ab und der wirkungsgradoptimierte Range-Extender stellt die Grundlast bereit. Die Komponenten Range-Extender, Batterie, Leistungselektronik und E-Motor werden im Verbundvorhaben modell- und simulationsgestützt auf typischen Lastprofilen von Nutz- und Arbeitsfahrzeugen analysiert und optimiert, sodass sich das elektrische Antriebssystem auf die unterschiedlichen Anforderungen von Nutzfahrzeugen anpassen lässt – zum Beispiel beim Kehren oder Schneeräumen. Bereits vorhandene Standards werden hier berücksichtigt; elektrische und mechanische Schnittstellen sollen mit dem Vorhaben vereinheitlicht werden. Darüber hinaus reduziert dieses innovative Antriebssystem – das von den Wissenschaftlern in ein Nutzfahrzeug integriert und als Prototyp im Alltag eingesetzt werden soll – auch die Lärmemissionen. Im Rahmen des **SET-Plans** kooperiert das Verbundvorhaben ELAAN mit dem österreichischen Brennstoffzellen-Systemintegrator FRONIUS, der den Range-Extender in das Antriebssystem integriert, die Batterie über eine geeignete Leistungselektronik verschaltet, das Batteriemangement übernimmt und das Sicherheitskonzept inklusive Wasserstoffspeicherung entwickelt. Das BMWi fördert die deutschen Partner im Verbundvorhaben ELAAN mit rund 4,4 Millionen Euro.

Langlebige Energieversorgung in entlegenen Regionen

Die Firma Steca Elektronik und die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung entwickeln innerhalb der Task 9 **Deployment of PV Services for Regional Development (PVPS)** (Nutzung der Photovoltaik für die Entwicklung ländlicher Regionen) Konzepte weiter, um autarke PV-Hybridssysteme und PV-Dieselnetze, die beispielsweise in entlegenen Regionen der Erde zum Einsatz kommen, in Zukunft nachhaltiger und effizienter betreiben zu können. Hierbei wird der Ansatz verfolgt, aus Fehlern und Mängeln existierender Anlagen Handlungsimpulse zur Entwicklung und zum Betrieb von künftigen Anlagen zu gewinnen. Mit Hilfe eines weltweiten Netzes von Experten werden auftretende technische Mängel und organisatorische Schwierigkeiten bestehender Anlagen



Autarke Photovoltaik-Hybridssysteme können weltweit helfen, ländliche Regionen mit Strom zu versorgen.

zunächst zusammengetragen und dann in einem weiteren Schritt auf Schwachstellen hin systematisch analysiert. Darauf aufbauend erarbeiten die Experten Lösungsmöglichkeiten, die sie als Empfehlungen an relevante Stellen, Entscheidungs- und Funktionsträger weiterleiten, die beispielsweise für öffentliche Ausschreibungen in den einzelnen Ländern oder für den Betrieb solcher Anlagen zuständig sind.

Perspektivisch soll dieses Vorhaben dazu beitragen, dass neu zu etablierende Systeme nachhaltiger und länger betrieben werden können, auch wenn zum Beispiel bei einem PV-Hybridssystem ein höherer Anteil aus Photovoltaik gewonnenen Stroms in ein lokales Verteilernetz eingespeist wird. Hierbei treten immer wieder technische Schwierigkeiten auf. Steigt zum Beispiel die Leistung aus der Photovoltaik über den Bedarf der Verbraucher, müssen die Netzwechselrichter abgeregelt werden. Dies begrenzt den PV-Anteil in solchen Anlagen. Hier sollen Regelstrategien helfen, den PV-Anteil in solchen Anlagen zu erhöhen. Um die von den Experten erarbeiteten Lösungen im Markt zu etablieren, arbeiten die beiden Verbundpartner zudem in internationalen Standardisierungskomitees mit. Durch diese länderübergreifenden Gesprächsplattformen wird eine breite Wissensbasis generiert, die die PV-Insel-Lösungen für die ländlichen Regionen rund um den Globus voranbringt. Das BMWi fördert das Vorhaben mit rund 399.000 Euro.

Statistischer Überblick

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. € in					Anzahl laufende Projekte in				
	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
Windenergie	38,42	52,57	53,06	53,04	49,69	209	216	242	284	322
Photovoltaik	51,46	48,73	43,34	59,68	57,82	239	241	260	262	368
Solarthermische Kraftwerke	7,45	8,41	9,25	10,09	8,58	69	70	77	75	76
Tiefe Geothermie	20,82	17,10	15,55	13,38	12,54	113	123	106	94	83
Wasserkraft & Meeresenergie	0,98	1,25	1,21	1,68	2,01	8	9	15	19	17
Bioenergie	7,36	5,91	5,03	4,69	3,66	139	141	146	101	100
Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien	23,00	27,82	26,74	26,22	27,16	208	214	233	277	312
Brennstoffzellen und Wasserstoff	17,82	21,54	22,82	19,74	15,41	112	111	105	119	126
Energiespeicher	13,94	30,52	31,04	34,13	31,17	136	186	206	232	263
Stromnetze	13,68	30,46	33,62	44,93	56,91	145	207	285	450	527
Energieoptimierte Gebäude und Quartiere	42,17	52,28	55,19	51,15	49,73	362	398	412	486	531
Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	30,01	36,38	32,94	34,05	33,38	255	258	274	339	378
Elektromobilität	7,82	12,07	10,40	12,61	12,90	24	40	44	57	79
Querschnittsthemen und Systemanalyse	8,60	11,30	10,47	11,18	13,67	83	87	89	99	147
Programmkooperation Industrielle Gemeinschaftsforschung	-	-	-	-	0,05	0	0	0	0	2
Gesamt	283,52	356,32	350,64	376,58	374,68	2.102	2.301	2.494	2.894	3.331

Förderthema	Neu bewilligte Projekte in Mio. € in					Anzahl neu bewilligte Projekte in				
	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
Windenergie	78,31	36,75	38,51	85,39	86,24	75	56	63	103	93
Photovoltaik	65,43	33,99	66,91	78,64	116,57	80	35	90	97	166
Solarthermische Kraftwerke	18,02	8,65	7,44	3,76	8,90	25	14	22	16	13
Tiefe Geothermie	17,43	19,21	12,65	17,33	19,55	29	25	15	21	22
Wasserkraft & Meeresenergie	3,61	0,71	2,02	2,33	3,51	6	2	6	5	4
Bioenergie	5,83	4,99	5,81	0,38	5,98	41	39	38	3	37
Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien	30,76	27,82	23,79	53,97	29,03	67	64	55	108	73
Brennstoffzellen und Wasserstoff	32,65	22,12	21,50	25,35	18,48	33	26	28	42	28
Energiespeicher	59,78	40,26	20,52	42,79	38,60	86	60	46	58	68
Stromnetze	46,32	43,04	71,03	77,92	53,23	78	73	152	163	119
Energieoptimierte Gebäude und Quartiere	62,38	49,48	47,19	73,48	69,19	112	88	98	159	148
Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	40,56	33,84	38,60	58,48	56,57	71	49	83	115	115
Elektromobilität	29,34	9,76	14,87	17,40	18,38	18	12	11	25	41
Querschnittsthemen und Systemanalyse	19,69	12,17	8,15	11,17	27,00	27	32	26	27	67
Programmkooperation Industrielle Gemeinschaftsforschung	-	-	-	-	0,80	0	0	0	0	2
Gesamt	510,11	342,78	378,99	548,38	552,03	748	575	733	942	996

Verzeichnis der Highlight- und Im-Fokus-Beiträge

Windenergie

Im Fokus: Meteorologie – Kolossale Messungen	14
Im Fokus: Testfelder – Ab ins Gelände	18
Highlight: Gemeinsam an einem (Antriebs-)Strang	20
Highlight: Smart Blades: Intelligente Rotorblätter reagieren auf lokale Windsituation	24

Solarenergie

Im Fokus: Perspektive in der Photovoltaik – Sonnige Aussichten	30
Highlight: Im Tandem zu höheren Wirkungsgraden	32
Highlight: Präziser, günstiger, umweltfreundlicher: Diamantdrahtsägen	34

Tiefe Geothermie

Im Fokus: Forschung in der Geothermie – „Die Lagerstättentypisierung hilft, Erschließungskosten zu senken“	42
Highlight: Bohrziel Störungszone	44

Kraftwerkstechnik sowie CO₂-Abscheidung und -Speicherung

Im Fokus: Turbomschinen – Den Turbo eingelegt	56
Highlight: Große Hilfe mit kleinen Lasten	58

Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien

Im Fokus: Brennstoffzellenfertigung – Forschung für eine Brennstoffzellenfertigung in Deutschland	64
Highlight: Ein Filter für die Brennstoffzelle	66

Energiespeicher

Im Fokus: Redox-Flow-Batterien – Alles im Fluss	72
Im Fokus: Pumpspeicherkraftwerke – Zurück in die Zukunft? Alte Zechen als Stromspeicher nutzen	74
Highlight: Wolkige Aussichten – Integrativer Stromspeicher in der Cloud	76
Highlight: Druckluft und Wasserstoff in Salzkavernen speichern	78

Stromnetze und Netzintegration erneuerbarer Energien

Im Fokus: Digitalisierung der Stromversorgung – Big Data im Stromnetz	84
Highlight: Die perfekte Symbiose: PV- und Windkraftwerke für Wirk- und Blindleistung	87
Highlight: Strommarkt 2.0 – Flexibilitätscluster für die industrielle Stromnachfrage	88
Highlight: Klein aber oho: systemdienliches Verhalten von Microgrids durch lokale Märkte	91

Energieoptimierte Gebäude und Quartiere

Im Fokus: Planungswerkzeuge – Wie in der Forschung entwickelte Planungswerkzeuge Gebäude und Quartiere energieeffizienter machen	96
Im Fokus: Wärmenetze – Forschung für energieeffiziente Wärmenetze	98
Highlight: Hochleistungs-Dämmputz aus Schilfgras	100
Highlight: Wohnquartiere energieeffizient sanieren	102
Highlight: Wie lange lebt ein Solarkollektor?	104

Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Im Fokus: Künstliche Intelligenz – Lernen statt programmieren	110
Im Fokus: Thermoprozessanlagen – Aluminium effizienter schmelzen	112
Highlight: Mikro-Massenspektrometer für energieeffiziente Prozesse in der Chemie	115
Highlight: Wie Wasser künftig energieeffizient gewonnen wird	116

Energiesystemanalyse

Im Fokus: Open-Source-Modellierung – Open Data und Open Source steigern Effizienz, Innovation und Qualität	128
Highlight: – Fast so schnell wie beamen	131

Internationale Zusammenarbeit

Im Fokus: ERA-net cofund – Intelligent europaweit vernetzen	136
--	-----

Wichtige Links

www.bmwi.de

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

www.bmel.de

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

www.bmbf.de

Bundesministerium für Bildung und Forschung

www.bmwi.de/go/energieforschung

Energieforschung des BMWi

www.ptj.de/angewandte-energieforschung

Geschäftsbereiche Energiesystem: Integration, Energiesystem: Nutzung und Energiesystem: Erneuerbare Energien/Kraftwerkstechnik des Projektträgers Jülich

www.foerderinfo.bund.de

Förderberatung Forschung und Innovation des Bundes

www.foerderdatenbank.de

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

www.forschungsnetzwerke-energie.de

Forschungsnetzwerke Energie des BMWi

<https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/gebaeude-und-quartiere>

Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren des BMWi

<https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/industrie-und-gewerbe>

Forschungsnetzwerk Energie in Industrie und Gewerbe

<https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/systemanalyse>

Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse

<https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/erneuerbare-energien>

Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien

www.forschungsnetzwerke-energie.de/stromnetze

Forschungsnetzwerk Stromnetze

<https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/flexible-energieumwandlung>

Forschungsnetzwerk Flexible Energieumwandlung

www.enargus.de

Zentrales Informationssystem EnArgus

www.nks-energie.de

Nationale Kontaktstelle Energie (NKS Energie)

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

Forschungsinitiative Energiespeicher von BMWi und BMBF

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

Forschungsinitiative Zukunftsfähige Stromnetze von BMWi und BMBF

www.energiewendebauen.de

Forschungsportal zu ENERGIEWENDEBAUEN des BMWi

www.eneff-industrie.info

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

www.kraftwerkforschung.info

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

www.rave-offshore.de

RAVE-Forschungsinitiative

www.bine.info

BINE Informationsdienst zu Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien

