



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Energie **wende**
Umschalten auf Zukunft

Energiewende – ein gutes Stück Arbeit

Innovation durch Forschung

*Erneuerbare Energien und Energieeffizienz:
Projekte und Ergebnisse der Forschungsförderung 2018*



Impressum

Herausgeber

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

Stand

April 2019

Druck

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

Gestaltung

PRpetuum GmbH, 80801 München

Bildnachweis

ABT Sportline GmbH / S. 116

Adobe Stock

freebird / S. 73

industrieblick / S. 13

magann / S. 26 – 27

marchello74 / S. 90 – 91

metamorworks / S. 95

Milan Ilic / S. 11

mimadeo / S. 80 – 81

Nataliya Hora / S. 100 – 101

Rawpixel.com / S. 131

Tiberius Gracchus / S. 93

Tim Siegert / S. 14 – 15

truekit / S. 128 – 129

urbans78 / S. 83

Youril / S. 110 – 111

zstock / S. 6 – 7

Baker Hughes, a GE Company / S. 44

Belectric / S. 33

Bergische Universität Wuppertal / S. 132

BMUB-Archiv / S. 49

BMW

BMW / S. 5, 135

Holger Vonderlind / S. 8, 17, 21, 24, 29, 41, 47, 127

Maria Prussel / S. 46, S. 113, 126

Bo Wang / S. 77

Deutsches Biomasseforschungszentrum DBFZ / S. 51

Jan Gutzeit / Titel

Detlev Müller / S. 43

Deutsche Post AG / S. 34

DLR – Institut für Solarforschung / S. 35, 37, 74

ElringKlinger AG / S. 69, S. 114

Energieforschungszentrum Niedersachsen EFZN / S. 76

Esters Elektronik GmbH / S. 66

Europa-Universität Flensburg / S. 122 – 123

EWE Netz GmbH / Tanja Koch / S. 84

EWE Netz GmbH Project Green Access / S. 85

Forschungszentrum Jülich / Ralf-Uwe Limbach / S. 62 – 63

Franken Filtertechnik KG / S. 107

Fraunhofer- Institut für Angewandte Polymerforschung IAP / S. 103

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE /
S. 89, 124 – 125, 133

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Dirk Mahler / S. 10

Ulf Groos / S. 68

Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES / S. 18 – 19, 23

Thomas Viergutz / S. 20

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT / S. 61

Volker Lannert / S. 59

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM / S. 107

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik

UMSICHT / S. 67

FuE-Zentrum FH Kiel GmbH, Verbundprojekt „Add-On“ / S. 88

Getty Images

Bloomberg / S. 118 – 119

Monty Rakusen / S. 54 – 55, 70 – 71

GZB intern / S. 133

HS Flensburg / S. 122

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) / S. 42, 117

Klas Lüders / S. 77

Max STREICHER GmbH & Co. KGaA / S. 45

Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe GmbH / S. 60

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg / S. 106

Oxford PV / S. 32

PTB / S. 25

Projektträger Jülich / S. 134

Meike Bierther / S. 38 – 39, 58

Privat / S. 44

RWTH Aachen, ACS / Peter Winandy / S. 87

Schunk Group / S. 78

Shutterstock / metamorworks / S. 22

SKZ-KFE GmbH / S. 104

SMA Solar Technology AG / S. 30

SMA Sunbelt Energy GmbH / S. 30, 31

Stadt Oldenburg / Jens Gehrcken / S. 97

Sustainable Marine Energy Ltd. / S. 52

Sutco Recycling Technik / S. 108, 109

teamtechnik Maschinen und Analgen GmbH / S. 34

Technische Hochschule Ingolstadt, Institut für neue Energie-Systeme / S. 53

Technische Hochschule Nürnberg / S. 99

TenneT TSO GmbH / S. 86

TU Dresden / S. 94

Universität Duisburg, Lehrstuhl Energietechnik / S. 115

Universität Kassel / S. 98

Universität Kiel, V. Peschko / S. 25

Wilo SE / S. 107

www.alantum.com / S. 79

Zentrum Für Brennstoffzellen-Technik GmbH / S. 67

ZAE Bayern / Ebert / S. 78

Bestellmöglichkeit

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Referat Öffentlichkeitsarbeit

E-Mail: publikationen@bundesregierung.de

www.bmwi.de

Zentraler Bestellservice

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

Diese Publikation wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und
Energie im Rahmen seiner Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben.

Die Publikation wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf
bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder
Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung
verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunal-
wahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

Das Titelbild zeigt einen mit Biodiesel gefüllten
Glaskolben. Wissenschaftlerinnen und Wissen-
schaftler des Deutschen Biomasseforschungs-
zentrums (DBFZ) bestimmen damit etwa den
Siedeverlauf von Biodiesel.





Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



Energiewende – ein gutes Stück Arbeit

Innovation durch Forschung

Erneuerbare Energien und Energieeffizienz:

Projekte und Ergebnisse der Forschungsförderung 2018



14

Windenergieanlagen an Land und auf See sind tragende Säulen der Energiewende.



70

Innovative Energiespeichertechnologien sorgen für mehr Flexibilität im Stromnetz.



80

Die Digitalisierung macht's möglich: Stromnetze werden zu Smart Grids.



26

Strom aus Photovoltaik und solarthermischen Kraftwerken wird kostengünstiger.



90

Innovative Versorgungsstrukturen führen die Energie- und Wärmewende zum Erfolg.



38

Wärme aus dem Inneren der Erde: Die Geothermie heizt Häuser und Wohnquartiere.



100

Der Einsatz künstlicher Intelligenz in der Produktion reduziert den Energieverbrauch.



46

Wasserkraft und Biomasse sind wandlungsfähig – zu Strom, Wärme und Kraftstoffen.



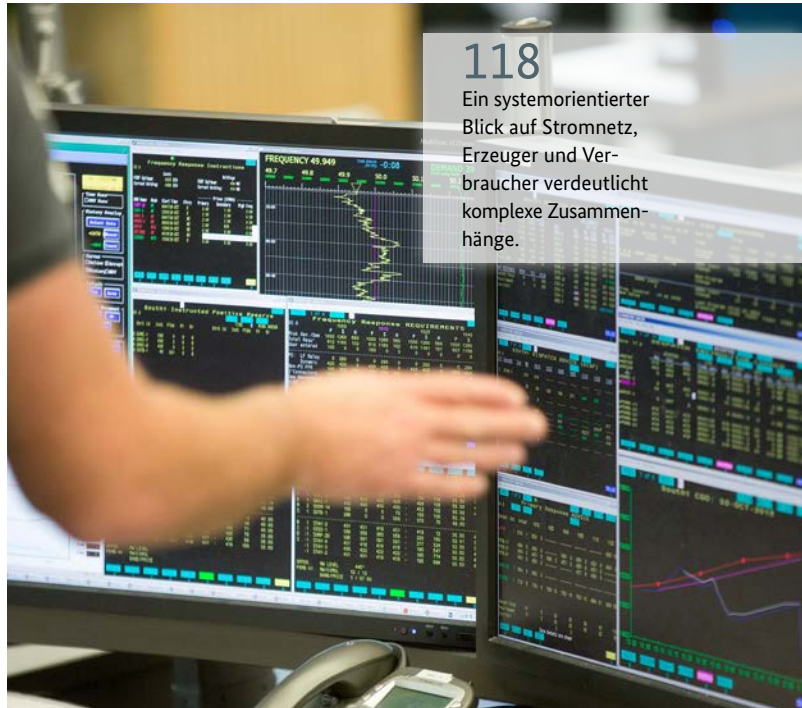
110

Deutschland soll Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität werden.



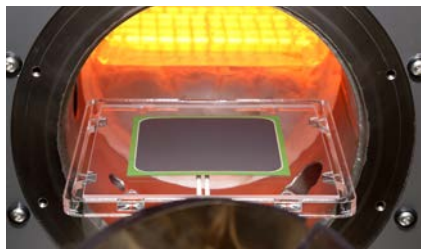
54

Kraftwerke sind verlässliche Stromlieferanten in sonnen- und windarmen Zeiten.



118

Ein systemorientierter Blick auf Stromnetz, Erzeuger und Verbraucher verdeutlicht komplexe Zusammenhänge.



62

Wasserstoff und Brennstoffzellen sind Schlüsseltechnologien unserer künftigen Mobilität.

Inhalt

Vorwort	5
Forschung und Entwicklung für eine moderne Energiewende	7
Windenergie.....	14
Solarenergie	26
Geothermie	39
Biomassenutzung, Wasserkraft	47
Kraftwerkstechnik sowie CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung.....	55
Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien.....	62
Energiespeicher.....	70
Stromnetze und Netzintegration erneuerbarer Energien	81
Energieoptimierte Gebäude und Quartiere.....	90
Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	101
Elektromobilität	110
Energiesystemanalyse	118
Internationale Zusammenarbeit	129
Gewusst wie: Projektförderung in der Energieforschung	134
Statistischer Überblick	136
Wichtige Links.....	138

Vorwort



Die Energiewende ist in vollem Gange: Der Umbau unseres Energiesystems ist an vielen Stellen sichtbar. Nachhaltig gebaute oder sanierte Häuser formen energieeffiziente Stadtquartiere und immer mehr Elektrofahrzeuge tanken an Ladestationen. Der Anteil der erneuerbaren Energien im Stromnetz – insbesondere Sonnen- und Windenergie – nimmt stetig zu. Noch haben wir jedoch Nachholbedarf bei der Energieeffizienz und dem Einsatz erneuerbarer Energieträger in Industrie und Gewerbe, im Gebäude- und Verkehrssektor.

Für den umfassenden Wandlungsprozess benötigen wir weiterhin innovative Ideen und Entwicklungen. Nur mit neuen Technologien aus Forschungslaboren und Entwicklungsabteilungen lässt sich diese Aufgabe erfolgreich meistern. Dazu muss die Politik einen förderpolitischen Rahmen stellen, der Innovationen „Made in Germany“ möglich macht. Damit tragen wir nicht nur zum Erfolg der Energiewende bei, sondern stärken auch den Technologie- und Innovationsstandort Deutschland.

Die Bundesregierung unterstützt die Forschung und Entwicklung in Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen seit über 40 Jahren im Rahmen von Energieforschungsprogrammen. Im September 2018 hat die Bundesregierung das 7. Energieforschungsprogramm „Innovationen für die Energiewende“ im Kabinett verabschiedet – mit einem starken Fokus auf den Technologie- und Innovationstransfer. Sektorkopplung und Digitalisierung spielen dabei eine entscheidende Rolle. Konkret heißt das: Wir müssen nicht nur den Stromsektor auf erneuerbare Energien umstellen, sondern auch im Wärme- und Verkehrsbereich stärker auf die Erneuerbaren setzen, Energieeffizienz ausbauen und dabei die Chancen, die die Digitalisierung im Energiebereich bietet, umfassend nutzen.

Die Komplexität der Energiewende erfordert gemeinsame Anstrengungen. Das wird in hunderten von Forschungsprojekten jeden Tag praktiziert. Der vorliegende Bericht „Innovation durch Forschung“ gibt Ihnen einen anschaulichen Einblick in die Arbeit der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Eine interessante und informative Lektüre wünscht Ihnen



Peter Altmaier
Bundesminister für Wirtschaft und Energie



Forschung und Entwicklung für eine moderne Energiewende

Sicher und effizient, zugleich wirtschaftlich und umweltverträglich soll die Energieversorgung der Zukunft sein. Diese Kriterien geben der Energiewende einen Rahmen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie fördert mit Blick auf diese Zielsetzungen die anwendungsorientierte Energieforschung.



Das Energiesystem befindet sich mitten im Umbau. Vorbei sind die Zeiten, in denen Energie überwiegend aus zentralen Kraftwerken kam. Energiequellen wie Sonne und Wind sind die wichtigsten erneuerbaren Energieträger. Klimaneutrale Gebäude und Elektrofahrzeuge werden das Gesicht der Städte von morgen prägen. Forschung und Entwicklung leisten einen wichtigen Beitrag auf dem Weg hin zu einem ausschließlich auf erneuerbaren Energien beruhenden, energieeffizienten System. Daher fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) entsprechende Forschungsprojekte.

Forschungseinrichtungen, Universitäten und Unternehmen arbeiten in der Regel gemeinsam in projektbezogenen Verbundprojekten. In dem jährlichen Bericht „Innovation durch Forschung“ gibt das BMWi mit anschaulichen Projektbeispielen einen Einblick in die Welt der Energieforschung im anwendungsnahen, nichtnuklearen Bereich. Beeindruckende Fortschritte zeigen, was möglich ist und in Zukunft noch möglich werden kann.

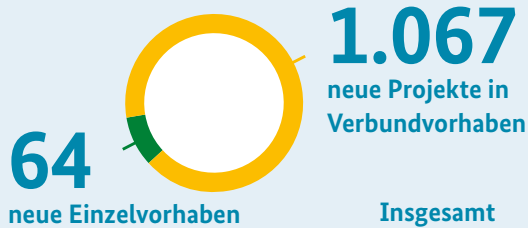
Innovationen bieten die Grundlage für Alleinstellungsmerkmale deutscher Unternehmen.

Technologien, mit denen erneuerbare Energien in Strom umgewandelt werden – zum Beispiel Windenergie- und Photovoltaikanlagen –, werden leistungsfähiger und kostengünstiger. Geothermie ist als Wärmequelle mittlerweile so attraktiv, dass ein sichtbarer Ausbau stattfindet. Konzepte, Biomasse zu nutzen, werden vielfältiger und versprechen höhere Erträge – der Absatz von Biokraftstoffen steigt. Neben klassischen Verbrennungsmotoren gibt es die ersten Fahrzeuge mit Brennstoffzellen als Antrieb, die für den Verkehr zugelassen sind.

Konventionelle Kraftwerke werden zunehmend flexibler und gleichen schwankende Erträge der Stromversorgung aus Solar- und Windenergie aus. Das Stromnetz wird konsequent ausgebaut und optimiert. Energiespeicher können das Gesamtsystem stützen, deren Wirtschaftlichkeit wird weiter gesteigert. Die Batterien von Elektrofahrzeugen spielen perspektivisch eine Doppelrolle: Sie sind zum einen Antrieb der Fahrzeuge, können aber auch als ausgleichender Pufferspeicher für das Verbundnetz genutzt werden. Dort, wo Energie verbraucht wird, in Gebäuden und Quartieren, bei Industrie und Gewerbe oder dem Handels- und Dienstleistungssektor, entstehen darüber hinaus Konzepte für den Einsatz neuer Technologien, um die Energieeffizienz weiter zu steigern.



Die angewandte nichtnukleare Energieforschung im Jahr 2018



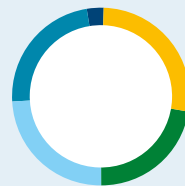
Insgesamt
4.036
laufende Projekte



448,23
Millionen Euro Fördergelder
(Mittelabfluss)



1.131 neue Projekte



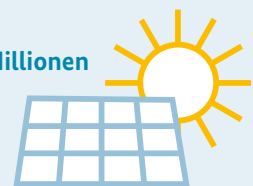
- Verteilung der Fördermittelempfänger 2018
- Bildungseinrichtungen: 27 %
 - Forschungseinrichtungen: 22 %
 - Großunternehmen: 25 %
 - KMU: 23 %
 - Sonstige: 3 %

Die aktivsten Forschungsbereiche*

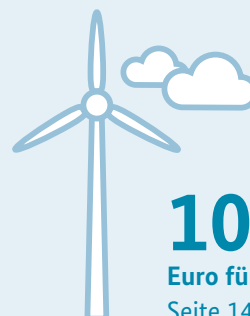
150,64 Millionen
Euro für Energieeffizienz-
Forschung bei Gebäuden
und Quartieren
Seite 90



119,53 Millionen
Euro für Photovoltaik
Seite 26

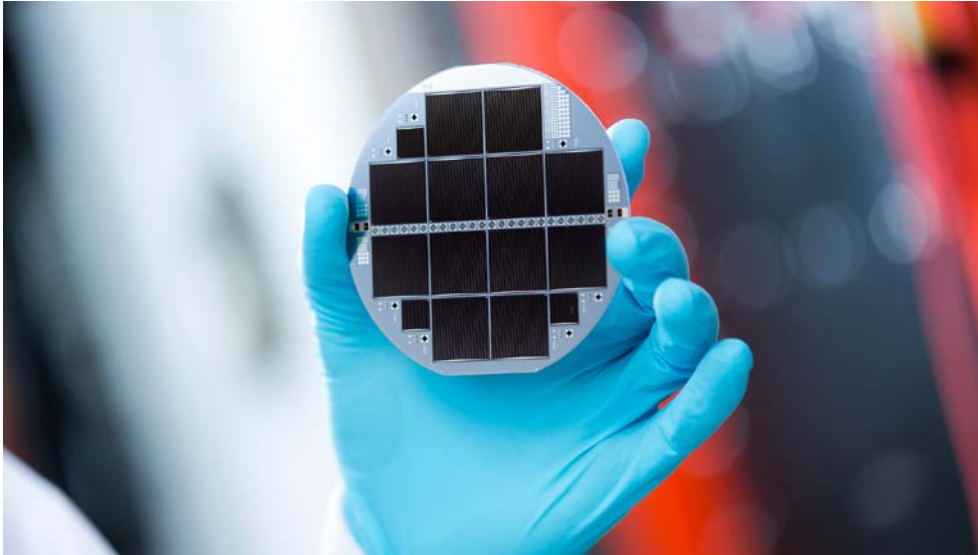


116,15 Millionen
Euro für Energieeffizienz-Forschung
in Industrie und Gewerbe, Handel
und Dienstleistungen
Seite 100



108,35 Millionen
Euro für Windenergie
Seite 14

* Gemessen an den Gesamtkosten der neu gestarteten Projekte, inklusive Mitteln der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen



Technologien wie Photovoltaik werden leistungsfähiger: Diese Mehrfachsolarzelle aus III-V-Halbleitern und Silicium des Fraunhofer ISE wandelt bereits 33,3 Prozent des Sonnenlichts in Strom um.

Innovationen für den Klimaschutz

Bis zum Jahr 2030 sollen mindestens 55 Prozent weniger Treibhausgas emittiert werden als im Jahr 1990. Mit den im Klimaschutzplan vereinbarten Zwischenzielen und Maßnahmen setzt Deutschland das Pariser Klimaschutzabkommen um, das 2016 in Kraft getreten ist. Im Jahr 2050 soll die Energieversorgung Deutschlands weitgehend treibhausgasneutral gestaltet sein. Strom soll langfristig nahezu vollständig aus erneuerbaren Energien erzeugt werden. Die Sektorkopplung spielt ebenfalls eine wichtige Rolle – so soll Strom aus erneuerbaren Energien auch für den Wärme- oder den Verkehrssektor genutzt werden. Forschung und Entwicklung sorgen für die benötigten umfassenden strukturellen und technologischen Anpassungen, die nur durch entsprechendes Know-how geleistet werden können.

Mit dem 7. Energieforschungsprogramm hat die Bundesregierung ihre Leitlinien für die Energieforschungsförderung der kommenden Jahre festgelegt (siehe auch „Im Blick-

Die benötigten umfassenden strukturellen und technologischen Anpassungen können nur durch entsprechendes Know-how geleistet werden.

punkt: Das 7. Energieforschungsprogramm“, Seite 11). Das BMWi hat die darauf basierende Förderbekanntmachung zur angewandten nichtnuklearen Forschungsförderung im 7. Energieforschungsprogramm „Innovationen für die Energiewende“ im Oktober 2018 veröffentlicht. Der vorliegende Bericht enthält Forschungsergebnisse aus dem Jahr 2018 und bezieht sich daher im Wesentlichen noch auf das 6. Energieforschungsprogramm. Er gibt aber auch einen Ausblick darauf, wie sich die Forschungsförderung der Bundesregierung weiter entwickeln wird.

Projektförderung konkret

Struktur und Ablauf der Projekte: Indem entsprechende Forschungsarbeiten zeitlich befristet und inhaltlich klar umrissen sind, stellt das BMWi sicher, dass die Forschungsförderung bedarfsgerecht erfolgt. In der Regel ist ein Projekt auf rund drei Jahre angelegt. Der Projektträger Jülich setzt die Forschungsförderung im Auftrag des BMWi um (zum Ablauf der Projektförderung siehe auch Grafik „Gewusst wie: Projektförderung in der Energieforschung“, Seite 134).

Während dieser Bericht eine Auswahl an Projekten vorstellt, können Kurzbeschreibungen sämtlicher Projekte in der Datenbank EnArgus, dem zentralen Informationssystem zur Energieforschungsförderung, recherchiert werden. Internetportale zu einzelnen Themenbereichen, wie etwa Stromerzeugungstechnologien oder energieoptimierten Gebäuden und Quartieren, bieten ausführlichere Informationen zu ausgewählten Projekten (siehe auch „Wichtige Links“, Seite 138).

Die Relevanz von Forschung und Entwicklung spiegelt sich auch in den Ausgaben für die Projektförderung des BMWi. Insgesamt hat sich die Zahl der neu bewilligten Förder-

Im Blickpunkt: Technologie- und Innovationstransfer

Das 7. Energieforschungsprogramm

Das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung legt die Leitlinien für die Energieforschungsförderung der kommenden Jahre fest. Im September 2018 hat das Bundeskabinett das 7. Energieforschungsprogramm „Innovationen für die Energiewende“ verabschiedet.

Das neue Programm rückt die gesamtgesellschaftlichen und systemischen Fragestellungen stärker in den wissenschaftlichen Fokus als sein Vorgänger. Das äußert sich zum einen darin, dass es über spezifische Technologien hinaus Querschnittsthemen wie Sektorkopplung und Digitalisierung hervorhebt. Zum anderen ist die Programmstruktur selbst ressortübergreifend und themenorientiert angelegt: Das BMWi ist federführend für die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik der Bundesregierung zuständig. Weitere Bereiche entfallen auf die Bundesministerien für Bildung und Forschung (BMBF) sowie für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Das Programm orientiert sich am so genannten „Technology Readiness Level“ (kurz „TRL“), also dem angestrebten Reifegrad einer Technologie. Dadurch deckt es den gesamten Innovationszyklus ab. Das BMWi ist zuständig für die anwendungsnahe Energieforschung in den Reifegraden 3 bis 9. Für eine Einstufung in TRL 3 muss für einzelne Elemente der Technologie oder des Verfahrens ein Funktionsnachweis im Labor oder einer Versuchsumgebung erbracht worden sein. TRL 9 ist die Stufe, die sich auf den kommerziellen Einsatz bezieht.

Der Schwerpunkt des Programms liegt auf dem beschleunigten Technologie- und Innovationstransfer, die Energiewende soll effizient und sektorübergreifend umgesetzt werden. Die „Real-labore der Energiewende“ gehen als neue Programmsäule in

projekte im Vergleich zum Vorjahr wieder erhöht: von 937 neu bewilligten Projekten im Jahr 2017 mit einer Bewilligungssumme von rund 547,2 Millionen Euro auf 1.131 Projekte im Jahr 2018 mit einer Bewilligungssumme von rund 597,8 Millionen Euro. Der Mittelabfluss für laufende Projekte liegt mit 448,2 Millionen Euro auf einem ähnlichen Niveau wie im Vorjahr (2017: 471,6 Millionen Euro).

Das BMWi fördert im Bereich der angewandten Energieforschung Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten. Über die Hälfte der an Unternehmen bewilligten Anträge entfallen auf kleine und mittlere Unternehmen. Das unterstreicht die Bedeutung, die innovative Unternehmen für die Energiewende haben.



Für junge, kreative Start-up-Unternehmen soll die Teilhabe am Energieforschungsprogramm erleichtert werden.

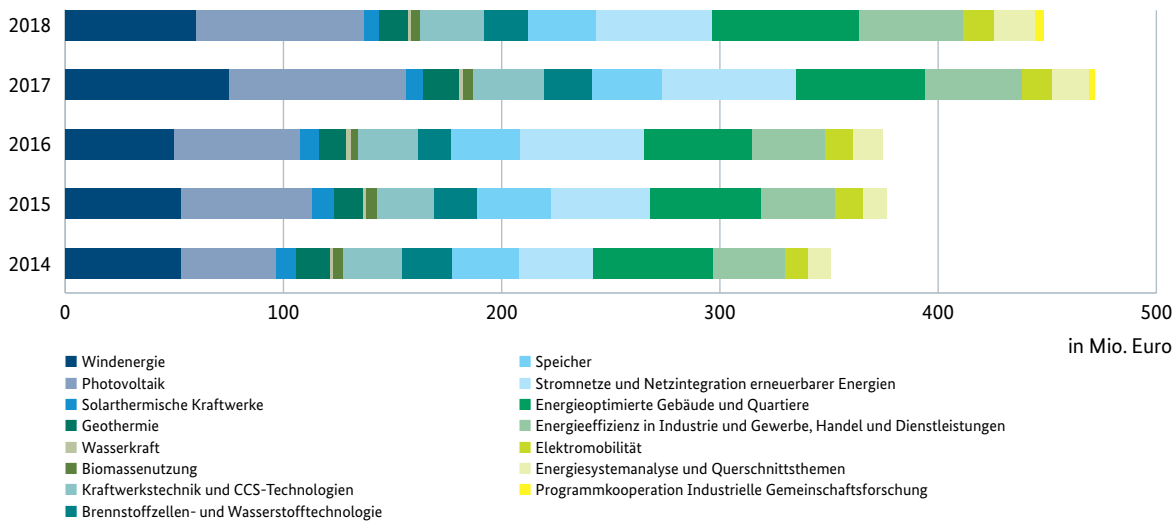
die Energieforschung ein. Hier sollen sowohl innovative Technologien als auch integrale Energiekonzepte unter realen Bedingungen erprobt werden. Die bessere Teilhabe junger, kreativer Start-ups soll auch hierbei eine wichtige Rolle spielen.

Der Veröffentlichung des 7. Energieforschungsprogramms ist ein breit angelegter Konsultationsprozess vorausgegangen. Zahlreiche Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft wurden zu den erforderlichen Forschungsaktivitäten befragt. Damit hat das BMWi den gewünschten hohen Praxisbezug des neuen Energieforschungsprogramms sichergestellt. Umfassende Informationen zum Energieforschungsprogramm und der Projektförderung des BMWi gibt die Seite www.energiforschung.de.

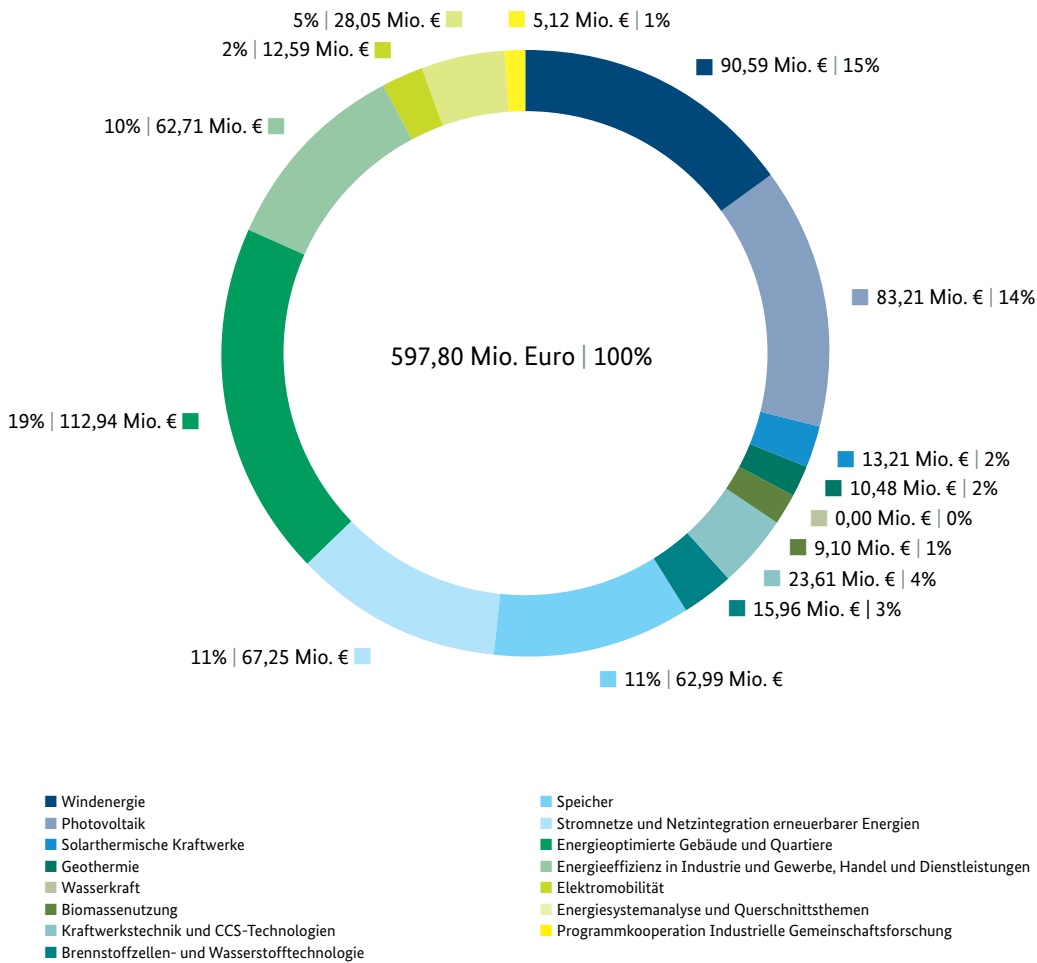
Vernetzt zum Erfolg – jetzt auch gezielt für Start-ups

Als Foren für den Wissensaustausch zwischen Forschung, Industrie und Politik sind die Forschungsnetzwerke Energie ein wichtiges Instrument der Energieforschungspolitik. Das BMWi hat seit 2014 nunmehr acht themenspezifische Netzwerke aufgebaut, die mit ihrer Arbeit zum Erfolg des Energieforschungsprogramms beitragen. Mittlerweile sind insgesamt rund 3.000 Mitglieder registriert. Entsprechend den neuen Schwerpunkten des 7. Energieforschungsprogramms ist im Mai 2018 als jüngstes Netzwerk das Forschungsnetzwerk Energie Start-ups gegründet worden. Start-ups aus dem Energiesektor erhalten hier die Möglichkeit, sich untereinander sowie mit weiteren Akteuren

Mittelabfluss für laufende Projekte



Mittelvolumen für neu bewilligte Projekte 2018



aus Wissenschaft, Praxis und Politik zu Themen der Forschungsförderung auszutauschen. Innovative Energietechnologien junger Unternehmen sollen dadurch gestärkt werden. Das Netzwerk Start-ups unterstützt das BMWi mit seinen Erfahrungswerten unter anderem dabei, ein für junge Unternehmen weniger kompliziertes Projekt-Antragsverfahren zu entwickeln. Dadurch wird gemäß den Zielen des 7. Energieforschungsprogramms jungen Unternehmen mit hoher Innovationsdynamik der Zugang zur Projektförderung erleichtert.

Kontinuität und Fortschritt

Neben den klassischen Forschungsthemen der Energieerzeugung und -effizienz bringen Querschnittsthemen wie die Digitalisierung, Sektorkopplung und Akzeptanz sowie der praxisorientierte Ansatz der Reallabore die Energieforschung weiter voran. Sie haben im 7. Energieforschungsprogramm einen besonderen Stellenwert.

Die Digitalisierung ist auch in verschiedenen Bereichen des vorliegenden Berichts ein wichtiges Thema. In der Windenergie entsteht unter anderem ein neuartiger Teststand, der ausschließlich die elektrischen Eigenschaften einer Anlage testet, indem er den Rest der Anlage inklusive Umgebung simuliert (siehe auch Kapitel Windenergie, Seite 18). Intelligente, automatisierte Mittel- und Niederspannungsnetze, die ein Maximum an erneuerbarem Strom transportieren sollen, sind das Ziel eines weiteren Projekts (siehe auch Kapitel Stromnetze, Seite 86). Flexibilität ist dabei ein wichtiger Aspekt, aber auch intelligente Sensoren und deren Verschaltung zur künstlichen Intelligenz sind Herausforderungen für Forschung und Entwicklung – ein Ansatz mit riesigem Wachstumspotenzial für den Industriestandort Deutschland. So entwickelt ein Wissenschaftsteam auf

Basis künstlicher Intelligenz eine Presse für die Abfallwirtschaft (siehe auch Kapitel Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, Seite 108).

Die Sektorkopplung steht im Fokus diverser Projekte. Hier ist insbesondere die Forschungsinitiative Energiewende im Verkehr hervorzuheben. Mit Forschung und Entwicklung zu gasförmigen und flüssigen Kraftstoffen auf Basis von Strom aus erneuerbaren Energiequellen werden die Sektoren Strom und Verkehr immer weiter vernetzt. Im Sommer 2018 haben die ersten Projekte begonnen (siehe auch Kapitel Energiespeicher, Seite 74). Des Weiteren wird im Bereich Kraftwerkstechnik ein Projekt vorgestellt, das die Idee verfolgt, das abgegebene Kohlendioxid einer Müllverbrennungsanlage für die Produktion von Methanol zu nutzen – einsetzbar als Biokraftstoff (siehe auch Kapitel Kraftwerkstechnik, Seite 58). Auch der Bereich Biomasse geht mit darauf zugeschnittenen Anlagen auf die Sektorkopplung ein. Ein Projekt untersucht die Frage, inwiefern dieser Prozess optimal auf Netze mit viel erneuerbarem Strom abgestimmt werden kann (siehe auch Kapitel Biomassennutzung, Seite 52).

Einen sozialwissenschaftlichen Aspekt beleuchtet ein Vorhaben im Bereich der Systemanalyse. Hierbei werden die Entscheidungsprozesse von Gebäudebesitzern bezüglich Sanierungsmaßnahmen untersucht (siehe auch Kapitel Energiesystemanalyse, Seite 127). Ein breites Spektrum an Querschnittsthemen ist zudem im „Energetischen Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg“ vereint. Hier entsteht bis 2022 ein vernetztes, emissionsarmes Stadtquartier, in dem das Smart-City-Konzept erprobt und optimiert werden soll. Die Rolle von Anwohnern, Energieerzeugern und Dienstleistern wird dabei grundlegend untersucht, die Sektoren Strom, Wärme, Kälte und Elektromobilität werden auf lokaler Ebene vernetzt (siehe auch Kapitel Energieoptimierte Gebäude und Quartiere, Seite 90).



Durch Forschung und Entwicklung an gasförmigen und flüssigen Kraftstoffen auf Basis von Strom aus erneuerbaren Energiequellen werden die Sektoren Strom und Verkehr stärker vernetzt.

Windenergie

Windenergieanlagen tragen erheblich zur Energiewende bei. Sie produzieren sowohl an Land als auch auf See immer mehr grünen Strom. Neben Unternehmen und Privathaushalten nutzen auch vermehrt Elektroautos den sauberen „Sprit“ aus der Steckdose.



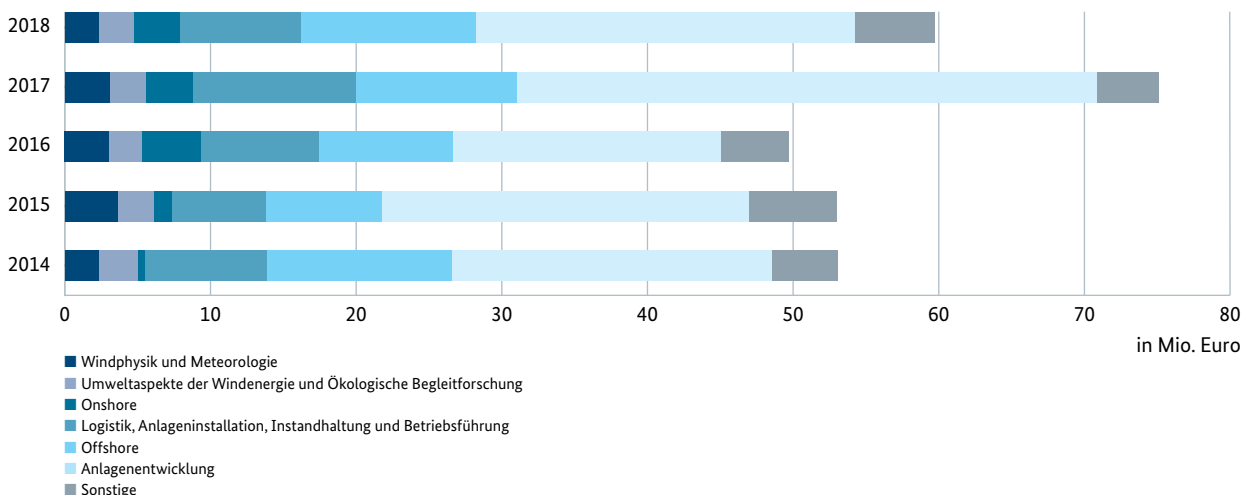
Rund 30.000 Windenergieanlagen wandeln in Deutschland die Energie des Winds in elektrischen Strom um. Im Jahr 2018 haben sie rund 18,5 Prozent der gesamten Strommenge produziert. Auch in den kommenden Jahren wird der Ausbau der Windenergienutzung an Land und auf See weiterhin eine zentrale Rolle spielen, damit die Treibhausgas-Emissionen bis zum Jahr 2020 entsprechend den Plänen der Bundesregierung um mindestens 40 Prozent gegenüber 1990 gesenkt werden können.

Erfreulicherweise sind die Kosten des durch Windenergie erzeugten Stroms kontinuierlich weiter gesunken. Dazu haben nicht zuletzt die On- und Offshore-Flächenausschreibungen der Bundesnetzagentur beigetragen. Ende des Jahres hat die große Koalition außerdem das Energiesammelgesetz verabschiedet, in dem sie Eckpunkte für den weiteren Ökostromausbau festgelegt hat. So sollen in den nächsten drei Jahren insgesamt 4.000 Megawatt zusätzliche Windkraftleistung an Land ausgeschrieben werden. Die Bundesregierung plant, einen Teil des Pakets in so genannten „Innovationsausschreibungen“ zu vergeben. Darin sollen innovative Konzepte für besonders netz- und systemdienliche Projekte sowie neue Preisgestaltungsmechanismen und Ausschreibungsverfahren erprobt werden. Ziel ist es, möglichst viel Strom aus erneuerbaren Energien kosteneffizient und sicher in das Stromsystem einzubinden. Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier:

„Wir stellen die zentralen Weichen für eine sicherere und bezahlbarere Energiewende: Mit den Sonderausschreibungen kommen wir beim Ausbau der erneuerbaren Energien noch schneller voran.“

Die Sonderausschreibungen in den nächsten drei Jahren sind nicht zuletzt als Reaktion auf die Ausbauzahlen des Jahres 2018 zu verstehen. Hier ging der Zubau an Windenergieanlagen deutlich zurück. Der Hintergrund: Bürgerenergiegesellschaften haben 2017 nahezu alle Ausschreibungen gewonnen. Da sie unter anderem ohne eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung an den Ausschreibungen teilnehmen konnten, werden diese Windparkprojekte voraussichtlich erst vier Jahre nach dem Zuschlag realisiert sein. Die Zahlen der Deutschen Windguard belegen diese Zusammenhänge: Im Jahr 2018 sind lediglich 743 Windenergieanlagen an Land mit einer Bruttoleistung von 2.402 Megawatt und 136 Windräder auf See mit 969 Megawatt ans Netz gegangen. Die Zahlen umfassen auch das so genannte Repowering. Hierbei werden alte, weniger leistungsstarke Anlagen eines Windparks in der Regel durch wenige neue und leistungsstärkere ersetzt. Insgesamt erfolgte ein Nettozubau von 3.123 Megawatt, da 205 Windenergieanlagen abgebaut wurden. Zum Vergleich: In den Jahren zuvor waren es 6.286 Megawatt (2017) und 5.007 Megawatt (2016). Obwohl somit im Jahr 2018 deutlich weniger Windenergieanlagen als in den beiden Vorjahren installiert worden sind, hat sich die Leistung der Windenergieanlagen in Deutschland allerdings weiter gesteigert – auf eine Gesamtleistung von 59.313 Megawatt (2017: 55.873 Megawatt). Sie produzierten in dem eher windarmen Jahr

Windenergie: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018





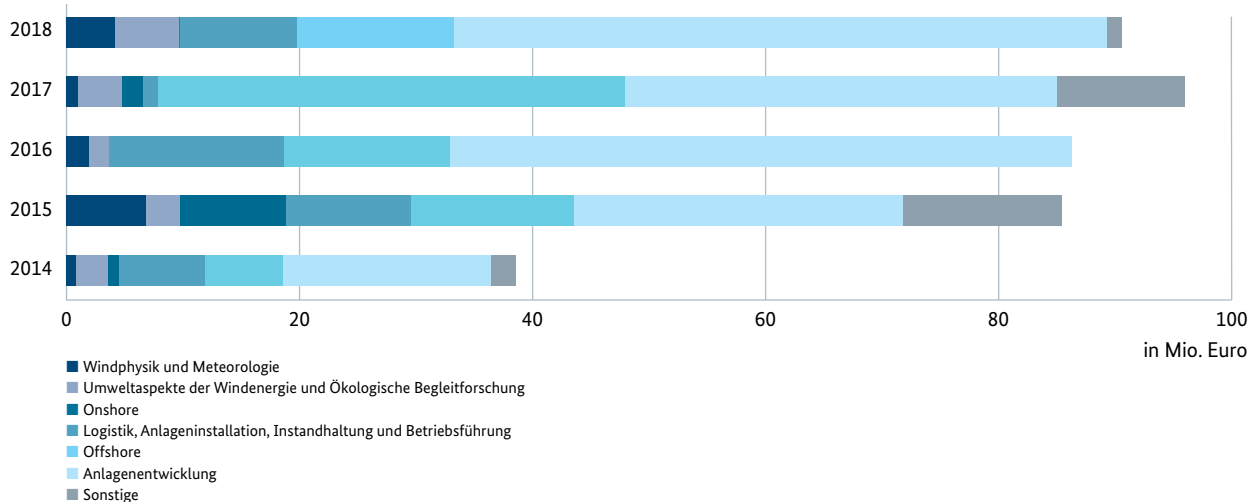
Aufbauaktivitäten allerorten: 2018 sind rund 750 neue Windenergieanlagen an Land errichtet worden.

2018 laut der Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik insgesamt 111,6 Terawattstunden Strom. Zum Vergleich: 2017 lag die Stromproduktion bei 105,7 Terawattstunden.

Die Windbranche ist ein innovativer und wichtiger Arbeitgeber in Deutschland – auch in ansonsten strukturschwachen Regionen, in denen sich die Unternehmen zum Beispiel aufgrund der vorhandenen maritimen Kenntnisse der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter angesiedelt haben. Die deutschen Hersteller und Zulieferunternehmen profitieren nicht nur vom deutschen, sondern auch vom weltweiten

Wachstum der Windenergienutzung: Mehr als die Hälfte der produzierten Windenergieanlagen und -bauteile wird exportiert. Denn rund um den Globus werden immer mehr Windräder an Land und auf See errichtet: Laut Global Wind Energy Council sind 2018 rund 51,3 Gigawatt neu installiert worden (2017: 52,6 Gigawatt). Die Gesamtleistung liegt mittlerweile bei 591 Gigawatt (2017: 539,6 Gigawatt). Internationaler Spitzenreiter ist unangefochten China. Mit rund 200 Gigawatt Gesamtleistung steht mehr als ein Drittel des weltweiten Anlagenbestands auf chinesischem Boden. In Europa liegt Deutschland weiterhin vorn, gefolgt

Windenergie: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014



von Spanien und Großbritannien. Dänemark deckt bereits mehr als 40 Prozent seines Strombedarfs mit Windenergie und zeigt, wie mit gutem Netzausbau und intelligenter Kopplung verschiedener Technologien ein steter Ausbau in Richtung 100-prozentige Stromproduktion aus regenerativen Energiequellen möglich ist.

Forschen, entwickeln und fördern

Um künftig mit weniger Anlagen mehr Strom aus Windenergie gewinnen zu können, müssen Onshore- und Offshore-Windenergieanlagen noch leistungsstärker und zuverlässiger bei geringeren Kosten werden. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) setzt daher bei seiner Forschungsförderung auf Projekte, die die Lebenszykluskosten nachhaltig reduzieren und einen effizienten Betrieb garantieren. Des Weiteren rücken Forschungsaktivitäten verstärkt in den Fokus, die helfen, auch

Im Gespräch: Prüfstand für Minimalsysteme

Alles eine Nummer kleiner

Prüfstände sind das Mittel der Wahl, um reproduzierbare Bedingungen für Zertifizierungstests zu erhalten. Das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES hat bereits eine Reihe großer Prüfstände in Betrieb genommen, zuletzt 2015 das DyNaLab zum Testen der elektrischen und mechanischen Eigenschaften ganzer Gondeln von Windenergieanlagen. Nun entwickelt es innerhalb des Projekts **HiL-GridCoP** gemeinsam mit Partnern aus dem Herstellerbereich einen Teststand, der kleiner ausfällt und ausschließlich die elektrischen Eigenschaften einer Windenergieanlage prüfen soll. Getestet wird dann lediglich ein Minimalsystem, der Rest der Anlage und die Umgebung werden simuliert. Im Interview erklärt Projektleiter Torben Jersch vom Fraunhofer IWES die Vorteile, die dieses Vorgehen bietet – und welche nächsten Schritte im Zuge der Digitalisierung zu erwarten sind.

Ein klarer Vorteil von Prüfständen generell ist die Zeitersparnis, da nicht auf bestimmte Windbedingungen gewartet werden muss. Ergeben sich noch weitere Vorteile durch den neuen Prüfstand?

Die Zeitersparnis entsteht dadurch, dass man in die Lage versetzt wird, Turbinen parallel zur Errichtung der Anlage zu testen, zu einem anderen Zeitpunkt und planbar. Bei HiL-GridCoP arbeiten wir an der Prüfung eines „Minimalsystems“. Das beschreibt zum einen das Test-Setup, also dass wir hierbei lediglich den Umrichter, den Generator und Transformator sowie die Hauptsteuerung der Windenergieanlage testen wollen. Zum anderen möchten wir damit erreichen, die Prüfabläufe weitgehend zu vereinfachen. Schnittstellenabsprachen, insbesondere bei der steuerungstechnischen Integration zwischen dem Regler einer Windenergieanlage und unseren existierenden größeren Prüfständen, sind zurzeit noch sehr aufwändig. Diese entfallen, wenn wir nur wenige Komponenten testen.



Torben Jersch ist Abteilungsleiter für Systemtechnik am Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES.

Würde dann der Test der ganzen Gondel auf Ihrem Prüfstand DyNaLab irgendwann unnötig? Oder ergänzt sich das?

Das ergänzt sich definitiv. Partner in unserem Projekt sind Vestas, Senvion und Nordex. Diese Hersteller haben die gleiche Anlagentopologie: ein Getriebe plus schnelllaufenden Generator. Andere Hersteller haben hingegen getriebeleose Anlagen – dafür ist das DyNaLab die richtige Adresse. Zudem bietet das DyNaLab eine viel umfänglichere Systemprüfung. Der neue Prüfstand zielt einfach auf eine andere Stufe ab: Bei Neuentwicklungen wird eine Absicherung der Eigenschaften durchgeführt, mal von der gesamten Anlage, mal auch nur von Komponenten und/oder von Materialien. Dadurch, dass wir jetzt Prüfmöglichkeiten für ein Minimalsystem schaffen, zielen die Tests auf weniger komplexe Systeme ab. Somit lässt sich Geld im Entwicklungsprozess sparen.

Wie gehen Sie nun vor? Was sind die einzelnen Schritte?

Die Tests zu den elektrischen Eigenschaften sind durch nationale und internationale Richtlinien definiert. Die Testmethodik dahinter basiert natürlich noch auf den Feldtests. In

schwierige Standorte besser zu erschließen oder die dazu beitragen, dass sich der produzierte Strom gut in das Energiesystem integrieren lässt. Windparks müssen zudem immer auch als System betrachtet werden, da der einströmende Wind und die so genannte „Wirbelschlepe“ hinter einer Windenergieanlage als Last auf die umgebenden Anlagen trifft.

Höhere Leistungen werden in der Regel durch immer größere Windenergieanlagen erzielt. Damit steigen in der klassischen Anlagentechnik die Anforderungen an die einzel-

nen Bauteile. Es gilt unter anderem, durch neue Materialien Gewicht zu reduzieren, um die Türme, Rotoren oder Fundamente nicht zu sehr zu belasten. So arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES im Projekt BladeFactory unter anderem daran, wie immer längere Rotorblätter möglichst effektiv ausgelegt und automatisch produziert werden können (siehe auch „Schneller, besser, Rotorblatt“, Seite 23). Das IWES entwickelt darüber hinaus im Forschungsvorhaben HiL-GridCoP gemeinsam mit Partnern aus dem Herstellerbereich einen Teststand, der ausschließlich die

einem ersten Schritt werden wir diese Methodik nun 1:1 auf Prüfstände übersetzen. Hierfür führen unsere Projektpartner Messkampagnen im Feld durch. Im zweiten Schritt werden wir dann daran arbeiten, auch neue Testverfahren in die Norm einzubringen.

Können sich Anlagenhersteller zukünftig den Feldtest ganz sparen, wenn es um die elektrischen Eigenschaften der Anlagen geht?

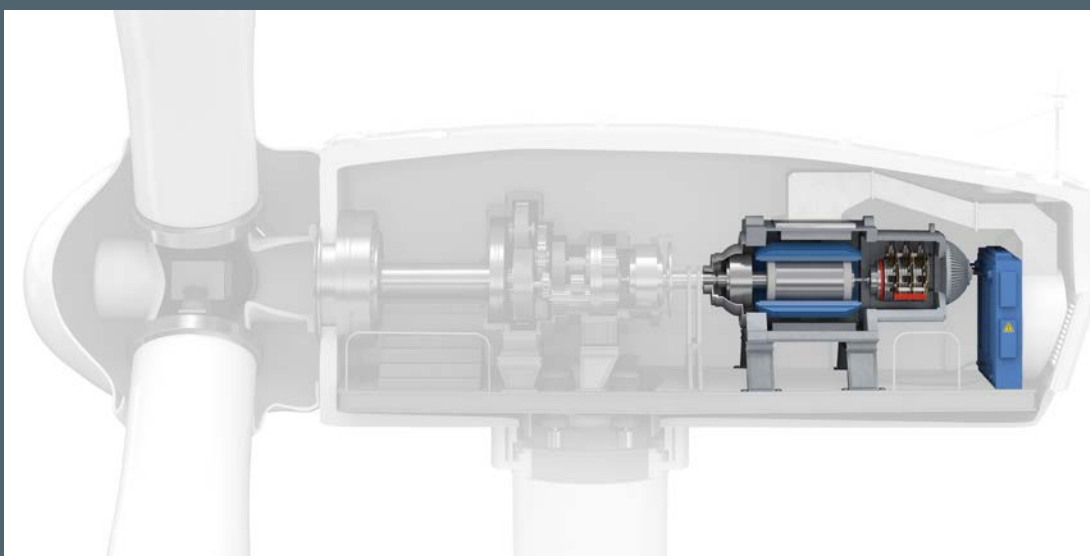
Das ist das angestrebte Ziel, die Vision, auf die wir hinarbeiten. Es ist allerdings nicht realistisch, dass dies innerhalb der nächsten fünf Jahre erreicht werden kann. Was momentan stark im Fokus steht, sind so genannte Rezertifizierungstests: etwa wenn Komponenten anderer Zulieferer eingebaut werden oder eine neue Software für die Anlage entwickelt wird. Solche Tests wird man schneller komplett ins Labor verlegen können als Tests, bei denen es um eine vollständige Neuentwicklung geht.

Was wird im Zuge der Digitalisierung zukünftig noch möglich?

Die Idee des Minimalsystems wird zukünftig noch einen Schritt weitergehen hin zur Komponentenzertifizierung. Man testet dann zum Beispiel nur den Umrichter oder nur den Generator nach einem standardisierten Verfahren, einzelne Ergebnisse werden nachfolgend zu einem Gesamtzertifikat zusammengetragen. Wichtig dabei ist, dass wir einen Standard definieren, um ein nachvollziehbares Verfahren zu gewährleisten, das die Realität korrekt nachbildet.

Das Interview führte Meike Bierther, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi fördert das Projekt HiL-GridCoP, kurz für „Hardware-in-the-Loop-Prüfung der elektrischen Netzverträglichkeit von Multi-Megawatt-WEA mit schnelllaufenden Generatorsystemen“ (Förderkennzeichen 0324170A-D), mit rund 9,5 Millionen Euro.



Der Querschnitt zeigt, welche Teile zum Minimalsystem gehören und auf dem Prüfstand getestet werden: schnelllaufender Generator, Umrichter, Transformator und Hauptsteuerung.

Im Blickpunkt: Lidar-Bojen

Messungen bei Wind und Wetter

Je genauer das Windpotenzial eines Standorts bestimmt werden kann, desto gezielter lassen sich Windparks planen. Insbesondere offshore ist das Messen vor Ort jedoch eine Herausforderung. Messsysteme müssen verlässliche Windmessungen mit einer hohen Genauigkeit gewährleisten und sollen zudem flexibel und kostengünstig in der Anwendung sein. Eine Lösung dafür bietet die Lidar-Boje: eine Offshore-Messboje mit integrierter Doppler-Lidar-Technologie.

Lidar, kurz für „Light Detection And Ranging“, ist ein laserbasiertes Messverfahren, mit dem sich unter anderem die Windgeschwindigkeit und Windrichtung messen lassen. Um das Windpotenzial auf hoher See zu bestimmen, werden derzeit verschiedene Lidar-Bojen entwickelt und in ersten kommerziellen Messkampagnen eingesetzt. In Deutschland ist die Wind-Lidar-Boje des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme IWES das erste hierzulande entwickelte System. Der Prototyp wurde 2013 im Rahmen eines durch das BMWi geförderten Projekts entwickelt. Inzwischen sind fünf Messbojen des Fraunhofer IWES weltweit im Einsatz.

Das Projekt **Malibu**, koordiniert von der Universität Stuttgart, verfolgt das Ziel, die zu erwartenden Messunsicherheiten schon vor der eigentlichen Messung vorhersagen und somit den Einsatz optimal planen zu können. „Hierfür entwickeln wir zum einen ein hydrodynamisches Modell, das die Bojendynamik beschreibt, zum anderen eine Simulationsumgebung für bewegte Lidar-Messungen“, erklärt Projektkoordinator Professor Po Wen Cheng. „Werden diese beiden gekoppelt, können wir virtuelle Lidar-Bojen für unterschiedliche Stand-

ortbedingungen simulieren.“ Anhand von Messdaten des Projektpartners Fraunhofer IWES, der parallel das Unsicherheitsmodell für Lidar-Bojen entwickelt, kann das Forscherteam das Modell validieren.

Lidar-Messbojen stehen auch im Fokus des vom Fraunhofer IWES koordinierten Projekts **OptiDesign**. „Wir konnten zeigen, dass große Rotoren diversen vertikalen Scherungsbedingungen ausgesetzt sind, die bisher in den Lastrechnungen nur unzureichend berücksichtigt werden, aber gerade in Korrelation mit den Wellenverhältnissen einen wesentlichen Einfluss auf die Lasten einer Windenergieanlage haben“, fasst Projektkoordinatorin Dr. Ilona Bastigkeit die Ergebnisse einer ersten Messkampagne bei der Forschungsplattform FINO3 zusammen. Scherung entsteht, wenn zwei entgegengesetzte Kräfte, wie etwa Wind aus verschiedenen Richtungen, auf eine Struktur einwirken, die sich dadurch verformt. Fortgesetzt werden sollen die Untersuchungen im Windpark „Meerwind Süd/Ost“ des Projektpartners WindMW Service. Das Ziel des Projekts besteht darin, eine erweiterte Offshore-Designbasis zu entwickeln.

Das BMWi fördert das Projekt Malibu, kurz für „Modellbasierter Ansatz für lidarbojenbasierte Offshore-Windpotenzialmessungen: Bestimmung der Unsicherheit“ (Förderkennzeichen 0324197A-B), mit rund 700.000 Euro. Das Projekt OptiDesign, kurz für „Kostenreduktion für Tragstrukturen und Risikominimierung für große Rotoren durch eine erweiterte Designbasis und Lastanalyse bei der Auslegung einer Offshore-Windenergieanlage“ (Förderkennzeichen 0324043A, C), wird mit rund 560.000 Euro gefördert.

Lidar-Bojen werden eingesetzt, um das Windpotenzial auf hoher See zu bestimmen.





Windparks müssen als System betrachtet werden, da jede einzelne Anlage den Wind und somit dessen Auftreffen auf die umstehenden Anlagen beeinflusst.

elektrischen Eigenschaften einer Windenergieanlage prüfen soll (siehe auch „Im Gespräch: Prüfstand für Minimalsysteme“, Seite 18). Dies erleichtert die notwendigen Zertifizierungsprozesse, da nicht im Freifeld auf bestimmte Windbedingungen gewartet werden muss.

Offshore-Windenergieanlagen sind durch Salzwasser, Windböen, Bewuchs und Meeresströmungen besonders stark beansprucht. Um teure Wartungsarbeiten zu vermeiden, müssen sämtliche Bauteile möglichst robust und langlebig ausgelegt sein. Im Verbundprojekt KOKON II (siehe auch „Korrosionsschutz für Offshore-Windenergieanlagen“, Seite 22) forschen Wissenschaftsteams daran, wie in Windenergieanlagen verbaute Flanschverbindungen zuverlässig und dauerhaft vor Korrosion geschützt werden können.

Computersimulationen und -modelle sind auch in der Windenergieforschung unerlässlich. Im Forschungsvorhaben Modern Wind ABS beispielsweise arbeiten Forschungsinstitute und Betreiber von Windenergieanlagen an einem innovativen Daten- und Prozessmodell für die Windenergiebranche (siehe auch „Digitale Prozesse für die Windenergiebranche“, Seite 21). Dieses nutzt Daten aus dem Betrieb von Windenergieanlagen – etwa für Vorhersagen zu Wartungsintervallen oder um Fehler frühzeitig zu erkennen und so Ausfälle zu vermeiden.

Das BMWi fördert jedoch nicht nur die Weiterentwicklung von Materialien, Komponenten und Anlagen, sondern auch neue Anlagenkonzepte. Hierbei rücken insbesondere Höhenwindenergieanlagen in den Fokus, die bisher nicht genutzte Windenergiepotenziale erschließen. Innovative Messverfahren wie Multi-Lidar-Systeme tragen dazu bei, das Windpotenzial möglicher Standorte auch bis in Höhen

Durch die Digitalisierung lassen sich Windpark-Daten erheben, analysieren und interpretieren. So kann die Windenergie noch effizienter und kostengünstiger genutzt werden.

von mehr als 200 Metern besser und wirtschaftlicher einschätzen zu können (siehe auch „Im Blickpunkt: Lidar-Bojen“, Seite 20).

Beim Errichten und Ausbau von Windparks müssen zudem im Vorfeld die potenziellen Folgen für das ökologische Gesamtsystem mitbedacht und untersucht werden. So hat das BMWi das Forschungsprojekt HelBird gefördert, das sich mit den möglichen Auswirkungen von Offshore-Windparks in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone auf Seevögel und marine Säugetiere beschäftigt hat (siehe auch „Artspezifisches Verhalten beobachtet“, Seite 25).

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Windenergie hat das BMWi 2018 insgesamt 121 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 90,6 Millionen Euro bewilligt (2017: 86 Projekte für rund 96 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 59,7 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2017: rund 75,1 Millionen Euro).



Im Forschungsvorhaben Modern Wind ABS entwickeln Wissenschaftsteams ein innovatives Daten- und Prozessmodell für die Windenergiebranche, um unter anderem Fehler frühzeitig zu erkennen und damit Stillstände zu vermeiden.

Projekte

Digitale Prozesse für die Windenergiebranche

Industrie 4.0 lautet das Schlagwort, unter dem in Zukunft Menschen, Maschinen und Anlagen intelligent vernetzt miteinander kommunizieren. Dadurch sollen Betriebsabläufe optimiert und Kosten gesenkt werden. Im Forschungsvorhaben **Modern Wind ABS** arbeiten unter anderem Forschungsinstitute und Windenergieanlagenbetreiber an einem innovativen Daten- und Prozessmodell für die Windenergiebranche. Dieses nutzt Daten aus dem Betrieb von Windenergieanlagen – etwa für Vorhersagen zu Wartungsintervallen oder um Fehler frühzeitig zu erkennen und so Ausfälle zu vermeiden. Mithilfe lernender Algorithmen entsteht ein intelligentes, sich selbst optimierendes „Anlagengedächtnis“.

Verschiedene Forschungsprojekte haben Prozessmodelle für den Betrieb und die Instandhaltung von Windenergieanlagen erstellt. Dabei lag der Fokus jedoch auf den Prozessen. Die Datenformate und die Verwendung bereits erarbeiteter Datenstandards wie RDS-PP, ZEUS und GSP, die zur standardisierten Beschreibung betroffener Komponenten, Instandhaltungstätigkeiten und Ausfallursachen in einem einheitlichen Dateiformat genutzt werden, wurden nur am Rande thematisiert. Das Projekt Modern Wind ABS, unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE, will deshalb erstmals die bisherigen Arbeiten zu einem Daten- und Prozessmodell zusammenführen.

Großes Potenzial für Verbesserungen und Kostensenkungen wird durch das Anwenden von Maschinenlernverfahren gesehen. Im Projekt werden exemplarisch ausgewählte Anwendungen, etwa zur vorausschauenden Instandhaltung, entwickelt und getestet. Ziel ist es, anhand der verfügbaren Daten eine hohe Erkennungsrate bei wenigen Fehlalarmen zu erreichen und die gefundenen potenziellen Fehler möglichst detailliert zu klassifizieren. Zudem wurde bereits ein neuartiges Verfahren entwickelt, das mit reduziertem Rechenaufwand auch Wahrscheinlichkeiten für Fehlerereignisse ausgibt. Außerdem will Modern Wind ABS Chancen für zukünftige datenbasierte Anwendungen und Geschäftsmodelle ermitteln. Hierfür wurde bereits – gemeinsam mit der Fördergesellschaft Windenergie und dezentrale Energien – eine Umfrage zur Nutzung digitaler Plattformen in der Windbranche durchgeführt.

Das BMWi fördert das Projekt Modern Wind ABS, kurz für „Moderne Methoden für neue Anwendungen bei Betrieb & Service von Windenergieanlagen im Informationsfluss der Industrie 4.0“ (Förderkennzeichen 0324128), mit rund 740.000 Euro.

Korrosionsschutz für Offshore-Windenergieanlagen

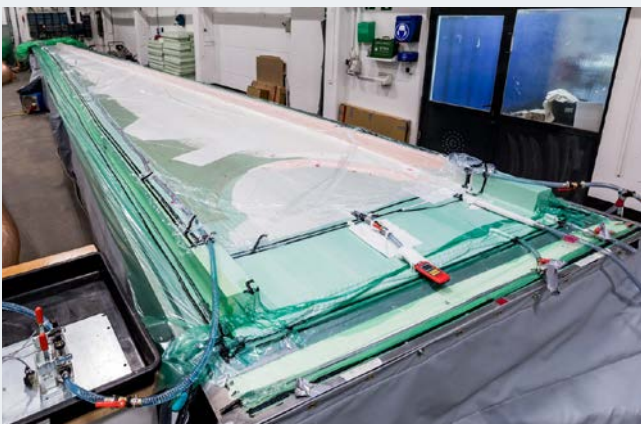
Offshore-Windenergieanlagen sind durch Salzwasser, Windböen und Meeresströmungen stark beansprucht. Um teure Wartungsarbeiten zu vermeiden, müssen sämtliche Bauteile möglichst robust und langlebig ausgelegt sein. Im

Im Blickpunkt: Produktionsprozesse

Schneller, besser, Rotorblatt

Die Rotorblätter machen rund ein Fünftel der Kosten einer Windenergieanlage aus – könnten sie günstiger hergestellt werden, könnte das den Strompreis weiter senken. Das Projekt BladeFactory unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Windenergiesysteme IWES hat sich daher zum Ziel gesetzt, die vergleichsweise aufwändige Produktion zu beschleunigen, um hier Kosten einzusparen – und das bei einer reproduzierbar hohen Bauteilqualität. Die Ingenieurinnen und Ingenieure bauen hierfür auf den Ergebnissen des Vorgängerprojekts BladeMaker auf.

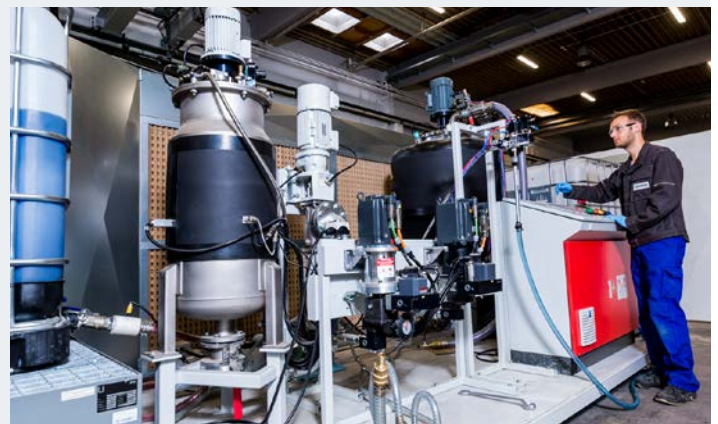
Die Fertigung soll weiter industrialisiert werden, sich noch ein Stück mehr von der ursprünglich rein manuellen Arbeitsweise entfernen. Neuer Ansatz von **BladeFactory**: Es sollen mehr Schritte parallel ablaufen. Bisher ist es üblich, dass ein Großteil der Fertigungsschritte in der Hauptform stattfindet. Darin werden aus den einzelnen Materialien die beiden von außen sichtbaren Halbschalen hergestellt und in der Regel mit Stegen zu einem Rotorblatt verklebt. Schließlich wird alles getempert, also erwärmt, um vollständig auszuhärten. Während dieser Reihe von Arbeitsschritten bleibt die Hauptform belegt. „Indem wir einzelne Fertigungsschritte auslagern und vermehrt parallel arbeiten, könnten wir diesen Flaschenhals umgehen“, fasst Roman Braun, Projektkoordinator des Fraunhofer IWES, die Projektidee zusammen. Ein weiterer Fokus liegt auf der Qualitätssteigerung der Rotorblätter, die unter anderem durch den Einsatz von umfassender Messtechnik erreicht werden soll. Bisher sind Reparaturarbeiten ein signifikanter Zeitfaktor bei der Herstellung von Rotorblättern. Statt nachzubessern sei es jedoch besser, geeignete Vorkehrungen durch Messensorik zu treffen, sagt Roman Braun. „Durch frühe Korrekturen von Fehlern entsteht erst gar kein Reparaturbedarf.“



Bei dem neuen Direktinfusionsprozess, der innerhalb des Projekts BladeMaker entstanden ist, wird das flüssige Harzgemisch in einem geschlossenen Prozess verarbeitet.

Bei dem vorgelagerten Projekt **BladeMaker**, ebenfalls koordiniert durch das Fraunhofer IWES, standen zunächst die Automatisierung von Prozessen und der Nutzen günstigerer Materialien im Fokus der Projektarbeiten. „Wir haben einiges an Maschinenteknik in Betrieb genommen, einzelne Schritte komplett demonstriert und messbare Erkenntnisse dazu erhalten, wie schnell und günstig die neuen Verfahren jeweils wären“, erklärt Roman Braun. Unter anderem haben die Projektpartner einen Direktinfusionsprozess entwickelt. Zum Hintergrund: Werden die Glasfasern mit den üblichen Harzgemischen getränkt, ist es wichtig, dass die Harze noch flüssig sind. Nur so ist eine vollständige Faserbenetzung möglich. Im Anschluss ist ein kontrolliertes Gelieren und Aushärten entscheidend – passiert das zu früh, müssen sämtliche Materialien entsorgt werden. Daher planen die Hersteller einen Puffer ein, was die Produktionszeit deutlich erhöht. Neu ist nun, das Infusionsharz in einem geschlossenen Prozess zu verarbeiten. Die Temperatur kann dabei besser reguliert und der Zustand des Harzgemisches genauer kontrolliert werden – der Zeitpuffer kann entfallen und es können schneller aushärtende Gemische eingesetzt werden.

Weitere Projektpartner von BladeFactory sind die Universität Bremen, die Unternehmen SWMS Systemtechnik Ingenieurgesellschaft und Nordex Energy sowie weitere assoziierte Partner wie etwa SINOI. Das BMWi fördert BladeFactory, kurz für „Fertigungstechnologien und prozessorientierte Materialevaluierung für eine Rotorblattproduktion mit hoher Parallelisierung“ (Förderkennzeichen 0324272A-D), mit rund 7 Millionen Euro. Das Projekt BladeMaker, mit insgesamt neun Projektpartnern größtenteils aus der Industrie (Förderkennzeichen 0325435A, C-J), wurde durch das BMWi mit rund 8,4 Millionen Euro gefördert.



Während des laufenden Direktinfusionsprozesses werden die Komponenten kontinuierlich entgast und gemischt.



Offshore-Windenergieanlagen sind durch Salzwasser stark beansprucht – mithilfe einer neuen Zink-Aluminium-Beschichtung soll der Korrosionsschutz weiter optimiert werden.

Verbundprojekt **KOKON II** forschen Wissenschaftsteams der RWTH Aachen und der Unternehmen Linde und Krebs Korrosionsschutz unter der Projektleitung der Grillo-Werke daran, wie in Windenergieanlagen verbaute Flanschverbindungen zuverlässig und dauerhaft vor Korrosion geschützt werden können. Flansche sind sowohl im Turm, in den Rotorblättern und Gründungsstrukturen als auch in der Gondel im Einsatz.

In dem Verbundvorhaben setzen die Forscherinnen und Forscher die erfolgreiche Arbeit des Vorgängerprojekts KOKON fort. Dort wurde bereits eine Zink-Aluminium-Beschichtung entwickelt, die durch Lichtbogenstritzspritzen aufgetragen wird. Das thermische Spritzen ist ein Beschichtungsverfahren, bei dem ein draht- oder pulverförmiger Beschichtungswerkstoff (Metall, Keramik, Kunststoff) geschmolzen und in Richtung der Flanschverbindung beschleunigt wird, wo dieser sofort erstarrt und haften bleibt. Die Summe der erstarrten Partikel ergibt die Schutzschicht. Die Ergebnisse der KOKON-Forschungsarbeiten sind unmittelbar in die neue DIN EN ISO 2063 eingeflossen.

Die Zink-Aluminium-Beschichtung soll nun in KOKON II ebenso weiter optimiert werden wie die für das thermische Verfahren notwendigen Spritzdrähte. Darüber hinaus forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Untersuchungsmethoden, mit deren Hilfe die alters- und korrosionsbedingten Auswirkungen auf die Gleitfestigkeit der Flanschverbindung bewertet werden können. Ziel ist es, ein Duplex-Korrosionsschutzsystem zu entwickeln, das die Stahlkonstruktionen mindestens 25 Jahre schützt.

Das BMWi fördert das Projekt KOKON II, kurz für „Zuverlässiger Korrosionsschutz für hochbelastete Flanschverbindungen in Offshore-Windenergieanlagen“ (Förderkennzeichen 0325672D-G), mit rund 670.000 Euro.

Bewertung von Schutzzonen mit neuer Messtechnik

Die nutzbaren Flächen für neue Windenergieanlagen werden knapper, sodass diese in den kommenden Jahren möglicherweise in so genannten Schutzzonen anderer Anlagen errichtet werden müssen. In diesen Schutzzonen befinden sich unter anderem Radaranlagen zur Luftraumüberwachung, Flugsicherung oder zur Wetterbeobachtung. Ob und wie stark diese durch Windenergieanlagen gestört würden, war in der Vergangenheit nicht immer eindeutig nachweisbar – bei unklarer Faktenlage wurden entsprechende Genehmigungsverfahren abgelehnt. An dieser Stelle greifen nun die Projekte **WERAN** und **WERAN plus** ein, koordiniert von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB).

Das Vorhaben WERAN ist mittlerweile abgeschlossen und legt einen soliden Grundstock für eine verbesserte Faktenlage. Erstmals gelingt es mit der hier entwickelten Messtechnik, Signale auf Basis elektromagnetischer Wellen wie beispielsweise Radarsignale im Übertragungskanal im freien Raum zu messen. Hierfür wird die Messtechnik mit einer ferngesteuerten Flugmessplattform, etwa per Oktokopter, an die jeweiligen Messpunkte herangeflogen. Somit kann an beliebigen Punkten im Raum gemessen



Die neu entwickelte Messtechnik wird per Oktokopter an die benötigten Messpunkte herangeflogen, um die erforderlichen Schutzzonen bestimmen zu können.

werden, mit oder ohne Einfluss von Windenergieanlagen. Das Verfahren ist bereits zum Patent angemeldet. Eine neuentwickelte Simulationsmethode erlaubt es darüber hinaus, die Wechselwirkung zwischen Windenergie- und Radaranlage im Betrieb zu berechnen.

Ausgehend von den jetzt erstmalig messbaren Signalbeeinflussungen arbeiten die Projektpartner innerhalb von WERAN plus nun daran, mit dem Schwerpunkt auf Drehfunkfeuer ein neues, einfaches Bewertungsschema für die Störungen abzuleiten. Dieses soll sowohl bei der Genehmigung neuer Windenergieanlagen als auch bei dem Ersatz älterer durch neue, größere Anlagen (Repowering) greifen. Auch der Funkverkehr auf See soll hierbei berücksichtigt werden. Weitere Partner von WERAN plus sind die Leibniz Universität Hannover, FCS Flight Calibration Services sowie die Jade Hochschule Wilhelmshaven. Statt der Jade Hochschule war im bereits abgeschlossenen Vorhaben WERAN das Unternehmen steep beteiligt.

Das BMWi fördert das Projekt WERAN plus, kurz für „Wechselwirkung Windenergieanlagen und terrestrische Navigation/Radar plus“ (Förderkennzeichen 0324252A-D), mit rund 1,3 Millionen Euro. Das Projekt WERAN, kurz für „Wechselwirkung Windenergieanlagen und Radar/Navigation“ (Förderkennzeichen 0325644A-D), wurde mit rund 1 Million Euro gefördert.

Artspezifisches Verhalten beobachtet

Der Bau von Offshore-Windparks beeinflusst die marine Tierwelt, die die Gebiete für die Nahrungssuche oder als Rastplatz nutzt. In der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) leben unter anderem Seevögel und marine Säugetiere. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Forschungs- und Technologiezentrums Westküste der Universität Kiel haben innerhalb des Projekts **HELBIRD** nun umfangreiche neue Daten zu den Auswirkungen der Offshore-Windenergieanlagen auf die Tierwelt erhoben. Das Untersuchungsgebiet umfasste drei Wind-

parks in einem Offshore-Windpark-Cluster nördlich von Helgoland sowie drei weiter nördlich gelegene Windparks. Erstmals wurden die Daten vollständig digital erhoben, unter anderem per Video mit einer Auflösung von 2 Zentimetern in Bodennähe, aufgenommen bei Flügen über das definierte Gebiet. Die Erfassungsflüge fanden sowohl im Sommer zur Brutzeit der Helgoländer Seevögel als auch im Frühjahr während der Ansiedlungsphase sowie zur Hauptrastzeit der Seetaucher statt.

Während zum Beispiel die Seetaucher die Windparks in den Untersuchungszeiträumen generell gemieden haben, haben etwa die Dreizehenmöwen lediglich während der Brutzeit vermehrt Abstand gehalten, so die Beobachtungen des Projektteams. Auch die meisten Basstölpel haben demnach die Windparks im Beobachtungszeitraum gemieden, einige wenige sind jedoch zur Nahrungssuche hineingeflogen. Auf das Verhalten der Herings- und Silbermöwen haben sich die Windparks laut Untersuchung gar nicht ausgewirkt. Die Vergleichsdaten zu den jetzigen Messungen stammen aus langjährigen Datenreihen, die vor dem Bau der untersuchten Windparks erhoben wurden. Insgesamt wurde durch HELBIRD deutlich, dass unterschiedliche Arten unterschiedliche Reaktionen zeigen. Eine Verallgemeinerung aufgrund der jetzigen Datenlage sei nicht möglich, so die Schlussfolgerung der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Demnach müssten die Zusammenhänge weiter untersucht werden. Auch seien die Langzeiteffekte von Windparks auf die AWZ-Fauna noch unbekannt.

Das BMWi hat das Projekt HELBIRD, kurz für „Untersuchungen zu möglichen Auswirkungen der Offshore-Windparks im Windcluster nördlich von Helgoland auf Seevögel und Meeressäuger“ (Förderkennzeichen 0325751), mit rund 1,3 Millionen Euro gefördert.



Den Beobachtungen des Projekts HELBIRD nach halten Dreizehenmöwen lediglich während der Brutzeit vermehrt Abstand von Offshore-Windparks.

Solarenergie

Sonnige Aussichten: Photovoltaikanlagen und solarthermische Kraftwerke produzieren immer kostengünstigeren Strom. Höhere Wirkungsgrade der Anlagen und digitalisierte Prozesse tragen dazu bei.



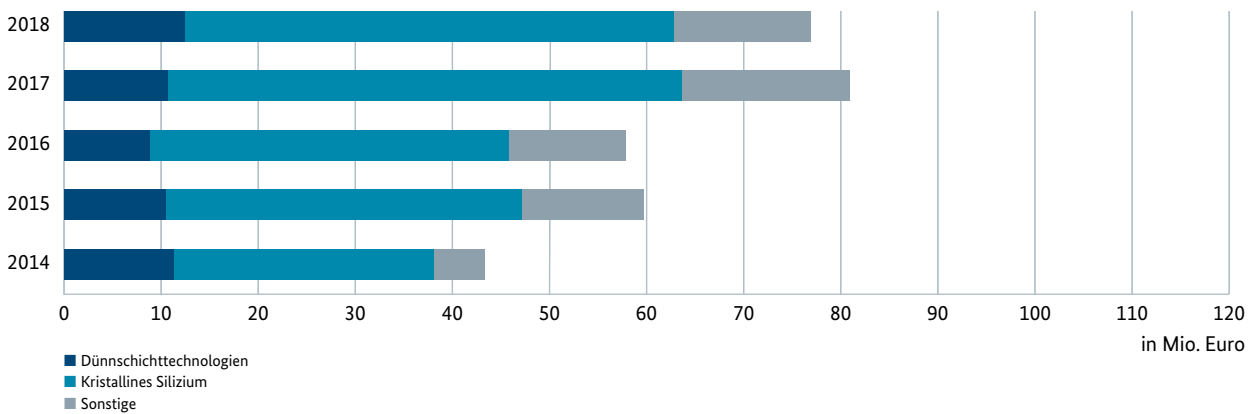
Photovoltaikanlagen wandeln Sonnenlicht in Solarzellen direkt in Strom um. Solarthermische Kraftwerke hingegen nutzen konzentrierte Sonnenstrahlung, um die notwendige Hitze für die anschließende Stromproduktion zu erzeugen. Während Photovoltaik auch hierzulande genutzt wird, werden solarthermische Kraftwerke unter anderem in Saudi-Arabien, Marokko, China oder in Südeuropa betrieben – sie benötigen eine hohe direkte Sonneneinstrahlung.

Photovoltaik gilt als eine Schlüsseltechnologie für die weitere Dekarbonisierung der Energieversorgung. Die Kosten für Strom aus Photovoltaik sinken rasant. Aktuell werden mit dieser Technologie Kosten von unter 6 Cent pro Kilowattstunde erreicht. Zum Vergleich: Im Jahr 2000 waren es

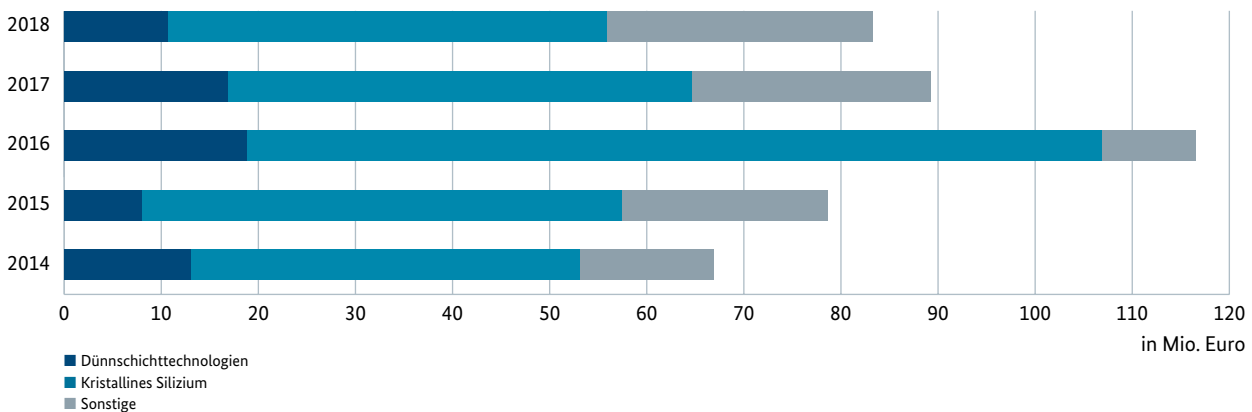
noch 50 Cent pro Kilowattstunde. Das Potenzial, das durch weitere Forschung und Entwicklung ausgeschöpft werden kann, liegt bei Kosten in Höhe um 1 Cent pro Kilowattstunde. In Deutschland hat der Zubau mit rund 2,9 Gigawatt nun erstmals wieder die innerhalb des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) vorgesehene Höhe von jährlich 2,5 zusätzlichen Gigawatt Leistung erreicht. Im Vorjahr betrug der Ausbau noch rund 1,7 Gigawatt. Der Aufwärtstrend der vorangegangenen Jahre hat sich somit weiter verstärkt.

Auch weltweit ist die Photovoltaik weiter auf dem Vormarsch: Im Jahr 2018 wurden insgesamt rund 98 Gigawatt Leistung zugebaut, sodass nun Anlagen mit einer Leistung von knapp 500 Gigawatt installiert sind (Ende 2017: 402 Gigawatt). Der chinesische Markt nimmt dabei trotz geänderter Förderrichtlinien erneut den mit Abstand größten Anteil des Zubaus ein.

Solarenergie/Photovoltaik: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018



Solarenergie/Photovoltaik: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014



Die Installation neuer Anlagen ist ein lohnendes Geschäftsfeld im Bereich Photovoltaik.



Deutschland profitiert in den Bereichen Maschinen- und Anlagenbau sowie Modulbau, Leistungselektronik und Anlageninstallation beziehungsweise -betrieb von der Photovoltaik als Geschäftsfeld. Die deutschen Unternehmen sind aufgrund intensiver Forschung und Entwicklung im internationalen Vergleich nach wie vor technologisch führend. Nach Statistiken des Projektträgers Jülich sind in Deutschland 58 forschungsaktive Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau für Photovoltaikanlagen tätig.

Gegen Ende des dritten Quartals schätzte der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) das Umsatzwachstum im Bereich Photovoltaik für das Jahr 2018 auf 4,2 Prozent, deutlich schwächer als im Vorjahr. Begründet wird dies mit dem im Vergleich starken Ausbau 2017 in China, einem der Hauptmärkte deutscher Maschinenbauer. Hinzu kommt, dass China zunehmend eigene Maschinen entwickelt. Das Marktumfeld gestaltet sich hier somit zukünftig tendenziell anspruchsvoller.

Neben den Photovoltaikanlagen nutzen auch solarthermische Kraftwerke die Energie der Sonne. Um Strom herstellen zu können, muss allerdings die direkte Sonneneinstrahlung sehr hoch sein. Daher stehen solche Anlagen in Ländern wie Marokko, Südafrika oder China. Rund um den Globus sind derzeit mehr als 5,3 Gigawatt Leistung am Netz, weitere Kraftwerke mit etwa 1,3 Gigawatt sind im Bau sowie 4,4 Gigawatt in Planung. Deutschland eignet sich aufgrund seiner geographischen Lage nicht als Standort. Hierzulande werden jedoch Demonstrationsanlagen genutzt, denn deutsche Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen sind in Forschung und Entwicklung aktiv. Ihr Know-how fließt in Komponenten wie Turbinen, Heliostaten, Speichermedien und -komponenten oder Pumpen ein, die deutsche Industrieunternehmen erfolgreich in die sonnenreichen Regionen exportieren.

Die neueste PV-Maschinengeneration aus Deutschland setzt konsequent auf Innovationen.

Forschen, entwickeln und fördern

Die hohe Qualität der Produkte sowie technisch fortschrittliche und innovative Produktionsverfahren tragen zu der führenden Position deutscher Unternehmen in den Solartechnologien bei. Um auch in Zukunft konkurrenzfähig zu bleiben und die Kostenpotenziale für Strom aus erneuerbaren Energien voll auszuschöpfen, fördert das BMWi Forschungsprojekte in den Bereichen Photovoltaik und solarthermische Kraftwerke.

Geringe Kosten für Strom aus Photovoltaik im Bereich von 1 Cent pro Kilowattstunde wären die passende Grundlage für richtungweisende, sektorübergreifende Energiekonzepte. Als dann kostengünstige Option für Power-to-X-Prozesse könnten mit Hilfe von Photovoltaik somit auch Gas oder flüssige Antriebstoffe hergestellt werden. Strom-, Wärme- und auch der Verkehrssektor würden davon profitieren. Forschungsprojekte sollen also dazu beitragen, den Material- und Energieverbrauch zu senken, effektivere Herstellungsprozesse zu etablieren und den Wirkungsgrad der Zellen zu erhöhen, um Hochleistungsmodule und eine effiziente Systemtechnik bereitzustellen. Letztere verspricht etwa eine weitere Kostenhalbierung auf absehbare Zeit. Auch die neueste Maschinengeneration aus Deutschland kann sich sehen lassen: Ein Innovationssprung ermöglicht die Verdoppelung der Durchsatzraten in der Produktion.

Solarzellen auf Basis kristallinen Siliziums als Halbleiter stehen nach wie vor technologisch im Vordergrund. Aktuelle Forschungsprojekte setzen vermehrt auch auf die Kombination der hochentwickelten Silizium-Solarzellkonzepte mit anderen Halbleitern, um somit noch höhere Anteile des Sonnenlichts umsetzen zu können (siehe auch „Im Blickpunkt: Tandem-Solarzellen“, Seite 32). Neben höheren Wirkungsgraden bieten effiziente Produktionsprozesse eine weitere Option für sinkende Stromkosten. Innovative Fertigungsverfahren bieten günstige Alternativen zu den etablierten Prozessen (siehe auch „Kleben statt Löten“, Seite 33). Erweiterte Einsatzgebiete sollen zudem die klassischen Aufdach- und Freifeldanlagen ergänzen. Das Thema der gebäudeintegrierten beziehungsweise der transportmittelintegrierten Photovoltaik spielt daher ebenfalls eine wichtige Rolle (siehe auch „Photovoltaikstrom für E-Fahrzeuge“, Seite 34).

Perspektivisch sollen erneuerbare Energien die konventionellen Kraftwerke ablösen – daher müssen sie in der Lage sein, das Stromnetz alleine stabil und sicher zu betreiben. Inselnetze bieten die Möglichkeit, die anstehenden Herausforderungen in kleinem Rahmen zu testen (siehe auch „Im Gespräch: Photovoltaikstrom statt Diesel“, diese Seite unten). Die Kombination aus Wechselrichter plus Batteriespeicher ist dabei ein Weg zu einer vollständigen Versorgung aus Photovoltaik (siehe auch „Hybridkraftwerke für ein stabiles Netz“, Seite 33).

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Photovoltaik hat das BMWi 2018 insgesamt 96 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 83,2 Millionen Euro bewilligt

(2017: 103 Projekte für rund 89,3 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 76,9 Millionen Euro in bereits laufende Vorhaben (2017: 81 Millionen Euro).

Die Forschung und Entwicklung im Bereich der solarthermischen Anlagen bietet weiterhin Potenzial, die Stromerzeugungskosten zu senken. Fachleute erwarten, dass neue Wärmeträgermedien wie innovative Salzmischungen oder Bauxit-Partikel höhere Prozesstemperaturen zulassen, mit denen entsprechend höhere Wirkungsgrade erzielt werden können. Im Forschungsvorhaben HPMS-II entwickelt und testet ein Konsortium aus Industrie und Forschung beispielsweise einen hocheffizienten Receiver für Salzschnmelzen (siehe auch „Innovativer Receiver für Solartürme“, Seite 35).

Im Gespräch: Photovoltaikstrom statt Diesel

Absolute Stresstests mit positivem Ergebnis

In Regionen ohne Verbundnetzanschluss ist es üblich, Strom aus Dieselmotoren bereitzustellen. Beträchtliche Teile davon könnte zukünftig insbesondere die Photovoltaik ersetzen. Unter Koordination von SMA Solar Technology haben die Projektpartner des Projekts PV-Diesel die geeigneten Systemlösungen und Komponenten dafür entwickelt – das System läuft erfolgreich auf der Insel St. Eustatius. Brisa Ortiz hat die Entwicklungsarbeiten koordiniert, Wiebke Krüger hat die Leitung für den Aufbau der Pilotanlage übernommen. Im Interview stellen die beiden Ingenieurinnen ihr System vor.

Frau Ortiz, beschreiben Sie kurz, was das System besonders auszeichnet.

Ortiz: In dem Projekt haben wir uns auf Hybrid-Systemlösungen fokussiert. Das Ziel war eine Energieversorgung für ein Inselnetzsystem, die zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien gespeist werden kann, und zwar in der Megawatt-Leistungsklasse. Dafür ist ein übergeordnetes intelligentes Steuerungssystem notwendig, das das gesamte Inselnetz optimal regeln kann. Für diesen Zweck haben wir den Hybrid-Controller entwickelt.

Was genau macht dieser Controller?

Wir haben ja folgende Ausgangssituation: Da ist ein Dieselnetz, in das wir Photovoltaikstrom integrieren möchten. Der Photovoltaikstrom stellt jedoch einen kritischen Faktor für das Stromnetz dar. Je größer dessen Anteil ist, desto mehr Schwankungen werden an die Stromversorgung weitergegeben. Einen Anteil von 15 bis 20 Prozent können Dieselmotoren noch problemlos ausgleichen. Aber wir wollen am Ende 100 Prozent. Und das übernehmen jetzt die neuen Steuerungssysteme.



Die Ingenieurinnen Brisa Ortiz (Bild links) und Wiebke Krüger von SMA Solar Technologies haben Entwicklung und Aufbau der Pilotanlage des PV-Diesel-Hybridsystems koordiniert.

Was macht das System noch aus?

Ein Batteriespeicher, der in Kombination mit dem neu entwickelten netzbildenden Batteriewechselrichter der Megawatt-Klasse in der Lage ist, das Stromnetz eigenständig aufzubauen. Man muss sich vorstellen, dass es bei Photovoltaikanlagen dieser Größenordnung bei Sonnenstrahlungseinbrüchen zu einer Leistungsänderung von 50 Prozent innerhalb von Sekunden kommen kann. Und diese werden durch den Speicher kompensiert.

Sie haben Ihre neuen Regelungsverfahren durch Modelle und Simulationen erarbeitet und im Anschluss Komponenten im Labor gebaut und getestet. Frau Krüger, wie hat sich das fertige System denn dann im Feld, im Praxistest auf der Insel St. Eustatius, verhalten?

Krüger: Das Projekt war an sich eine riesengroße Herausforderung, weil alles neu war. Wir haben den Glücksfall gehabt, dass wir auf der Insel einen Projektpartner hatten, der alle Tests live sehen wollte, also absolute Stresstests für das ganze

Optimierungspotenziale liegen laut Experten in weiterentwickelten Bauteilen wie Speicher, Receiver, Kraftwerksblock oder Heliostaten, aber auch in technologieübergreifenden Konzepten und Pilotprojekten. So lässt sich Strom beispielsweise in sonnenreichen Regionen der Erde gut aus einer Kombination von Photovoltaikanlagen und Solarthermiekraftwerken generieren und damit eine Rund-um-die-Uhr-Versorgung sicherstellen: Während tagsüber die Sonnenenergie von der Photovoltaik genutzt wird, arbeitet das Solarthermiekraftwerk dank integriertem Speicher vor allem bei wolkgigen Perioden oder in der Nacht. Mit Hilfe innovativer Software ließen sich beispielsweise Betriebsabläufe beider Stromerzeuger optimal aufeinander abstimmen.

Digitale Techniken können künftig auch dazu beitragen, den Betrieb und die Wartung großer Solarfelder zu optimieren. So werden im Projekt Heliopoint Flugdrohnen entwickelt, um die Kalibrierung der Spiegelfelder zu beschleunigen (siehe auch „Im Blickpunkt: Spiegelfelder“, Seite 36).

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der solarthermischen Kraftwerke hat das BMWi 2018 insgesamt 29 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 13,2 Millionen Euro bewilligt (2017: 21 Projekte für rund 5,6 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 7,2 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2017: rund 7,7 Millionen Euro).



Die Karibikinsel St. Eustatius (4.000 Einwohner) wird vom neuen PV-Diesel-Hybrid-system mit Strom versorgt.

System und die Inselinfrastruktur zugelassen hat. Wir konnten Kurzschluss-tests durchführen, wir konnten Sicherungen durchbrennen lassen, also wirklich alles testen. Dabei gab es keinen größeren Fehler, es waren nur kleinere Softwareanpassungen nötig. So haben wir das System Mitte November in Betrieb genommen – seitdem läuft es erfolgreich.

Wie viel Diesel kann durch das neue System eingespart werden?
Krüger: Auf St. Eustatius sind es 6,4 Gigawattstunden pro Jahr, die produziert werden, dadurch können wir 1,73 Millionen Liter Diesel pro Jahr einsparen. Das sind ungefähr 60 Diesels voll. Wir haben aktuell einen Energieanteil durch Photovoltaik von 46 bis 47 Prozent.

Ortiz: Auf den Weltmarkt bezogen ist das nicht ganz leicht zu sagen. Nach Marktforschungsfirmen werden pro Jahr 40 Gigawatt neue Diesel-Kraftwerke gebaut. Wie viel wir davon durch Wind oder Photovoltaik ersetzen können, hängt auch vom

Standort ab. Die Anwender müssen zudem noch davon überzeugt werden, solche in ihren Augen riskante Technik einzusetzen. Perspektivisch könnte man bestimmt die Hälfte des Diesels einsparen, eines Tages vielleicht sogar noch mehr.

Das Interview führte Meike Bierther, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Weitere Projektpartner sind das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE, Märkisches Werk und die Technische Hochschule Köln. Das BMWi hat das Projekt PV-Diesel, kurz für „Systemoptimierung und Betriebsstrategien für universell einsetzbare, skalierbare PV-Diesel-Kraftwerke der Multimegawatt-Klasse für den weltweiten Einsatz zur Dieselsubstitution durch Photovoltaik“ (Förderkennzeichen 0325752A, B, D, E), mit rund 2,3 Millionen Euro gefördert.

Im Blickpunkt: Tandemsolarzellen

Alleine stark, gemeinsam stärker

Höhere Wirkungsgrade, also mehr Leistung bei gleicher Sonnenstrahlung, sind ein zentrales Entwicklungsziel für neue Solarzellen. Die Produkte dürfen derweil nicht teurer werden, am Ende sollen die neuen Technologien schließlich zu sinkenden Stromkosten führen. Vielversprechend ist hier der Ansatz der Tandemsolarzellen. Zwei Arten von Solarzellen werden hierbei übereinander gestapelt. Beide setzen unterschiedliche Bereiche des Sonnenspektrums um, sodass insgesamt mehr davon in nutzbare Energie umgewandelt werden kann.

Während das theoretische Maximum für Solarzellen auf Basis von Silizium bei 29,4 Prozent des einstrahlenden Sonnenlichts liegt, könnten mit Tandemtechnologien höhere Wirkungsgrade von zum Teil bis über 40 Prozent erreicht werden. Doch welche Materialien eignen sich am besten für eine industrielle Umsetzung? Innerhalb des Projekts **ProTandem** unter Koordination von Oxford PV Germany setzen die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf die Kombination aus Perowskiten und Silizium-Solarzellen.

Perowskite sind kristalline metall-organische Verbindungen, leicht verfügbar und einfach zu verarbeiten. Dieses Material aus dem Bereich der Dünnschichttechnologie wird erst seit gut zehn Jahren für die Photovoltaik eingesetzt und hat in dieser Zeit rasante Entwicklungen zu verzeichnen: „Von ursprünglich 3,8 Prozent ist der Wirkungsgrad mittlerweile auf über 23 Prozent gestiegen und liegt damit bereits auf gleichem Niveau wie andere etablierte Dünnschichttechnologien“, berichtet Projektkoordinator Dr. Simon Kirner. Ein weiterer Vorteil von Perowskiten: Das Material lässt sich so einstellen, dass es genau den gewünschten Bereich des Sonnenspektrums umsetzen kann. Innerhalb von ProTandem möchten die Projektpartner erstmals die industrielle Produk-

tionstauglichkeit von Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen zeigen. Die bei Oxford PV entwickelte Technologie soll dafür in einer Fabrik in Brandenburg an der Havel auf die Standardgröße von 15,6 x 15,6 Quadratcentimeter hochskaliert werden. Gleichzeitig arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an einer neuen Generation von Tandemsolarzellen, die eine Kombination von Perowskiten mit weiteren Silizium-Solarzellkonzepten erlaubt. Weitere Projektpartner sind das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, VON ARDENNE sowie die Technische Universität Berlin.

Die Kombination von Siliziumzellen mit der Gruppe der III-V-Halbleiterschichten, ebenfalls ein Material aus der Dünnschichttechnologie, ist ein weiterer vielversprechender Ansatz. Innerhalb des Projekts **PoTaSi** arbeitet das Fraunhofer ISE an einer Dreifachstruktur. Hierbei werden zwei Teilzellen aus AlGaInP sowie AlGaInAsP (Kürzel für die Elemente Aluminium, Gallium, Indium, Arsen, Phosphor) auf die Siliziumzelle aufgebracht beziehungsweise mit der Siliziumschicht verbondet. Die Bindung zwischen den Materialien ist so fest, dass am Ende eine Zelle entsteht, die äußerlich einer konventionellen Silizium-Solarzelle gleicht. Mit den Arbeiten möchten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das Potenzial solcher Konzepte aufzeigen – 2018 haben sie damit bereits Wirkungsgrade von 33,3 Prozent erreicht.

Das BMWi fördert das Projekt ProTandem, kurz für „Demonstration der Produktionstauglichkeit von Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen“ (Förderkennzeichen 0324288A-E), mit rund 2,9 Millionen Euro. Das Projekt PoTaSi, kurz für „Demonstration des Potentials von monolithischen Tandemsolarzellen aus III-V Halbleitern und Silicium“ (Förderkennzeichen 0324247), wird mit rund 2,5 Millionen Euro gefördert.



Auf der Oxford-PV-Pilotlinie in Brandenburg arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an einer neuen Generation von Tandemsolarzellen, die eine Kombination von Perowskiten mit weiteren Silizium-solarzellkonzepten erlaubt.

Projekte



Hybridkraftwerke kombinieren erneuerbare Energien mit Batteriespeichern und klassischen Erzeugern wie Dieselgeneratoren – unterstützt durch innovative Planungs- und Steuerungssoftware.

Hybridkraftwerke für ein stabiles Netz

Zukünftige Photovoltaikkraftwerke müssen verstärkt dazu beitragen, das Stromnetz zu stabilisieren – sie müssen also Funktionen übernehmen, die bisher von konventionellen Kraftwerken geleistet werden. Wie eine zuverlässige Stromversorgung mit einem Hybridkraftwerk, das Photovoltaik mit einem Batteriespeicher und fossiler Stromerzeugung optimal kombiniert, umgesetzt werden kann, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler innerhalb des Projekts **Zukunftskraftwerk PV** untersucht. Unter Koordination von BELECTRIC haben die Projektpartner aus Wirtschaft und Forschung hierfür ein flexibles und bedarfsorientiertes System entwickelt. Damit ist es möglich, die Kombination aus Photovoltaikanlagen plus Batteriespeicher – je nach Kundenwunsch und Marktbedarf – für netzstabilisierende Systemdienstleistungen oder für ein optimales Verhältnis zwischen Stromproduktion und Verbrauchernachfrage auszulegen.

Ansatzpunkt für die Entwicklung waren sowohl Technik als auch Steuerung der Photovoltaikkraftwerke. Die Forschenden erweiterten sie um Batteriespeicher, rüsteten die Wechselrichter für den dualen Betrieb mit Photovoltaik

und Batterie auf, integrierten klassische Erzeuger wie Dieselgeneratoren und entwickelten neue Planungs- und Steuerungssoftware. Hierfür nutzten sie Erfahrungen aus dem Bau und Betrieb etlicher kleinerer Hybridkraftwerke in unterschiedlichen Ländern. Der neue Wechselrichter etwa hat bereits in Feldtests bewiesen, dass er die Funktion eines konventionellen Generators gut ersetzen kann. Ein Softwaretool für die Planung und Auslegung entsprechender Hybridkraftwerke sorgt darüber hinaus für niedrige Anlagen- und somit auch Stromerzeugungskosten.

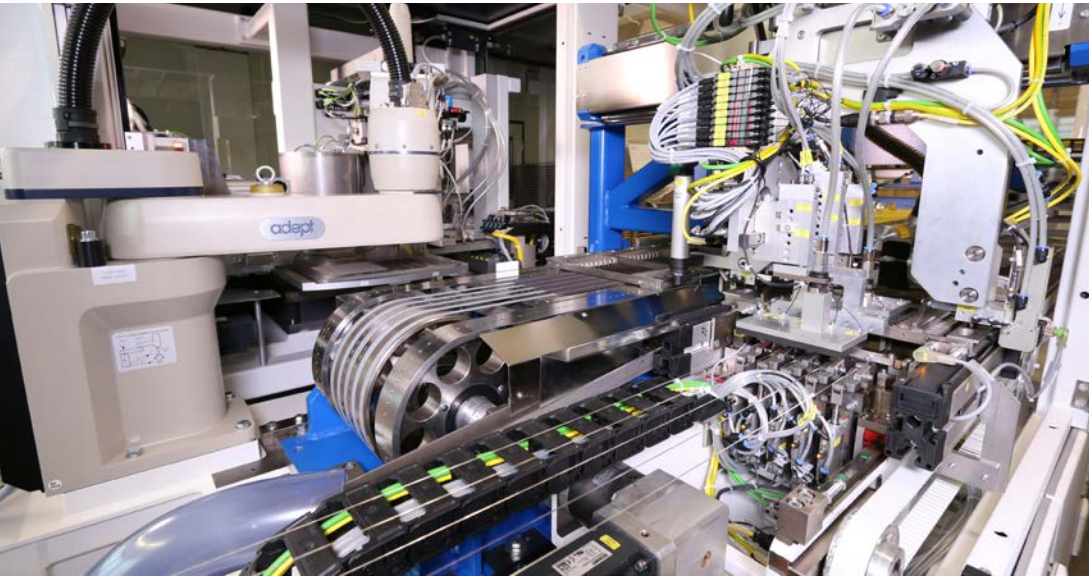
Das BMWi hat das Projekt Zukunftskraftwerk PV, kurz für „Verbundforschungsprojekt für die Befähigung von PV-Kraftwerken zur Übernahme einer ganzheitlichen Energieversorgung in Kombination mit fossilen Erzeugern und Speichern“ (Förderkennzeichen 0325768A-H), mit rund 4,8 Millionen Euro gefördert.

Perspektive: Verzicht auf konventionelle Kraftwerke

Weiter gedacht lautet das Ziel, ganz auf den Beitrag konventioneller Kraftwerke verzichten zu können. Ziel des aktuellen Projekts **PV-Kraftwerk2025** unter Koordination des Unternehmens SMA ist es daher, voll funktionsfähige, praxistaugliche, optimierte Systemlösungen für vollständige Photovoltaik-Großkraftwerke zu entwickeln, die alle vom jeweiligen Netz gestellten Anforderungen zuverlässig und kostengünstig erfüllen. Das BMWi fördert das Projekt PV-Kraftwerk2025, kurz für „Innovationen für die nächste Generation PV-Kraftwerke: Neue Bauelemente, Systemlösungen und Wechselrichter für eine kostengünstige und netzdienliche Stromversorgung“ (Förderkennzeichen 0324211A-F), mit rund 5,7 Millionen Euro.

Kleben statt Löten

Als alternative Verschaltungstechnologie von Hocheffizienz-Solarzellen kann zukünftig auf Klebetechnologie zurückgegriffen werden – zu diesem Ergebnis kommen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler innerhalb des Projekts **KleVer** unter Koordination des Anlagenherstellers teamtechnik. Bisher ist es Standard, die Zellverbinder der Module durch Löten zu befestigen. Das Kleben bietet demgegenüber den Vorteil, dass auf wesentlich niedrigere Prozesstemperaturen von unter 180 Grad Celsius zurückgegriffen werden kann. Dadurch können vor allem temperaturempfindliche Heterojunction-Solarzellen schonend und materialsparend verschaltet werden. Dieser Zelltyp weist aktuell die höchsten Wirkungsgrade auf und kann nicht konventionell bei über 200 Grad Celsius verlötet werden.



Auf einem Stringer mit Klebeeinheit von teamtechnik haben die Projektpartner das leitfähige Kleben von Solarzellen nachgewiesen.

Für die Projektarbeiten hat das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE als Projektpartner einen Stringer mit Klebeeinheit von teamtechnik in Betrieb genommen und erprobt. Auf ihm wurde nachgewiesen, dass leitfähiges Kleben von Solarzellen mit drei, vier oder fünf Sammelschienen als Voll- oder Halbzelle sowie von hocheffizienten Heterojunction-Solarzellen mit einem perspektivisch erreichbaren Modulwirkungsgrad von über 20 Prozent bei ausreichender Haftkraft möglich ist. Der Durchsatz für die industrielle Produktion liegt schon heute mit 1.600 Zellen pro Stunde nur geringfügig niedriger als beim Verlöten. Durch Klimakammerprüfungen haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Zuverlässigkeit der Klebeverbindung bestätigt. Übergeordnetes Ziel des neuen Verfahrens ist es, die Herstellungskosten der Module zu senken, indem Material- und Prozesskosten eingespart werden können. Beispielsweise wird der Silberverbrauch deutlich reduziert, da auf busbarlose Zellen zurückgegriffen werden kann. Darüber hinaus ist die Klebetechnologie bleifrei.

Das BMWi hat das Projekt KleVer, kurz für „Kostensparende Klebstoff-basierte Verbindungstechnologie für Hoch-effizienz solarzellen“ (Förderkennzeichen 0325833A, B), mit rund 2,6 Millionen Euro gefördert

Photovoltaikstrom für E-Fahrzeuge

Die gesunkenen Kosten von Photovoltaikmodulen und der dadurch vorhandene kostengünstigere Strom legen nahe, diese Technologie mit Elektromobilität zu kombinieren. Allerdings ist es eine große Herausforderung, hier ein ökonomisch und ökologisch („Green labeling“) sinnvolles Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erreichen. Ziel des Projekts **Street** unter Koordination des Instituts für Solarenergieforschung in Hameln (ISFH) ist es daher, mögliche Lösungen für eine sinnvolle „Vehicle Integrated“ Photovoltaik, oder auch kurz „VIPV“, zu untersuchen und entsprechende Module zu entwickeln.

Auf der einen Seite müssen höchsteffiziente und robuste Solarzellen und -module zum Einsatz kommen, die auch unter Teilverschattung einen hohen Ertrag liefern. Sie müs-



In Zukunft sollen echte Solarmodule genutzt werden, um Elektroautos anzutreiben – dafür müssen sie besondere Anforderungen erfüllen.



Am DLR-Solarturm in Jülich werden der in HPMS-II entwickelte Receiver sowie der dazugehörige Salzkreislauf und das Sicherheitskonzept erstmals in realer Umgebung getestet.

sen ein geringes Gewicht dank Leichtbau aufweisen und trotzdem kostengünstig hergestellt werden können. Auf der anderen Seite muss die Bordelektronik des Fahrzeugs speziell auf die Anforderungen von VIPV optimiert werden. Nicht zuletzt muss das Nutzerprofil des Fahrzeugs für einen hohen VIPV-Ertrag beziehungsweise einen hohen solaren Deckungsanteil geeignet sein. Unter Koordination des ISFH arbeiten insgesamt acht Projektpartner mit langjähriger Entwicklungs- und Fertigungskompetenz aus Industrie und Forschung an einem geeigneten Konzept. Die Forschungsinstitute – neben dem ISFH noch Helmholtz-Zentrum Berlin, Forschungszentrum Jülich und Leibniz Universität Hannover – übernehmen hierbei vorrangig Fragen zu Einzelschicht- und Zellentwicklung, in enger Zusammenarbeit mit Meyer Burger (Germany). Die Entwicklung der VIPV-Module auf Basis der bei Meyer Burger und beim ISFH mit der Smart-Wire-Technologie verschalteten Zellen erfolgt bei a2-solar. Continental und Streetscooter übernehmen die elektrische und mechanische Integration der Module im Fahrzeug. Das Endprodukt wird schließlich über Testfahrten von Streetscooter im Betrieb getestet.

Das BMWi fördert das Projekt Street, kurz für „Einsatz von hocheffizienten Solarzellen in elektrisch betriebenen Nutzfahrzeugen“ (Förderkennzeichen 0324275A-H), mit rund 4,7 Millionen Euro.

Innovativer Receiver für Solartürme

In Solarturmkraftwerken reflektieren bewegliche Spiegel die Sonnenstrahlung auf das obere Ende eines Turms. Auf dem Turm befindet sich ein so genannter Receiver, in dem die Strahlungsenergie in Wärme umgewandelt und an ein durch den Receiver fließendes Wärmeträgermedium abge-

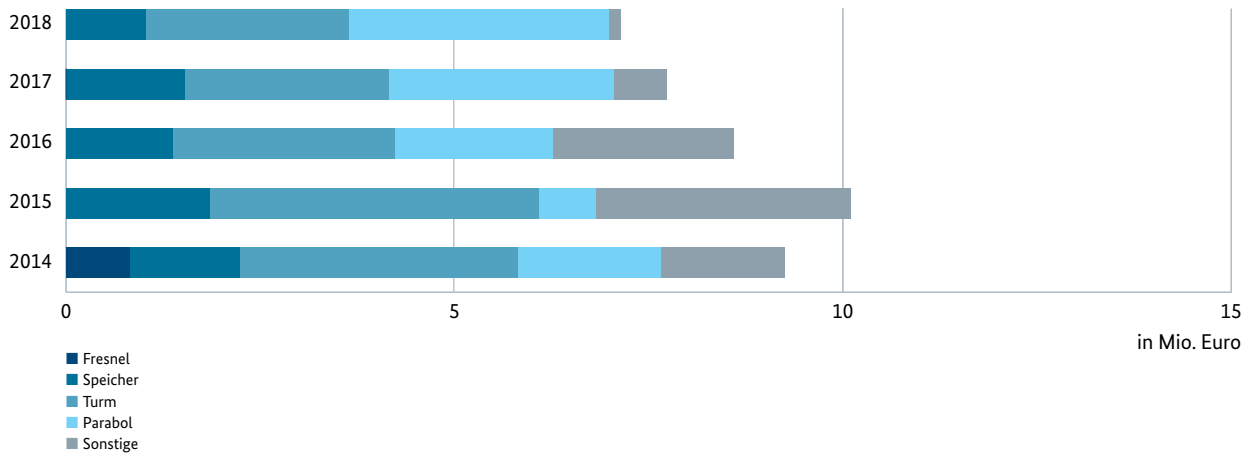
geben wird. Aus dieser Wärme wird zunächst Dampf und anschließend Strom im Kraftwerk erzeugt. Wurde in den ersten Turmkraftwerken noch Wasserdampf als Wärmeträgermedium verwendet, setzen neue Kraftwerke vor allem auf Salzschnmelzen. Diese lassen höhere Prozesstemperaturen und kostengünstigeres Speichern in großen Tanks zu.

Im Forschungsvorhaben **HPMS-II** entwickelt und testet ein Konsortium aus Industrie und Forschung unter der Leitung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) einen hocheffizienten Receiver für Salzschnmelzen. Dabei wird auf den Erkenntnissen aus dem Vorgängerprojekt aufgebaut: In HPMS hatte das Konsortium für vier Receivervarianten untersucht, wie sich Wirkungsgrad und Herstellungskosten optimieren lassen. Die Ergebnisse flossen in ein innovatives Receiverdesign ein, das nun in HPMS-II in einem Hochtemperaturkreislauf im Solarturm des DLR in Jülich getestet werden soll. An dem Vorhaben sind die Unternehmen MAN Energy Solutions SE, Flexible Industriemess-technik FLEXIM und die Fachhochschule Aachen beteiligt.

Ziel des Vorhabens ist es, den neu entwickelten Receiver sowie den dazu gehörigen Salzkreislauf und das Sicherheitskonzept in realer Umgebung zu testen. Dabei werden auch einzelne Komponenten wie Salzpumpen, Ventile, Isolierung und Messtechnik im Betrieb bei hohen Temperaturen auf ihre Belastbarkeit hin untersucht. Außerdem soll in der TESIS-Testanlage beim DLR in Köln der Wärmeübergang für die Salzschnmelze in den Receiverrohren vermessen werden.

Das BMWi fördert das Projekt HPMS-II, kurz für „High Performance Molten Salt Tower Receiver System“ (Förderkennzeichen 0324327A-D), mit rund 3,8 Millionen Euro.

Solarenergie/Solarthermische Kraftwerke: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018



Im Blickpunkt: Spiegelfelder

Schneller am Netz dank Flugdrohne

Flugdrohnen eröffnen immer neue Anwendungsgebiete. Nun sollen sie bei der Energiewende helfen: Unbemannte Quadrocopter haben das Potenzial, die Inbetriebnahme von solaren Turmkraftwerken erheblich zu verkürzen.

Statt eines halben Jahres oder mehr soll die Kalibrierung von mitunter riesigen Spiegelfeldern mit Hilfe der Flugdrohnen zukünftig nur noch ein bis zwei Wochen dauern. „Mit der richtigen Kombination aus hoher Bildauflösung, guter Datenverarbeitung und exakten Flugmanövern sollen die Quadrocopter Solarfelder von bis zu 60.000 Spiegeln innerhalb weniger Tage optimal ausrichten“, erklärt Christoph Prahel vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), der das Projekt **HelioPoint** koordiniert. Der Einsatz von QFly könnte die Bauphase und Inbetriebnahme eines solaren Turmkraftwerkes um mehrere Monate verkürzen und der erneuerbare Strom ginge schneller ans Netz.

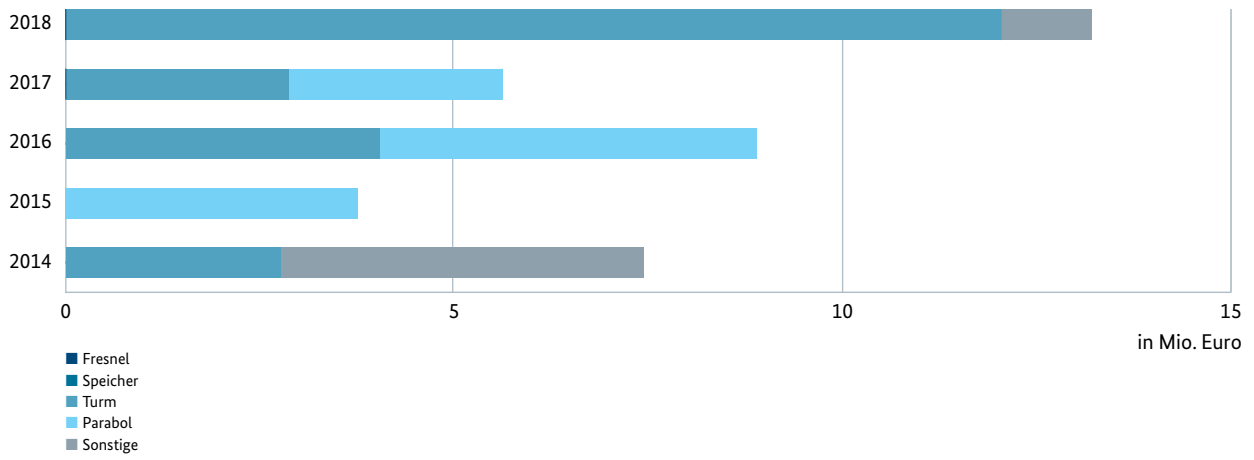
Die leicht gewölbten Spiegel, die für solare Turmkraftwerke genutzt werden, müssen das Sonnenlicht auf einen Wärmeempfänger (Receiver) reflektieren, der sich in bis zu 1,5 Kilometer Entfernung an der Spitze eines Turms befindet – eine äußerst genaue Justierung ist hier also sehr wichtig. Die Spiegel, auch Heliostaten genannt, erzeugen Temperaturen von 1.000 Grad Celsius und mehr. Sind sie nicht exakt auf den Receiver ausgerichtet, ist der daran vorbei reflektierte Teil der Sonnenstrahlen für die Umwandlung in elektrische Energie verloren. Hinzu kommt, dass konzentriertes Sonnenlicht, das auf die falsche Stelle trifft, eine Gefahr für den Betrieb der Anlage darstellt.

Die Projektpartner planen, die Quadrocopter für ihr neues Einsatzgebiet aufzurüsten. Die Datenrate wird so hoch sein, dass der Datenstrom online verarbeitet und auf einem fliegenden Rechner gespeichert werden muss. Am Ende soll ein zweistufiges Verfahren entstehen. Zunächst sollen mit einem photogrammetrischen Verfahren die 3D-Koordinaten sämtlicher Spiegel bestimmt werden. Eine noch genauere Methode nutzt den Reflex eines Targets aus farbigen und leistungsstarken LEDs, welche an der Drohne angebracht sind.

Bisher sieht der Stand der Technik noch anders aus: Jeder Spiegel wird einzeln mit Hilfe natürlicher Sonnenstrahlung auf den Turm ausgerichtet. „Mit dem Einsatz der Drohne und der integrierten LEDs wäre die Kalibrierung des Spiegelfeldes zukünftig sowohl unabhängig vom Sonnenlicht als auch vom Bau des Turmes, der in der Regel von anderen Unternehmen ausgeführt wird“, hofft Christoph Prahel. Deutsche Unternehmen seien damit in der Lage, Spiegelfelder schlüsselfertig und mit Performance-Garantie an den Betreiber zu übergeben. Nicht zuletzt müsse an der Anlage selbst, also an Turm und Spiegelfeld, nichts zusätzlich installiert werden. Damit kann das Verfahren unabhängig vom Baufortschritt anderer Teile des Kraftwerks eingesetzt werden. Weitere Projektpartner sind neben dem DLR die Unternehmen CSP Services, sbp Sonne und TeAx Technology UG.

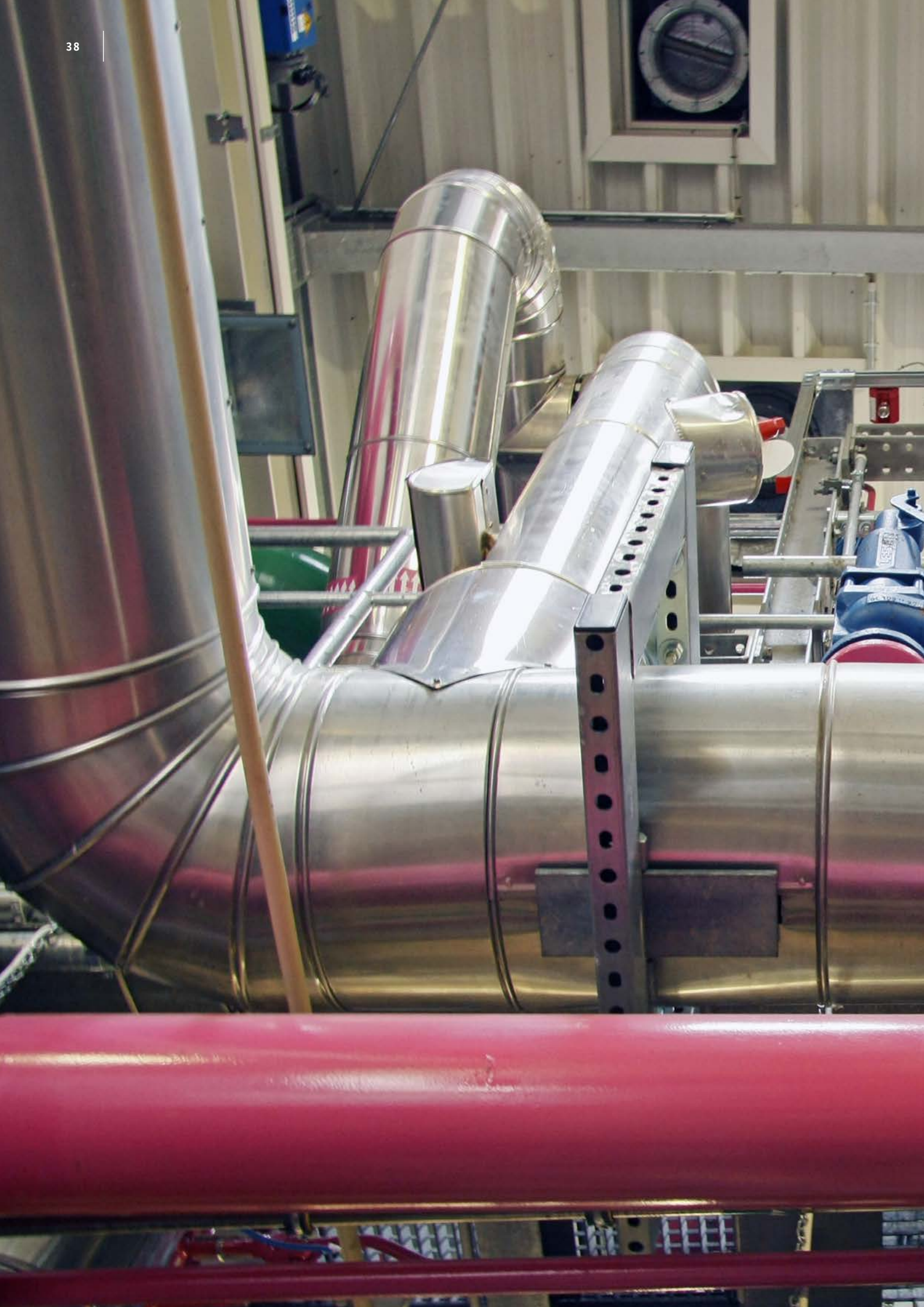
Das BMWi fördert das Projekt HelioPoint, kurz für „Luftgestützte Charakterisierung von Heliostatfeldern“ (Förderkennzeichen 0324201A-D), mit rund 700.000 Euro.

Solarenergie/Solarthermische Kraftwerke: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014



Mithilfe der Flugdrohnen sollen Spiegelfelder solarthermischer Kraftwerke binnen weniger Tage kalibriert werden können.





Geothermie

Die Erde ist eine gigantische Wärmequelle. Die Energie aus dem Erdinneren kann zum Heizen, Kühlen und zur Stromproduktion genutzt werden. Ihr großer Vorteil gegenüber der Wind- und Sonnenenergie: Erdwärme steht rund um die Uhr zur Verfügung.

A 0LBA40 AA310
SW
Deltig N NO Sep

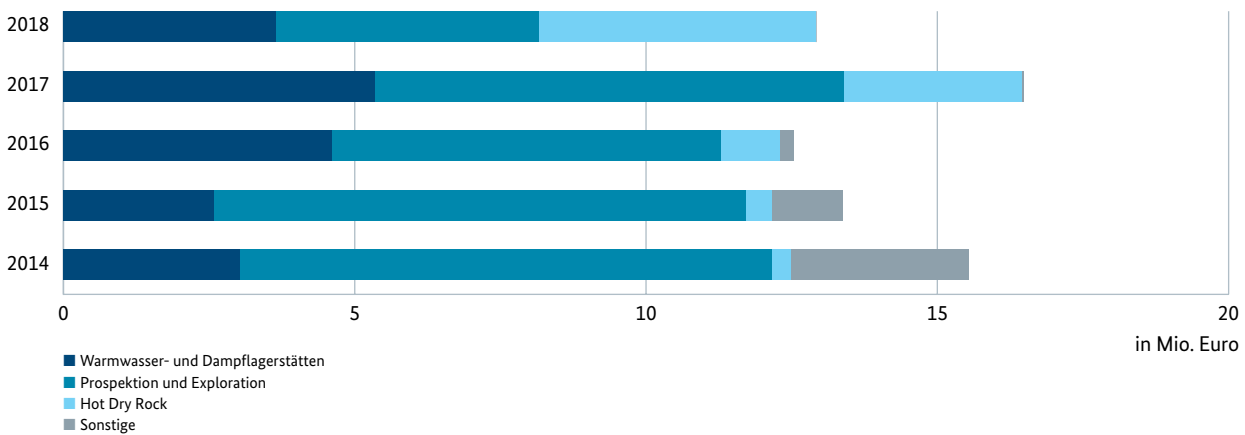
Erdwärme ist verlässlich. Je tiefer man in den Untergrund vorstößt, desto heißer wird das Gestein im Erdinneren: In Mitteleuropa nimmt die Temperatur im Schnitt um etwa 3 Grad Celsius pro 100 Meter Tiefe zu. Damit werden in geothermisch interessanten Regionen wie etwa dem Molassebecken in Bayern bei 2.500 bis 3.000 Metern Bohrtiefe Temperaturen von über 80 Grad Celsius erreicht. Genug, um den Betrieb eines Wärmenetzes wirtschaftlich zu führen.

Neben dem bayerischen Molassebecken bieten etwa auch der Oberrheingraben im Südwesten Deutschlands und das Norddeutsche Becken geologisch gute Voraussetzungen, um das Thermalwasser aus der Tiefe in größerem Stil zu

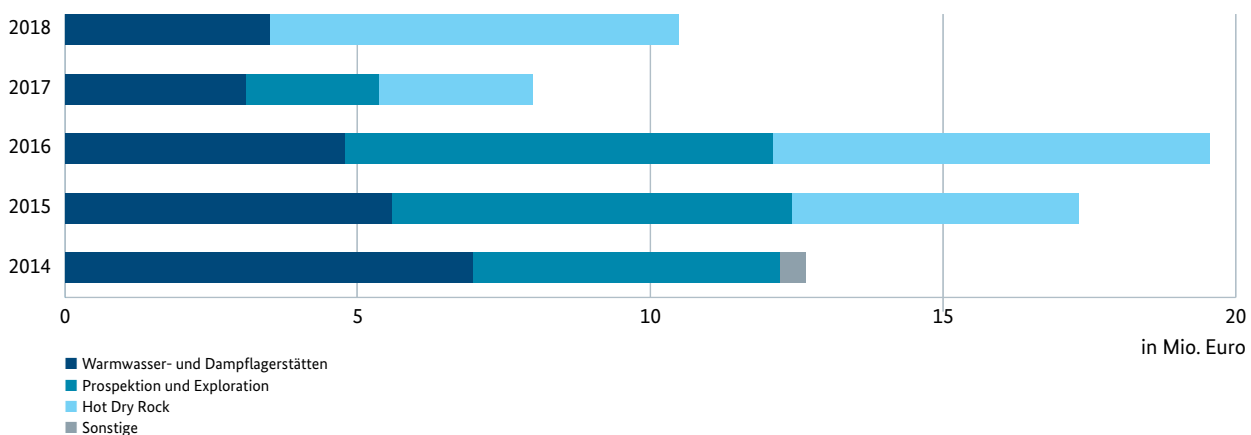
nutzen. Bei der so genannten hydrothermalen Geothermie wird Thermalwasser mit Pumpen an die Erdoberfläche gefördert. Zurzeit wird es vor allem zum Heizen von Quartieren, einzelner Stadtviertel und Industrieunternehmen eingesetzt. Deutschlandweit sind laut Bundesverband Geothermie (BVG) insgesamt 33 Heizwerke in Betrieb, Tendenz steigend: Über 30 Anlagen sind derzeit in Planung oder im Bau, um künftig Stadtquartiere oder ganze Städte mit Wärme zu versorgen.

Vorreiter ist die Stadt München: Die bayerische Landeshauptstadt sitzt auf einem riesigen Vorrat an heißem Wasser: In 2.000 bis über 3.000 Metern unter der Erdoberfläche befindet sich ein Reservoir mit Wassertemperaturen von 80 bis über 100 Grad Celsius. Die Wärme aus diesem Thermalwasser lässt sich optimal zum Heizen nutzen. Hierzu wird das heiße Wasser an die Oberfläche gepumpt und über Wärmetauscher geleitet, wobei ihm ein Teil der Energie entzogen wird. Das abgekühlte Wasser wird dann wieder in die Tiefe zurückgeführt. Somit ist das Nutzen von Erdwärme ein Kreislauf ohne Eingriff ins Ökosystem. Die Stadtwerke München planen, bis 2040 das Stadtgebiet mit überwiegend geothermisch gewonnener Wärme

Geothermie: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018



Geothermie: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014



zu versorgen. Auch andere Kommunen setzen auf den Einstieg oder Ausbau des Wärmenetzes mittels Geothermie.

Die Stromproduktion aus Erdwärme ist aufgrund der geologischen Bedingungen in Deutschland dagegen auch auf längere Sicht nicht wirtschaftlich. Hierfür sind Bohrungen in etwa 5 Kilometern Tiefe erforderlich, was kostspielig und deshalb bisher nicht rentabel ist.

Forschen, entwickeln und fördern

Während Photovoltaik- und Windenergieanlagen ihren Beitrag zur Energiewende leisten, indem sie Strom aus erneuerbaren Energiequellen erzeugen, steht mit der Geothermie eine erneuerbare, direkte und praktisch unerschöpfliche Wärmequelle zur Verfügung. Die Geothermie kann fossile Brennstoffe zum Heizen oder Kühlen ersetzen. Damit leistet sie einen wichtigen Beitrag zur Energiewende und hilft unmittelbar, die CO₂-Emissionen zu senken. Außerdem ist Erdwärme als Energiequelle standortunabhängig vorhanden, sie erhöht damit die regionale Wertschöpfung und stärkt die Unabhängigkeit von Brennstoffimporten. Daher fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Forschungsprojekte zur Geothermie von der Exploration der Lagerstätte über die Bohrung bis hin zum Bau und anschließenden Betrieb der Anlage. Ziel ist es, die geologischen Kenntnisse über potenziell geothermisch nutzbare Gebiete zu verbessern und so Planungsrisiken zu minimieren, um die Energieerzeugungskosten weiter zu reduzieren. Außerdem soll die Flexibilität der Anlagen durch saisonale Wärmespeicher erhöht und die Akzeptanz bei der Bevölkerung durch eine transparente Kommunikation über Chancen und Risiken gesteigert werden. Neben Forschungseinrichtungen und Unternehmen werden auch Anwender wie Energieversorger und Stadtwerke gefördert.

Thermalwasser in Kalksteinvorkommen lässt sich besonders gut für die Geothermie nutzen. Es enthält allerdings auch

Mehr als 50 Prozent der Primärenergie wird in Deutschland genutzt, um Wärme zu erzeugen. Daher ist der Ausbau der Geothermie für die Energiewende strategisch wichtig.



Das BMWi fördert Forschungsprojekte zur Geothermie von der Exploration der Lagerstätte über die Bohrung bis hin zum Bau und anschließenden Betrieb der Anlage.

gelösten Kalk und stellt daher besondere Herausforderungen an die Geothermieanlagen. So führen kalkhaltige Ablagerungen im Thermalwasserkreislauf immer wieder zu teuren Stillständen im Anlagenbetrieb. Im Forschungsvorhaben EvA-M werden so genannte Inhibitoren getestet – chemische Verbindungen, die diese Ablagerungen verhindern sollen (siehe auch „Im Blickpunkt: Tauchkreislumpen“, Seite 42). Auch das regelmäßige Reinigen, Warten oder Auswechseln der Pumpen führt zu Stillständen im Anlagenbetrieb und ist daher zeit- und kostspielig. Hierfür ist im Projekt EBIMA die weltweit erste mobile Anlage entwickelt worden, mit der die Unterwasserpumpen schnell, sicher und effizient an den Standorten ausgetauscht werden können (siehe auch „Im Gespräch: Automatisierung“, Seite 44).

Die Tiefbohrungen machen bei neuen Geothermieanlagen einen Großteil der Investitionskosten aus. Im Forschungsvorhaben ISEB ist mit dem so genannten Elektro-Impuls-Verfahren (EIV) ein innovatives Verfahren getestet worden, bei dem das Gestein nicht mechanisch abgetragen, sondern durch lokal begrenzte, gepulste Hochspannungsentladungen von rund 500 Kilovolt gezielt berührungsfrei zerkleinert wird. Die Bohranlage mit einem Prototyp des EIV-Bohrkopfes und einem miniaturisierten Marx-Generator, mit dem die Hochspannungs-Impulse erzeugt werden, konnte auf dem Gelände der Technischen Universität Bergakademie Freiberg erfolgreich in Betrieb genommen werden (siehe auch „Berührungsfrei in die Tiefe“, Seite 43).

Auch in der Geothermie werden zahlreiche Abläufe durch die zunehmende Mechanisierung und Digitalisierung effizienter und damit kostengünstiger. Schon beim Erschließen der Lagerstätte kann durch automatisierte Abläufe viel Geld gespart werden (siehe auch „Sicher und effizient bohren“, Seite 43). Auch im späteren Anlagenbetrieb tragen innovative Softwarelösungen zu einem reibungslosen Ablauf bei. Sie helfen beispielsweise, Fehler rechtzeitig zu erkennen beziehungsweise notwendige Wartungen termingerecht zu veranlassen.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Geothermie hat das BMWi 2018 insgesamt 21 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 10,5 Millionen Euro bewilligt (2017: 17 Projekte für rund 8 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 12,9 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2017: rund 16,5 Millionen Euro).

Im Blickpunkt: Tauchkreiselpumpen

Entkalken, bitte!

Im Süden Bayerns gibt es bereits einige Geothermieanlagen, die Erdwärme zur Strom- und Wärmeerzeugung einsetzen. Doch kalkartige Ablagerungen im Thermalwasserkreislauf stören den reibungslosen Ablauf. Im Forschungsvorhaben EvA-M werden chemische Verbindungen getestet – so genannte Inhibitoren –, die diese Ablagerungen verhindern sollen.

Kalkablagerungen verursachen nicht nur unschöne Beläge in Kochtöpfen, sondern setzen auch Wasserkochern und Waschmaschinen ordentlich zu: Bayerische Geothermiekraftwerke müssen sich ebenfalls mit gelöstem Kalk im Thermalwasser auseinandersetzen. Die Tauchkreiselpumpen, die in einigen hundert Metern Tiefe direkt im Thermalwasser arbeiten, verkalken mit der Zeit. Deshalb müssen die Kraftwerksbetreiber sie regelmäßig warten und reinigen. Aktuell setzen sie Salzsäure ein, um die lästigen Ablagerungen aufzulösen. Für das Unternehmen ein enormer Aufwand, der mit finanziellen Verlusten einhergeht, denn die gesamte Anlage muss für die Zeit der Reinigung heruntergefahren werden. Zudem müssen Erdgas und Erdöl dazugekauft werden, um die Energieversorgung sicherzustellen.

„In dem Projekt **EvA-M** arbeiten wir daran, durch den Einsatz bestimmter chemischer Verbindungen – so genannter Inhibitoren – Ausfällungen von vornherein zu unterbinden“, erklärt Projektleiter Dr. Dietmar Kuhn vom Karlsruher Institut für

Technologie. Die Inhibitorzugabe wird in drei Anlagen im bayerischen Molassebecken multidisziplinär durch enge Zusammenarbeit von Betreibern, der Industrie und Forschungseinrichtungen langfristig begleitet und evaluiert. Dabei stehen gleich mehrere Fragen im Fokus der Pilotversuche: Wie wirkt der Inhibitor in der Geothermieanlage und wie kann seine Wirksamkeit charakterisiert werden? Wie verbreitet er sich im Untergrund und wie wird er abgebaut? Wie sehen die Wechselwirkungen mit dem Reservoirgestein aus und wie wirkt sich der Inhibitor auf mikrobielle Lebensgemeinschaften sowie Pflanzen und Tiere aus? „Diese Fragen müssen wir beantworten, um die Folgen eines Langzeiteinsatzes von Inhibitoren sowohl für die Anlagen als auch für das hydrogeologische Fließsystem des Malmaquifers zu bewerten“, erklärt Dietmar Kuhn.

Die tiefe Geothermie stellt eine wichtige Komponente im Energiemix im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes dar und muss im Zuge der Umsetzung der Ziele der UN-Klimakonferenz von Paris zwingend ausgebaut werden, um die notwendige „Wärmewende“ zu realisieren. „Dieses Ziel können wir jedoch nur erreichen, wenn wir die derzeit auftretenden Ausfällungsprobleme lösen“, resümiert der Projektleiter.

Das BMWi fördert EvA-M, kurz für „Einsatz von Ausfällungsinhibitoren im Molassebecken“ (Förderkennzeichen 0324215 A-D), mit rund 2 Millionen Euro.



Im Projekt EVA-M wird modellhaft untersucht, wie der Inhibitor im Thermalwasser mit dem Reservoir-Gestein in der Tiefe reagiert.

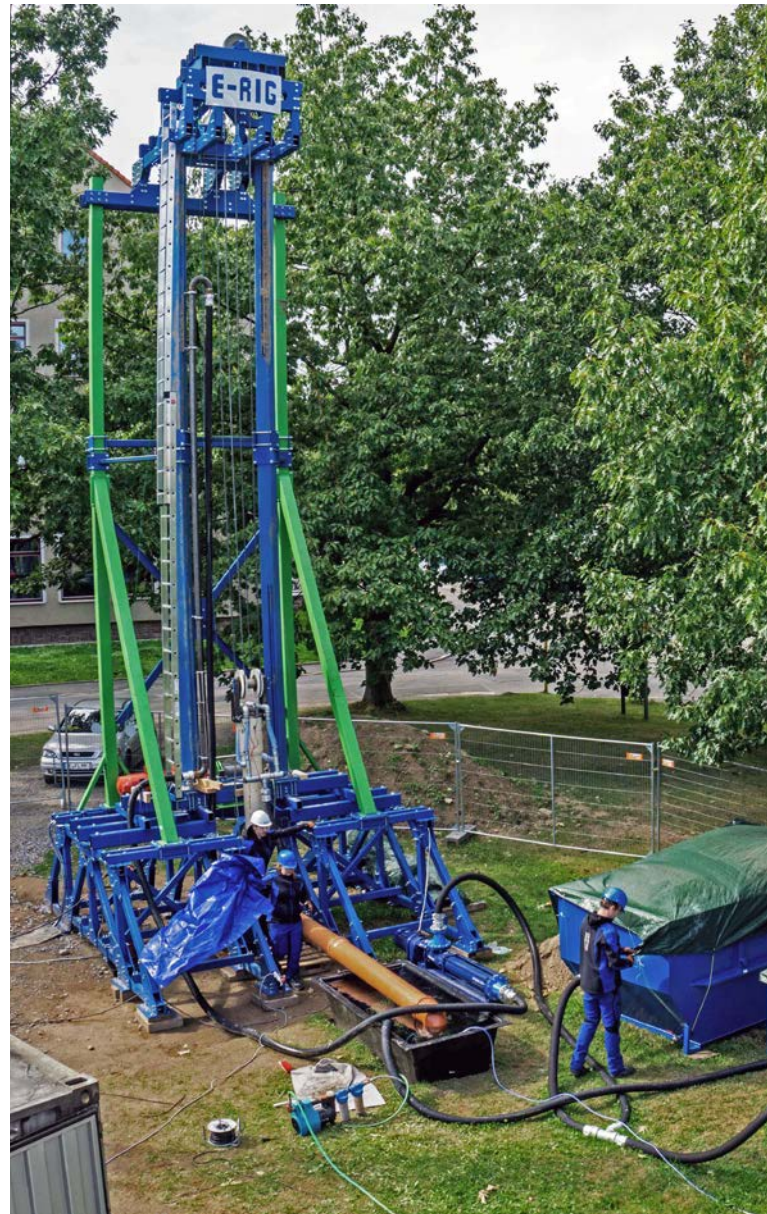
Projekte

Berührungsfrei in die Tiefe

Die Tiefbohrungen nehmen bei neuen Geothermieranlagen einen Großteil der Investitionskosten ein. Das mehrere Kilometer lange Bohrgestänge muss mehrfach ausgebaut werden, bevor die Zieltiefe erreicht wird: Die stumpfen, abgenutzten Meißel, mit denen das Gestein gebrochen wird, müssen ausgetauscht werden. Der Ansatz des so genannten Elektro-Impuls-Verfahrens (EIV) könnte diesen Austausch zukünftig überflüssig machen. Hartgestein wird hierbei durch Hochspannungsentladungen von rund 500 Kilovolt gezielt lokal abgesprengt, als berührungsfreie Bohrmethode. Innerhalb des Projekts **ISEB** unter Koordination der Technischen Universität Dresden haben die Projektpartner nun die Prototypen der hierfür benötigten Komponenten gebaut und im Feld getestet. Die Bohranlage und der Prototyp des so genannten Marx-Generators, mit dem die Hochspannungsimpulse erzeugt werden, konnten auf dem Gelände der Technischen Universität Bergakademie Freiberg erfolgreich in Betrieb genommen werden. Weltweit war dies das erste Mal, dass ein vergleichbares EIV-Bohrsystem plus Spülung mit Leitungswasser in einem Bohrloch eingesetzt wurde.

Die Arbeiten bauen auf zwei Vorgängerprojekten auf, in denen die beteiligten Ingenieurinnen und Ingenieure bereits eine Machbarkeitsstudie durchgeführt und einen ersten Bohrkopf, bestehend aus Elektrode und Marx-Generator, entwickelt und getestet hatten. Erste Versuche, das Prinzip des Elektro-Impuls-Verfahrens in der Tiefbohrtechnik einzusetzen, fanden durch andere Forschungseinrichtungen bereits in den 90er Jahren statt. Bisher hat es jedoch keines dieser Systeme bis zur Marktreife geschafft. Das durch die Projektpartner entwickelte System **DEISY** (Deep Drilling with Electric Impulse Drilling System) besitzt hingegen großes Potenzial, zukünftig auch kommerziell eingesetzt werden zu können. Während der Projektarbeiten konnten die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zudem das Verständnis über die Physik des EIV-Verfahrens wesentlich vorantreiben. An den Arbeiten waren fünf weitere Projektpartner, größtenteils aus der Industrie, beteiligt.

Das BMWi hat das Projekt **ISEB**, kurz für „Entwicklung und In-Situ-Erprobung eines EIV-Bohrsystems“ (Förderkennzeichen 0325788A-E, G), mit rund 2,6 Millionen Euro gefördert.



Der Ansatz des Elektro-Impuls-Verfahrens (EIV) wurde mit der Bohranlage E-RIG auf dem Campus der Technischen Universität Bergakademie Freiberg getestet.

Sicher und effizient bohren

Das sichere Abteufen einer geothermischen Tiefbohrung ist generell mit einer Vielzahl von technischen Unwägbarkeiten verbunden. Das macht es schwierig, die für die Wirtschaftlichkeitsanalyse eines Projekts erstellten Zeit- und Kostenpläne bei der späteren Bohrung zuverlässig einzuhalten. Innerhalb des Projekts **AUTIG_BPEO** entwickeln Ingenieurinnen und Ingenieure der Baker Hughes INTEQ daher ein integratives Softwaresystem, das alle Aspekte des Bohrprozesses – die Bohrlochhydraulik, die statische und dynamische Belastung der Bohrgarnitur und des Bohrstangs sowie die Bohrungsplatzierung – automatisch überwacht und während des Bohrens optimiert. Diese Automatisierung soll die Bohrlochkonstruktion sowohl unter sicherheitstechnischen wie zeitlichen Aspekten optimieren.



Wird die Abteufung von Geothermiebohrungen automatisch überwacht und gesteuert, reduzieren sich technische und wirtschaftliche Projektrisiken.

Im Gespräch: Automatisierung

Weltweit erste mobile Anlage zum Pumpenein- und -ausbau

Fällt eine Förderpumpe eines Geothermiekraftwerks aus, muss diese zusammen mit den Förderrohren aus dem Bohrloch ausgebaut und an die Oberfläche befördert werden. Das sind Arbeiten, die in der Vergangenheit sehr aufwändig waren und mit hohem personellem Einsatz einhergingen. Ingenieurinnen und Ingenieure der Firma MAX STREICHER haben daher innerhalb des Projekts EBIMA eine Anlage entwickelt, mit der dieser so genannte „Workover“ an Tiefpumpen sicherer und effizienter ablaufen kann – eine Weltneuheit speziell für den Einsatz in der Geothermie. Ende 2018 konnten sie den Probetrieb bei ihrem Projektpartner, den Stadtwerken München (SWM), erfolgreich abschließen. Projektkoordinator Christoph Feldmeier erläutert die Hintergründe.

Was war der Anlass für Ihre Entwicklung?

Das Gebiet, in dem die Stadtwerke München ihre Geothermiekraftwerke bauen, hat ein vergleichsweise großes Problem mit mineralischen Ablagerungen an den Pumpen. Da die Ausfälle jedoch nicht vorhergesagt werden können und Betriebsausfälle der Geothermiekraftwerke sehr kostspielig sind, konnten die Stadtwerke nicht jedes Mal monatelang darauf warten, bis eine Standard-Workover-Anlage aus dem Erdölbereich zur Verfügung steht. Daher mussten sie notgedrungen für einen Pumpenwechsel mit drei Teleskopkränen arbeiten – auch aus Gründen der Sicherheit nur als Übergangslösung geeignet. Da die SWM ihre Geothermiekraftwerke stark ausbauen, brauchten sie daher eine bessere Lösung.



Christoph Feldmeier leitet die Abteilung Konstruktion Bohrtechnik bei dem Unternehmen Max Streicher.

Ihr Unternehmen stammt eigentlich aus dem Öl- und Gasgeschäft. Konnten Sie Ihre bestehenden Anlagen hierfür nutzen? Das ist ein sehr spezielles Einsatzfeld. Wir haben zwar Parallelen gesehen, aber es gibt auch klare Unterschiede. Zum Beispiel haben die Förderrohre für Thermalwasser einen deutlich größeren Durchmesser. Da konnten wir nichts aus unserem Standard-Portfolio verwenden, es brauchte eine Neuentwicklung.

Wie sieht diese Neuentwicklung nun aus? Was waren Ihre Ansatzpunkte?

Sehr wichtig war uns der hohe Mobilitätsgedanke. Das heißt, dass das Gerät schnell von der einen Bohrung zur anderen fahren kann, damit die Ausfallzeit der Geothermiekraftwerke so gering wie möglich gehalten wird. Deswegen musste die Workover-Anlage sehr kompakt und sehr leicht sein. Nur so kann man ohne großes Genehmigungsverfahren auf einer deutschen Straße fahren. Die größte Innovation hierbei war der Bohrmast. Da dieser in einem Stück zu lang gewesen wäre, haben wir einen klappbaren Zahnstangenmast entwickelt, das ist eine Weltneuheit. Zudem ist die Anlage auf einem speziell entwickelten Sattelaufleger mit vier Lenkachsen aufgebaut, damit man etwa im Stadtbereich von München in den Kreisverkehr fahren kann. Was zudem elementar an der

Aktuell wird der Bohrprozess typischerweise von mehreren, jeweils auf einen Teilaspekt des Bohrprozesses spezialisierten Ingenieurinnen und Ingenieuren anhand einer Vielzahl von Messwerten auf Vorkommnisse hin permanent beobachtet und optimiert. Zum Beispiel kontrollieren sie die Stabilität des Bohrlochs oder den Bohrkleinaustrag. Ein zukünftiges automatisiertes Prozessüberwachungssystem erkennt Ereignisse zuverlässig und kann sie durch permanente Anpassung von Prozessmodellen an die Messwerte teilweise sogar voraussagen. Dadurch können die Ingenieurinnen und Ingenieure den Bohrprozess insgesamt über-

blicken, die Sicherheit der Abläufe im Auge behalten und den Prozess proaktiv steuern, statt sich mit der Interpretation einzelner Messwerte zu befassen. Einige Prozessmodelle konnten im Projektverlauf bereits so optimiert werden, dass sie in Echtzeit berechnet werden. Auch erste Versuche auf einer Testbohranlage fanden bereits statt.

Das BMWi fördert das Projekt AUTIG_BPEO, kurz für „Automatisierte Bohrtechnik für tiefe Geothermie – Bohrungsplanung und Echtzeitoptimierung“ (Förderkennzeichen 0324015), mit rund 3,3 Millionen Euro.



Die Geothermie-Workover-Anlage steht hier betriebsbereit auf dem Testplatz in Deggendorf.

ganzen Anlage ist, ist das automatische Förderrohr-Zuführsystem. Das heißt, die Maschine nimmt das Förderrohr, einzeln zwölf Meter lang, aus der horizontalen Position auf, bringt dann das Rohr in die vertikale Stellung in den Mast. Dort wird es automatisch übergeben an den Hubschlitten, der es dann ins Bohrloch ablässt. Insgesamt werden so Förderrohrstränge von über 800 Meter Länge in die Bohrungen abgesenkt.

Arbeitet die neue Anlage nun auch schneller als vorher?

Ein Zyklus, also der Einbau eines einzelnen Förderrohres, dauerte vorher so acht bis neun Minuten. Jetzt schaffen wir das doppelt so schnell. Neben der Effizienz der Anlage durch die Automatisierung war aber auch die Sicherheit ein relevanter Aspekt. Ein Förderrohr allein wiegt circa 800 Kilogramm, ein Pumpensegment drei Tonnen. Wenn man da etwas fallen lässt, sprechen wir von großem Maschinenschaden bis hin zum Personenschaden.

Wo wird die Anlage nun eingesetzt?

Diese Anlage gehört nun den Stadtwerken München, für deren eigene Geothermiekraftwerke sowie als Dienstleister für weitere kommunale Geothermiekraftwerke im Münchner Raum. Von der STREICHER-Seite her werden wir versuchen, die Anlage auch an anderen Geothermie-Hotspots im In- und Ausland zu bewerben. Es ist auf jeden Fall die Perspektive, dieses Gerät noch öfter zu bauen.

Das Interview führte Meike Bierther,

Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi hat das Projekt EBIMA, kurz für „Entwicklung, Bau und Inbetriebnahme einer mobilen Anlage zum sicheren und effizienten Wechsel von Unterwasserpumpen der Tiefen Geothermie“ (Förderkennzeichen 0324072A-B), mit rund 1,5 Millionen Euro gefördert.



Biomassenutzung, Wasserkraft

Biomasse ist ein Multitalent. Aus Pflanzen, Holz oder Reststoffen lassen sich Wärme, Strom und Kraftstoff gewinnen. Genauso wie die Wasserkraft ist sie ein zuverlässiger Energielieferant.

Biomasse und Wasserkraft tragen zusammen rund 10 Prozent zur Stromproduktion in Deutschland bei. Abfall- und Reststoffe sollen darüber hinaus perspektivisch einen wichtigen Beitrag zur sektorübergreifenden Energieversorgung leisten. Im Bereich der Wasserkraft werden innovative Laufwasserräder entwickelt, die neue Standorte erschließen helfen. Zudem wird an robusten Komponenten für Meeresenergieanlagen geforscht.

Biomasse

Ein zentraler Aspekt der Energiewende ist die Reduktion von Treibhausgas (THG)-Emissionen. Neben erneuerbaren Energiequellen gewinnen daher auch THG-mindernde Energieformen wie die Biomassenutzung an Bedeutung. Bioenergie wird aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holz und Energiepflanzen, aber auch organischen Reststoffen wie Bioabfall oder Grünschnitt gewonnen. Im Grunde basiert also auch die Biomasse auf Sonnenenergie. Im Gegensatz zur Energie aus Photovoltaikanlagen ist sie allerdings nicht vom Wetter abhängig und bietet so zeitlich und räumlich flexible Lösungen für die Energieversorgung.

In größeren Dimensionen können feste Reststoffe in Biomasseheizkraftwerken verbrannt und mittels Dampfturbinen in Strom umgewandelt werden. Gasförmige Biomasse, wie Biogas, kann beispielsweise mit Gasturbinen in Strom umgewandelt werden. Die Stromerzeugung erfolgt dabei mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Diese flexible Erzeugung kann dazu beitragen, das Stromsystem zu stabilisieren, da die Anlagen je nach Energienachfrage im Strom-

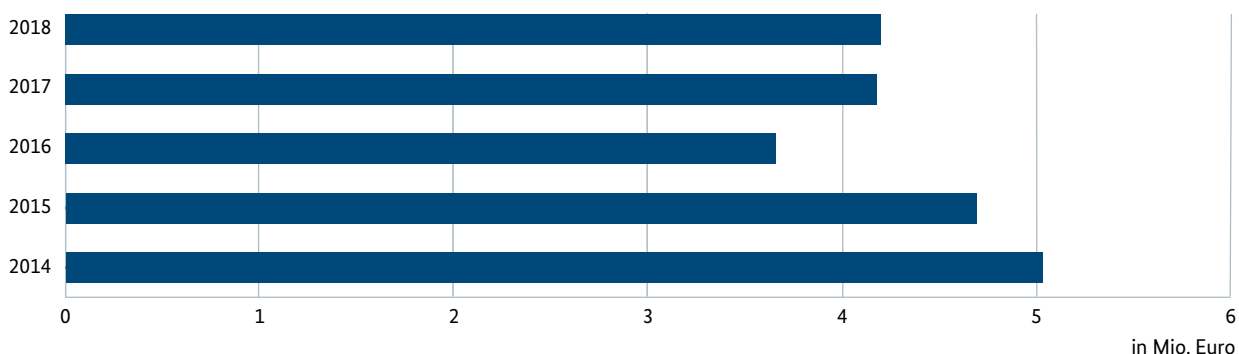
netz schnell an- und abgeschaltet werden können. Im Jahr 2018 wurden 45,1 Terawattstunden Strom aus Biomasse erzeugt, das entspricht etwa einem Fünftel des erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energien insgesamt. Der Netto-Zubau der installierten Leistung betrug 2018 rund 418 Megawatt (2017: 319 Megawatt). Zusätzlich wurden 6,2 Terawattstunden Strom aus dem biogenen Anteil des Abfalls erzeugt (2017: 6,0 Terawattstunden).

Beim Verbrennen von Biomasse zur Stromerzeugung entsteht immer auch Wärme, die abgeführt und für Heizzwecke genutzt werden kann. So lassen sich die Sektoren Wärme und Strom effizient und nachhaltig koppeln. Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung sind mittlerweile in einem großen Leistungsbereich verfügbar und tragen dazu bei, dass die Bioenergie hocheffizient genutzt werden kann.

Einen Mammutanteil im Erneuerbare-Wärme-Sektor machen die Kleinf Feuerungsanlagen in Haushalten mit circa 40 Prozent der festen Brennstoffe aus. Insbesondere die circa 11–12 Millionen Einzelraumfeuerungen wie Kaminöfen oder Kachelöfen mit 80 bis 85 Gigawatt Gesamtwärmeleistung können durch den Einsatz innovativer Technologien zur Versorgungssicherheit beitragen. Im Fokus der Forschung stehen emissionsarme, flexible und vernetzte intelligente Wärmetechnologien auf Basis von Rest- und Abfallstoffen. Im Verkehrssektor haben biogene Treibstoffe das Potenzial, die fossilen Kraftstoffe für Fahrzeuge in Zukunft zu ersetzen. Das zeigt auch die aktuelle Marktsituation. Laut Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) ist der Absatz von Biokraftstoffen im Vergleich zum Vorjahr um knapp 9 Prozent gestiegen.

Biomasse für Kraftstoffe muss seit 2018 so hergestellt werden, dass insgesamt mindestens 50 Prozent Treibhausgase gegenüber fossilen Kraftstoffen eingespart werden. Zuvor waren es noch 35 Prozent. Dies erfordert die Entwicklung effizienterer Verbrennungsprozesse, Erweiterung der Rohstoffbasis, Flexibilisierung der Energiebereitstellung und Emissionsminderung. Auch die Umwandlungsverluste und die Kosten müssen künftig stärker reduziert werden.

Biomassenutzung: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018



Forschen, entwickeln und fördern

Damit sich die Bioenergie flexibel in ein immer komplexeres Energiesystem einfügen kann, muss die Erzeugung effizienter, ökologischer und wirtschaftlicher werden. Dazu braucht es innovative Technologien und intelligente Steuerinstrumente. Dies ist insbesondere beim Thema Netzdienlichkeit entscheidend. Die Bundesregierung fördert daher unter anderem die Entwicklung neuer Anlagenkonzepte, die die Fluktuationen bei Verbrauch und Erzeugung von erneuerbarem Strom ausgleichen können. So widmet sich etwa das Verbundvorhaben FlexFuture (siehe auch „Optimierte Fahrpläne für Biogasanlagen“, Seite 52) der automatisierten Steuerung von Blockheizkraftwerken (BHKW), um sie an die maximale Einspeisung aus lokalen Photovoltaik-Freiflächenanlagen anzupassen. Ziel ist, die Energie aus Photovoltaikanlagen vollumfänglich nutzbar zu machen.

Bevor die Biomasse flächendeckend im Netz zum Einsatz kommen kann, müssen zunächst die Ist-Situation und die individuellen lokalen Bedarfe erfasst werden. Auf dieser Grundlage können Optimierungsoptionen aufgezeigt und umgesetzt werden. Dazu haben Forscherinnen und Forscher im Projekt ManBio (siehe auch „Biogas vorausschauend speichern und verstromen“, Seite 51) die gebräuchlichen Systeme und wesentlichen Einflussfaktoren auf den Betrieb von Gasspeichersystemen in Biogasanlagen technisch analysiert. Sie konnten dadurch das Gasmanagement deutlich verbessern.

Weitere Innovationsbedarfe finden sich bei der Kraft-Wärme-Kopplung – also der kombinierten Erzeugung von Strom und Wärme aus einer Energiequelle. Hier gilt es, die gekoppelte Strom- und Wärmebereitstellung zu erhöhen. Dazu müssen Anlagenkomponenten weiterentwickelt und die Gesamtwirkungsgrade verbessert werden. Damit sich die Biomasse weiter am Markt etabliert, braucht es entsprechende Geschäftsmodelle, mit denen sich die Bioenergie wirtschaftlich vermarkten lässt. Auch Themen wie Recycling und Kreislaufwirtschaft von Rohstoffen werden künftig verstärkt gefördert.



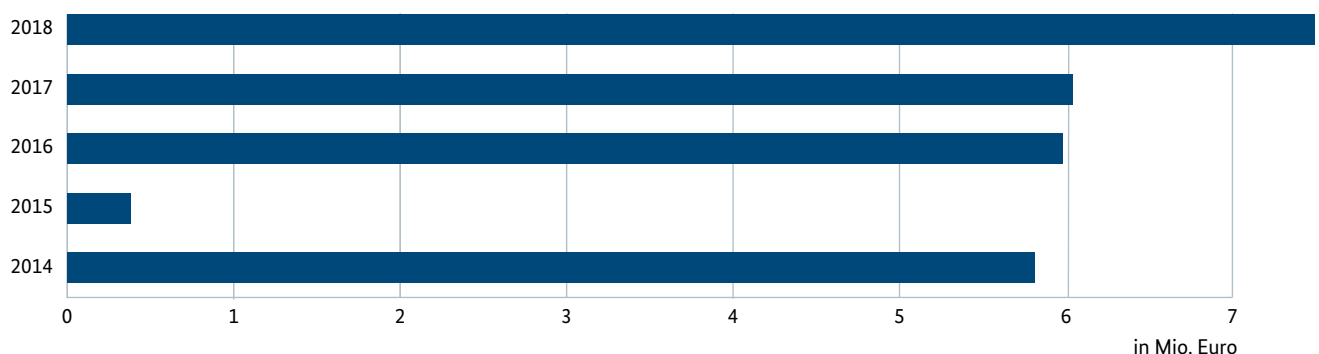
Rund ein Fünftel des erzeugten Stroms aus regenerativen Energiequellen wird mittels Biomasse produziert.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Biomassennutzung hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2018 insgesamt 47 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 9,1 Millionen Euro bewilligt (2017: 43 Projekte für rund 6 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 4,2 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2017: rund 4,2 Millionen Euro).

Wasserkraft

In Deutschland setzen Turbinen oder Laufwasserräder an vielen Flüssen oder Stauseen die natürliche Fließbewegung des Wassers in mechanische Energie um. Diese wird mit Generatoren in elektrische Energie gewandelt. Da die geographisch geeigneten Standorte nahezu ausgeschöpft sind, steht die Modernisierung von Bestandsanlagen und die Entwicklung innovativer Laufwasserräder im Fokus. Der Anteil des aus Wasserkraft erzeugten Stroms liegt aktuell bei etwa 3 Prozent des Gesamtverbrauchs. Im Jahr 2018 wurden dabei rund 17 Terawattstunden Strom aus Wasserkraft erzeugt. Den größten Beitrag haben die süddeutschen Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg geleistet.

Biomassennutzung: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014



Weltweit nimmt China mit rund 340 Gigawatt installierter Leistung unangefochten den Spitzenplatz ein – mit deutlichem Abstand vor den USA und Brasilien. In Europa liegen Norwegen und Frankreich vorn.

Anlagen, die Strom aus Meeresenergie generieren, sind weltweit noch im Demonstrationsstadium. Der Tidenhub und der Energiegehalt in Strömung und Wellen können als Energielieferant genutzt werden. Aufgrund der geografischen Bedingungen ist diese Form der Energiegewinnung an deutschen Küsten wirtschaftlich nicht vielversprechend. Für heimische Unternehmen besteht jedoch die Chance, Exportmärkte in Regionen mit besseren Bedingungen, wie sie etwa in Großbritannien oder Frankreich vorherrschen, zu erschließen. Das weltweite Potenzial wird auf etwa auf etwa 170 Gigawatt geschätzt, davon etwa 10 Prozent in Europa.

Strom aus Biomasse und Wasserkraft lässt sich planbar produzieren.

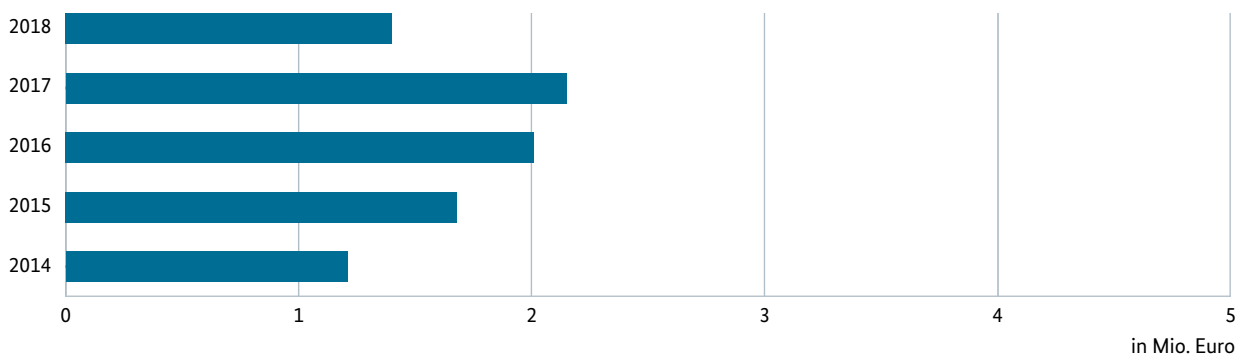
Forschen, entwickeln und fördern

Die Anlagentechnik für Laufwasserkraftwerke und Speicherkraftwerke in Binnengewässern ist weitgehend ausgereift. Hier trägt die Modernisierung von Bestandsanlagen dazu bei, den Wirkungsgrad zu verbessern. Beim so genannten Repowering werden bestehende Anlagen beispielsweise mit neuen, leistungsstärkeren Turbinen ausgestattet. Innovative Laufwassersysteme sollen es zukünftig ermöglichen, neue Standorte mit geringen Gefällen von lediglich ein bis zwei Metern und mittleren Fließgeschwindigkeiten zu erschließen.

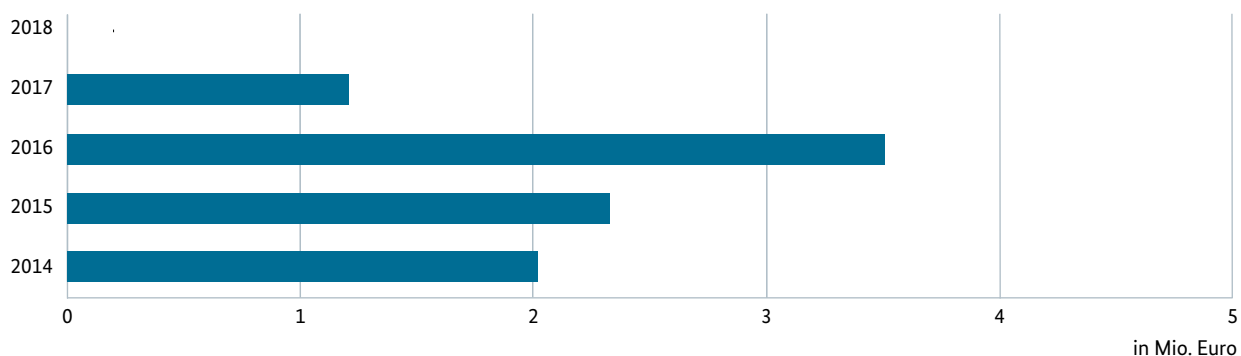
Einen Forschungsschwerpunkt der BMWi-Förderung bildet die Entwicklung und Demonstration wirtschaftlich vielversprechender und unter maritimen Bedingungen besonders widerstandsfähiger Bauteile wie Meeresströmungsturbinen und Wellenenergiekonverter. Im Forschungsprojekt Tidal-Power haben Expertinnen und Experten etwa eine schwimmende Plattform mit einem modularen Unter-Wasser-Turbinensystem entwickelt (siehe auch „Strom aus Gezeitenströmung“, Seite 53).

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Wasserkraft und Meeresenergie flossen rund 1,4 Millionen Euro in entsprechende Forschungsvorhaben (2017: rund 2,2 Millionen Euro).

Wasserkraft: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018



Wasserkraft: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014





Den Speicherfüllstand vorausschauend regeln: In einer Forschungsbiogasanlage haben die Partner im Projekt ManBio den Anlagenbetrieb so angepasst, dass Überproduktionen von Biogas und damit verbundene Emissionen vermieden werden können.

Projekte

Biogas vorausschauend speichern und verstromen

Flexibel erzeugter Strom aus Biogas ist in der künftigen Energieversorgung wichtig für den Ausgleich fluktuierender Energiequellen wie Wind und Sonne. Damit dies sicher und effizient gelingt, müssen Biogasproduktion, Speicherstand und Strombedarf präzise erfasst, abgestimmt und geregelt werden. Im Vorhaben **ManBio** konnten das DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum als Koordinator und der Projektpartner Awite Bioenergie den Betrieb von Gasspeichern verbessern, ein angepasstes Messsystem entwickeln und ein Prognosemodell für den Gasspeicherfüllstand in das Prozessleitsystem von Biogasanlagen einbinden. Zunächst haben die Projektpartner die gebräuchlichen Systeme und wesentlichen Einflussfaktoren auf den Betrieb von Gasspeichersystemen in Biogasanlagen technisch analysiert. Anschließend untersuchten und modifizierten sie unterschiedliche Systeme zur Messung des Speicherfüllstands und integrierten sie in die Anlagenautomatisierung. Zur vorausschauenden Füllstandregelung hat das Team die Einflussgrößen auf die verfügbare Gasspeicherkapazität in einem Modell abgebildet – etwa Temperatur, Windgeschwindigkeit, Luftdruck und Sonneneinstrahlung, Gas-

produktionsrate und Gasverbrauch. Auf Basis von Wetterprognosen sind so Empfehlungen zur vorausschauenden Anpassung des Fütterungs- oder Verstromungsregimes zur Vermeidung von Unter- und Überproduktionen möglich. An der Forschungsbiogasanlage des DBFZ und einer Biogasanlage der Awite Bioenergie haben die Verbundpartner schließlich ihre Erkenntnisse technisch umgesetzt und im Dauerbetrieb erfolgreich erprobt.

Perspektivisch sollen die verbesserten Systeme mit geringem Aufwand an vielen bestehenden Biogasanlagen mit unterschiedlichen Speichersystemen umgesetzt werden können. Sie werden eine noch flexiblere und effizientere Stromproduktion aus Biogas ermöglichen und dazu beitragen, betriebsbedingte Emissionen erheblich zu verringern. In seinem Abschlussjahr wurde das Projekt mit dem Biogas-Innovationspreis der Deutschen Landwirtschaft ausgezeichnet.

Das BMWi hat das Projekt ManBio, kurz für „Entwicklung von technischen Maßnahmen zur Verbesserung des Gasmanagements von Biogasanlagen“ (Förderkennzeichen 03KB094A-B), mit rund 310.000 Euro gefördert.

Optimierte Fahrpläne für Biogasanlagen

Biogasanlagen (BGA) als ausgleichendes Element in Verteilnetze mit hohem Anteil fluktuierender Stromeinspeisung zu integrieren, stand im Zentrum des Verbundvorhabens **FlexFuture**. Insbesondere ging es um eine automatisierte Steuerung der Blockheizkraftwerke (BHKW). Dabei haben die Technische Hochschule Ingolstadt als Koordinator sowie fünf Partner aus der Energiewirtschaft die lokalen Bedürfnisse des Mittelspannungsnetzes ins Zentrum der Fahrplanerstellung für BGA gerückt: Ein an die maximale Einspeisung aus lokalen Photovoltaik-Freiflächenanlagen angepasster Betrieb der BHKW stand dabei im Fokus des Steuerungskonzepts.

Durch eine entsprechende Anlagensteuerung lassen sich flexible Biogasanlagen an die Strommarktpreise und die Bedürfnisse des Verteilnetzes anpassen. Ein flexibler Betrieb von Biogasanlagen bedeutet dabei, dass bei einer hohen Einspeiseleistung aus Photovoltaikanlagen die Biogas-BHKW heruntergefahren werden. Bei geringer solarer Einstrahlung kann man die Leistung der Biogas-BHKW erhöhen.

Das Forscherteam von FlexFuture optimierte das Management der Strom- und Wärmeerzeugung. Im Sinne der Gesamteffizienz der BGA konnte die produzierte Wärme so höchstmöglich über ein Nahwärmenetz genutzt werden. Mit der entwickelten Biogasanlagensteuerung können strommarkt-, wärmebedarfs- sowie verteilnetzorientierte Fahrpläne erstellt werden.

Das Projektteam hat mit dieser Betriebsweise eine signifikante Erhöhung der mit dem Verteilnetz ausgetauschten Strommengen erzielt. Dabei ist mehr Strom durch die Netze geflossen, ohne diese erweitern zu müssen. An einer realen Anlage, der BGA Zellerfeld im oberbayerischen Egling, konnten die Partner ihre Erkenntnisse umsetzen und demonstrieren. Forschungsarbeiten zu einer solchen vorausschauenden Steuerung können perspektivisch dazu beitragen, Netzausbaukosten zu reduzieren. Zudem lässt sich das Netz auf diese Weise kostengünstiger stabilisieren als mit Stromspeichern.

Das BMWi hat das Projekt FlexFuture, kurz für „Integration von Biogasanlagen in Netze mit hohem Anteil fluktuierender Stromerzeuger – Wissenschaftliche Untersuchung der steuerbaren Stromerzeugung“ (Förderkennzeichen 03KB102A-B, D-E), mit rund 200.000 Euro gefördert.



Biogasanlage Zellerfeld: Wichtig für die Kombination von PV-Anlagen und Biogasanlagen auf Verteilnetzebene ist die Leistungsfähigkeit der Blockheizkraftwerke im flexiblen Betrieb für Wärme- und Stromerzeugung.

Strom aus Gezeitenströmung

Gezeitenkraftwerke nutzen den Tidenhub im Meer, also die Differenz zwischen Hoch- und Niedrigwasserstand, für die Stromproduktion. Der Vorteil beim Betrieb von Gezeitenströmungskraftwerken ist, dass sich die Gezeiten sehr genau vorhersagen lassen. Die erzeugte Strommenge ist im Gegensatz zu Windenergieanlagen oder Solarkraftwerken wetterunabhängig.

Im Gegensatz zu den meisten Forschungsaktivitäten setzen die **Tidal-Power**-Expertinnen und -Experten von SCHOTTEL HYDRO nicht auf eine fest am Meeresboden verankerte Turbine, sondern auf eine schwimmende Plattform mit einem modularen Unter-Wasser-Turbinensystem. Dafür werden mehrere kleine Turbinen an einem Gitter befestigt. Dieses wird am Meeresboden verankert und kann sich selbstständig nach der Gezeitenströmung ausrichten. Die dazu gehörende Leistungselektrik ist in den Schwimmkörpern untergebracht.

Im Fokus des mittlerweile abgeschlossenen Forschungsvorhabens standen die Konstruktion, die Betriebsführung, das Schwimmverhalten sowie die Installation und Verankerung der Plattform auf dem Meeresgrund. Der Abgleich von

Simulationen und Modellversuchen ermöglichte verlässliche Vorhersagen, wie sich eine Großausführung im Feld verhalten würde. Das Expertenteam von SCHOTTEL HYDRO arbeitete bei dem Forschungsprojekt gemeinsam mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universität Siegen, der Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt, der Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam und dem Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE) zusammen. Weitere Forschungsschwerpunkte lagen auf dem modularen Turbinensystem, der Rotorblattgeometrie sowie dem Feldversuch von Triebsträngen.

Das BMWi hat das Projekt Tidal Power, kurz für „Entwicklung eines Plattformsystems zur kosteneffizienten Nutzung von Gezeitenströmungsenergie“ (Förderkennzeichen 0325817A-E), mit rund 2,1 Millionen Euro gefördert.



Im Gezeitenkraftwerk Tidal Power ist ein modulares Unter-Wasser-Turbinensystem an einer schwimmenden Plattform befestigt.



Kraftwerkstechnik sowie CO₂-Abscheidung und -Speicherung

Konventionelle Kraftwerke werden weiterhin als Stromproduzenten gebraucht. Doch ihre Aufgabe wandelt sich. Während die Kraftwerke jahrzehntelang im Dauerbetrieb waren, liefern sie in Zeiten der Energiewende nur dann Strom, wenn zu wenig Wind weht oder die Sonnenenergie nicht ausreicht. Flexibilität und Innovationen sind gefragt – bei Materialien, Anlagentechnik und Betriebsprozessen.

Konventionelle Kraftwerke sind Dienstleister: Sie unterstützen die Stromproduktion aus fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen. Bauteile aus innovativen und optimierten Werkstoffen sowie neue Brennstoffe tragen dazu bei, höhere Wirkungsgrade und weniger CO₂-Ausstoß zu erzielen. In den Kraftwerksbetrieb integrierte Speicher könnten zudem den überschüssigen Strom, etwa mit Hilfe von Power-to-X-Technologien, zwischenspeichern, bis die Nachfrage wieder steigt.

Der stete Ausbau der erneuerbaren Energien wird den Strommix in Deutschland dauerhaft verändern. Noch erzeugen konventionelle Energieträger allerdings zwei Drittel des Stroms. Denn der Umbau zu einer grünen Energieversorgung braucht Zeit. In den nächsten Jahren werden jedoch sukzessive immer mehr Kraftwerke abgeschaltet oder in die so genannte Sicherheitsreserve überführt. Insgesamt hält die Bundesregierung 2.700-Megawatt-Kraftwerksleistung bis zum Oktober 2023 als Puffer bereit, um die Netzstabilität während des Umbaus der Energieversorgung zu gewährleisten.

Während in Deutschland der Energieverbrauch 2018 um rund 5 Prozent gesunken ist, stieg er weltweit weiter an. Rund um den Globus, insbesondere in China, Indien und verschiedenen Entwicklungsländern, werden weiterhin fossile Kraftwerke geplant und gebaut. Die Internationale Energieagentur IEA schätzt, dass die weltweite Kapazität bis 2040 um weitere 400 Gigawatt wachsen wird. Das Abschalten

von Kraftwerken in Europa kann daher nur einen begrenzten Beitrag dazu leisten, die weltweiten Emissionen zu senken. Effiziente und möglichst emissionsarme Kraftwerkstechnik wird weltweit weiterhin gefragt sein. Hiervon profitieren auch deutsche Anlagenbauer und Komponentenhersteller.

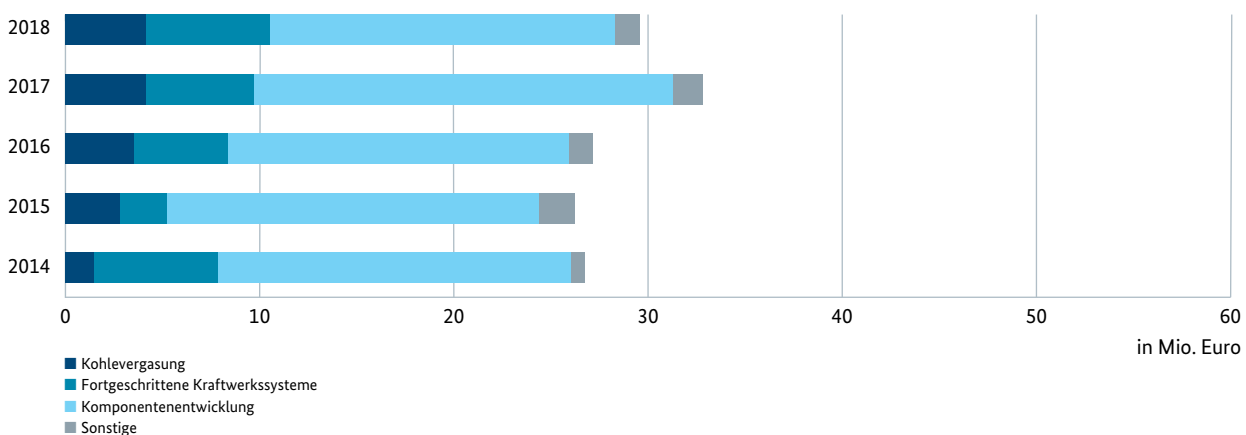
Perspektivisch erwarten Energie-Expertinnen und -Experten weltweit einen verstärkten Einsatz von Gaskraftwerken, um die Kohlendioxidemissionen zu reduzieren. Der große Vorteil: Gaskraftwerke können auch mit aus erneuerbaren Energien gewonnenem Methan betrieben werden. Deutsche Wirtschaftsunternehmen gehen aber laut dem Fachverband Power Systems des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) bereits einen Schritt weiter: Sie stellen sich darauf ein, dass Gaskraftwerke bis zum Jahr 2050 klimaneutral, das heißt beispielsweise mit Wasserstoff, betrieben werden.

Insgesamt erwartet die Internationale Energieagentur, dass die globale Energienachfrage 2040 um mindestens ein Viertel höher liegen wird als heute, wenn die Regierungen ihre Versprechungen zum Einsatz energieeffizienter Technologien einhalten. Ansonsten könnte der Energiebedarf im selben Zeitraum um mehr als die Hälfte zunehmen.

Forschen, entwickeln und fördern

Konventionelle Kraftwerke stehen in Deutschland im Zeichen der Energiewende vor großen Veränderungen. Hierbei unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit seiner anwendungsorientierten Forschungsförderung. Diese soll dazu beitragen, den Kraft-

Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018



werksbetrieb effizienter, sauberer und kostengünstiger zu machen. Um Versorgungslücken zu schließen, müssen Kraftwerke schneller und häufiger an- und abgefahren oder in Teillast betrieben werden. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickeln daher innovative Materialien und Verfahrenstechniken für die Komponentenproduktion, die den veränderten Beanspruchungen während des Kraftwerkbetriebs gerecht werden. Dabei nimmt die Digitalisierung einen immer höheren Stellenwert ein.

Im Forschungsvorhaben Laserstrahlbohren von Wärmedämmschichten entwickelt die RWTH Aachen zusammen mit dem Forschungszentrum Jülich eine laserbasierte Bohrtechnologie, mit deren Hilfe qualitativ hochwertige Bohrungen, etwa in Turbinenschaufeln oder -brennkammern, ohne Risse oder Rückwandschädigungen erfolgen können (siehe auch „Innovatives Bohrverfahren“, Seite 59). Auch im Forschungsprojekt MCoE (Manufacturing Center of Excellence) arbeiten Expertinnen und Experten von Siemens an neuen Fertigungsmethoden wie etwa der Wasserstrahl- oder Laserbearbeitung. Dadurch sollen die Produktionskosten – in diesem Fall von Gasturbinen – weiter gesenkt und der Wirkungsgrad des Kraftwerks erhöht werden. So entwickelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in diesem Projekt schon ein neues Kühlkonzept für Turbinenschaufeln, das höhere Betriebstemperaturen zulässt (siehe auch „Im Blickpunkt: Fertigungstechnologien“, Seite 61).

Deutschland hat auch 2018 wieder mehr Strom produziert, als im eigenen Land gebraucht wurde. Bisher wird der überflüssige Strom vor allem in Nachbarländer wie die Niederlande oder Österreich exportiert. Alternativ dazu ließe sich der überflüssige Strom auch in den Kraftwerken mit Hilfe von Power-to-X-Technologien zwischenlagern – wenn entsprechende Speicher zur Verfügung stünden. Momentan besteht jedoch noch hoher Forschungsbedarf an den verschiedenen Speichertechnologien. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Mitsubishi Hitachi Power Systems

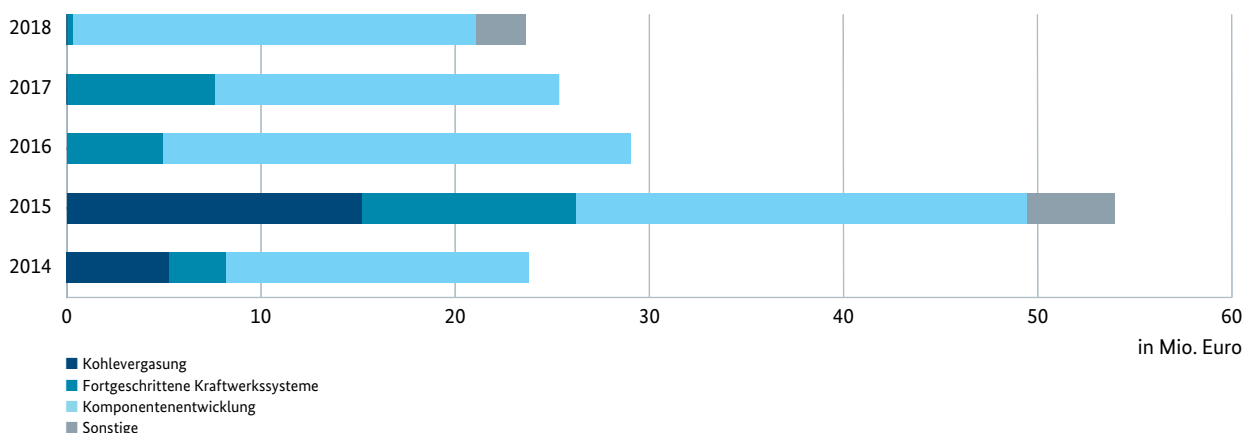
Moderne Kraftwerke mit hohen Umweltstandards garantieren eine zuverlässige Stromversorgung.

Europe und der Ruhr-Universität Bochum beschäftigen sich mit dem Thema: Im Projekt Kryolens – Kryogene Luftspeicherung – forschen sie an Flüssigluftenergiespeichern (siehe auch „Flüssigluft als Stromspeicher“, Seite 60).

Die Energieforschungsförderung des BMWi zielt auch darauf ab, durch innovative Produkte und Verfahren die Kohlendioxidemissionen dauerhaft zu reduzieren. Daher fördert das BMWi im Bereich der Kraftwerkstechnik Projekte, die sich mit dem Abtrennen, Speichern und Nutzen von CO₂ beschäftigen. Im Forschungsvorhaben MONIKA wird untersucht, wie das Kohlendioxid aus der Abluft einer Müllverbrennungsanlage mittels Carbonate-Looping-Verfahren abgespalten und der darin enthaltene Kohlenstoff stofflich verwertet werden kann (siehe auch „Im Gespräch: Sektorkopplung“, Seite 58).

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Kraftwerkstechnik sowie CO₂-Abscheidung und -Speicherung hat das BMWi 2018 insgesamt 66 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 23,6 Millionen Euro bewilligt (2017: 51 Projekte für rund 25,3 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 29,6 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2017: rund 32,8 Millionen Euro).

Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014



Im Gespräch: Sektorkopplung

Verbrannter Müll als Stromspeicher

Wird Abfall verbrannt, wird das darin gebundene CO₂ freigesetzt und gelangt in die Atmosphäre. Das CO₂ zu nutzen, um die Energiewende im Stromsektor zu unterstützen, ist ein neuer Ansatz – innerhalb des Projekts MONIKA hat die Technische Universität Darmstadt ein neues Verfahren dazu getestet. Ausgangspunkt ist ein Problem, das sich Betreibern von Müllverbrennungsanlagen zunehmend stellt. Sie werden ihren Strom nicht mehr zu jeder Zeit los, erklärt Projektkoordinator Professor Dr.-Ing. Bernd Epple.

Wie stellt sich die Situation für die Müllverbrennungsanlagen aktuell dar?

Wir sehen jetzt schon, durch die volatile Stromspeisung aus erneuerbaren Energien gibt es Zeiten mit Stromüberangebot. Dann kostet es Geld, den Strom ins Netz einzuspeisen. Diese Situation wird sich mit einem höheren Anteil erneuerbarer Energien verschärfen. Müllverbrennungsanlagen können allerdings nicht einfach abgestellt werden, sie müssen ja den Müll verbrennen.

Wie lautet also Ihr Lösungsansatz?

Die Idee ist es, anstelle von Strom alternative Produkte zu produzieren, für die es immer einen Markt gibt. Das wäre in dem Fall Methanol, ein chemisches Produkt. Es kann sowohl in der Industrie als auch im Verkehrssektor eingesetzt werden. Man kann es dem Benzin zumischen oder als Dieselsatzstoff aufbereiten – das ergibt viel geringere Emissionen. Hiermit haben wir einen klassischen Fall von Sektorkopplung. Darüber hinaus kann man das Verfahren auch als Stromspeicher sehen. Wir speichern Strom in Form von Methanol und können sogar noch Überschussstrom aus dem Netz ziehen. Das Unternehmen SUEZ hat uns bei den Arbeiten maßgeblich unterstützt.

Sie nutzen nun das CO₂ aus den Abgasen der Anlage, um daraus unter Stromzufuhr Methanol herzustellen. Können Sie das Verfahren kurz skizzieren?

Der Fokus besteht zunächst darin, CO₂ aus dem Abgas zu entfernen. Da bietet es sich an, dass CO₂ sehr gerne mit Calciumoxid reagiert, woraus Calciumcarbonat entsteht. Wir wandeln also diesen gasförmigen Stoff CO₂ um in einen festen Stoff, der sich relativ einfach aus dem Abgasstrang separieren lässt. In einem zweiten Reaktor setzen wir das CO₂ wieder frei, indem die Temperatur von 650 auf 900 Grad Celsius erhöht wird. Das Novum bei MONIKA ist, dass wir an Stelle von Kohle nun Abfallstoff nutzen. Im Wesentlichen Kunststoffabfälle, auch Holz mit biogenem Anteil. Das heißt, wir haben dadurch sogar eine CO₂-Senke in der Gesamtbilanz, wir entziehen das im Holz gespeicherte CO₂ dem Kreislauf.



Prof. Dr.-Ing. Bernd Epple ist Leiter des Instituts für Energiesysteme und Energietechnik (EST) an der Technischen Universität Darmstadt.

Was passiert dann mit dem CO₂?

Dafür haben wir den Überschussstrom, den wir nicht ins Netz speisen wollen. Damit betreiben wir die Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff. Den Wasserstoff brauchen wir für die Synthese des Methanols. Den Sauerstoff nutzen wir, um das CO₂ freizusetzen.

Sie haben das Verfahren in Ihrer Pilotanlage getestet, die Sie seit 2009 zum Thema CO₂-Abscheidung mit Calciumoxid betreiben. Was sind Ihre Ergebnisse?

Die Anlage läuft sehr stabil mit diversen Kohlen und nun auch exzellent mit dem getesteten Ersatzbrennstoff aus Abfall, den wir hier weltweit zum ersten Mal für dieses Verfahren eingesetzt haben. Wir können damit über 90 Prozent CO₂-Abscheidung aus den getesteten Abgasen erreichen.

Am Ende soll ja ein Konzept für die mögliche Nachrüstung bestehender Müllverbrennungsanlagen entstehen.

Letztendlich kann man das an allen Arten von Verbrennungsanlagen nachrüsten. Von der technischen Seite her besteht gar kein Problem. Auch wirtschaftlich ist die reine CO₂-Abscheidung mit diesem Verfahren bereits jetzt hervorragend. Verglichen mit allen anderen CO₂-Abscheideverfahren sind wir mehr als 50 Prozent günstiger. Wenn wir jedoch Methanol produzieren möchten, ist die Elektrolyse ein Kostenträger, der noch günstiger werden muss. Das wird aktuell in Deutschland und weltweit weiterentwickelt.

Das Interview führte Meike Bierther, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi fördert das Projekt MONIKA, kurz für „Methanol aus Strom und CO₂ einer Abfallverbrennungsanlage – Untersuchungen zur CO₂-Abscheidung mit Kalkstein“ (Förderkennzeichen 03ET7089), mit rund 370.000 Euro.

Projekte

Innovatives Bohrverfahren

Konventionelle Kraftwerke produzieren in Deutschland zurzeit noch etwa zwei Drittel des Stroms. Durch den stetigen Ausbau der erneuerbaren Energien sowie den Ausstieg aus der Kernenergie sind sie als flexibler Mitspieler in einem Energieträgermix gefragt. Daher müssen die Kraftwerke häufig herauf- und heruntergefahren werden. Die Lastwechsel mit starken Temperaturänderungen beanspruchen viele Bauteile, unter anderem Turbinenschaufeln und -brennkammern. Diese müssen eine hohe Bauteilqualität besitzen, um Wartungs- und Reparaturkosten möglichst gering zu halten.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der RWTH Aachen und des Forschungszentrums Jülich entwickelten daher im Forschungsvorhaben **Laserstrahlbohren von Wärmedämmschichten** eine laserbasierte Bohrtechnologie, mit der feine Bohrkanäle erstellt werden können. Durch die Kanäle wird Kühlluft an die Schaufeloberflächen der Turbine geleitet. Dabei zeigte sich, dass beim ultrakurz-

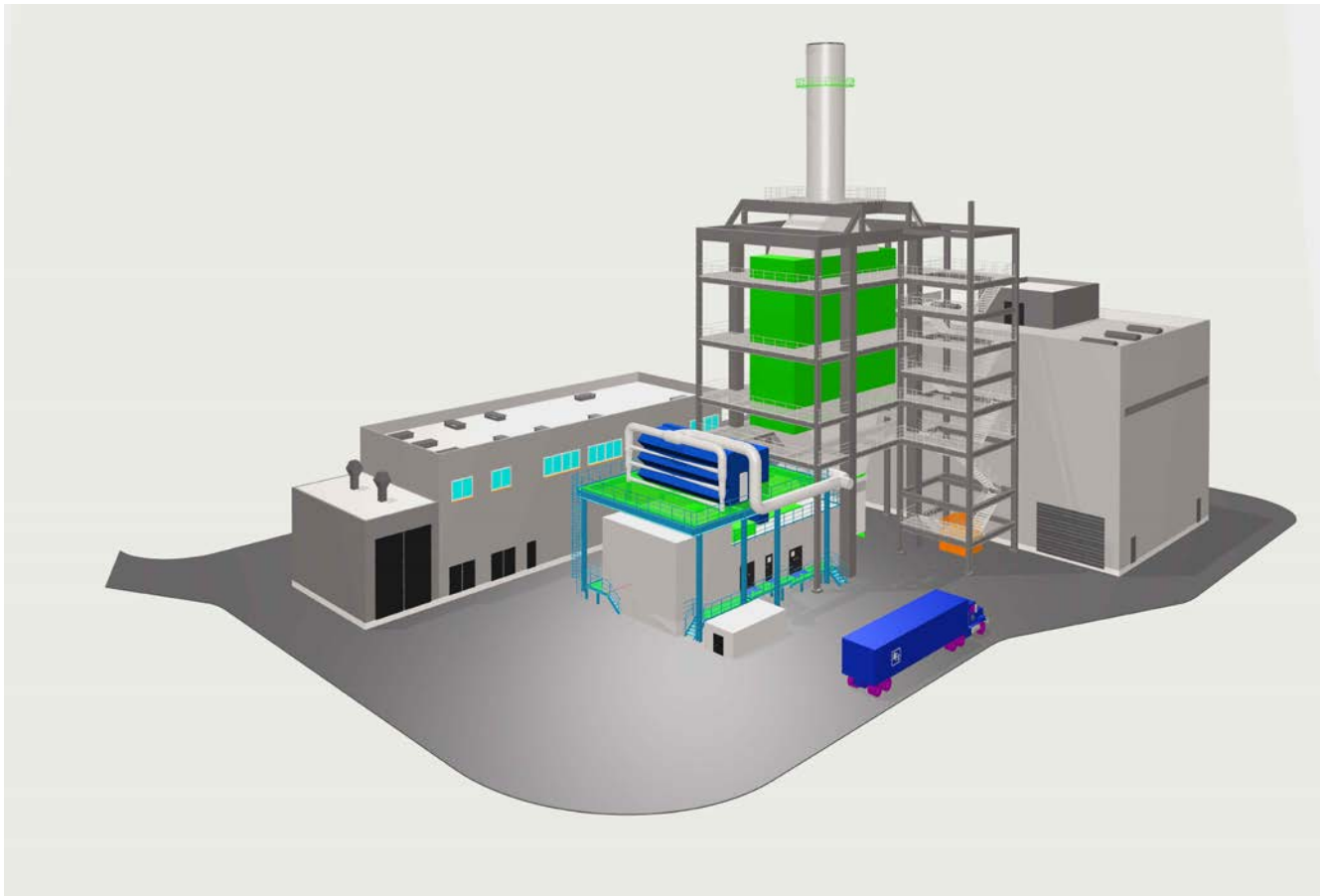
gepulsten Laserstrahlbohren qualitativ hochwertige Bohrungen nahezu defektfrei erzeugt werden können. Bei den derzeit üblichen Herstellverfahren entstehen im Bereich der Bohrlochwand hingegen häufig Risse oder Schmelzschichten. Durch die alternative Bohrtechnik erhöht sich zum einen die Lebensdauer der Bauteile. Zum anderen sind im laufenden Betrieb höhere Verbrennungstemperaturen möglich, die zu höheren Turbinenwirkungsgraden und damit verbunden zu Treibstoffeinsparungen und CO₂-Verminderungen führen.

Neben den experimentellen Tests arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daran, die Belastungen in den Wärmedämmschichten bei thermischen Ermüdungstests in einem Simulationsmodell abzubilden. Dieses soll dazu beitragen, die Lebensdauer von Bauelementen präziser vorhersagen zu können.

Das BMWi fördert das Projekt „Laserstrahlbohren von Wärmedämmschichten“ (Förderkennzeichen 03ET7027A-C) mit 570.000 Euro.



Mit ultrakurzgepulstem Laserstrahlbohren werden qualitativ hochwertige Bohrungen ohne Risse oder Schmelzschichten erzeugt.



Flüssigluftenergiespeicher als künftige Alternative zu Lithium-Ionen-Batterien: Dieses Ziel verfolgen die Kryolens-Experten, indem sie technische Komponenten optimieren und die Wirtschaftlichkeit und Ökobilanz der innovativen Technologie analysieren.

Flüssigluft als Stromspeicher

In einem flexiblen Energiesystem, bei dem Strom vermehrt aus Wind- und Sonnenenergie gewonnen wird, kommt Stromspeichern eine entscheidende Rolle zu. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe und der Ruhr-Universität Bochum forschen im Projekt **Kryolens – Kryogene Luftenergiespeicherung** gemeinsam an Flüssigluftenergiespeichern (engl. „Liquid Air Energy Storage“ (LAES)).

Die innovative Speichertechnologie befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Es besteht ein erhebliches Verbesserungspotenzial, unter anderem bei Kältespeichern und Turbinen sowie der Prozessintegration. Hier setzt das Kryolens-Verbundvorhaben mit seinen Forschungsschwerpunkten an. So sind mit Blick auf den Energiemarkt verschiedene erfolgversprechende LAES-Speichervarianten definiert worden, die weiterentwickelt werden sollen. Neben einer Hybrid-Speicherlösung mit Brennstoffzufuhr in Kombination mit einer Gasturbine, richtet sich das Augenmerk der Forscherteams auf LAES-Speicher, die mit großen Photovoltaikanlagen oder konventionellen Kraftwerken kombiniert werden können. Für die beiden zuletzt genannten Speicher-Optionen haben bereits Prozesssimulationen stattgefunden, bei denen

die Reduktion der Investitionskosten im Mittelpunkt stand. Darüber hinaus sind verschiedene Bauteile auf ihren Einbau in die innovative Speichertechnologie angepasst worden. Dazu gehörte unter anderem der für die Rückverstromung benötigte Hochtemperaturwärmetauscher.

Die Kryolens-Expertinnen und -Experten optimieren aber nicht nur die technischen Komponenten. Sie beschäftigen sich auch mit Fragen der Wirtschaftlichkeit und der Ökobilanz. So wurde bereits ein Benchmark durchgeführt, bei dem die Kosten einer LAES-Variante mit denen der konkurrierenden Li-Ion-Batterietechnologie verglichen worden sind. Dabei stellten die Experten fest, dass die kryogene Speichertechnologie trotz der zu erwartenden Kostenreduktion im Batteriemarkt konkurrenzfähig ist.

Das BMWi fördert das Projekt Kryolens, kurz für „Kryogene Luftenergiespeicherung“ (Förderkennzeichen 03ET7068), mit rund 1,1 Millionen Euro.

Im Blickpunkt: Fertigungstechnologien

Höhere Leistung durch präzise Kühlung

Gasturbinen sichern bei einem weiteren Ausbau regenerativer Energien die Stromversorgung ab, indem sie je nach Bedarf schnell hoch- beziehungsweise heruntergefahren werden können. Je höher der Wirkungsgrad ausfällt, desto weniger Gas muss hierfür eingesetzt werden – der Kohlendioxid-Ausstoß sinkt. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Siemens arbeiten daher im Projekt MCoE daran, Gasturbinen weiterzuentwickeln. Gleichzeitig sollen die Produktionskosten sinken, um Kraftwerksbetreibern zu ermöglichen, vergleichsweise günstig auf die neuen Konzepte umzusteigen.

Fortschrittliche und neue Fertigungstechnologien sollen dazu beitragen, diese Ziele zu erreichen. Ein Beispiel betrifft neue Kühlkonzepte für die Turbinenschaufeln. Diese sollen höhere Temperaturen aushalten können als bisher. „Die Hitzebeständigkeit der Turbinenschaufeln ist aktuell der limitierende Faktor für die maximale Betriebstemperatur der Gasturbine“, erklärt Projektleiter Dr. Thomas Neuenhahn von Siemens den Ansatz. Ließe sich die Betriebstemperatur hingegen weiter steigern, hätte das einen direkten positiven Effekt auf den erreichbaren Wirkungsgrad.

Hierfür hat das **MCoE**-Projektteam eine Methode entwickelt, mit der verbesserte Kühlluftbohrungen – Diffusoren – der Turbinenschaufel erstellt werden können, um diese während des Betriebs besser abzukühlen. Die Herausforderung besteht dabei in der hohen Genauigkeit der dreidimensional geformten Diffusoren und in der hybriden Oberflächenstruktur der Schaufel: Außen befindet sich eine Wärmeschutzschicht aus Keramik, die durch eine Haftschiicht vom metallischen Grundwerkstoff der Schaufel getrennt ist. Ziel der bisherigen

Projektarbeiten war es, darauf eine neuartige Diffusor-Geometrie aufzubringen. Der Diffusor verteilt die durchströmende Luft auf eine größere Oberfläche und bremst den Luftstrom ab. Dadurch kann mit der gleichen Luftmenge eine größere Oberfläche gekühlt werden.

Als einzige mögliche Fertigungstechnologie hat sich dafür während der Projektarbeiten ein Verfahren mit Ultrakurzpuls-Laser herausgestellt. „Dieses hat zum einen die Fähigkeit, keramisches und metallisches Schichtmaterial abzutragen“, so Thomas Neuenhahn, „zum anderen bietet es die nötige Präzision bei einer gleichzeitig produktiven Fertigung.“ Während der Entwicklung der Fertigungstechnologie haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für jedes Material gesondert entsprechende Versuchsreihen durchgeführt. Hierbei haben sie sowohl materialabhängige als auch geometrieabhängige Effekte identifiziert. Die neuartigen Diffusoren konnten mittlerweile bereits in einer Versuchsschaufel aufgebracht und unter realen Bedingungen getestet werden. „Die neuartigen Diffusoren werden dazu beitragen, den heutigen Wirkungsgrad der neuen Siemens-HL-Klasse von 63 Prozent im kombinierten Gas- und Dampfbetrieb weiter zu steigern“, berichtet Thomas Neuenhahn. Herstellungsverfahren sollen aufgrund der Ergebnisse langfristig wirksam optimiert werden.

Das BMWi fördert das Projekt MCoE, kurz für „Fertigungstechnologieentwicklungen für zukünftige und wettbewerbsfähige Gasturbinen – Siemens Manufacturing Center of Excellence“ (Förderkennzeichen 03ET7085), mit rund 2,5 Millionen Euro.

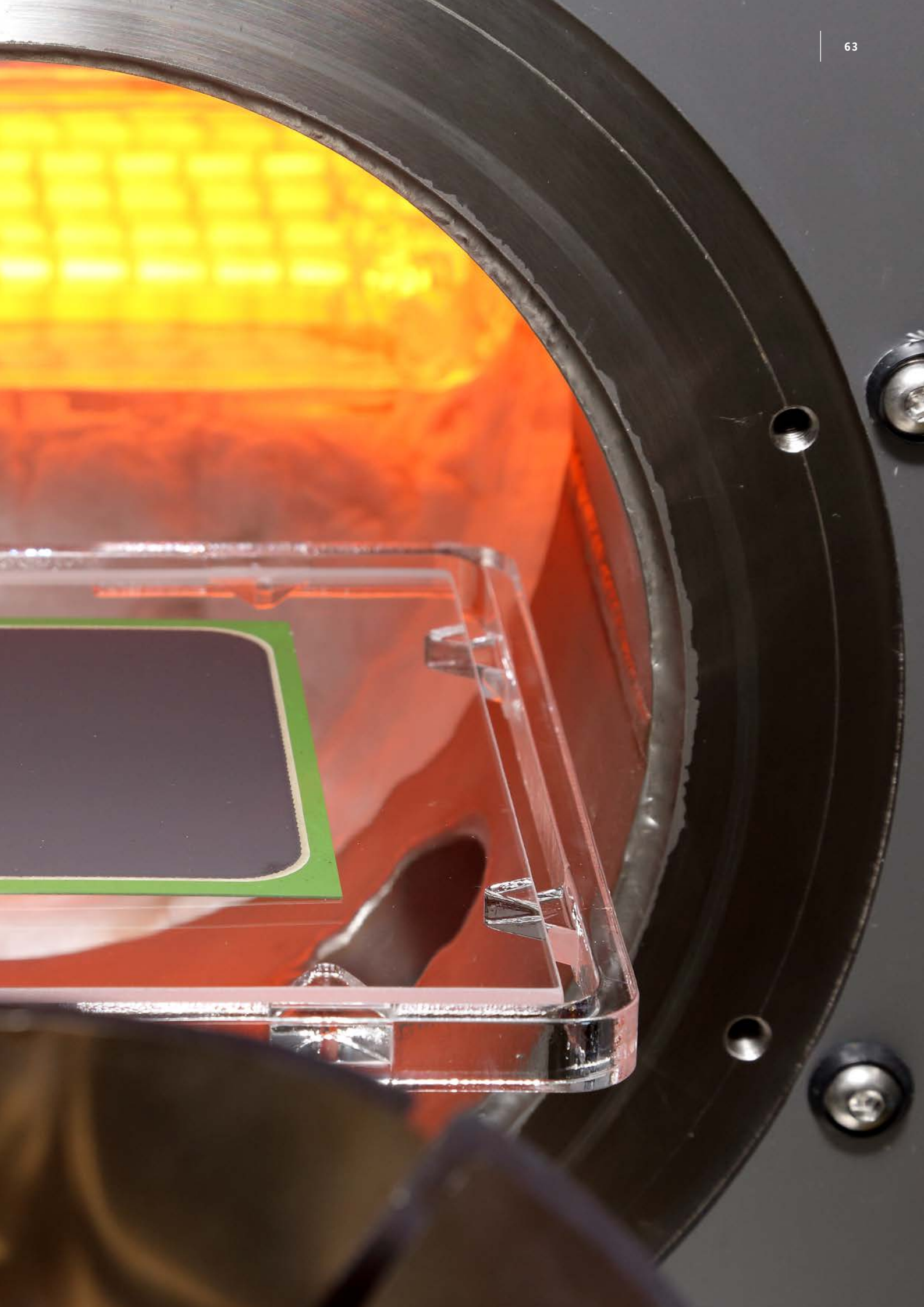


Die am Projekt MCoE beteiligten Siemens- und Fraunhofer-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nutzen Laseranlagen am Fraunhofer ILT für erste Fertigungsversuche der neuartigen kühlenden Diffusoren mit Test-Bauteilen.



Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert mit Forschung und Entwicklung die nächsten Generationen von Brennstoffzellen und schafft damit die Basis für eine international wettbewerbsfähige Technologie in Deutschland.



In einem Brennstoffzellensystem reagiert ein zugeführter Brennstoff, wie zum Beispiel Wasserstoff, Erdgas oder Methanol, mit Sauerstoff. Dabei werden elektrische Energie und Wärme freigesetzt. Die effiziente Nutzung dieser elektrochemischen Reaktion hat großes Potenzial, in stationären, mobilen oder netzfernen Anwendungen einen signifikanten Beitrag für eine klimafreundliche, nachhaltige, bezahlbare und sichere Energieversorgung zu leisten.

Die Zukunft der Mobilität ist elektrisch: Batteriefahrzeuge, die regelmäßig an eine Ladesäule angeschlossen werden, und Brennstoffzellenfahrzeuge, die Wasserstoff von der Tankstelle benötigen. Die Kosten für die jeweilige Infrastruktur hängen stark davon ab, wie viele Fahrzeuge versorgt werden müssen. Ein Vergleich von Expertinnen und Experten des Forschungszentrums Jülich zeigt: Ab mehreren Millionen Fahrzeugen ist der Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur günstiger. Beide Technologien sind jedoch notwendig, um die Energiewende im Verkehr erfolgreich zu meistern.

Brennstoffzellen, die in Fahrzeugen eingesetzt werden, müssen besonders hohe Anforderungen erfüllen. Sie sollen eine große Leistungsdichte erreichen, kompakt und widerstandsfähig gegen Erschütterungen, Vibrationen und Temperaturschwankungen sein. Außerdem müssen sie zyklen-

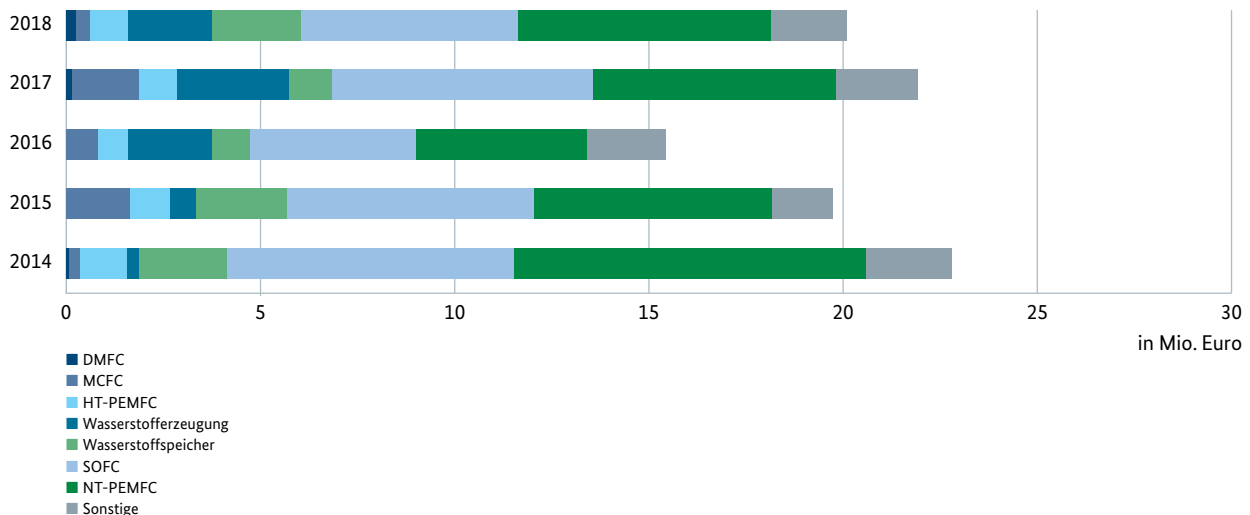
fest, kaltstartfähig und langlebig sein. Mittlerweile gibt es für den Verkehr zugelassene Fahrzeuge, die mit dieser Technologie unterwegs sind. 2019 will der koreanische Hersteller Hyundai den ersten Serien-Lkw mit Brennstoffzellenantrieb in der Schweiz auf den Markt bringen.

Auch Brennstoffzellen-Heizungen (BZH) sind mittlerweile marktreif. Sie erzeugen dezentral mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) Strom und Wärme und tragen dank ihres hohen Wirkungsgrads dazu bei, Emissionen im Gebäude zu senken. Seit 2016 bezuschusst das BMWi den Einbau von kleinen KWK-Anlagen mit Brennstoffzelle als Energieerzeuger in Privathaushalten. 2017 ist das Förderprogramm auf Unternehmen und Kommunen ausgeweitet worden. Insgesamt sind bisher Förderanträge für rund 3.500 Anlagen eingereicht worden.

Forschen, entwickeln und fördern

Für eine breite stationäre und mobile Nutzung müssen die nächsten Generationen der Brennstoffzellensysteme kostengünstiger, kompakter, robuster, langlebiger und zuverlässiger werden. Aufgabe der Forschenden ist, Komponenten und Herstellungsverfahren an die Anforderungen industrieller Serienfertigung anzupassen sowie die Herstellungskosten zu reduzieren. Dazu zählen kostengünstige Lösungen bei den Kernkomponenten wie Membran, Katalysator und Bipolarplatte sowie bei den peripheren Komponenten wie Pumpe, Ventil und Sensor. Im Forschungsvorhaben SealS II entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zum Beispiel ein System, das Glaskeramik anstatt des häufig verwendeten teuren Silberlots verwendet (siehe auch „Im Blickpunkt: Langlebige und kostenoptimierte Brennstoffzellen“, Seite 69). Die Leistung und Lebensdauer von Brennstoffzellensystemen hat ein Forscherteam im

Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018



Projekt SoHMuSDaSS untersucht. Mithilfe von Modellierung und Simulation kann der Zustand der Brennstoffzellen genau erfasst und die Betriebsstrategie angepasst werden (siehe auch „Alterungsprozess verstanden, Lebensdauer und Leistung verbessert“, Seite 68). Die Forschung und Entwicklung in diesem Bereich fokussiert auf zwei Brennstoffzellentypen, die Polymerelektrolytbrennstoffzelle (PEM) und die Festoxidbrennstoffzelle (SOFC). Die Forschungsschwerpunkte umfassen dabei gleichermaßen eine spätere Nutzung in stationären oder mobilen Anwendungen.

Mit der Sektorkopplung sollen auch die Bereiche Mobilität, Transport, Wärme und Kälte von erneuerbarem Strom profitieren. Und zwar einerseits durch die direkte Nutzung von erneuerbarem Strom in diesen Sektoren, andererseits indem die Energieinfrastrukturen für Strom, Gas, Wärme und Kraftstoff effizient miteinander vernetzt werden. Ein wichtiger Baustein hierfür ist Wasserstoff. Wird dieser in Elektrolyseanlagen oder über biogene, biochemische, solare Verfahren hergestellt, sind mit der Nutzung keine oder nur sehr geringe Treibhausgas-Emissionen verbunden. Gleichzeitig ist Wasserstoff ein sehr vielseitiger Energieträger. Durch ihn kann überschüssiger Strom, zum Beispiel aus Windenergieanlagen, gespeichert werden. Zudem dient er als energiereicher Ausgangsstoff für alternative Kraft- und Brennstoffe sowie synthetische Gase und findet auch in chemischen Prozessen Anwendung. Ziel ist es, die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie bis 2025 wettbewerbsfähig im Verkehrssektor und im Energiemarkt zu etablieren.

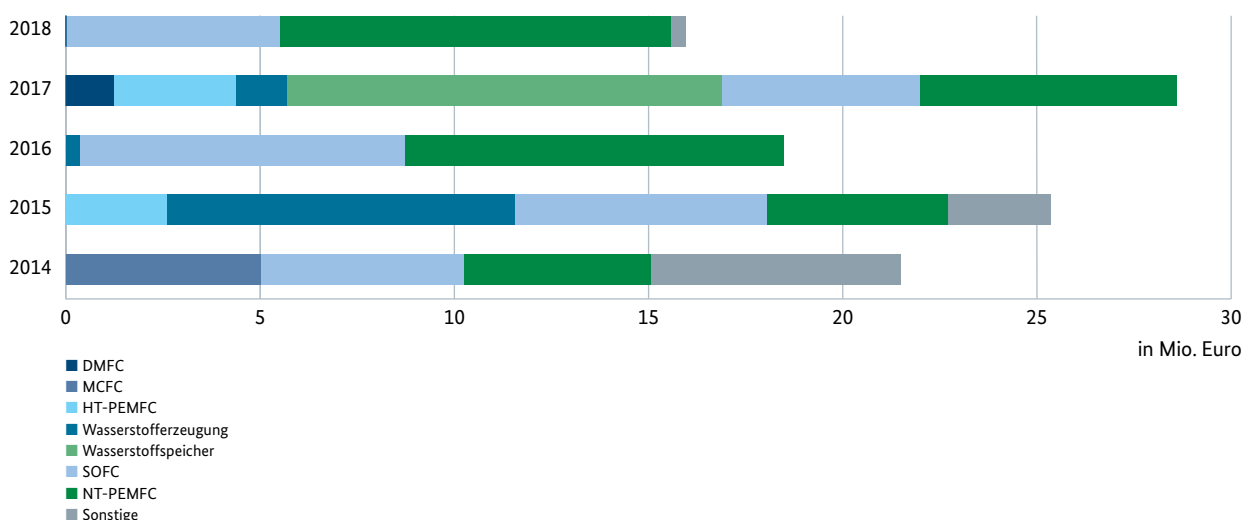
Die BMWi-Forschungsförderung der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien ist eingebunden in das 2006 gestartete „Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien“ (NIP). Das Programm wird im Zeitraum 2016 bis 2026 als Regierungsprogramm

Deutsche Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen haben in den Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien eine internationale Spitzenstellung erreicht.

NIP2 fortgesetzt. Mit NIP2 baut die Bundesregierung auf der erreichten Technologiereife und Marktverfügbarkeit erster Gerätegenerationen auf. Ziel ist, die Innovationen und Technologien im Bereich Wasserstoff und Brennstoffzellen weiterzuentwickeln, entsprechende Infrastrukturen aufzubauen und ihren Weg an der Schwelle zum Markteintritt mit geeigneten Instrumenten und Maßnahmen zu unterstützen.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien hat das BMWi 2018 insgesamt 25 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 16 Millionen Euro bewilligt (2017: 45 Projekte für rund 28,6 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 20,1 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2017: rund 21,9 Millionen Euro).

Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014



Im Gespräch: Messsystem für Wasserstoffbetankung

Hauptsache dynamisch: Wie Wasserstoff einen Fluidistor durchströmt und sich messen lässt



Frank Strohmann ist Geschäftsführer von Esters Elektronik und entwickelt im Team mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ein Messsystem für das Betanken von Wasserstofffahrzeugen.

Wenn ein Fahrzeug mit Wasserstoff betankt wird, kann die Menge bisher noch nicht genau gemessen werden. Das macht eine Abrechnung an der Wasserstofftankstelle schwierig. Wie ein Messsystem aussehen könnte und welche Rolle ein Heißdrahtsensor darin spielt, der winziger ist als ein einzelnes Haar, erklärt Frank Strohmann von Esters Elektronik.

Warum ist es für Forschung und Entwicklung eine Herausforderung, ein Messsystem für das Betanken von Wasserstofffahrzeugen zu entwickeln?

Wenn Sie mit einem leeren Wasserstofffahrzeug zur Tankstelle kommen, beträgt der Druck im Tank rund 20 bar. Der Druck in der Tanksäule liegt etwa bei 900 bis 1.000 bar. Jetzt können Sie sich vorstellen, was bei der Ventilöffnung passiert: Die immense Druckdifferenz führt dazu, dass der Durchfluss des Gases am Anfang sehr hoch ist und niedriger wird, je mehr es zum Druckausgleich kommt. Dieser Betankungsvorgang ist rasend schnell, kommt dem Wunsch der Mobilität und der kurzen Betankungszeit absolut entgegen. Aber irgendwie muss ich das abrechnen können. Sie brauchen also eine Messung, die mit dieser starken Dynamik umgehen kann: zwischen einem gigantischen Durchfluss am Anfang und einem verminderten Durchfluss am Ende. Trotzdem muss zu jedem Zeitpunkt mit einer gewissen Genauigkeit gemessen werden.

Warum ist es so schwierig, diese Dynamik zu erfassen?

Stellen Sie sich eine Turbine vor, die durch Gas bewegt wird: Je mehr Gas strömt, umso schneller dreht sich die Turbine. Wenn Sie den Gasstrom anhalten, dreht sich die Turbine noch etwas weiter, weil sie von der Masse immer noch in Bewegung gehalten wird. Der Turbinenradzähler basiert auf einem mechanischen Messsystem, das keine hohe Dynamik zulässt. Dieses Messsystem würde in einer Wasserstofftanksäule weggerissen werden, weil so viel Energie im Betankungsvorgang steckt. Das Problem ist die Dynamik zwischen der Messung einer Kleinstmenge und einer großen Durchflussmenge. Einige Messverfahren können den hohen Durchfluss am

Anfang sehr gut messen, weil sie ganz stark auf die Masse ausgelegt sind, aber wenn kleinste Veränderungen vorhanden sind, können diese gar nicht mehr wahrgenommen werden. Jedes Messprinzip hat seine Stärken und Schwächen. Aber für solche rasanten Strömungen wie beim Betanken von Wasserstoff ist das Fluidistorprinzip prädestiniert.

In Ihrem Forschungsvorhaben Hydro-Meter entwickeln Sie ein Messsystem auf Basis des Fluidistorprinzips. Was ist das genau?

Das Fluidistorprinzip ist schon 40 bis 50 Jahre alt. Das Messverfahren, oder besser die Physik, stellt hier eine Reaktionszeit von 1 bis 2 Millisekunden zur Verfügung, in der ich detektieren kann, ob sich der Durchfluss des Gases ändert. Damit haben wir ein unwahrscheinlich schnelles Verfahren. Die Stärke des Fluidistors ist, dass er diese hohe Dynamik erfassen kann. In kürzester Zeit misst der Fluidistor sich verändernde Strömungen mit Hilfe eines Heißdrahtsensors. Zur Veranschaulichung: Der Heißdrahtsensor ist ein Platin-Draht mit einem Durchmesser von 10 Mikrometern, Ihr Haar hat 100 Mikrometer. Dieser Sensor gerät in Schwingungen, sodass eine Messung proportional zum Durchfluss möglich ist. Wann immer Gase im so genannten Überstromverfahren übergeben werden, ist das Fluidistorprinzip eine gute Lösung.

Kann das in Ihrem Forschungsvorhaben zu entwickelnde Messsystem auf Basis des Fluidistorprinzips die Akzeptanz der Wasserstofftechnologie verändern?

Wir haben die Messergebnisse soweit abgeschlossen und versuchen jetzt, das Ganze vom Labor in einen gut verwendbaren Prototypen umzusetzen. Sobald dieser erstellt ist und wir ihn in die Zulassung gegeben haben, können wir Richtung Eichfähigkeit gehen. Ich würde das als die Königsdisziplin bezeichnen. Immer wenn Sie Energie verkaufen, muss das anhand von präzisen Messapparaturen geschehen. Das Überstromverfahren bietet die Möglichkeit, Energie sehr schnell zu verlagern, nämlich von der Tankstelle zum Fahrzeug. Mit unserem System können wir die Messung preisgünstig anbieten, was auch für Tankstellenbetreiber und Fahrzeughalter wichtig ist.

Das Interview führten Nils Honkomp und Annika Zeitler, Wissenschaftsjournalisten beim Projektträger Jülich.

Das BMWi fördert das Forschungsvorhaben Hydro-Meter, kurz für „Entwicklung eines Verfahrens zur erstmaligen Messung von Wasserstoff-Betankungsvorgängen bei hohen und geringsten Durchflussmengen sowie hohen Drücken von bis zu 1.000 bar mit eichfähiger Zulassung“ (Förderkennzeichen 03ET6069A-C), mit rund 1,1 Millionen Euro.



PEM-Brennstoffzellen sind Niedrigtemperatur-Brennstoffzellen: Sie werden in mobilen Anwendungen wie etwa in Brennstoffzellenfahrzeugen eingesetzt, aber auch in stationären Anwendungen mit einem Abwärmeebene um 60 bis 80 Grad Celsius.

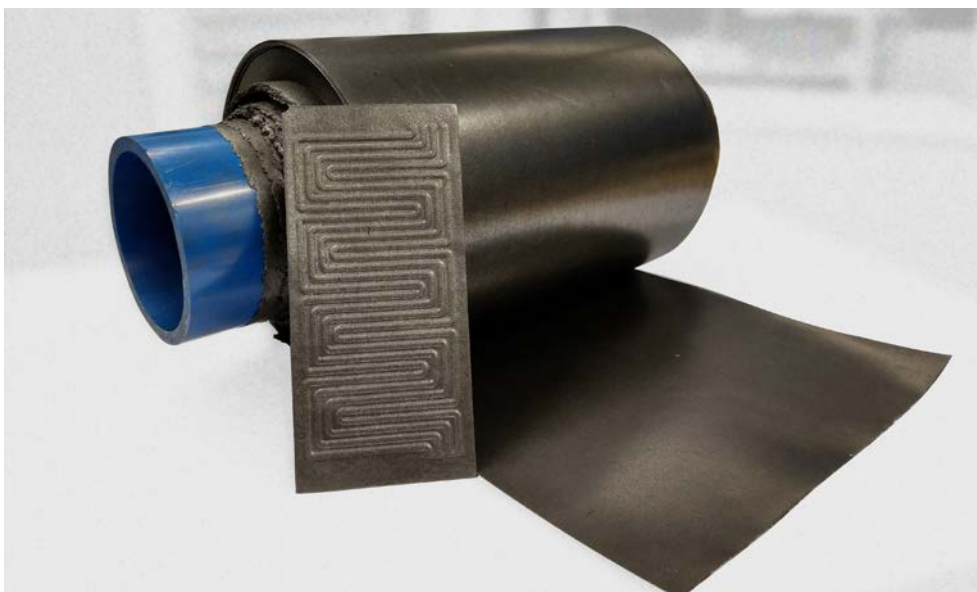
Projekte

Vom Labor in die Praxis: Bipolarplatten für PEM-Brennstoffzellen

Bipolarplatten verbinden einzelne Brennstoffzellen zu einem Stack. Sie müssen gasdicht, elektrisch leitend, für die Kühlung thermisch hochleitfähig, mechanisch stabil, chemisch resistent sowie möglichst dünn sein. Bisher werden in der Praxis für Polymerelektrolytbrennstoffzellen (PEM) unflexible Bipolarplatten aus hochgefülltem Graphit oder Metall, meistens Stahl, eingesetzt. Sie machen rund ein Viertel der Kosten eines Brennstoffzellen-Stacks aus. Im Forschungsvorhaben **KontiFlex** haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine beim Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT entwickelte, flexible und hochgefüllte graphitische Bipolarplatte weiterentwickelt. Mit dem Unternehmen Saueressig soll diese Technologie für die Massenproduktion getestet und demonstriert werden. Die Vorteile: Die Bipolarplatten

sind flexibel und biegsam. Das Handling und der Transport sind bei der Herstellung im Pulver-zu-Rolle-Verfahren auf einem Mehrwalzenkalander vereinfacht. Die neuartigen, flexiblen Graphit-Bipolarplatten können mit einzelnen Komponenten direkt verschweißt werden, was zum Aufbau von Kühlmodulen sowie großflächigen Bipolarplatten genutzt werden kann. Weiter sind die neuartigen, dünnen und hochgefüllten Graphit-Bipolarplatten mit ihren flexiblen und elastischen Eigenschaften weniger bruchempfindlich gegenüber Vibrationen. Das erhöht ihre Lebensdauer in der stationären, aber vor allem in der mobilen Anwendung. Außerdem sind sie auch sehr gut in großflächigen Redox-Flow-Batterien einsetzbar.

Das BMWi hat das Projekt KontiFlex, kurz für „Kontinuierliche Herstellung neuartiger, flexibler und preisgünstiger Graphit-Bipolarplatten für PEM-Brennstoffzellen“ (Förderkennzeichen 03ET6077A-B), mit rund 600.000 Euro gefördert.



Im Forschungsvorhaben KontiFlex hat ein Wissenschaftsteam eine flexible und mit Kunststoff verschweißbare Bipolarplatte für PEM-Brennstoffzellen weiterentwickelt.



Im Forschungsvorhaben SoHMuSDaSS hat ein Wissenschaftsteam den Alterungsprozess von Brennstoffzellen in Abhängigkeit von der Betriebsbedingung untersucht.

Alterungsprozess verstanden, Lebensdauer und Leistung verbessert

Automobile Brennstoffzellen sind einem sehr dynamischen Betrieb ausgesetzt. Die Komponenten altern dabei unterschiedlich, je nach Zell- und Stackdesign, Aufbau der Katalysatorschicht und Betriebsweise hinsichtlich Gasversorgung, Feuchtehaushalt sowie Lastpunkt. Im Forschungsvorhaben **SoHMuSDaSS** haben das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, das Zentrum für Brennstoffzellen-Technik (ZBT), Bosch Engineering und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) den Alterungsprozess von Brennstoffzellen in Abhängigkeit von der Betriebsbedingung intensiv untersucht. Auf Basis von einzelnen Brennstoffzellen, portablen und automobilen Brennstoffzellen-Stacks und Brennstoffzellen-Systemen hat das Konsortium zunächst Konditionierungsprozeduren entwickelt, mit denen sich reversible und irreversible Leistungsminderungen bewerten und vergleichen lassen. Das Verständnis der Alterung von Brennstoffzellen bezog sich bisher auf Laboreinzellen mit kleinen aktiven Flächen. Mit SoHMuSDaSS

haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler jetzt auch Wissen darüber, wie Brennstoffzellen mit großen aktiven Flächen sowie Brennstoffzellen-Stacks mit lokalen Inhomogenitäten altern. Zusätzlich haben sie Alterungsmodelle untersucht, die diese Alterungseffekte auf Zellebene berücksichtigen. Die im Forschungsvorhaben entwickelten Modellansätze und Simulationen sind mit Messungen an kommerziellen Komponenten verglichen und somit überprüft worden. Es ist davon auszugehen, dass mit einer zuverlässigen State-of-Health-Modellierung und Simulation der Zustand der Brennstoffzellen genau erfasst und die Betriebsstrategie angepasst werden kann. Dadurch werden Leistung und Lebensdauer von Brennstoffzellen-Stacks und -Systemen verbessert, was wiederum die Lebenszykluskosten senken kann.

Das BMWi hat das Projekt SoHMuSDaSS, kurz für „State-of-Health-Modellierung und Simulation sowie Diagnose an Brennstoffzellen, -stapeln und -systemen“ (Förderkennzeichen 03ET6057A-E), mit rund 2,7 Millionen Euro gefördert.

Im Blickpunkt: Langlebige und kostenoptimierte Brennstoffzellen

Glaskeramik statt Silberlot

Hochtemperatur-Brennstoffzellen könnten in Zukunft vor allem stationäre Einheiten wie Einfamilienhäuser oder Ferienwohnungen umweltfreundlich mit Energie versorgen. Doch hohe Materialkosten und eine zu geringe Lebensdauer verhindern noch immer den Durchbruch. Das Projekt SealS II entwickelt ein System, das günstige Glaskeramik verwendet.

Brennstoffzellen wandeln chemische in elektrische Energie um. Vorteil der Hochtemperatur-Brennstoffzellen (engl. Solid oxide fuel cell): Im Gegensatz zu anderen Typen kommen sie neben reinem Wasserstoff auch gut mit anderen Brennstoffen klar, wie etwa Bioethanol, Biogas und Erdgas. Bei planaren SOFC-Stacks ist die keramische Zelle mit Anode, Elektrolyt und Kathode das elektrochemische Kernelement der Brennstoffzelle.

Eine wichtige Rolle spielen die dünnen, hochtemperaturstabilen Stahlbleche zwischen den Zellen, die so genannten Interkonnektoren. Sie verbinden Anode und Kathode der übereinanderliegenden Zellen und verteilen das Brenngas sowie die Luft. In einem Vorgängerprojekt von **SealS II** hatten die Projektpartner bereits die teure Isolationschicht aus Metall-Keramik auf den Interkonnektoren durch Glaskeramik ersetzt. „Das senkt die Kosten für die Fertigung solcher so genannten Fügungen um 80 Prozent“, sagt Projektleiter Stefan Hornauer vom Automobilzulieferer ElringKlinger.

Die große Herausforderung bei solchen Komponenten ist deren Lebensdauer, da sie den hohen Temperaturen dauerhaft standhalten müssen. Das gilt auch für eine weitere Fügung, die die Projektpartner nun entwickeln. Sie verbindet innerhalb einer Ebene den keramischen Elektrolyten der Zelle mit dem metallischen Zellträgerblech, damit dieser Bereich abgedichtet ist. Die mangelnde Qualität im Betrieb dieser Fügungen gilt bisher als Hauptgrund für den Ausfall der meisten Stacks.

SealS II setzt hierfür auf eine zweischichtige Glaskeramik anstatt des häufig verwendeten teuren Silberlots. „Dabei ist es entscheidend, dass es zu keinen unerwünschten Effekten zwischen den Glaskeramiken untereinander, aber auch nicht mit der Keramik der Brennstoffzelle und der Stahlverkleidung des Stacks kommt. Genau darin liegt die Schwierigkeit: Bislang mussten bei so einer Fügung zwei gleichartige Materialien verlötet werden, bei unserem System müssen zwei verschiedene Materialien verbunden werden“, betont Stefan Hornauer. Da es hierfür keine passenden Verfahren für die Qualitätsprüfung gibt, entwickeln die Projektpartner nun eigene Tests für Zellen, die während der Produktion eingesetzt werden könnten.

Das BMWi fördert das Projekt SealS II, kurz für „Sealing Stacks II“ (Förderkennzeichen 03ET6112A-C), mit rund 2,9 Millionen Euro.



Im Forschungsvorhaben SealS II setzt das Forscherteam auf zweischichtige Glaskeramik anstatt des häufig verwendeten teuren Silberlots für Hochtemperatur-Brennstoffzellen.

Energiespeicher

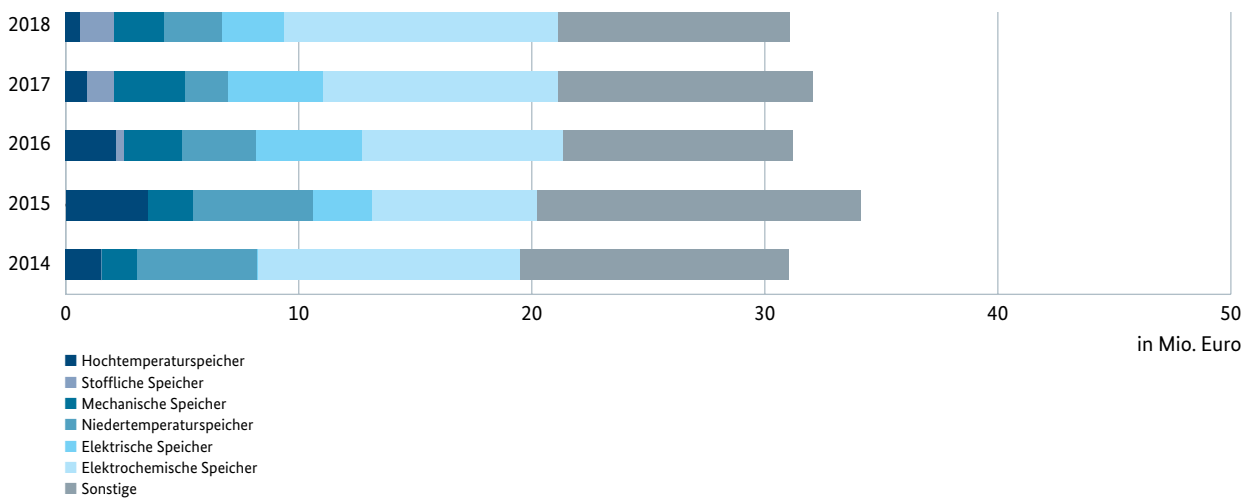
Energiespeicher umfassen ein breites Spektrum an Technologien. Ob elektrochemische, mechanische oder stoffliche Speicher – bereits heute sind sie ein essenzieller Bestandteil des Stromsystems.



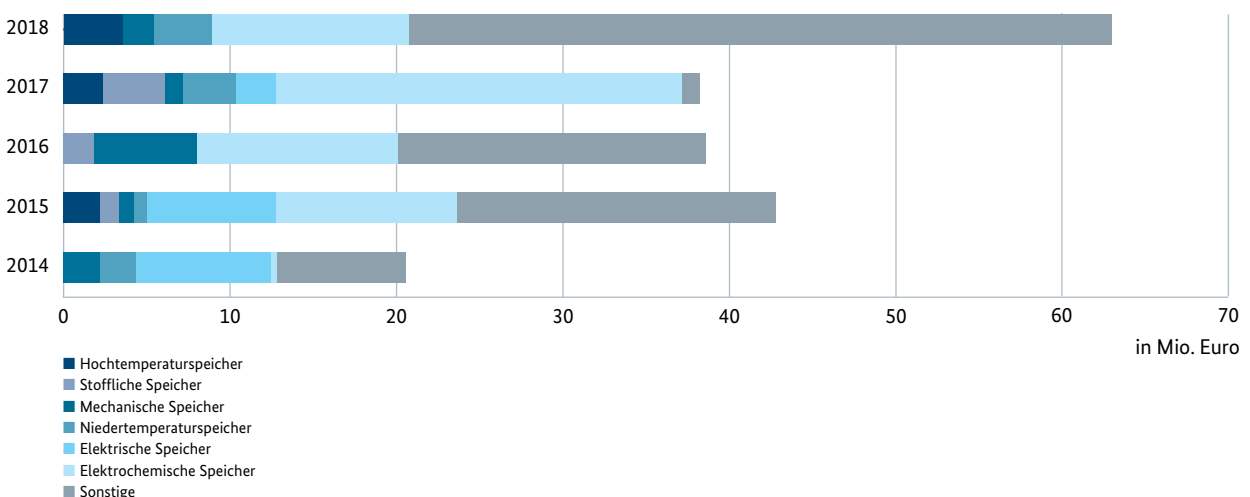
Energiespeicher vermitteln den zeitlichen Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch und können so die Integration erneuerbarer Energien in das Stromnetz vorantreiben. Im Eigenheim mit Photovoltaikanlage stärken sie die Autarkie, angeschlossen am Verteilnetz tragen sie zur Stabilisierung der Netzfrequenz bei und an den Windpark angeschlossen speichern sie nicht benötigte Energie für den zeitversetzten Verbrauch. Für die Sektorkopplung sind insbesondere Wärmespeicher und Power-to-Gas-Anlagen interessant.

In einem nachhaltigen Energiesystem haben Energiespeicher eine wichtige Rolle. Durch die Speicherung von Energie lassen sich Erzeugung und Verbrauch zeitlich und räumlich entkoppeln. Besonders wichtig ist diese Fähigkeit, wenn es darum geht, mehr und mehr elektrischen Strom aus regenerativen Energiequellen ins Stromnetz zu integrieren. Denn Sonnen- und Windenergie sind stets wetterabhängig und fluktuieren daher stark. Systematisch am Netz platzierte Energiespeicher können diese Fluktuationen ausgleichen und so zu einer kontinuierlichen und zuverlässigen Versorgung mit regenerativem Strom beitragen. Dabei sind Energiespeicher nicht nur eine weitere Flexibilitätsoption, sondern ein elementarer Bestandteil zukünftiger Stromnetze.

Energiespeicher: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018



Energiespeicher: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014





Windenergie lässt sich mittels Elektrolyse in Form von Wasserstoff speichern, welcher dann für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe – etwa Kerosin für Flugzeuge – verwendet werden kann.

Im Jahr 2017 waren in Deutschland Pump-, Batterie- und Druckluftspeicher sowie Power-to-Gas-Anlagen mit einer Leistung von etwa 7.370 Megawatt und einer Kapazität von etwa 39 Gigawattstunden installiert. Bei 250 Speicherzyklen pro Jahr entspricht dies einer Energiemenge von ungefähr 10 Terawattstunden. Dies ist vergleichbar mit dem durchschnittlichen Stromverbrauch von rund 3 Millionen Haushalten in Deutschland bei einem angenommenen Stromverbrauch von 3.500 Kilowattstunden im Jahr. Laut aktuellen Hochrechnungen des Bundesverbands Energiespeicher betrug die installierte Leistung von Batteriespeichern 2018 rund 708 Megawatt – das sind 250 Megawatt mehr als noch 2017. Diese Entwicklung spiegelt sich auch in den Umsatzerlösen der deutschen Energiespeicherbranche wider. So wuchs der Umsatz von Batterie-, Power-to-Gas- und Wärmespeichern im Jahr 2018 laut BVES um 500 Millionen Euro auf rund 3,2 Milliarden Euro an. Insbesondere systemisch einsetzbare Groß- und Industriespeicher haben hierbei laut Verband mit rund 1,27 Milliarden Euro das größte Umsatzpotenzial.

Das Ausbaupotenzial ist generell groß: Noch ist etwa die alleinige Installation eines Batteriespeichers in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage oft nicht wirtschaftlich. Mit den Anforderungen an künftige Batterien für Elektromobilität und netzdienliche Aufgaben kann sich eine neue Dynamik entfalten.

Forschen, entwickeln und fördern

Die Welt der Energiespeicher ist vielfältig, die Einsatzbereiche sind breit gefächert. Ob elektrochemische, mechanische oder stoffliche Speicher – das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert Forschung und Entwicklung an den Technologien, die zum Gelingen der Energiewende beitragen können. Besonders gut geeignet zur Pufferung von Fluktuationen bei der Energieerzeugung sind elektrochemische Speicher wie Lithium-Ionen-Batterien, die sich immer wieder und in kurzen Abständen laden und entladen lassen. Sie besitzen einen hohen Wirkungsgrad, wodurch nur sehr

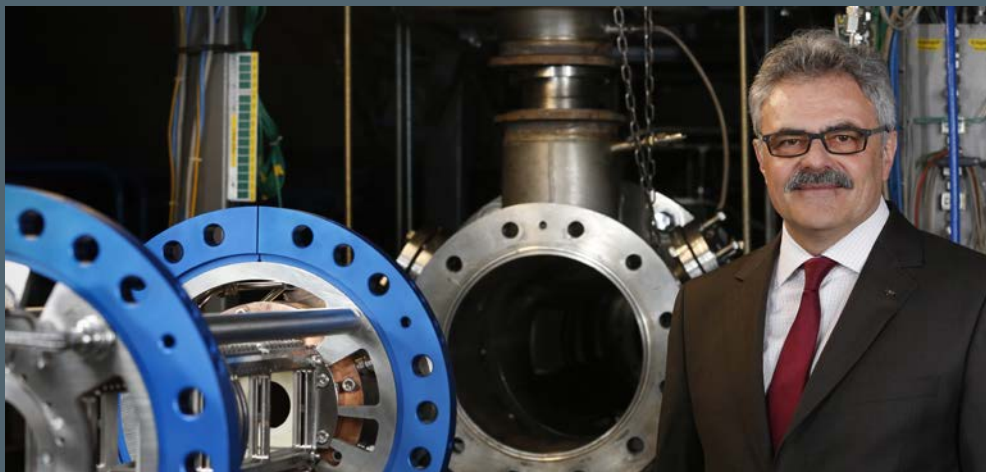
wenig Energie beim Speicherprozess verloren geht. Sie können auch sehr schnell große Mengen an Strom aufnehmen und abgeben. Daher eignen sie sich besonders gut für die Bereitstellung von Regelleistung und Regelenergie am Stromnetz. Aber auch in Elektrofahrzeugen oder als Heimspeicher in Verbindung mit Photovoltaikanlagen sind ihre hohe Kapazität und schnelle Reaktionszeit von großem Vorteil. Inwieweit sie auch die stabilisierende Wirkung der rotierenden Massen in einem Kraftwerk ersetzen können, untersucht derzeit ein Forscherteam im Projekt ReserveBatt (siehe auch „Im Gespräch: Virtuelle Schwingungen“, Seite 76).

Ein zentrales Forschungsthema ist es, die Kosten für Betrieb und Herstellung von Energiespeichern zu senken. Es werden etwa günstigere Alternativen zu etablierten Materialien und kritischen Rohstoffen wie Lithium oder Kobalt benötigt. Weitere wichtige Ansatzpunkte zur Kostenreduktion sind Wirkungsgrad und Zyklfestigkeit. In diesem Zusammenhang müssen auch altbewährte Elektrodenstrukturen hinterfragt und möglicherweise durch effizientere ersetzt werden. Im Projekt Batt3D (siehe auch „Mehr Leistung durch Metallschaum“, Seite 79) etwa arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an schaumartigen Elektrodenstrukturen, mit denen sich die Leistung und Energiedichte von Batterien erhöhen lässt.

Neben der Lithium-Ionen- gewinnt auch die Redox-Flow-Technologie für stationäre Speichersysteme immer mehr an Bedeutung. Die energiespeichernden Elektrolyte werden außerhalb der Zelle in getrennten Tanks gelagert, wodurch Energiemenge und Leistung unabhängig voneinander skaliert werden können. Eine nachhaltige und langlebige Technologie, die flexibel dem jeweiligen Einsatzzweck angepasst werden kann. Das größte Manko dieser Technologie ist der Preis in Relation zur Leistungsdichte. Um letztere zu erhöhen, konzentriert sich etwa das Forscherteam im Projekt ELVABATT (siehe auch „Weniger Material, mehr Leistung“, Seite 78) darauf, das Elektrodenmaterial der Wandlereinheit neu zu konzipieren. Durch ein optimiertes Verhältnis von Größe zu Leistungsdichte sollen die Marktchancen für die Redox-Flow-Technologie verbessert werden.

Im Gespräch: Begleitforschung für die Energiewende im Verkehr

Nachhaltige Mobilität: Empfehlungen für die Forschung, Handlungsoptionen für die Gesellschaft



„Es muss etwas Handfestes und Verwertbares dabei herauskommen.“ – Prof. Dipl.-Ing. Manfred Aigner vom Deutschen Forschungszentrum für Luft- und Raumfahrt koordiniert die Begleitforschung für die Initiative Energiewende im Verkehr.

Mit der Forschungsinitiative Energiewende im Verkehr fördert das BMWi 16 Verbundprojekte. Die ersten haben im Sommer 2018 mit der Arbeit begonnen. Mit Forschung und Entwicklung zu gasförmigen und flüssigen Kraftstoffen auf Basis von Strom aus erneuerbaren Energiequellen treiben die Verbundprojektpartner die Koppelung der Sektoren Strom und Verkehr mit voran. Perspektivisch tragen die Arbeiten dazu bei, die Nutzung fossiler Energieträger deutlich zu senken. Die Begleitforschung Energiewende im Verkehr – kurz BEniVer – ist ein Verbundprojekt, das innerhalb der Initiative als „Metaprojekt“ angelegt ist. Es spannt sozusagen ein Dach über die technischen Vorhaben, wie Koordinator Professor Dipl.-Ing. Manfred Aigner vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Interview erklärt.

Worum geht es bei der Forschungsinitiative insgesamt?

Es geht darum, einen Durchbruch zu erzielen: Die wissenschaftlichen Projekte zu nachhaltigen Kraftstoffen können den Weg für eine umweltfreundlichere Mobilität ebnen beziehungsweise Politik und Gesellschaft dabei unterstützen, eine Wende im Verkehr herbeizuführen.

Was kann die Begleitforschung hier leisten, was die technischen Verbünde nicht können?

Jedes Verbundprojekt hat natürlich seine eigenen Interessen. Die Begleitforschung kann unabhängig vom Erfolg des Projekts agieren und daher neutraler sein. Wir werden an den objektiven Kriterien gemessen, nicht daran, ob ein Kraftstoff zukunftsträchtig ist oder nicht.

Energie lässt sich auch stofflich speichern, zum Beispiel mittels Elektrolyse. So lässt sich etwa Wind- und Sonnenstrom als Wasserstoff speichern, der dann zur netzunterstützenden Rückverstromung eingesetzt oder zu Kraftstoff – zum Beispiel zu synthetischem Methan – weiterverarbeitet werden kann. Das BMWi fördert die Forschung zu Herstellung und Nutzung strombasierter Kraftstoffe von 2018 bis 2022 mit rund 87 Millionen Euro im Rahmen der Förderinitiative „Energiewende im Verkehr“. Das Motto aller 15 Verbundvorhaben ist „Power-to-Fuel“, also die Herstellung von Kraftstoffen wie Methanol, Methan, Kerosin oder synthetisches Erdgas und Biogas mit Wasserstoffanteilen für den Einsatz in Pkw, Lkw, Schiffen und sogar Flugzeugen. Beglei-

tet werden die Vorhaben durch das Meta-Projekt BEniVer (siehe auch „Im Gespräch: Begleitforschung für die Energiewende im Verkehr“, diese Seite oben). Ziel ist, die beteiligten Forschungsgruppen und Industriepartner der Forschungsinitiative zu vernetzen, die Zusammenarbeit zu fördern und die Projektergebnisse vergleichbar zu machen.

Sehr große Energiemengen lassen sich effizient in Form von Wasserstoff speichern. Die saisonale Speicherung solarthermischer Energie und die Sektorkopplung des Wärme- und Strommarkts tragen zudem dazu bei, den Anteil erneuerbarer Energien auch im Wärmesektor zu erhöhen. Die Speicherung von thermischer und stofflicher Energie

Was ist Ihr übergeordnetes Ziel als neutraler Begleiter der Verbände?

Von den 15 technischen Verbänden erwarten wir viele Ergebnisse. Wir werden diese Ergebnisse analysieren, bewerten und vergleichbar machen. Und diese Informationen dann transparent kommunizieren, sowohl in die Verbände hinein als auch nach außen. Wir stellen unsere Ergebnisse auch der Öffentlichkeit zur Verfügung, zum Beispiel in Vorträgen. Denn Entscheidungen zur künftigen Mobilität werden von der Gesellschaft beziehungsweise der Politik getroffen. Daher muss sie die Optionen kennen.

Komplexe Ergebnisse vieler Partner aus unterschiedlichen Bereichen vergleichbar zu machen ist eine enorme Aufgabe – wie packen Sie das konkret an?

Zentral ist die Art und Weise, in der die Verbände Ergebnisse erarbeiten und darstellen. Wir entwickeln dafür ein Datenkonzept. Hier werden alle Ergebnisse und Fragestellungen eingepasst. Daher müssen wir dieses Konzept sehr früh haben. Wir diskutieren es dann mit den Verbänden und entwickeln es über den gesamten Förderzeitraum der Initiative weiter.

Für die technischen Verbände bedeutet die Zusammenarbeit mit der Begleitforschung zusätzlichen Aufwand. Welchen Mehrwert bekommen sie dafür?

Sie bekommen einen Rückfluss der Analyse ihrer Daten, wie ein anonymisiertes Ranking innerhalb der Initiative. Wir können etwa sagen: Im Vergleich zu den Stoffen der anderen Projekte ist eurer doppelt so teuer, aber dreimal so umweltfreundlich. Und wir geben Empfehlungen, wie der Stoff

und der entsprechende Prozess optimiert werden können. Manches muss auch unbedingt eingehalten werden, wo es um Gesetze, um Schadstoffbilanzen und andere zwingende Vorgaben geht.

Im Ergebnis wollen Sie bis 2022 eine Roadmap mit Handlungsoptionen für Erforschung und Entwicklung, Produktion und Markteinführung von nachhaltigen Kraftstoffen erarbeiten. Welche Kriterien legen Sie dafür zugrunde?

Wir schauen darauf, wie kostengünstig, klimafreundlich und verfügbar die Kraftstoffe sind und berücksichtigen auch politische, finanzielle und regulatorische Aspekte. Wir werden aber nicht die Schiedsrichter darüber sein, was mehr oder weniger wichtig ist. Wir zeigen Handlungsoptionen auf. Auf der Basis können Gesellschaft beziehungsweise Politik nach ihren Prioritäten die Stoffe auswählen, die zukunftsträchtig sind, und diese weiter und intensiver fördern.

Das Interview führte Sabine Dzuck, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi fördert das Projekt BEniVer, kurz für „Begleitforschung Energiewende im Verkehr“ (Förderkennzeichen 03EIV116A-G), mit rund 8 Millionen Euro.

erfordert allerdings viel Platz. Daher bietet es sich insbesondere auch im urbanen Raum an, den geologischen Untergrund als „Energiereservoir“ zu nutzen. Salzkavernen, poröse Gesteinsschichten und so genannte Aquiferen sind für diesen

Speicher ermöglichen es, Erzeugung und Verbrauch zeitlich und räumlich zu entkoppeln.

Zweck besonders gut geeignet. Welche Auswirkungen der Einsatz dieser so genannten geotechnischen Speicher auf die Umwelt hat und wie sich solche Speicher ins Stromsystem, den Strom- und den Wärmemarkt integrieren lassen – das untersucht ein Forscherteam im Rahmen des Projekts Angus II (siehe auch „Der Untergrund als Speicher“, Seite 77).

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Energiespeicher hat das BMWi 2018 insgesamt 108 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 63 Millionen Euro bewilligt (2017: 94 Projekte für rund 38,2 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 31,1 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2017: rund 32,1 Millionen Euro).

Im Gespräch: Virtuelle Schwingungen

Synthetische Schwungmasse am Netz



Dr.-Ing. Ralf Benger koordiniert den Bereich Systemintegration an der Technischen Universität Clausthal.



Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck leitet das Institut für elektrische Energietechnik und Energiesysteme an der Technischen Universität Clausthal.

Kleinere Schwankungen im Netz wurden bisher selbsttätig durch die Schwungmassen von Kraftwerksgeneratoren und -turbinen ausgeglichen – hier wirkt allein die Physik. Werden zukünftig mehr und mehr Großkraftwerke vom Netz genommen, fällt diese so genannte Momentanreserve weg. Durch das Projekt ReserveBatt soll diese Lücke mittels synthetischer Schwungmasse geschlossen werden, erläutern Professor Dr.-Ing. Hans-Peter Beck und Dr.-Ing. Ralf Benger vom Energie-Forschungszentrum der Technischen Universität Clausthal, das die Arbeiten koordiniert, im Interview.

Warum konzentrieren Sie sich auf die Momentanreserve?

Benger: Primär- oder Sekundärregelleistung wird von den Netzbetreibern vergütet. Für die Momentanreserve existiert derzeit noch gar kein Markt, da sie ja bislang kostenfrei und automatisch von Kraftwerken erbracht wurde. Dennoch ist sie sehr wichtig, denn schon 2030 brauchen wir mindestens 14 Gigawatt Kraftwerksleistung, um unser Netz bei 50 Prozent regenerativer Energie mittels Schwungmasse stabil zu halten.

Was ist das Ziel des Forschungsvorhabens?

Beck: Ein Kraftwerk agiert als elektromechanische Synchronmaschine. Das heißt, es wandelt mechanische Energie mittels Generators in Drehstrom um. Weil die Schwungmasse im Generator träge ist, hat das Kraftwerk eine stabilisierende Wirkung auf das Stromnetz. Diese Funktion wollen wir mit einer Batterie nachbilden. Allerdings liefert eine Batterie keinen Drehstrom, sondern Gleichstrom. Der Batteriestrom muss also zunächst umgewandelt werden, bevor er ins Netz kann. Der Schlüssel dazu ist die von uns patentierte Virtuelle Synchronmaschine „VISMA“, ein spezifisch steuerbarer Einspeise-

wechselrichter. Damit programmieren wir den Umrichter so, dass die Batterie die Leistung wie die Synchronmaschine in einem Kraftwerk ins Netz einspeist. Im einjährigen Feldversuch wollen wir dann herausfinden, wie viel Kraftwerksäquivalent an Schwungmasse wir mit dem Gesamtsystem aus Batterie, Umrichter und VISMA erzeugen können.

Welche Batterie ist für dieses Konzept die richtige?

Benger: Das wollen wir herausfinden, indem wir mehrere verschiedene Batterietypen testen. Wir entwickeln ein Batteriesystem, das man in maximal sechs Minuten entladen könnte, ohne dass es Schaden nimmt. Wir brauchen daher nur einen kleinen (dezentralen) Energiespeicher – in etwa eine größere Fahrzeugbatterie. Derzeit arbeiten wir mit Nickel-Mangan-Cobalt- und Lithium-Titanat-Zellen, die sehr hohe Stromtragfähigkeiten haben, bei gleichzeitig geringer Alterung. Nach unseren Hochrechnungen könnte man so bereits die Momentan-Reserveleistung eines 20-Megawatt-Kraftwerks elektrisch nachbilden.

Welche Probleme treten in Verbindung mit den Batterien auf?

Beck: Werden Lithium-Ionen-Batterien mit großen Strömen geladen, können sich so genannte Dendriten bilden. Also Ablagerungen von Kristallen an den Elektroden, die innere Kurzschlüsse verursachen können. Das wollen wir natürlich vermeiden, und deshalb loten wir hier die Grenzen aus.

Wo ist Ihr System in der Praxis einsetzbar?

Benger: Zunächst integrieren wir das System in unsere lokale Energieverteilung und beurteilen dann gemeinsam mit dem Energieversorger vor Ort, wie wirksam unsere Maßnahme ist. Zu den technischen Fragestellungen kommen allerdings noch marktrechtliche und regulatorische Bedingungen hinzu, wie technische Anschlussbedingungen des Energieversorgers oder Netzkonformitäten. Außerdem müssen wir den Markt für solche Lösungen definieren. Am ehesten bieten sich aktuell Industrienetze an. Wenn wir an das richtige Stromnetz wollen, müsste sich an den gesetzlichen Rahmenbedingungen etwas ändern. Wir verfolgen den Ansatz, die Geschwindigkeit der Leistungsbereitstellung zu vergüten. Also je schneller die Reaktion auf Netzereignisse, desto höher die Vergütung.

Das Interview führte Carolin Höher, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi fördert das Projekt ReserveBatt, kurz für „Systemdienstleistungen für den sicheren Betrieb des Energieversorgungssystems: Momentanreserve mit Hochleistungsbatterien“ (Förderkennzeichen 03ET6123A-D, F, G), mit rund 2,7 Millionen Euro.

Projekte

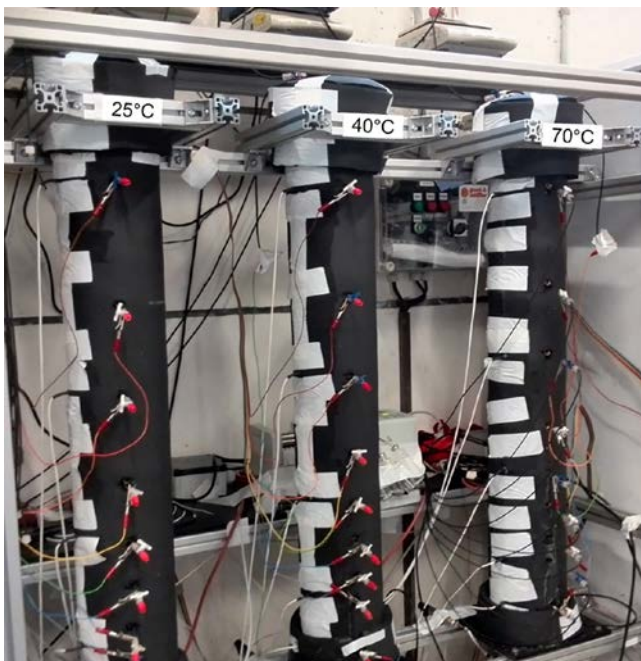
Der Untergrund als Speicher

Für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende sind Power-to-X- und Speichertechnologien unverzichtbar. Geotechnische Speicher im geologischen Untergrund eignen sich für regenerativ erzeugten Wasserstoff, synthetisches Methan, Druckluft sowie Wärme/Kälte. Sie können sehr große Energiemengen kurzfristig und saisonal speichern, um zeitliche Schwankungen bei der Energieerzeugung als auch beim Energiebedarf auszugleichen. Das Forscherteam des Projekts **ANGUS II**, koordiniert von der Universität Kiel, untersucht daher, wie sich geotechnische Speicher in die Energiesysteme integrieren lassen, wie diese Speicher dimensioniert und in ihrer Leistung charakterisiert werden können und welche Auswirkungen diese Speicher auf den geologischen Untergrund haben.

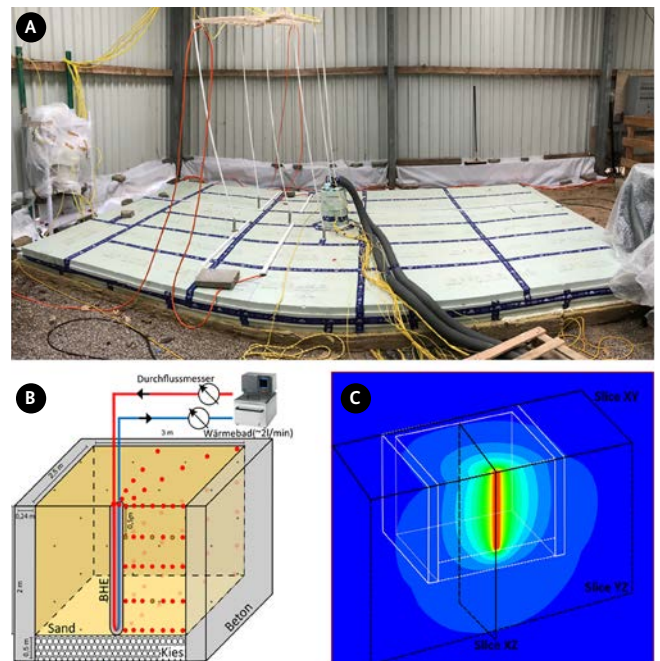
Ziel des Vorhabens ist es, numerisch gestützte Konzepte zu entwickeln, mit denen die Systemintegration geotechnischer Speichertechnologien in die Energiesystemtransformation möglich ist. Am Beispiel der Modellregion Schleswig-

Holstein berücksichtigen die Projektpartner hierbei unterschiedliche Ausbaupfade der Energienetze und der Erzeugung erneuerbarer Energien. Dazu entwickeln sie numerische Modelle zur Dimensionierung und Leistungscharakterisierung geotechnischer Speicher und koppeln diese mit Modellen zur Simulation von Energiesystemen und Kraftwerkseinzelanlagen. Die Ergebnisse wenden sie schließlich beispielhaft anhand von wirtschaftlichen Betriebsszenarien an. Als weitere Projektpartner dieses interdisziplinären Forschungsansatzes sind die Europa-Universität Flensburg, die Hochschule Flensburg, das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ und die Universität Mainz beteiligt.

Das BMWi fördert das Projekt ANGUS II, kurz für „Auswirkungen der Nutzung des geologischen Untergrundes als thermischer, elektrischer oder stofflicher Speicher – Integration unterirdischer Speichertechnologien in die Energiesystemtransformation am Beispiel des Modellgebietes Schleswig-Holstein“ (Förderkennzeichen 03ET6122A-E), mit rund 6,6 Millionen Euro.



Experimenteller Aufbau eines Durchströmungsversuchs: Im Forschungsprojekt ANGUS II wird analysiert, welchen Einfluss die Temperatur auf verschiedene norddeutsche Aquifersedimente hat.



Experimentelle Prozesscharakterisierung der Wärmespeicherung im Untergrund. A) Experimenteller Aufbau des mesoskaligen Versuchs. B) Messanordnung im Untergrund. C) Anhand numerischer Simulation prognostizierte Temperaturverteilung.



Mit dem Redox-Flow-Testsystem können Wandlereinheiten mit industriellen Dimensionen vermessen werden.

Weniger Material, mehr Leistung

Redox-Flow-Batterien, auch Flussbatterien genannt, stellen eine vielversprechende Technologie für stationäre Speicheranwendungen dar. Leistung und Speicherkapazität können dabei beliebig und unabhängig voneinander skaliert werden. Zudem haben sie eine hohe Lebensdauer, eine hohe Betriebstoleranz und sind wartungsarm. Das Speichermedium, das als flüssige Elektrolytlösung vorliegt, wird in Tanks gespeichert und beim Laden beziehungsweise Entladen durch eine Wandlereinheit (engl. „stack“) gepumpt. Je größer der Tank, desto mehr Energie kann gespeichert werden – je mehr Wandlereinheiten in die Batterie integriert sind, desto höher ist die Leistungsbereitstellung.

Für einen flächendeckenden Einsatz waren Flussbatterien allerdings bislang in der Herstellung zu teuer. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler innerhalb des Projekts **ELVABATT** haben sich deshalb das Ziel gesetzt, die Hauptkomponente der Batterie – die Wandlereinheit – entsprechend zu optimieren, um so deren Marktchancen zu verbessern. Das Forscherteam entwickelt dazu ein neues Materialkonzept, mit dem die Leistungsdichte bisher verfügbarer Elektroden verdoppelt werden kann. Die Wandlereinheit ist dadurch leistungstärker und kann kompakter ausgelegt werden, wodurch sich die Gesamtkosten der Batterie reduzieren lassen. Schlüssel zum Erfolg ist ein spezielles Komposit-Material: Dazu werden Kohlefaser-Filze mit einem elektrisch leitfähigen Kohlenstoffmaterial

beschichtet. Dadurch wird die Reaktionsoberfläche pro Elektrodenvolumen erhöht, ohne den Durchfluss des Speichermediums im Betrieb merklich zu behindern.

Das Projekt wird vom Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung koordiniert. Weitere Projektpartner sind Schunk Kohlenstofftechnik und J. Schmalz als industrieller Hersteller von Stacks für Flussbatterien.

Das BMWi fördert das Projekt ELVABATT, kurz für „Entwicklung innovativer Elektroden zur Leistungs- und Effizienzsteigerung von Vanadium Redox-Flow-Batterien“ (Förderkennzeichen 0325914A-C), mit rund 960.000 Euro.



Zur Verbesserung der Elektrodenleistung wurde ein Kohlefaser-Filz mit einer Kohlenstoffkomponente beschichtet.

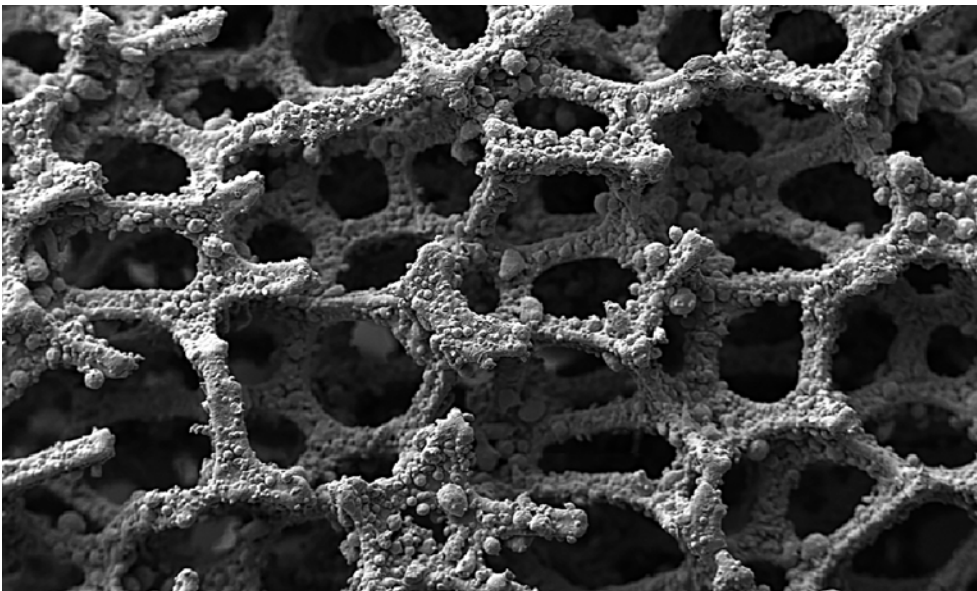
Mehr Leistung durch Metallschaum

Lithium-Ionen-Batterien sind Bestandteil von tragbaren elektronischen Geräten, aber mittlerweile auch von Elektrofahrzeugen und stationären Energiespeichern. Mit der Zahl der Anwendungsbereiche erhöhen sich allerdings auch die Anforderungen an diese Speichertechnologien. Die Batterien der Zukunft sollen eine hohe Leistungs- und Energiedichte erreichen, gleichzeitig aber wenige Ressourcen verbrauchen, zuverlässig und bezahlbar sein.

Das Team des Forschungsvorhabens **BATT3D** hat sich dieser Herausforderung angenommen. Unter Federführung des Münchner Unternehmens Alantum Europe arbeiten das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM und sechs weitere Projektpartner an einem neuartigen Batteriekonzept auf Basis bekannter Materialien. Das Besondere an dem Forschungs-

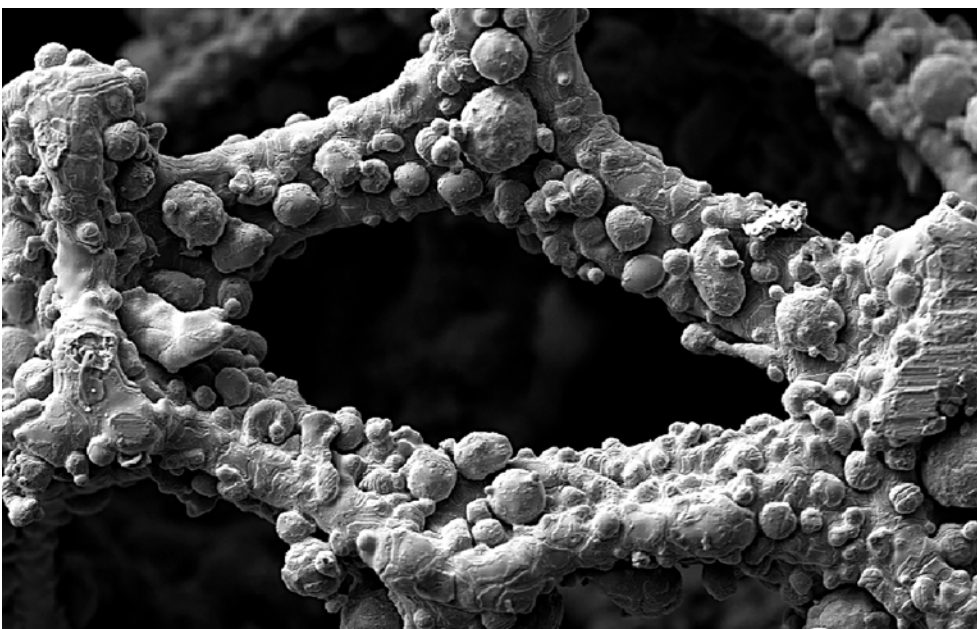
ansatz von BATT3D ist die Elektrodenstruktur: Anstatt Anode und Kathode klar räumlich zu trennen, wie es bei Lithium-Ionen-Batterien üblich ist, arbeiten die Forscher mit einem offenporigen Metallschaum. Die Schaumporen werden mit elektrochemisch aktiven Elektrodenmaterialien beschichtet, sodass eine Art dreidimensionale Elektrode mit sehr großer Kontaktfläche entsteht. Durch diesen Elektrodenaufbau lässt sich die Leistungs- und Energiedichte der Batterie steigern, ohne das Volumen zu erhöhen. Auf Grundlage dieser dreidimensionalen Elektrodenstrukturen sind neuartige geometrische Bauweisen denkbar. Die Schaumstrukturen sollen sowohl mit flüssigen als auch mit festen Elektrolyten untersucht werden.

Das BMWi fördert das Projekt BATT3D, kurz für „Hochleistungs- und Feststoffbatterien auf Basis dreidimensionaler Stromableiter“ (Förderkennzeichen: 03ET6111A-J), mit rund 2,3 Millionen Euro.



Diese illustrativen Darstellungen zeigen den Legierungsschaum, welcher für die Elektrodenherstellung als Stromableiter im Rahmen des BATT3D-Verbundvorhabens verwendet wird:

50-fache Vergrößerung (Bild oben) und 200-fache Vergrößerung.





Stromnetze und Netzintegration erneuerbarer Energien

Damit die Energiewende gelingt, werden die Stromnetze an die neuen dezentralen Erzeugungsstrukturen angepasst – sie werden intelligent und flexibel. Diese Umstellung auf Smart Grids wird durch die Digitalisierung des Energiesystems möglich.

Dank Smart Grids können Stromerzeugung und -verbrauch besser aufeinander abgestimmt werden. Durch eine höhere Aufnahme- und Transportkapazität der Leitungen werden die vorhandenen Netze optimal ausgenutzt. Dadurch kann der Netzausbau auf das nötige Minimum beschränkt werden. Kernanliegen ist es, den Netzbetrieb stabil und sicher zu halten. Dabei arbeitet Deutschland eng mit anderen europäischen Ländern zusammen.

Rund ein Drittel mehr in 15 Jahren: Der Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen steigt hierzulande kontinuierlich. Inzwischen erzeugen unter anderem rund 30.000 Windräder, mehr als 1,6 Millionen Photovoltaikanlagen und knapp 10.000 Biogasanlagen Strom aus regenerativen Quellen. Während die Energie früher mithilfe von Übertragungsnetzen zentral von den Großkraftwerken zum Verbraucher geleitet wurde, verteilen sich die Erneuerbare-Energien-Anlagen heute dezentral über ganz Deutschland. Das stellt die Stromnetze und das gesamte Energiesystem vor Herausforderungen: Es müssen nicht nur neue Leitungen gebaut werden, um den Strom überhaupt transportieren zu können. Die Leitungen müssen auch besser verknüpft und die dezentralen Anlagen an die Verteilnetze angeschlossen werden.

Fachleute arbeiten daran, die Stromnetze intelligent und flexibel zu machen. Das Ein- und Ausspeisen von Strom wird an schwankende Wetterverhältnisse angepasst. Wenn

„Wir wollen Entwicklungsprojekte anstoßen, damit die vielversprechendsten Konzepte flächendeckend praktisch angewendet werden.“

Stefan Sprenkman, Projektleiter InnoSys2030

dank Wind und Sonne viel Strom produziert wird, kann diese Energie zwischengespeichert, in Wärme oder Gas umgewandelt oder dazu genutzt werden, Haushaltsgeräte vernetzter Smart Homes zu versorgen. Möglich macht das die Digitalisierung. Sensoren an den Netzkomponenten und intelligente Stromzähler, so genannte Smart Meter, sammeln Daten, mithilfe derer das Energiesystem besser aufeinander abgestimmt werden kann.

Forschen, entwickeln und fördern

Die Forschung und Entwicklung im Bereich Stromnetze trägt dazu bei, die Versorgungsnetze stärker zu verbinden. Die Bundesregierung fördert Vorhaben, in denen Betriebsmittel und Komponenten weiterentwickelt werden. Ziel ist ein deutlich verbesserter und automatisierter Betrieb der Netze. Die Forschungsförderung setzt fünf verschiedene Schwerpunkte:

- Erstens unterstützt sie Wissenschaftsteams, die innovative und verbesserte Technologien und Schutzkonzepte erarbeiten. Weiterentwickelte Netzbetriebsmittel helfen zum Beispiel, Netzschutz und Stabilität sicherzustellen und Systemdienstleistungen bereitzustellen. Außerdem wird an AC/DC-Netzen und Netzleittechniksystemen gearbeitet und Power-to-X-Technologien werden optimiert.
- Zweitens werden Forschungsarbeiten, die den Systembetrieb sichern und die Netzplanung verbessern helfen, gefördert. Dazu gehören etwa innovative Betriebsführungskonzepte, eine automatisierte Erfassung der Systemstruktur, neue Verfahren zum Notfallbetrieb und Systemwiederaufbau bei Blackouts, eine erhöhte Systemzuverlässigkeit dank aktueller Informations- und Kommunikationstechnologien sowie die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und Dienstleistungsplattformen.
- Drittens geht es darum, Flexibilitäten, die durch die Sektorkopplung entstehen, zu erschließen. Ziel dabei ist es, das Lastmanagement zu optimieren. Dafür bedarf es einheitlicher Planungsmethoden, Normen und Standards.
- Die Expertinnen und Experten arbeiten dabei immer an dem übergeordneten Ziel, trotz sich verändernder Energieversorgungsstrukturen eine hohe Versorgungsqualität mit Strom aufrechtzuerhalten und gleichzeitig die Kosten möglichst gering zu halten. Aus dem Grund bildet die Versorgungssicherheit den vierten Förderschwerpunkt.



Ohne Stromkabel keine Energieversorgung: Damit die Energiewende gelingt, werden Netze zu „Smart Grids“.

- Das Gesamtsystem soll etwa mithilfe der genannten verbesserten Betriebsmittel und Netzstrukturen sowie durch eine verstärkte Sektorkopplung auch künftig stabil gehalten werden. Das fünfte geförderte Forschungsthema umfasst alle Aspekte rund um die Digitalisierung von Stromnetzen. Die zunehmende Automatisierung und Vernetzung des Energiesystems wird durch neue Lösungen bei der Informations- und Kommunikationstechnologie entlang aller Netzebenen und vermehrte Datenverarbeitung und -analyse in Echtzeit möglich.

Da Stromnetze nicht an den Grenzen Deutschlands enden und sich die europäischen Nachbarländer ähnlichen Herausforderungen gegenübersehen, beteiligt sich Deutschland an Forschungsprojekten der Europäischen Union. Dazu gehört das Forschungsprogramm ERA-Net Smart Energy Systems. An der Smart Grids Innovation Challenge nimmt die Bundesrepublik im Rahmen von Mission Innovation teil. Der europäische Wissensaustausch trägt dazu bei, die gemeinsamen Fragestellungen nachhaltiger zu bewältigen.

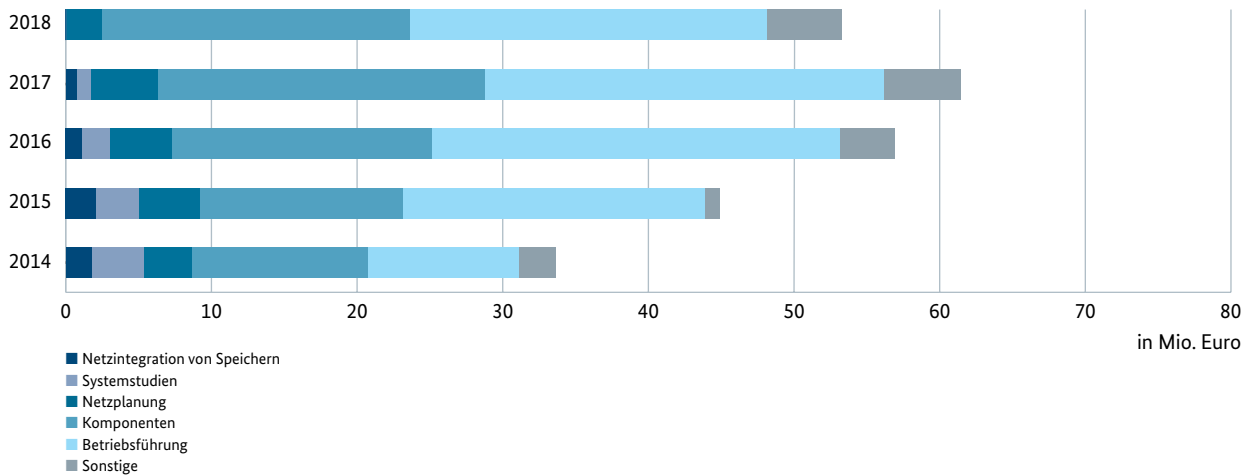
Zu den Beispielen gelungener Förderprojekte gehört unter anderem das Verbundvorhaben eSafeNet (siehe auch „Sicheres Kommunikationsnetz fürs Smart Grid“, Seite 87). Die Forscherinnen und Forscher entwickeln im Rahmen dessen intelligente Informations- und Kommunikationsinfrastrukturen, mithilfe derer große Datenmengen verarbeitet werden können. Die Wissenschaftsteams arbeiten daran, Mobilfunk und kabelgebundene Übertragungstechnologien sicherer zu machen. Die Wahrscheinlichkeit von Stromausfällen oder Cyberangriffen soll so reduziert werden.

An verbesserten Potenzialen der Lastverschiebung forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beispielsweise im Verbundvorhaben LAGE-EE (siehe auch „Flexible Heizungssteuerung bei Netzengpässen“, Seite 89). Sie konzentrieren sich auf flexible Heizungswärmepumpen in Haushalten, die ein Baustein eines ganzheitlichen Systems zur Gebäudeheizung, Kühlung und Warmwasserbereitung sind. Mithilfe der Power-to-Heat-Technologie nehmen Wärmepumpen überschüssige Energie auf, wenn Windparks und Photovoltaikanlagen viel Strom produzieren.

Unter dem Motto „Wie viel Smart Grid brauchen wir?“ untersuchen Fachleute im Projekt Green Access (siehe auch „Im Gespräch: Netzengpassmanagement und Smart Grids“, Seite 84), wie intelligent Stromnetze werden müssen, um möglichst viel Ökostrom zu möglichst geringen Kosten aufnehmen zu können. Die Partner aus Industrie und Wissenschaft arbeiten daran, Mittel- und Niederspannungsnetze zu automatisieren und damit zu optimieren – denn die meisten Wind- und Photovoltaikanlagen sind auf diesen beiden Netzebenen angeschlossen. Ein Vergleich der Leistungsfähigkeit von intelligenten mit konventionellen Netzabschnitten zeigt, wie viel Intelligenz sich wirtschaftlich im Netz lohnt.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Stromnetze und Netzintegration hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2018 insgesamt 135 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 67,3 Millionen Euro bewilligt (2017: 91 Projekte für rund 55 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 53,3 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2018: rund 61,5 Millionen Euro).

Stromnetze: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018



Im Gespräch: Netzengpassmanagement und Smart Grids

Windstrom besser nutzen: Experten in Norddeutschland machen es vor

Die Nordsee-Küste ist Deutschlands Wind-Hotspot: Hier stehen die meisten Windräder, hier wird der meiste Windstrom erzeugt. Trotzdem stehen jeden Tag hunderte Anlagen still – weil die vorhandenen Netze den Strom nicht ausreichend aufnehmen und transportieren können. Hier setzt Dr. Tanja Koch aus Oldenburg an: Als Expertin für Smart Grids bei EWE NETZ arbeitet sie im Projekt Green Access daran, die Kapazität der Netze zu erhöhen.

Was empfinden Sie beim Anblick stillstehender Windräder?
Windräder, die sich nicht drehen, fallen natürlich sehr auf. Dass man sie im Rahmen des so genannten Einspeisemanagements abschalten muss, obwohl der Wind weht, finde ich sehr schade. Erneuerbare Energie ist also da, aber wir können sie nicht nutzen.

Der Netzausbau spielt bei der Energiepolitik deshalb eine wichtige Rolle. Neue Leitungen können aber nicht von heute auf morgen gebaut werden. Für die Zwischenzeit müssen Lösungen gefunden werden.

Ja, daran arbeiten wir. Einspeisemanagement ist für uns ein Notnagel. Stattdessen überlegen wir uns unter der Bedingung, Stabilität und Versorgungssicherheit weiterhin zu gewährleisten, wie wir die Netze besser beherrschen, ausnutzen und wie wir Engpässe durch vorausschauendes Handeln vermeiden können.

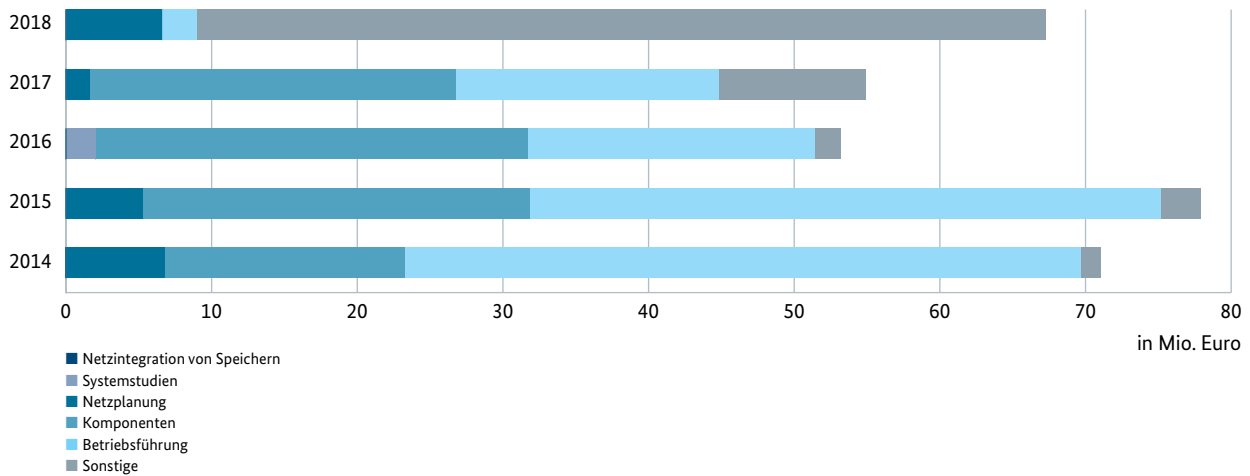


Dr. Tanja Koch arbeitet als Leiterin für strategische Netzentwicklung mit ihrem achtköpfigen Team daran, die Verteilnetze von EWE NETZ intelligent zu machen.

Dabei helfen Ihnen die so genannten Smart Grids. Was tun Sie, um Netze intelligent zu machen?

Die neuen Komponenten und Betriebsmittel helfen uns, in die Netze „hineinzuschauen“, die vorhandene Infrastruktur besser kennenzulernen und zu steuern. Das ermöglicht uns zum Beispiel, in Ausnahmefällen gesichert in Überlast zu gehen. Bei kalten Temperaturen im Winter können wir die Netze etwa für wenige Minuten gezielt an bestimmten Stellen überbeanspruchen, weil wir wissen, dass die kühle Luft ein Überhitzen von Leitungen und Transformatoren und so

Stromnetze: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014



Diese Ortsnetzstation in Werpeloh im Emsland als Teil eines intelligenten, spannungsebenenübergreifenden Regelungssystems wurde um einen Niederspannungsregler (rechts oben) erweitert, der mit verschiedenen Komponenten der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) ausgestattet ist.

ein Durchbrennen verhindert. Außerdem arbeiten wir daran, Betriebsmittel zu automatisieren, damit sie beispielsweise Spannungsprobleme selbst ausgleichen können.

Wenn die Maximalauslastung erreicht ist, können Sie an der Netze-Stellschraube nicht mehr drehen. Es wird untersucht, wie man den Stromverbrauch an die Erzeugung anpassen, die Lasten folglich flexibel „verschieben“ kann. Das soll nicht nur in der Industrie, sondern auch in den Haushalten funktionieren. Wenn viel Strom erzeugt wird, schalten sich in Smart Homes beispielsweise automatisch Waschmaschinen oder Heizungen ein. Brauchen wir unsere Waschmaschinen bald nicht mehr selbst anzustellen?

Das dauert noch 20 Jahre, schätze ich. Einerseits haben Haushaltsgeräte lange Lebenszyklen, halten entsprechend viele Jahre, bevor sie ausgetauscht werden müssen. Andererseits hängt der Erfolg von Smart Homes von der Bereitschaft der Menschen ab, sie zu akzeptieren. Niemand möchte einfach so fremdgesteuert werden, ohne dass es wirkliche Vorteile, zum Beispiel finanzielle, gibt.

Mit Prosumern, also Kunden, die gleichzeitig Erzeuger und Verbraucher sind, haben Sie unter Führung von EWE NETZ im Rahmen des Förderprojekts Green Access jetzt schon erfolgreich in einem Feldtest zu Smart Grids zusammengearbeitet. Wie konnten Sie die Menschen dafür gewinnen, mitzumachen?

In unserer Region haben viele Menschen eine Solaranlage auf dem Dach oder ein Windrad auf dem Feld. Mit dem Thema erneuerbare Energien haben sie sich bereits auseinandergesetzt und sehr bewusst dafür entschieden. Als Pioniere sind sie stolz, einen positiven Beitrag zur Energiewende zu leisten.

Das Interview führte Katharina Klöber, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi fördert das Projekt Green Access, kurz für „Green Access – Intelligente Verteilnetzautomatisierung für einen erhöhten Zugang regenerativer Energien“ (Förderkennzeichen 03ET7534A-J), mit rund 3,9 Millionen Euro.

Im Blickpunkt: Systemführung

Innovative Ansätze für ein besser ausgelastetes Netz

Damit die Energiewende gelingt, ist es notwendig, dass der Strom aus erneuerbaren Quellen ins Netz eingespeist und transportiert werden kann. Das ist oftmals nicht möglich, auch weil der aktuelle Stand der Technik den Anforderungen an ein flexibles, an schwankende Erzeugung angepasstes Stromnetz nicht genügt. Neben dem erforderlichen Netzausbau über alle Spannungsebenen hinweg werden weitere Lösungen benötigt, die eine gleichmäßigere und höhere Auslastung des vorhandenen Netzes zulassen.

Diese Lösungen erforschen Fachleute im Vorhaben **InnoSys2030**. Unter Federführung des Übertragungsnetzbetreibers TenneT haben sich dafür 15 Partner aus ganz Deutschland zusammengeschlossen. Dazu gehören Übertragungsnetzbetreiber, Verteilnetzbetreiber, Fraunhofer-Institute, Universitäten und Netzleittechnik-Hersteller. „Extrem breit aufgestellt zu sein, macht uns kompetent und leistungsfähig“, sagt Projektleiter Stefan Sprenkmann.

„Gemeinsam untersuchen wir, welche innovativen Ansätze und Konzepte in der Systemführung Potenzial für eine Höherauslastung bei gleichbleibender Netz- und Systemsicherheit haben“, sagt Projektmitarbeiter Dr. Robert Schwerdfeger. Die Expertinnen und Experten entwickeln dafür Werkzeuge mit einem stärkeren Automatisierungsgrad, forschen an modernen Informations- und Kommunikationstechnologien sowie an erhöhten Rechenleistungen in Kombination mit neuen Netzkomponenten.

Zunächst analysieren und bewerten die Fachleute die aktuell in Forschung, Politik und bei den Netzbetreibern diskutierten innovativen Ansätze unter elektrotechnischen, ökonomischen und sicherheitsrelevanten Aspekten. Entscheidendes Kriterium für die Schritte ist ihre Praxistauglichkeit. Nach Vorauswahl, Konzeptionierung und Werkzeug-Entwicklung werden ausgewählte Maßnahmen in Simulationsumgebungen und Labor-Nachbauten, so genannten Demonstratoren, intensiv erprobt. Danach werden bei Feldtests in Leitwarten installierte Rechnersysteme mit Echtzeit-Daten gefüttert und mögliche Auswirkungen auf Betriebsmittelauslastung und Spannungsniveau bestimmt. Abschließend unterziehen die Partner alle Ergebnisse einer Gesamtbewertung, aus der sie einen möglichen Umsetzungsplan ableiten.

„Die Frage, wie wir das Energiesystem in zehn Jahren führen werden, wollen wir aus dem wissenschaftlichen Diskurs herausholen und in die Unternehmen tragen“, sagt Robert Schwerdfeger. Koordinator Stefan Sprenkmann ergänzt: „Wir wollen Entwicklungsprojekte anstoßen, damit die vielversprechendsten Konzepte flächendeckend praktisch angewendet werden. So schaffen wir mit unserer Forschung ein Benefit für die Systemführung.“

Das BMWi fördert das Projekt InnoSys2030, kurz für „Innovationen in der Systemführung“ (Förderkennzeichen 0350036A-O), mit rund 9,4 Millionen Euro.



Schichtingenieure führen das Höchstspannungsnetz in der TenneT-Regelzone: Oberstes Ziel ist dabei, die Kenngrößen Strom, Spannung und Netzfrequenz jederzeit in den zulässigen Grenzen zu halten.

Projekte



Die Projektmitarbeiter nehmen den digitalen Echtzeitsimulator im Labor des „Institute for Automation of Complex Power Systems“ an der RWTH Aachen in Betrieb.

Sicheres Kommunikationsnetz fürs Smart Grid

Ins Smart Grid, das intelligente Netz der Zukunft, wird zunehmend Strom aus erneuerbaren Quellen eingespeist. Um die wegen Windflauten und Bewölkung fluktuierende Einspeisung besser in den Griff zu bekommen, muss das Smart Grid nicht nur flexibler, sondern auch stabiler und zuverlässiger werden. Eine Lösung ist ein innovatives Kommunikationsnetz.

Daran arbeiten die Expertinnen und Experten des Verbundvorhabens **eSafeNet** unter Federführung der RWTH Aachen. Sie untersuchen, wie ein Smart Grid mithilfe einer verbesserten Kommunikationsnetzinfrastruktur insgesamt sicherer werden kann. Primär analysieren die Fachleute Mobilfunk, forschen aber auch an kabelgebundenen Übertragungstechnologien.

Ziel ist es, das Stromnetz künftig besser für Notsituationen wie Stromausfälle oder Cyberangriffe zu wappnen. Die intelligente Kommunikationsinfrastruktur wird dafür so auf das Netz abgestimmt und programmiert, dass die

Stromerzeugungsanlagen bei einem Blackout besser gesteuert und so schneller wieder zugeschaltet werden können.

Im ersten Schritt werden im Rahmen eines Testaufbaus durch solch ein zuverlässiges und sicheres Kommunikationsnetz verschiedene Akteure des Energiemarkts (etwa Erzeuger, Verbraucher, Speicher) miteinander verbunden. Im zweiten Schritt bauen die Fachleute eine so genannte Smart-Service-Plattform auf, die bestimmte Dienstleistungen bündelt. Dazu gehört im Rahmen eines regionalen Peer-to-Peer-Markts erstens der Handel mit Energie, bei dem Stromangebot und -nachfrage stets miteinander abgeglichen werden. Zweitens ermöglicht es die Plattform, auf Basis von Zustands-, Wetter- und Preisdaten die Instandhaltung und den Betrieb von Erzeugungsanlagen vorausschauend zu planen.

Das BMWi fördert eSafeNet, kurz für „Energieeffizientes und sicheres Kommunikationsnetz für das Internet der Energie“ (Förderkennzeichen 03ET7549A-I), mit gut 3,5 Millionen Euro.



Das Add-On zur aktiven Netzspannungsfiltration (links), mit dem die Spannungsqualität des Netzes verbessert werden kann, wird in einem PV-Wechselrichter (Mitte) erprobt.

Netzspannung stabil halten

Windräder, Photovoltaikmodule, Biogasanlagen: Im Zuge der Energiewende wird immer mehr Strom aus erneuerbaren Energien ins Netz eingespeist. Weil dabei viele dezentrale Stromerzeugungsquellen angeschlossen werden, hat sich die Menge der Leistungselektronik im Netz erhöht. Dadurch wird das System fortwährend komplexer und es entstehen neue Herausforderungen. Zum Beispiel können in der Spannung nun häufiger Oberschwingungen oder Resonanzen auftreten.

Um diese Effekte besser in den Griff zu bekommen, haben sich die Fachhochschule und die Universität Kiel sowie das Unternehmen WSTECH in Flensburg zum Verbundvorhaben **Add-On** zusammengeschlossen. Sie wollen Wechselrichter so erweitern (engl. „to add“: hinzufügen oder anhängen), dass die Spannungsqualität im Netz erhöht wird.

Dafür messen die Experten der Fachhochschule zunächst in einem Labornetz Oberschwingungen und Resonanzen. So erfassen sie den Ist-Zustand der Spannung. Anschließend kümmern sich die Fachleute der Universität um die

Steuerung des Wechselrichters. Die Messwerte werden dabei dazu genutzt, dem Wechselrichter über eine Schnittstelle zusätzliche Signale, so genannte Regelgrößen, vorzugeben, um den Soll-Zustand zu erreichen. Die Arbeitsschritte in einer künstlichen und gleichzeitig praxisnahen Laborsituation durchzuführen, hat den Vorteil, dass sich Schäden an echten Kundenanlagen sowie negative Rückwirkungen auf das Netz vermeiden lassen.

Nachdem Funktion und Stabilität des Betriebs gründlich erprobt wurden, erfolgt der abschließende Feldversuch: Das neu entwickelte Add-On wird in einem Photovoltaikpark im nordfriesischen Humtrup unter Leitung von WSTECH unter realen Bedingungen getestet. Mithilfe der gewonnenen Erkenntnisse sollen Wechselrichter ohne große Mehrkosten künftig netzverträglicher betrieben und so besser genutzt werden können.

Das BMWi fördert Add-On, kurz für „Entwicklung eines Add-Ons für Umrichter zur aktiven Filterung der Netzspannung und Resonanz-Dämpfung basierend auf der gemessenen Netzimpedanz“ (Förderkennzeichen 0350022A-C), mit knapp 850.000 Euro.

Flexible Heizungssteuerung bei Netzengpässen

Wenn das Netz wegen fehlender Aufnahmekapazität überlastet ist, werden Erzeugungsanlagen heruntergeregelt; das bedeutet aber, die regenerative Energie ungenutzt zu lassen. Als eine Lösungsoption wird eine Verschiebung der Last untersucht.

Darauf konzentrieren sich Fachleute unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE in Kassel. In dem Projekt **LAGE-EE** analysieren sie, wie Heizungswärmepumpen in Haushalten zeitlich flexibel betrieben werden können. Da das Wasser im Wärmepumpentank mithilfe von Strom erhitzt wird, kann die Wärmepumpe die überschüssige Energie aufnehmen. Dieses Power-to-Heat-Verfahren ermöglicht durch eine bedarfsorientierte Steuerung, die Heizung dann zu betreiben, wenn viel Strom im Netz ist.

Ziel des Verbundvorhabens ist es, ein ganzheitliches System zur Gebäudeheizung, Kühlung und Warmwasserbereitung zu entwickeln. Dafür erforschen die Expertinnen und

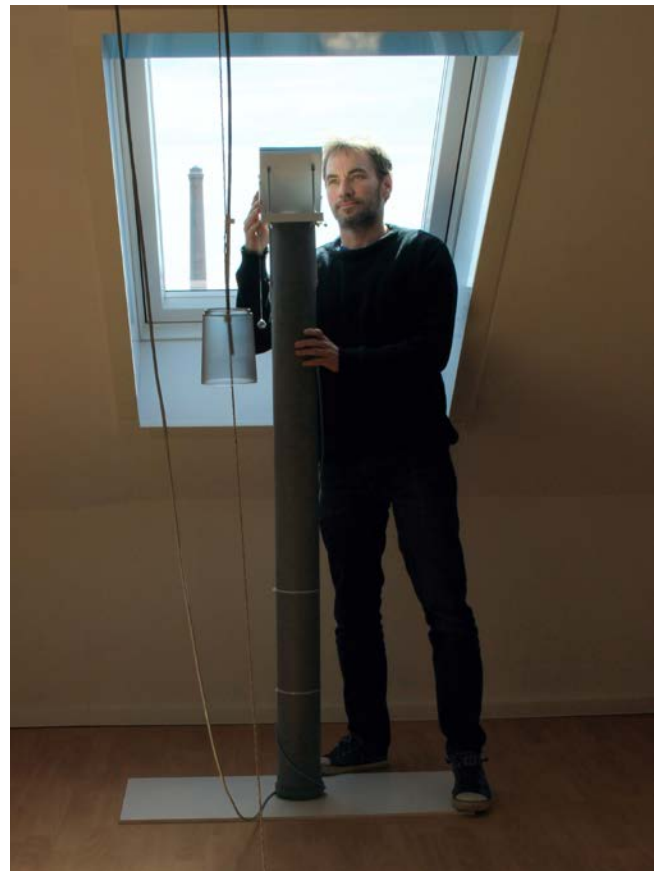
Experten verschiedene Aspekte: Zunächst ermitteln sie, wie viel Lastverschiebepotenzial es gibt und wie sichergestellt werden kann, dass es bei Bedarf zur Verfügung steht. Zudem erarbeiten die Fachleute ein technisches System samt Steuerungssoftware, das mit der Haustechnik, also den Wärmepumpen, kommuniziert. Das ermöglicht der Haustechnik, auf Signale des Netzbetreibers zu reagieren.

Darüber hinaus sorgen die Forschenden dafür, dass die automatische Heizungsregelung so gesteuert wird, dass die Raumtemperatur angenehm bleibt und das Komfortgefühl der Bewohnerinnen und Bewohner nicht beeinträchtigt wird. Im abschließenden Feldversuch werden die Ergebnisse im osthessischen Alheim-Heinebach auf ihre Praxistauglichkeit getestet.

Das BMWi fördert das Projekt LAGE-EE, kurz für „Lastverschiebungspotentiale von Gebäuden für Strom aus erneuerbaren Energien“ (Förderkennzeichen 0325794A-F), mit rund 1,3 Millionen Euro.



Durch Setzen von Steuerbefehlen prüft ein Projektmitarbeiter an seinem Laptop die Funktionalität der im Schaltschrank installierten Steuereinheiten.



Der Projektleiter von LAGE-EE justiert im Versuchsraum in Kassel ein Pyranometer zur Messung der im Raum ankommenden Einstrahlung.

An aerial, top-down view of a dense urban neighborhood. The buildings are multi-story with prominent red-tiled roofs. The streets are narrow and filled with cars and some greenery. The overall scene is a vibrant, colorful representation of a city's built environment.

Energieoptimierte Gebäude und Quartiere

Energiesparende Gebäude, integrative Energiekonzepte sowie innovative und wirtschaftliche Versorgungsstrukturen für Quartiere tragen wesentlich zu einer erfolgreichen Energie- und Wärmewende in Deutschland bei.



Mit Innovationen bei Baustoffen und Materialien sowie in der Gebäudetechnik können die unterschiedlichen Nutzeranforderungen immer besser erfüllt werden. Die Digitalisierung spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle: Anlagen können energieeffizient gesteuert und der Einsatz erneuerbarer Energien geplant werden. Allerdings sind Gebäude immer seltener abgeschlossene Systeme. Als Elemente in einem größeren Netzwerk haben sie energetische Schnittstellen zu Nachbargebäuden, zum Quartier und zu Strom-, Gas- und Wärmenetzen.

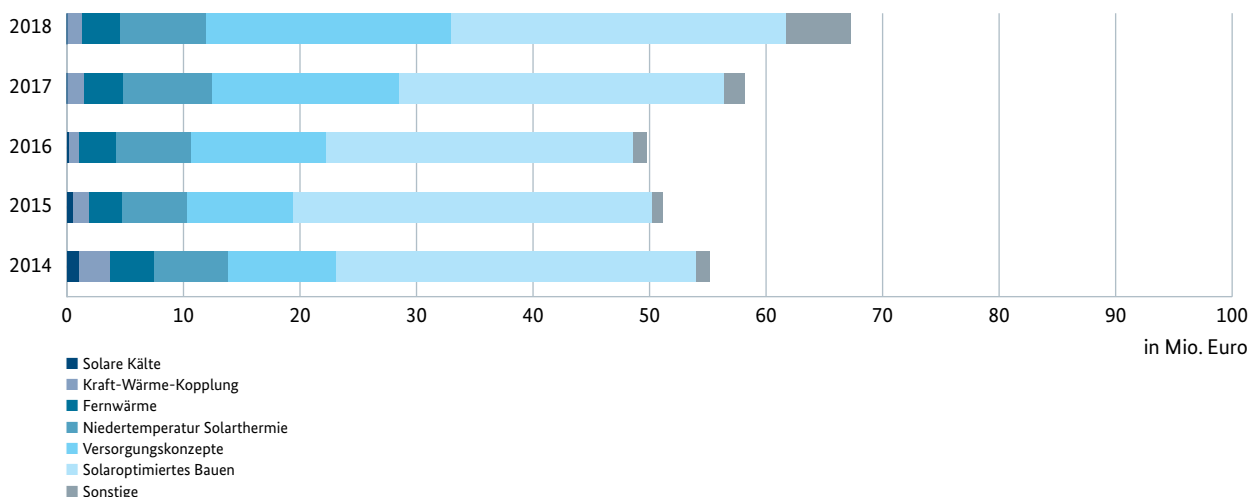
Im Gebäudebereich wird rund 35 Prozent der gesamten Endenergie verbraucht, vor allem für Heizung und Warmwasser. Daraus ergibt sich ein großes Potenzial, Energie einzusparen. Um den Zielen im nationalen Klimaschutzplan gerecht zu werden, will die Bundesregierung bis zum Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand realisieren. Um dieses Ziel zu erreichen, sind energieeffizientere Gebäude und ein höherer Anteil erneuerbarer Energien am Wärmeverbrauch erforderlich. Mit der Energieeffizienzstrategie Gebäude hat die Bundesregierung die zukünftige Ausrichtung für diesen Sektor vorgelegt. Hierin integriert sind der Strom-, Wärme- und Effizienzbereich. Damit soll ein klarer Handlungsrahmen für die Energiewende im Gebäudebereich geschaffen werden. Eine im Juni 2017 veröffentlichte Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) ordnet die Energieeffizienzstrategie Gebäude gesamtwirtschaftlich ein und untersucht die Wirkungen zweier Szenarien, die im Rahmen der Begleitforschung zur Energieeffizienzstrategie Gebäude erstellt wurden.

Der Primärenergiebedarf im Gebäudebereich ist im Jahr 2016 gegenüber dem Vorjahr um 3,2 Prozent gesunken. Damit hat er sich gegenüber dem Basisjahr 2008 um 18,3 Prozent reduziert. Im Gegensatz dazu ist der Endenergieverbrauch in Gebäuden im Vergleich zum Jahr 2015 um 4,3 Prozent gestiegen. Gegenüber dem Basisjahr 2008 liegt eine Minderung um 6,3 Prozent vor. Effizienzsteigerungen werden also zum Teil durch höhere Endenergieverbräuche kompensiert. Aus aktueller Sicht ist es daher relativ unwahrscheinlich, dass das Ziel, bis 2020 eine Reduktion von 20 Prozent zu erreichen, zu schaffen ist. Folglich sind erhebliche weitere Anstrengungen erforderlich, um den Endenergieverbrauch im geplanten Rahmen zu senken. Beim Wärmeverbrauch gibt es positive Tendenzen: Der Anteil erneuerbarer Energien am Wärmeverbrauch betrug im Jahr 2016 13,2 Prozent. Dies kommt dem 2020-Ziel von 14 Prozent bereits sehr nahe.

Forschen, entwickeln und fördern

Energiesparende Gebäude, integrative Energiekonzepte und innovative, effiziente sowie wirtschaftliche Versorgungsstrukturen für Quartiere tragen wesentlich zu einer erfolgreichen Energie- und Wärmewende in Deutschland bei. In Forschung und Entwicklung gewinnen Themen wie

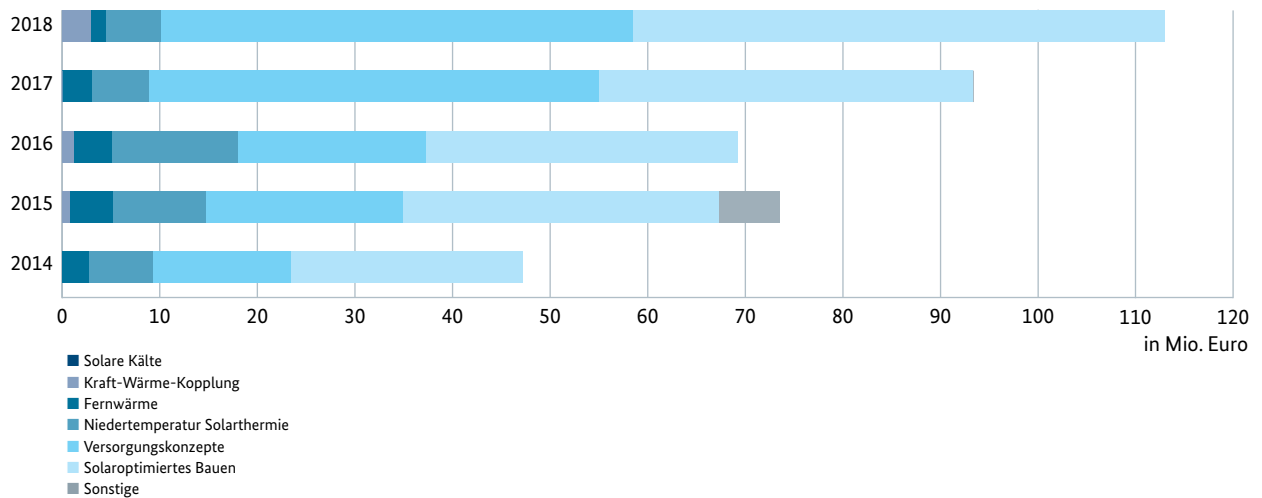
Energieoptimierte Gebäude und Quartiere: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018





Gebäude haben vermehrt energetische Schnittstellen zu Nachbargebäuden.

Energieoptimierte Gebäude und Quartiere: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014



Die Bundesregierung strebt für das Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand an.

Sektorkopplung und Digitalisierung zunehmend an Bedeutung. Gebäude und Quartiere sollen flexibel und bedarfsgesteuert mit den Netzen interagieren. Sie spielen als Verbraucher, Erzeuger, Speicher sowie als Energieverteiler im Energiesystem eine zentrale Rolle. Die Strom-, Wärme- und Verkehrssektoren werden hierfür intelligent verknüpft. Zudem sollen Unternehmen und private Bauherren vermehrt digitale Optionen nutzen, wenn sie Gebäude planen oder bewirtschaften. Dazu zählt etwa das weiterentwickelte, anbindungsfähige Building Information Modelling (BIM), mit dem die Energieeffizienz von Objekten berechnet werden kann. Auch der Mobilfunkstandard 5G könnte in der Gebäudetechnik und bei den vorgelagerten, elektrischen

Im Gespräch: Mobilfunkstandard 5G

Wenn Geräte miteinander kommunizieren



PD Dr.-Ing. habil. Joachim Seifert von der Technischen Universität Dresden ist neben Professor Dr.-Ing. Dirk Müller von der RWTH Aachen Koordinator des Projekts National 5G Energy Hub.

Mit der fünften Generation des Mobilfunks (5G) können Geräte wie Heizungen, Maschinen oder Autos fast in Echtzeit Informationen untereinander austauschen. Dabei bewegen sich riesige Datenmengen von A nach B. Das so genannte „Internet der Dinge“ wird sich auch auf die Gebäudetechnik und die vorgelagerten, elektrischen Verteilsysteme auswirken. Dr. Joachim Seifert beschreibt, mit welchen Entwicklungen Wissenschaftsteams heute schon den Einsatz des 5G-Standards vorbereiten.

Experten schätzen, dass rund 500 Milliarden Dinge des Internets mit dem 5G-Standard in Echtzeit verbunden werden können. Welche „Dinge“ können dies in Gebäuden sein?

Mit dem 5G-Standard haben wir die Möglichkeit, viele Sachen im Gebäude – also Temperatursensoren, Drucksensoren, Zustandserkennung – zu erfassen, in einer einheitlichen Weise zu strukturieren, weiterzuleiten und dann einer Datenverarbeitung zuzuführen. Eine hohe Datenmengenübertragung und kurze Reaktionszeiten sind Kenngrößen des 5G-Standards. Für den elektrischen Bereich im Gebäude spielt vor allem Latenz, also eine kurze Reaktionszeit, eine wichtige Rolle. Im thermischen Bereich spielen große Datenmengen eine größere Rolle. Insofern macht es Sinn, beides zu kombinieren und im Gebäudebereich anzuwenden.

Wo sehen Sie hier die kritischen Punkte?

Mit Gebäuden adressieren wir kleine Einheiten, die sehr komplex sind. Man hat die Symbiose aus thermischen, elektrischen, zeitkritischen und nicht zeitkritischen Anwendungen und die müssen alle miteinander verschmelzen. Das ist das Entscheidende. Außerdem muss der Aspekt der Privatsphäre, also die Datensicherheit, beachtet werden. Mit der hohen Frequenz von 5G ist eine hohe Datenübertragung und geringe Latenz verbunden. Aber wir müssen auch die Eindringtiefe in das Gebäude berücksichtigen. Die meisten unserer Anlagen befinden sich im Keller. Oder anders formuliert: Der Nachweis, dass diese Signale bis in den Keller kommen, muss noch erbracht werden. Auch dies ist Inhalt unseres Projekts.

Wie wirkt sich die Einführung des neuen Mobilfunkstandards auf die Energieeffizienz aus?

Aktuell werden Anlagen über LAN-Systeme angebunden, also über kabelgebundene Lösungen. Diese sind aber teuer in der Installation und unsere Hoffnung ist, dass durch einen Mobilfunkstandard, eine kabellose Übertragung, die Kosten deut-

Verteilssystemen zukünftig eine größere Rolle spielen. Er ermöglicht etwa, die Daten aus Temperatursensoren, Drucksensoren, Zustandserkennung zu erfassen, in einer einheitlichen Weise zu strukturieren, weiterzuleiten und dann einer Datenverarbeitung zuzuführen. Im Projekt National 5G Energy Hub (siehe auch „Im Gespräch: Mobilfunkstandard 5G“, Seite 94) analysieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die entsprechenden Möglichkeiten.

Integrative Ideen und Konzepte sowie die Partizipation aller beteiligten Akteure zu untersuchen, ist eine zentrale Aufgabe der Forschungsinitiative Energiewendebauen. Diese bündelt alle Aktivitäten für Forschung, Entwicklung

und Demonstration im Bereich Gebäude und Quartiere. Hierzu zählen die Förderschwerpunkte Energieoptimiertes Bauen (EnOB), Energieeffiziente Stadt (EnEff:Stadt), Energieeffiziente Wärme- und Kältenetze (EnEff:Wärme) sowie die Förderbekanntmachungen EnEff.Gebäude.2050 und Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt. Die Teams der wissenschaftlichen Begleitforschung Energiewendebauen werten die geförderten Projekte im Bereich „Energie in Gebäuden und Quartieren“ aus und sorgen für eine Vernetzung der Akteure. Diese findet unter anderem in Form von Veranstaltungen statt, wie zum Beispiel Ende November 2018 im Workshop „Energie-Monitoring und Planungstools für energieoptimierte Gebäude und



Das Forschungsvorhaben N5GEH zeigt, wie der 5G-Mobilfunkstandard für Anwendungen im Gebäude und Quartier genutzt werden könnte.

lich nach unten sinken. Wichtig hierbei ist die Verlässlichkeit der Datenübertragung. Das heißt, eine Funkverbindung darf nicht ausfallen. Außerdem ist mit dem 5G-Standard die Menge der übertragbaren Daten nicht mehr so stark limitiert wie früher. Wir haben nun eine viel größere Bandbreite und können viel mehr damit machen. Damit wird es für die energetischen Fragestellungen natürlich interessant, wenn man so ein Gesamtsystem ordentlich beschreiben und analysieren möchte.

In den nächsten zwei Jahren soll auch eine Open-Source-Plattform geschaffen werden. Wer profitiert davon?

Die Open-Source-Plattform soll langfristig jeder nutzen können und es gibt keine Lizenzgebühren oder Ähnliches. Damit soll die Einstiegsschwelle, sich am Energiemarkt zu beteiligen, deutlich sinken. So ist zum Beispiel eine Einbindung von regionalen Unternehmen im Bereich virtueller Kraftwerke möglich. Auch das Datenmonitoring, also die Zustandserkennung im

Gebäude, ist ein wichtiger Punkt. So kann das Angebot etwa auch für Contracting-Unternehmen interessant sein, die über ihre Anlagen Bescheid wissen wollen. Sie erhalten eine automatische Fehler- und Zustandserkennung ihres thermischen und elektrischen Systems auf lokaler Ebene. Wir haben bereits eine Reihe von Industriepartnern, damit wir nicht ins Blaue hinein Soft- und Hardwareentwicklungen machen, sondern das gezielt für die Unternehmen im Energiemarkt tun.

Das Interview führte Birgit Schneider, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi fördert das Projekt „National 5G Energy Hub – Einführung zukunftssträchtiger Kommunikationsstandards in der Energietechnik“ (Förderkennzeichen 03ET1561A-C) mit rund 3,1 Millionen Euro.

Quartiere“. Hier diskutierten Expertinnen und Experten unter anderem, welche Anforderungen an Monitoring-Konzepte und Planungswerkzeuge bestehen. Ende Januar 2019 fand zum zweiten Mal der Kongress Energiewendebauen in Berlin statt. Akteure aus Praxis, Forschung und Politik präsentierten und diskutierten hier neue Ideen für sektorenübergreifende Lösungen im Gebäude- und Quartiersbereich.

Im Forschungsnetzwerk Energiewendebauen geht es unter anderem darum, den schnellen Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis zu unterstützen sowie Ideen für Förderinstrumente zu entwickeln. Dazu bietet das Netzwerk Vertreterinnen und Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft verschiedene Plattformen, um Informationen

auszutauschen und Kontakte zu intensivieren. Das Forschungsnetzwerk Energiewendebauen ist eine Maßnahme des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE).

Demonstrationsvorhaben sind ein wichtiges Mittel, um Ergebnisse aus der Forschung in die Praxis zu transferieren. Neben der Technik können die Projektbeteiligten hier auch Abläufe auf der Baustelle über Gewerke- und Firmengrenzen hinweg testen. Im Rahmen der gemeinsamen Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ fördern das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im „Modul II: Energieeffiziente Stadt“ aktuell sechs Leuchtturmprojekte. Sie sollen zeigen, wie durch Innovationen und intelligente Vernetzung energetisch hochwertige, lebenswerte

Im Blickpunkt: Innovationen für Stadtquartiere der Zukunft

Vom Fliegerhorst zum Wohnquartier

In Oldenburg planen 21 Projektpartner auf dem ehemaligen Fliegerhorst ein Stadtquartier, das in seiner Infrastruktur die Sektoren Strom, Wärme, Kälte und Elektromobilität koppelt und den Energiehandel unter Nachbarn möglich macht.

Auf knapp 4 Hektar des ehemaligen Fliegerhorsts in Oldenburg entsteht bis 2022 ein vernetztes, emissionsarmes Stadtquartier mit etwa 110 Wohneinheiten, die ihren Energiebedarf zum größten Teil aus lokal erzeugter Energie abdecken sollen. **ENaQ – Energetisches Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg** ist so konzipiert, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das geplante Smart-City-Konzept erproben und direkt im System optimieren können. Das Konsortium mit überwiegend regionalen Partnern aus Industrie und Forschung will die Sektoren Strom, Wärme, Kälte und Elektromobilität in einem multimedialen Energiesystem auf lokaler Ebene vernetzen. Verschiedene Szenarien zur Energieerzeugung sollen simuliert und hinsichtlich unterschiedlicher Bewertungskriterien miteinander verglichen werden, um dann geeignete Systemlösungen für eine dezentrale Energieversorgung zu entwickeln.

„Zu den Kernthemen des Projekts gehört die Frage, wie die lokale Energiegemeinschaft eines Nachbarschaftsquartiers sozial und wirtschaftlich konzipiert sein muss, um für Anwohner, Energieerzeuger und Dienstleister langfristig attraktiv und betriebswirtschaftlich tragbar zu sein“, sagt der wissenschaftliche Projektkoordinator Professor Dr. Sebastian Lehnhoff von OFFIS – Oldenburger Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Informatikwerkzeuge und -systeme.

Für das Konzept des nachbarschaftlichen Energiehandels wird im Forschungsvorhaben ENaQ eine offene, flexible und zugleich sichere digitale Service-Plattform entwickelt, mit der Transaktionen abgewickelt werden. Über eine App sollen sich die Bewohnerinnen und Bewohner als Produzenten und Verbraucher aktiv am Energiehandel beteiligen und sich zu lokalen Energiegenossenschaften zusammenschließen. So können sie zum Beispiel auswählen, aus welcher regenerativen Quelle sie Energie beziehen und wohin sie überschüssige Energie abgeben und verkaufen wollen. Die digitale Plattform ist Basis für das intelligente Last- und Beschaffungsmanagement des Quartiers: Überschüssige Energie wird umgewandelt und gespeichert oder ins vorgelagerte Stromnetz eingespeist. Fehlende Energiemengen werden aus den Speichern oder dem vorgelagerten Stromnetz bezogen. Weiter liefert die digitale Plattform Prognosen zum Bedarf an Strom, Raumwärme, Warmwasser und Mobilität.

„Neben den technischen Fragen für die Umsetzung einer sicheren und datenschutzkonformen Plattform zum lokalen Energieaustausch werden soziale und wirtschaftliche Aspekte untersucht, um eine möglichst hohe Akzeptanz bei Anwohnern, Energieanbietern und Dienstleistern zu erreichen“, sagt Sebastian Lehnhoff. Bei der Planung des „Energetischen Nachbarschaftsquartiers“ wird sich die Öffentlichkeit zu einigen Fragestellungen beteiligen können. Gewünscht ist sowohl eine gute Durchmischung von Reihen- und Mehrfamilienhäusern als auch von Eigentums- und Mietwohnungen. Die ersten Gebäude werden voraussichtlich Ende 2020 bezogen. Anschließend erfolgt eine etwa zwei Jahre andauernde Evaluation der energetischen Quartierskonzepte. Die gewonnenen Erfahrungen sollen in den Aufbau und Betrieb weiterer energetischer Nachbarschaftsquartiere einfließen.

Häuser und Quartiere entstehen können. Die Vorhaben befinden sich in Kaiserslautern (Pfaff), Esslingen (Stadtquartier ES-West-P2G2P), Heide/Holstein (Quarree 100), Zwickau (ZED) und bei einem kommunenübergreifenden Vorhaben in Stuttgart und Überlingen (Stadtquartier 2050 – Herausforderungen gemeinsam lösen). Im Leuchtturmprojekt in Oldenburg (ENaQ – Energetisches Nachbarschaftsquartier) planen 21 Projektpartner auf knapp 4 Hektar des ehemaligen Fliegerhorsts ein vernetztes, emissionsarmes Stadtquartier mit etwa 110 Wohneinheiten. Das Viertel soll bis 2022 fertig sein und in seiner Infrastruktur die Sektoren Strom, Wärme, Kälte und Elektromobilität koppeln und den Energiehandel unter Nachbarn möglich machen (siehe auch „Im Blickpunkt: Innovationen für Stadtquartiere der Zukunft“, Seite 96).

Die Vernetzung auf internationaler Ebene soll auf Grundlage bestehender Kooperationsformate weiter ausgebaut werden. Deutschland arbeitet länderübergreifend in der D-A-CH-Forschungskoope-ration mit Österreich und der Schweiz zusammen. Im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA) ist Deutschland an multilateralen Forschungskoope-rationen im Bereich Gebäude und Quartiere beteiligt.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich energieoptimierte Gebäude und Quartiere hat das BMWi 2018 insgesamt 234 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 113 Millionen Euro bewilligt (2017: 170 Projekte für rund 93,4 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 67,2 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2017: rund 58,8 Millionen Euro).



ENaQ – Energetisches Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg ist eines von sechs Leuchtturmvorhaben der Förderinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt.

ENaQ ist eines von sechs Leuchtturmprojekten der in 2016 gestarteten Förderinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt des BMWi und BMBF, in denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler praxisrelevante und zukunftsweisende Gesamtkonzepte für energieeffiziente Quartiere konzipieren.

Das BMWi fördert ENaQ, kurz für „Energetisches Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg“ (Förderkennzeichen 03SBE111A-L, N-V), mit rund 8,5 Millionen Euro, das BMBF stellt rund 9,8 Millionen Euro zur Verfügung.



Im deutsch-österreichischen Forschungsvorhaben SolarAutomotive hat ein Forscherteam untersucht, für welche Produktionsprozesse sich Solarwärme am besten eignet und wie sie sich effizient und wirtschaftlich in bestehende Wärmeversorgungsstrukturen integrieren lässt.

Projekte

Solare Prozesswärme für die Autoindustrie

Die Solarthermie ist ein wesentlicher Baustein für die Wärmewende und neben Gebäuden und Quartieren auch in Industrie und Gewerbe sinnvoll und wirtschaftlich einsetzbar: Im deutsch-österreichischen Forschungsvorhaben **SolarAutomotive** haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Einsatz solarer Prozesswärme in der Automobil- und Zulieferindustrie erforscht. Das deutsche Forscherteam der Universität Kassel und der Stiftung für Ressourceneffizienz und Klimaschutz hat an 19 Standorten deutscher Unternehmen untersucht, für welche Produktionsprozesse sich Solarwärme am besten eignet und wie sie sich effizient und wirtschaftlich in bestehende Wärmeversorgungsstrukturen integrieren lässt. Das Spektrum reichte von betrieblichen Wärmenetzen über beheizte Bäder und Warmwassererzeugung bis hin zu raumlufttechnischen Anlagen und Trocknungsprozessen. Das Forscherteam hat zum Beispiel Konzepte entwickelt, die Solarthermie mit Wärmepumpen oder Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen kombinieren oder elektrisch beheizte Behandlungsbäder auf eine wassergeführte und solarunterstützte Wärmeversorgung umstellen. Aus den firmenspezifischen Anlagenkonzepten sind allgemeine Integrationsmöglichkeiten abgeleitet worden, die branchenunabhängig anwendbar sind, die Planungsdauer und -kosten verkürzen sowie die Qualität und Effizienz der zukünftig umgesetzten Anlagen erhöhen. Im Forschungsvorhaben sind computergestützte, branchenunabhängige Werkzeuge entwickelt worden, die von Solarfirmen, Ingenieurbüros und Energieberatern zur Vorplanung solarer Prozesswärme genutzt werden können.

Das BMWi hat das Projekt SolarAutomotive, kurz für „Solare Prozesswärme für die Automobil- und Zulieferindustrie“ (Förderkennzeichen 325863A-B), mit rund 800.000 Euro gefördert.

Fernwärmenetz integriert Abwärme und Solarenergie

Im Forschungsvorhaben **Wärmedrehscheibe II** – Erneuerbare Fernwärme 2020 soll der Anteil regenerativer Wärme im Fernwärmenetz von Hennigsdorf bei Berlin bis zum Jahr 2022 auf über 80 Prozent ausgebaut werden. Aktuell liefern erneuerbare Energieträger bereits die Hälfte der örtlichen Fernwärme. Die Kraftwerks- und Projektentwicklungsgesellschaft Hennigsdorf, die Stadtwerke sowie die Unternehmen Ruppin Consult und Tetra Ingenieure als auch die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Solites-Steinbeis Innovation haben in einer ersten Phase des Forschungsvorhabens das Fernwärmenetz sowie die solarthermischen und die vorhandenen Abwärmepotenziale analysiert. In einer zweiten Phase sollen die Abwärme des örtlichen Stahlwerks, Solarwärme großer Solarkollektorfelder sowie Power-to-Heat aus regenerativem Überschussstrom in das Fernwärmenetz integriert werden. Aus dem Stahlwerk ist eine thermische Leistung von rund 6 Megawatt für die Fernwärme nutzbar. Die Abwärme fällt jedoch sehr unregelmäßig an. Gleichzeitig soll dezentral produzierte Wärme, zum Beispiel aus Solarthermieanlagen, im Wärmenetz aufgenommen werden. Ein multifunktionaler Großwärmespeicher schafft dafür die notwendige Flexi-

bilität: Er kann die nicht benötigte Wärme aufnehmen, diese über lange Zeiträume speichern und im Netz kurzzeitig Leistungsspitzen ausgleichen. Zusätzlich wird die Effizienz des Fernwärmenetzes verbessert. Hennigsdorf ist damit ein zukunftsweisendes Beispiel für eine regenerative Wärmeversorgung eines Quartiers oder einer ganzen Stadt. Das historisch gewachsene Bestandsnetz von Hennigsdorf ist typisch für eine mittelgroße deutsche Stadt und kann damit als Vorbild dienen, solche Netze hin zu einer klimaneutralen Fernwärmeversorgung weiterzuentwickeln.

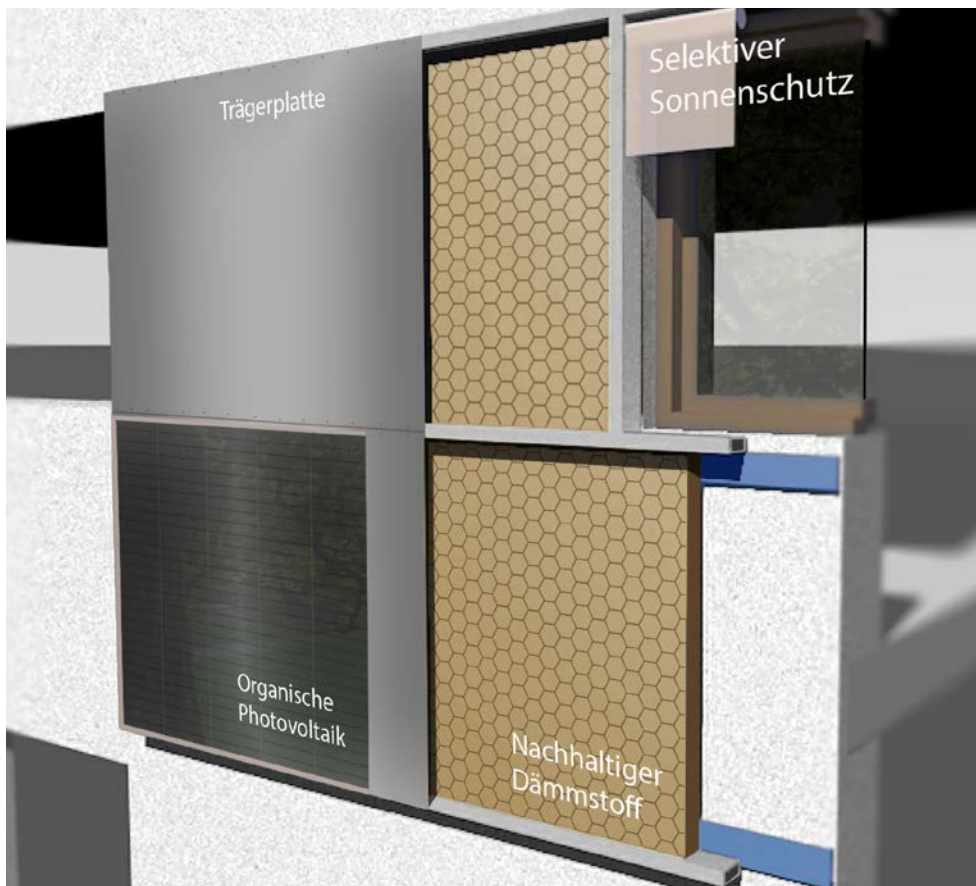
Das BMWi fördert das Projekt „Wärmedrehscheibe II – Erneuerbare Fernwärme 2020 – das multifunktionale Fernwärmenetz als Wärmedrehscheibe“ (Förderkennzeichen 03ETS002A-B) mit rund 3,8 Millionen Euro.

Eine modulare und aktive Fassade für Wohngebäude

Die Fassade kann als Abschluss der Gebäudehülle heute weitaus mehr als nur die Wärme- und Schalldämmung, den Schutz gegen Witterungseinflüsse und statische Funktionen übernehmen. Die Fassade ist multifunktional: Solarmodule können thermische und elektrische Energie aus Solarenergie erzeugen, mittels Sensoren werden Sonnenschutz und Beleuchtung des Gebäudes vollautomatisch gesteuert, Lüftungssysteme und andere Technologien

werden in die Fassade integriert. In Forschung und Entwicklung geht es vor allem darum, diese Multifunktionalität intelligent zu kombinieren. Im Forschungsvorhaben **Fassade³** entwickelt ein Wissenschaftsteam unter Leitung der Technischen Hochschule Nürnberg ein multifunktionales Fassadenelement. Der Fokus liegt auf der Weiterentwicklung innovativer Komponenten und der Demonstration einer effizienten, aktiven und modularen Fassade. Zur Stromerzeugung in der Fassade wird organische Photovoltaik (PV) genutzt: flexible, gedruckte Dünnschichtmodule, die als (semi-)transparente Folie ausgeführt werden und im Gegensatz zu Standard-PV-Modulen mehr Möglichkeiten für optisch ansprechende Lösungen bieten. Ein regelbarer, selektiv beschichteter Sonnenschutz reduziert die solare Einstrahlung im Sommer bei gleichzeitig hohem Tageslichteinfall. Die Wärmedämmung wird aus nachwachsenden Rohstoffen entwickelt. Ein hoher Vorfertigungsgrad des Elements und die modulare Bauweise sollen einen wirtschaftlichen Einsatz ermöglichen. Nach der Planungs- und Entwicklungsphase demonstrieren die Forscherinnen und Forscher das Fassadenelement an einem mehrgeschossigen Wohngebäude.

Das BMWi fördert **Fassade³**, kurz für „Entwicklung eines multifunktionalen Fassadenelementes mit hohem Vorfertigungsgrad“, mit rund 1,8 Millionen Euro unter Modul I der Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ (Förderkennzeichen 03SBE0008A, C-G).



Im Forschungsvorhaben **Fassade³** entwickelt ein Wissenschaftsteam ein multifunktionales Fassadenelement.



A photograph of a modern industrial factory interior. The scene is dominated by large, silver, insulated pipes that run vertically and horizontally across the frame. In the foreground and middle ground, several yellow robotic arms are visible, some holding white plastic components. The background shows a complex network of steel beams and overhead lighting, creating a sense of a large, well-lit industrial space.

Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Um das Energieeffizienzpotenzial in der Industrie weiter zu heben, sind die Produkte entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu betrachten und aktuelle Entwicklungen der Digitalisierung im Blick zu behalten.

Intelligente Sensoren für die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine, künstliche Intelligenz in der Produktion sowie Strom aus erneuerbaren Energien flexibel einzubinden, sind Herausforderungen für Forschung und Entwicklung. Um die Chancen der Digitalisierung für Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen nutzbar zu machen und wettbewerbsfähig zu bleiben, sind systemübergreifende Lösungen weiterzuentwickeln und der Transfer von Forschungsergebnissen in Produkte und Geschäftsmodelle der Wirtschaft zu beschleunigen.

Rund 30 Prozent des Endenergieverbrauchs entfallen in Deutschland auf die Industrie. Zwei Drittel davon benötigt der Sektor in Form von Wärme. Für die Forschung gilt es, individuelle Wege zu finden, um die benötigte Wärmeenergie zu senken und gleichzeitig die Produktqualität beizubehalten. Wichtigster Energieträger der Industrie ist Strom und sein Anteil steigt mit Zunahme digitalisierter und automatisierter Prozesse. Als großer Stromabnehmer ist der Sektor darauf angewiesen, verlässlich und kostengünstig mit Energie versorgt zu werden. Wie Strom aus schwankenden, erneuerbaren Energiequellen flexibel für Industrie und Handel, Gewerbe und Dienstleistungen genutzt werden kann, gehört deshalb zu den Herausforderungen von Forschung und Entwicklung. Viele technische Prozesse nutzen die eingesetzte Energie nur zu 30 bis 40 Prozent, während der Rest als Abwärme verloren geht. Hier gilt für Forscherinnen und Forscher, diese Potenziale weiter zu heben sowie wirtschaftlich und ökologisch nutzbar zu machen.

Die Energieeffizienz in den Industriebranchen zu steigern, ist ein Schlüsselfaktor der Energiewende. Damit das gelingt, ist die Energiebilanz entlang des gesamten Lebenszyklus der Produkte zu betrachten: von der Rohstoffgewinnung über die Verarbeitung, Fertigung und den Energieverbrauch während der Nutzungsphase bis hin zur Entsorgung oder Aufarbeitung am Ende der Lebensdauer. Wenn Energie in der Produktion effizienter eingesetzt wird, spart das Kosten. Daher trägt ein effizienter Umgang mit Energie auch dazu bei, dass Unternehmen wettbewerbsfähig bleiben.

Sowohl in der Industrie als auch in den Sektoren Gewerbe, Handel und Dienstleistungen müssen Energieeffizienzpotenziale systematisch für eine erfolgreiche Energiewende ausgeschöpft werden. An vielen Stellen sind diese Potenziale

mittlerweile nahezu ausgereizt. Deshalb arbeiten Forschung und Entwicklung daran, gesamte Herstellungsprozesse vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt energetisch zu optimieren.

Forschen, entwickeln und fördern

Energieeffizienzmaßnahmen und die Integration von Strom aus erneuerbaren Energiequellen federn bereits heute in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen gesteigerte Kosten teilweise ab. Aufgabe von Forschung und Entwicklung ist es, weitere Effizienzpotenziale zu erschließen und die Handlungsperspektive von unabhängigen Einzelprozessen auf technologieübergreifende Effizienzstrategien zu erweitern. Industrieprozesse müssen flexibler und CO₂-ärmer werden, damit sie leichter in das sich transformierende Energiesystem eingebunden werden können.

Auch die CO₂-Kreislaufwirtschaft nimmt in der Industrie eine wichtige Rolle ein. Beispielsweise werden in der Fertigung von Kunststoffbauteilen mittels 3D-Druck nach dem Stand der Technik bis zu 50 Prozent des verwendeten Pulvers ungenutzt entsorgt. Ein neuartiges Pulver besitzt Eigenschaften, in den Prozess zurückgeführt und damit recycelt zu werden. Im Forschungsvorhaben PolySLS arbeitet das Forscherteam außerdem daran, mithilfe des innovativen Pulvers beim 3D-Druck bis zu 25 Prozent Energie einzusparen (siehe auch „Innovatives Polymerpulver für den 3D-Druck“, Seite 104).

Der Einsatz künstlicher Intelligenz in der Produktion reduziert den Energieverbrauch, schont Ressourcen und unterstützt die Ziele des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung.



Wachstum, Beschäftigung und Wettbewerbsfähigkeit in der Industrie sind immer stärker mit dem Thema Energieeffizienz verknüpft.

Um auch international weiter wettbewerbsfähig zu bleiben, muss künftig in Deutschland die Digitalisierung in der Produktion deutlich an Fahrt und Breite gewinnen. Verfügten 2016 nur 46 Prozent der Industrieunternehmen über hoch digitalisierte interne Prozesse, sind es inzwischen bereits 58 Prozent. Eine digitalisierte Produktion schafft Transparenz, muss aber auch gegen technisches Versagen und Sabotage abgesichert sein. Für die Forschungsförderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) sind zwei Bereiche zentral: Die Anwendungen von künstlicher Intelligenz für die Energieeinsparung und ein besserer Transfer von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen in die unternehmerische Praxis.

Sensoren und künstliche Intelligenz eröffnen der Produktion vollkommen neue Möglichkeiten. Im Forschungsvorhaben μ PAS II bauen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beispielsweise einen miniaturisierten photoakustischen Sensor. Dieser kann Gase in Transformatoren und Verbrennungsanlagen messen und so die Prozesse optimieren (siehe auch „Mit Photoakustik Gase messen und industrielle Prozesse optimieren“, Seite 106).

Eine vollautomatisierte Kanalballenpresse auf Basis künstlicher Intelligenz entwickelt ein Wissenschaftsteam im Forschungsvorhaben vKBP. Die Maschine lernt durch Analyse komplexer Daten selbständig, wie sie in einem Abfallbetrieb das Transportvolumen recyclingfähiger Stoffe möglichst energieeffizient verringert und einen optimal dichten Ballen presst (siehe auch „Im Gespräch: Künstliche Intelligenz in der Abfallwirtschaft“, Seite 108). Die breitere Anwendung künstlicher Intelligenz bietet ein riesiges Wachstumspotenzial für den Industriestandort Deutschland: Mit künstlicher Intelligenz können enorme Datenmengen, die Maschinen in der Produktion erzeugen, effektiv und effizient verarbeitet, ausgewertet und nutzbar gemacht werden. Das ist nicht nur die Basis für eine hochautomatisierte und optimierte Produktion, sondern auch Grundlage für ganz neue, datenbasierte Geschäftsmodelle.

Insgesamt setzt die Forschungsförderung sowohl auf die kontinuierliche Weiterentwicklung vorhandener als auch auf die Schaffung neuer, noch nicht am Markt etablierter Technologien, innovativer Komponenten, Prozesse sowie Verfahren zur Effizienzsteigerung und CO₂-Minderung.

Im Blickpunkt: Additive Fertigung von Kunststoffen

Innovatives Polymerpulver ermöglicht Recycling und spart Energie beim 3D-Druck

Mit einem neuartigen Polymerpulver auf Basis von Styrol könnten in Zukunft beim 3D-Druck bis zu 25 Prozent Energie eingespart werden. Das Pulver verbindet Eigenschaften teilkristalliner und amorpher Polymere.

Beim selektiven Lasersintern (SLS) werden Pulverpartikel mit einem Laser geschmolzen und Schicht für Schicht aufgebaut. Auf diese Art und Weise lassen sich komplizierte, dreidimensionale Objekte aus Kunststoff in jeder denkbaren Form herstellen. Bisher ist das selektive Lasersintern noch sehr energieaufwändig: Über mehrere Stunden bis Tage werden hohe Temperaturen von circa 170 Grad Celsius benötigt, um die Pulverpartikel zu schmelzen. Im Forschungsvorhaben **PolySLS** entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein Polymerpulver auf Basis von Styrol, das einen geringeren Schmelzpunkt als das bisher im Prozess verwendete Polymerpulver auf Basis von Polyamid hat. Mit dem neuartigen Polymerpulver will das Forscherteam die Temperatur und die Zykluszeit des Bauprozesses im 3D-Druck reduzieren sowie die Recyclingquote des Pulvers verbessern. „Ein großer Anteil an überschüssigem Pulver kann für einen nächsten Prozess beziehungsweise Folgedrucke wiederverwendet werden. Aufgrund der niedrigeren Vorwärmtemperatur ist der Zersetzungsgrad des styrolbasierten Polymerpulvers geringer“, sagt Projektleiterin Bianca Wilhelmus von INEOS Styrolution. In der additiven Fertigung von Kunststoffen müssen bisher bis zu 50 Prozent des herkömmlich verwendeten Pulvers entsorgt werden, das nach dem 3D-Druck überschüssig zurückbleibt.

Das neuartige Polymerpulver kombiniert positive Eigenschaften eines teilkristallinen und amorphen Polymers: Während teilkristalline Polymere das gezielte Aufschmelzen und Wiedereinstellen ermöglichen, kristallisieren amorphe Polymere beim Abkühlen nicht. Durch ihren geringen Volumenschwund verhindern sie, dass sich Bauteile verziehen und führen so zu weniger Maß- und Formabweichungen. Aktuell führen solche Abweichungen beim selektiven Lasersintern noch zu hohen Ausschussraten.

„Das Kombinieren unterschiedlicher Polymere auf molekularer Ebene zu einem Blend erfordert jedoch einen speziell auf beide Komponenten abgestimmten Verträglichkeitsvermittler“, erklärt Bianca Wilhelmus. Das Forscherteam hat die optimale Polymerkombination und den optimalen Verträglichkeitsvermittler in diversen Druckversuchen im Labor untersucht.

Die Polymerblends liegen nach der Compoundierung – so nennt sich das Verfahren, bei dem Polymere geschmolzen und mit Zusätzen gemischt werden – als Granulat vor. Dieses muss zu einem Pulver vermahlen werden, das dann Schicht für Schicht im Lasersinterprozess aufgebracht wird. Im Forschungsvorhaben arbeitet das Wissenschaftsteam auch daran, den Mahlprozess zu optimieren.

Das BMWi fördert das Verbundvorhaben PolySLS, kurz für „Kunststoff-Blends für das selektive Lasersintern“ (Förderkennzeichen 03ET1505A), mit rund 650.000 Euro.



Im Forschungsvorhaben PolySLS hat das Wissenschaftsteam im selektiven Lasersintern (SLS)-Verfahren Zugprüfstäbe aus dem neuartigen Kunststoffpulver hergestellt.

Projekte

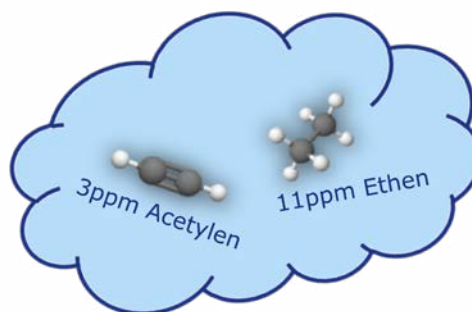
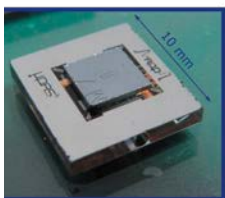
Mit Photoakustik Gase messen und industrielle Prozesse optimieren

Mit den Industriepartnern Micro-Hybrid Electronic, nanoplus Nanosystems and Technologies, MESSKO und AVL Emission Test Systems haben Forscherinnen und Forscher des Sensorik-Applikationszentrums (SappZ) der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg (OTH) im Forschungsvorhaben **μPAS I** ein photoakustisches Messsystem für die Spurenanalytik von Prozessgasen entwickelt. In **μPAS II** baut das Wissenschaftsteam nun einen miniaturisierten photoakustischen Sensor und testet diesen in Transformatoren und Verbrennungsanlagen mit unterschiedlichen Realgasumgebungen. Seinem Einsatz in industriellen Prozessen wird ein großes Potenzial zugeschrieben, Energie einzusparen und Effizienz zu steigern. Der photoakustische Sensor kann durch die Entstehung eines Schallsignals nach Lichtabsorption hochsensitiv Gase – wie zum Beispiel Stickstoffdioxid oder kurzkettige Kohlenwasserstoffe – identifizieren und quantifizieren. Dieser Effekt ist vielfältig nutzbar. So lässt sich etwa die Effizienz von Motoren steigern oder eine Datenbasis zum Ammoniak-Ausstoß in der Landwirtschaft aufbauen. Der photoakustische Sensor überwacht außerdem die Alterungsprozesse in Isolierölen, etwa in Hochleistungstransformatoren, und kann so bedarfsgerecht Wartungsintervalle definieren. Die Messungen im Prüfstand des Forschungsvorhabens liefern Erkenntnisse über den anwendungsspezifischen industriellen Einsatz eines optimierten Sensorkonzepts und liefern die Basis, photoakustische Sensorelemente für einen serientauglichen Bau weiterzuentwickeln.

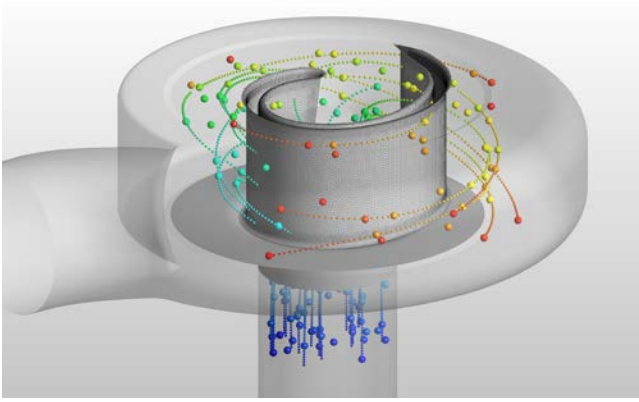
Das BMWi fördert das Projekt **μPASII**, kurz für „Miniaturisierter photoakustischer Gassensor als Applikation zur Effizienzsteigerung von Verbrennungsprozessen und von Energietransportprozessen“ (Förderkennzeichen 03ET1317A-D), mit rund 1,3 Millionen Euro.

Fluid-Feststoff-Strömungen verstehen und energieeffizienter pumpen

Kreiselpumpen transportieren neben Wasser auch feststoffbeladene Fluide wie Abwasser oder Schlamm. Sie haben wenige, teils sogar nur eine einzige Schaufel, damit auch Feststoffe die Pumpe passieren können. Im Vergleich zu Trinkwasser- oder Heizungsumwälzpumpen erreichen sie mit der groben Bauform einen geringeren Wirkungsgrad. Im Forschungsvorhaben **1aPump** wollen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Wirkungsgradpotenziale identifizieren, die mit optimierten Laufrad-Geometrien genutzt werden können. Auf Basis der freien Simulationssoftware OpenFOAM entwickelt das Forscherteam des Pumpenherstellers Wilo SE und der Ruhr-Universität Bochum etablierte Methoden zur numerischen Strömungs- und Schwingungsanalyse weiter. Diese sollen im Vorhaben experimentell an 1- und 2-Schaufelpumpen validiert werden, um sie stellvertretend für Pumpen zur Förderung von feststoffbeladenen Fluiden anzuwenden. So können Wirkzusammenhänge zwischen Pumpendesign, Betriebspunkt, Schwingungsanregung sowie Verstopfungsneigung besser verständlich gemacht und Designmaßnahmen für effizientere und dennoch verstopfungsresistente Kreiselpumpen abgeleitet werden.



In **μPAS II** baut ein Wissenschaftsteam einen miniaturisierten photoakustischen Sensor und testet diesen in Transformatoren und Verbrennungsanlagen mit unterschiedlichen Realgasumgebungen.



Forschungsvorhaben 1aPump: Mit Strömungssimulationen identifiziert das Wissenschaftsteam Wirkungsgradpotenziale für effizientere und verstopfungsresistente Kreiselpumpen.

Das BMWi fördert das Projekt 1aPump, kurz für „Einsatz von 3D-Simulationsmethoden zur Steigerung des Wirkungsgrades von 1- und 2-schaufeligen Pumpen und zur energieeffizienten Förderung feststoffbeladener Fluide“ (Förderkennzeichen 03ET1508A-B), mit rund 500.000 Euro.

Flüssigkeiten energieeffizient trennen

Schwerkraft-Abscheider kommen in der Chemie-, Mineralöl-, Lebensmittel- und Pharma-Industrie zum Einsatz. Sie trennen zweiphasige Gemische aus organischen und wässrigen Flüssigkeiten: Das sind zum Beispiel Kohlenwasserstoffe und Wasser, Lösungsmittel und Wasser oder Methylester und Glycerin. Um einen verfahrenstechnisch sicheren Trennprozess der Flüssigkeiten zu gewährleisten, sind Schwerkraft-Abscheider in der Praxis bisher meist überdimensioniert und führen so zu einem unnötig hohen Energieverbrauch. Im Forschungsvorhaben **ERICAA** wollen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf Basis von Strömungssimulationen einen praxisgerechten Auslegungsstandard für Schwerkraft-Abscheider entwickeln. Prozessdaten und Messergebnisse von Versuchsanlagen liefern dem Forscherteam genaue Informationen zum Strömungsverlauf der Flüssigkeiten sowie zur Verweilzeit und Verteilung der Tropfen im Behälter. Die prozessrelevanten Parameter zum Verhalten der Tropfen sollen aus parallel stattfindenden Untersuchungen isoliert werden. Dazu zählen neben den Stoffeigenschaften Tropfengröße und -spektrum sowie Koaleszenz- und Grenzflächen-Eigen-

Im Projekt MagMed werden magnetokalorische Kühlsegmente entwickelt, charakterisiert und für eine effiziente Kühlung ohne schädliche Kältemittel im Medizintechnikbereich optimiert.



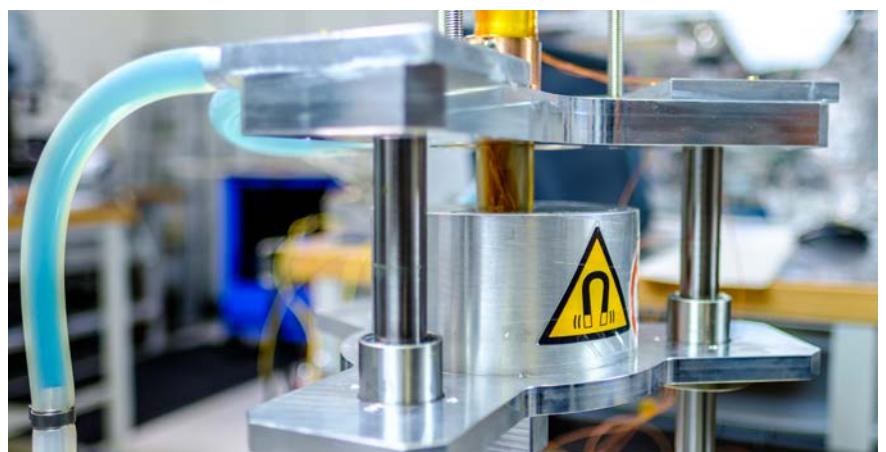
Im Forschungsvorhaben ERICAA entwickelt ein Wissenschaftsteam auf Basis von Strömungssimulationen einen praxisgerechten Auslegungsstandard für Schwerkraft-Abscheider.

schaften der beteiligten Flüssigkeiten. Das Wissenschaftsteam – sechs Industrieunternehmen und drei Universitäten, koordiniert von Franken Filtertechnik – prognostiziert der neu zu entwickelnden Methodik zur Auslegung von Abscheidern ein Energieeinsparpotenzial von bis zu 60 Prozent bei Neuinvestitionen und eine bedarfsgerechte Optimierung bereits bestehender Anlagen. Weiter soll ERICAA dazu beitragen, die deutsche Chemieindustrie mit ihren Zulieferbetrieben besser auf den Rohstoffwandel hin zu biogen basierten Produkten vorzubereiten.

Das BMWi fördert das Projekt ERICAA, kurz für „Energie- und Ressourceneinsparung durch innovative und CFD-basierte Auslegung von Flüssig/Flüssig-Schwerkraft-Abscheidern“ (Förderkennzeichen 03ET1391A-F), mit rund 1,4 Millionen Euro.

Energieeffizient kühlen mittels magnetokalorischen Effekts

Wenn magnetokalorisches Material in ein Magnetfeld gebracht wird, richten sich dessen magnetische Dipolmomente im Magnetfeld aus und das Material erwärmt sich. Dieser Effekt ist reversibel und lässt sich umkehren: Bewegt sich das Material aus dem Magnetfeld heraus, verlieren die magnetischen Dipolmomente ihre Orientierung und das Material kühlt sich ab. Im Forschungsvorhaben **MagMed** machen sich das Wissenschaftsteam des Fraunhofer-Instituts für Physikalische Messtechnik (IPM) und



die Industriepartner Philipp Kirsch, Vacuumschmelze und GSI Technology den magnetokalorischen Effekt zunutze: Sie entwickeln auf dieser Basis einen Tiefkühlschrank für die Medizintechnik für Lagertemperaturen bis minus 86 Grad Celsius. Die Wärmeübertragung zwischen magnetokalorischem Material und den Wärmeübertragereinheiten soll über das Verdampfen und Kondensieren eines unbedenklichen und klimafreundlichen Fluids realisiert werden.

Gleichzeitig werden die einzelnen Segmente im System so ausgelegt, dass sie als thermische Diode fungieren. Diese Kombination aus latenter Wärmeübertragung und thermischer Diode ermöglicht ein Kühlsystem, das ohne aktives Pumpen beziehungsweise Schalten von Ventilen auskommt und eine deutlich höhere Effizienz und Wärmepumpleistung erreichen kann. Das magnetokalorische Kühlsystem verspricht im Vergleich zur konventionellen Kompressor-

Im Gespräch: Künstliche Intelligenz in der Abfallwirtschaft

Wie Kanalballenpressen über ein neuronales Netz intelligent gesteuert werden



Dipl.-Ing. Dorothee Säger von Sutco Recycling Technik spricht im Interview darüber, wie die Kanalballenpresse auf Basis künstlicher Intelligenz die Energieeffizienz in der Abfallwirtschaft steigert.

Eine Kanalballenpresse verdichtet sortierte Wertstoffe aus dem Abfall, damit diese platzsparend transportiert und wiederverwertet werden können. Dorothee Säger von Sutco Recycling Technik erklärt im Interview, wie Papier, Karton oder zum Beispiel Kunststoffabfälle mit Methoden der künstlichen Intelligenz optimal und energieeffizient gepresst werden können.

Warum werden recyclingfähige Wertstoffe in einer Kanalballenpresse komprimiert?

Das spart Transportvolumen. Ansonsten haben Sie eine lose Schüttung von Folie oder Kartonagen und fahren mit 15 Lkw statt mit einem. Ein Ballen muss auch die richtige Länge haben, damit beim Transport das Ladevolumen des Lkw optimal genutzt wird. Das rechnet sich in einem Jahr ganz schnell hoch, wenn 40 Ballen in der Stunde gepresst und transportiert werden müssen und einer nicht mehr auf den Lkw passt. Dann braucht jeder Ballen neben der Form auch Stabilität und eine bestimmte Dichte: Ist er zu leicht, wird die Nutzlast des

Lkw nicht erreicht; bei zu dichten Ballen ist er überladen. Die vollautomatische Kanalballenpresse auf Basis künstlicher Intelligenz hilft, den optimalen Ballen herzustellen und Energie einzusparen.

Was unterscheidet die intelligente Kanalballenpresse vom bisherigen Stand der Technik?

Eine Kanalballenpresse muss immer auf das Material, das gerade reinkommt, angepasst und eingestellt werden. Diese eingestellten Maschinenparameter beruhen auf langjähriger Erfahrung. Jede Presse hat nach bisherigem Stand der Technik eine vorgegebene Anzahl von bestimmten Einstellungen. Wir sprechen hier von Rezepten für das Pressen von Mischpapier, Kartonagen, Folien oder zum Beispiel Spänen. Je nach visuellem Eindruck des Materials wählt der Arbeiter, der die Presse bedient, das entsprechende Rezept aus und drückt auf einen Knopf. Die Maschine macht dann genau nach diesem vorgegebenen Standardrezept einen Ballen. Aber eigentlich kann die Maschine viel mehr als diese hinterlegten Standardrezepte, und dieses Potenzial kann mit künstlicher Intelligenz optimal ausgenutzt werden.

Wie genau kann dieses Potenzial der Maschinen mit künstlicher Intelligenz (KI) optimal ausgenutzt werden?

Wir haben ein Materialerkennungssystem an der Presse installiert. Mit Hilfe von Sensoren zeichnet dieses System in Form von Daten auf, wie das Material aussieht, das gerade ankommt. Zunächst haben wir mit dem vorgegebenen Standardrezept gepresst und dann die Ballenqualität genau angeschaut, das heißt Dichte, Stabilität und Form. In ein- einhalb Jahren haben wir so die Qualität von über 8.000 Ballen ausgewertet und damit eine Art neuronales Netz aufgebaut. Aus der Analyse dieser komplexen Daten lernt das System, die Kanalballenpresse so zu steuern, dass ein optimaler Ballen entsteht. Je mehr Daten dabei in das System fließen, desto optimaler und effizienter kann die Maschine in Bezug auf Qualität und möglichst wenig Energieverbrauch pressen.

Technologie einen um 20 bis 30 Prozent besseren Wirkungsgrad. Es kommt ohne schädliche Kältemittel aus und ist damit sicherer. Weiter gibt es keine verschleißanfälligen Teile. Das System ist wartungsarm sowie nahezu geräuschlos und damit überall einsetzbar. Der zu entwickelnde medizintechnische Tiefkühlschrank hat das Potenzial, die magnetokalorische Kühlung und Klimatisierung für breite Marktsegmente in Industrie, Gewerbe und Haushalt zu öffnen.

Das BMWi fördert das Projekt MagMed, kurz für „Entwicklung einer kältemittelfreien und effizienten Kühltechnik“ (Förderkennzeichen 03ET1478A-C), mit rund 1,7 Millionen Euro.



Forschungsvorhaben vKBP: Künstliche Intelligenz regelt die Prozessparameter der Kanalballenpresse so, dass ein optimierter Ballen für den Transport hergestellt wird.

An welchem Punkt stehen Sie aktuell mit Ihrem Vorhaben?

Wir haben das KI-Programm getestet und in einer Versuchsanlage laufen lassen. Es ist schon sehr schön zu beobachten, wie das System zum Beispiel nicht pauschal 120 bar beim Pressen einstellt, sondern zum Beispiel 108 bar. Es sucht sich also im Umfeld der Standardeinstellungen die optimalen Parameter für den optimalen Ballen. Wir hatten jetzt auch schon Auswertungen mit einer Energieeinsparung zwischen 8 und 15 Prozent. Aber das schwankt noch sehr stark, weil die Materialien sehr unterschiedlich sind: Keine Pappe kann mit einer anderen verglichen werden.

Verändert die vollautomatisierte Kanalballenpresse auf Basis von KI die Abfallbranche?

Ja, denn anders als mit physikalischen, funktionalen und regelbasierten Programmen kann mit KI ein optimales Ergebnis prognostiziert werden, im Hinblick auf den Energieeinsatz als

auch auf die zu produzierenden Qualitäten der Ballen. Um noch besser zu werden, wollen wir jetzt mehrere Anlagen mit dieser Technologie ausstatten, um möglichst viele Daten in den nächsten Jahren zu bekommen und die vollautomatisierte Kanalballenpresse weiter zu optimieren.

Das Interview führte Annika Zeitler, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi fördert das Projekt vKBP, kurz für „Energieeffizienz-erhöhung vollautomatischer Kanalballenpressen durch intelligente Stoffdatenerfassung“ (Förderkennzeichen 03ET1326A), mit rund 1,5 Millionen Euro im Rahmen des thematischen Verbunds KIPro mit der Universität Bremen, Agrar frost und Schulz Systemtechnik.

Elektromobilität

Damit die Elektromobilität erfolgreich zur Energiewende beitragen kann, ist neben technologischen Weiterentwicklungen auch eine effiziente Einbindung in das Energiesystem erforderlich.



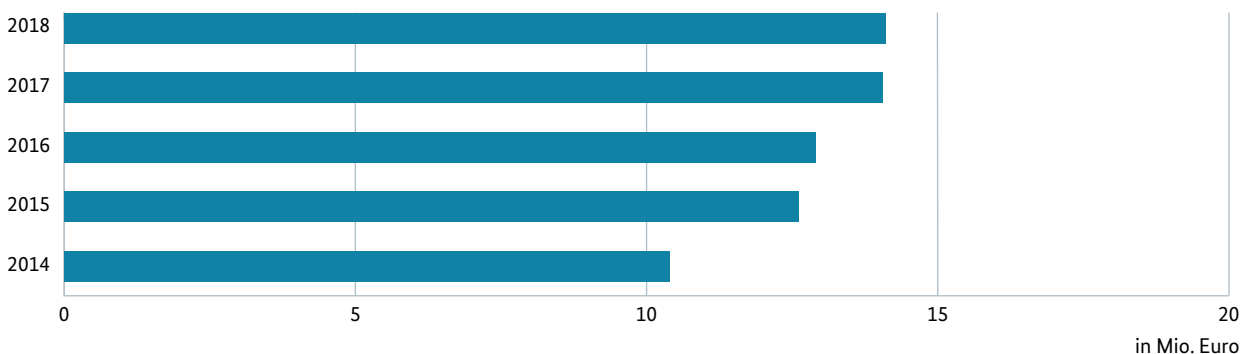
Derzeit bieten deutsche Hersteller 29 verschiedene elektrische Fahrzeugmodelle an, die an rund 9.000 Ladepunkten mit Strom geladen werden können. Expertinnen und Experten arbeiten daran, die Reichweite und Schnellladefähigkeit der Batterien zu verbessern. Um die Elektromobilität erfolgreich in das Energiesystem einzubinden, werden Ladeinfrastruktur und -technik sowie das Lastmanagement weiter optimiert. Als Antriebe bieten sich neben Batterien verstärkt auch Brennstoffzellen an. Mittlerweile gibt es mehr als 50 Wasserstofftankstellen.

Die Elektromobilität bietet viele Vorteile: verbesserter Klimaschutz, neue Märkte und weniger Abhängigkeit von fossilen Energieträgern. Elektrofahrzeuge können deshalb ein wichtiger Baustein der Energiewende sein. Dabei ist auch die deutsche Industrie gefordert, ihre technologische

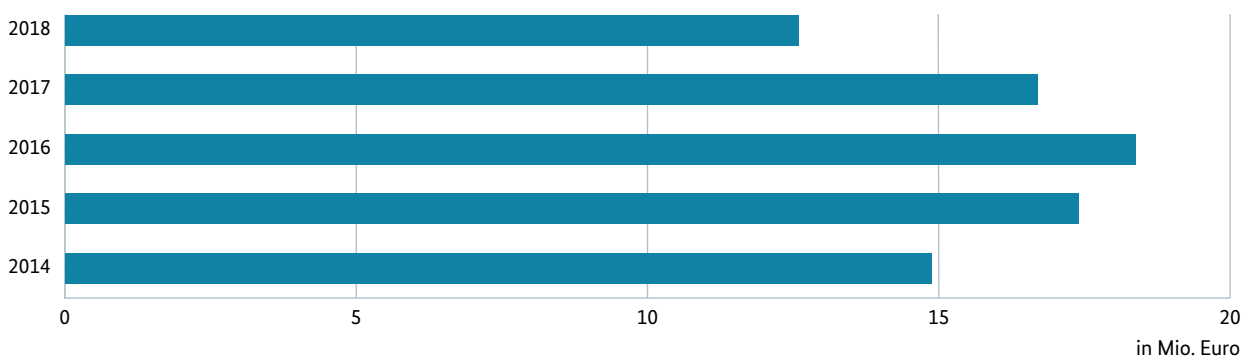
Spitzenstellung bei der Elektromobilität zu sichern. Ziel ist es, Deutschland hier als Leitanbieter und Leitmarkt zu etablieren. Wichtige Schritte in diese Richtung sind Innovationen im Bereich der Fahrzeuge, Antriebe und Komponenten sowie der Konzeptionierung und Fertigung der Batteriezellen. Zusätzlich spielt auch die Integration in das Energiesystem eine wichtige Rolle: Kommt bei der Elektromobilität Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz, trägt dies in optimaler Weise zu nachhaltiger Mobilität bei. Damit dies gelingen kann, muss das Laden und Entladen von Batteriefahrzeugen gesteuert und das Lastmanagement verbessert werden.

Mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellen-Fahrzeuge fahren wie Batteriefahrzeuge praktisch emissionsfrei. Zusätzlich benötigen Brennstoffzellen-Fahrzeuge zum Auftanken nicht wesentlich länger als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Allerdings sind sie noch vergleichsweise teuer. Mit einem neuen, von Daimler entwickelten Elektromodell kann neben Wasserstoff auch Strom getankt werden. Der Autohersteller hat die Brennstoffzellen- und Batterietechnik zu einem Plug-in-Hybrid kombiniert. Die Bundesregierung fördert Projekte, um die Brennstoffzellentechnologie für den Einsatz in Elektrofahrzeugen weiterzuentwickeln (siehe auch Kapitel „Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien“, Seite 62).

Elektromobilität: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018



Elektromobilität: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014



Im Jahr 2018 gehörten in Deutschland nach Informationen des Kraftfahrtbundesamts 83.174 Elektrofahrzeuge und 66.997 Hybridfahrzeuge zum Fahrzeugbestand. Dies bedeutet im Vergleich zum Vorjahr Steigerungen um rund 54 Prozent bei Elektrofahrzeugen und rund 44 Prozent bei Hybridfahrzeugen. 4.262 Elektro-Pkw und 11.672 Hybride sind in 2018 neu zugelassen worden. Das sind rund 40 und 35 Prozent mehr als 2017.

Forschen, entwickeln und fördern

Bis zu 40 Prozent der Wertschöpfung eines Elektrofahrzeugs entfallen auf die Batterie. Sie gilt nach wie vor als Schlüsselement, um künftig elektrisches Fahren für den Massenmarkt attraktiv zu machen. Neue Zelldesigns und Materialien spielen dabei eine genauso wichtige Rolle wie die Batteriezellenproduktion. Mit hierarchisch strukturierten Kompositmaterialien können die elektronischen und ionischen Transportvorgänge in einer Batteriezelle verbessert werden, die Energie- und Leistungsdichte der Batterie erhöht sich. Um diese komplexen Partikelverbundschichten besser verstehen zu können, führen Wissenschaftsteams im Projekt HiKoMat verschiedene Untersuchungen durch (siehe auch „Batterien am Computer optimieren“, Seite 117). Unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE entwickeln Forschende im Projekt HyPowerRange ein System, das Hochenergie- und Hochleistungszellen zu einer modular aufgebauten Gesamtbatterie kombiniert. Dieses Hybridkonzept für Lithium-Ionen-Batterien könnte die Reichweite eines Elektroautos beispielsweise von 400 auf bis zu 450 Kilometer erhöhen (siehe auch „Im Blickpunkt: Batterien für Elektroautos“, Seite 116).

Damit Deutschland Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität werden kann, sind der Aufbau einer großtechnischen Zellfertigung sowie die Produktion von Materialien für Anoden und Kathoden der Lithium-Ionen-Zellen hierzulande sehr wichtig. So hat die Nationale Plattform für Elektromobilität (NPE) einen Produktionsstart für

Kommt bei Elektrofahrzeugen Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz, trägt dies in optimaler Weise zu nachhaltiger Mobilität bei.



Die Ladeinfrastruktur und -technik muss weiter optimiert werden, um die Elektromobilität erfolgreich in das Energiesystem einzubinden.

Batteriezellen im Jahre 2021 sowie den stufenweisen Ausbau einer Zellfabrik empfohlen. Bisher gibt es sechs deutsche Zellhersteller, jedoch noch keine Großserienfertigung. Eine mögliche Ergänzung für Nischenmärkte könnte die Auftragsfertigung kleinerer Serien in flexiblen Fertigungslinien sein. In dem Statusseminar „Batterien“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) diskutierten die Expertinnen und Experten diese Alternative, die in der Halbleiterindustrie als „Foundry-Konzept“ bekannt ist.

Auch der Ausbau einer optimierten Ladeinfrastruktur mit entsprechender Technik zum Laden und Lastmanagement gewinnt an Bedeutung. Ziel des Forscherteams im Projekt ZnMobil ist es, eine skalierbare Zink-Luft-Batterie zu entwickeln, die sowohl mechanisch als auch elektrisch aufgeladen werden kann. Dies führt zu wesentlich kürzeren Ladezeiten als beim gängigen „Stromtanken“. Bei einer intelligenten Kopplung der Ladevorgänge kann die halb feste Zink-Paste (Slurry) an speziellen Tankstellen mechanisch getauscht und an zentralen Punkten bei Verfügbarkeit von regenerativen Energien geladen werden (siehe auch „Flexibler laden mit Zink-Slurrys“, Seite 115). Weitere wichtige Zukunftsthemen in der Forschung sind ein intelligentes Batteriemanagementsystem sowie die Leistungselektronik.

Neben dem Straßenverkehr sollen auch andere Bereiche für den Einsatz von Elektromobilität berücksichtigt werden. Dies können etwa Landmaschinen, Nutzfahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge oder Lieferdrohnen sein. Für eine nachhaltige batterie-elektrische Elektromobilität ist es erforderlich, die Wertschöpfungskette von den Rohstoffen über die Produktion und Nutzung bis hin zu Nachnutzung und Recycling von Batterien zu betrachten.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich Elektromobilität hat das BMWi 2018 insgesamt 36 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 12,6 Millionen Euro bewilligt (2017: 22 Projekte für rund 16,7 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 14,1 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2017: rund 14,1 Millionen Euro).

Im Gespräch: Lithium-Ionen-Batterien

Modulares System treibt unterschiedliche Maschinen an



Heinrich Rot ist in der Entwicklung bei ElringKlinger tätig. Er leitet das Projekt „Batteriesystem für Modularität“.

Beim Thema Elektromobilität denken die meisten Menschen an Autos mit elektrischem Antrieb. Doch auch Gabelstapler, Reinigungsmaschinen oder Boote können mit Strom betrieben werden. Für jede dieser Anwendungen ein eigenes Batteriesystem anzubieten, lohnt sich für Unternehmen nicht. Aus diesem Grund entwickeln Expertinnen und Experten im Projekt BaSyMo ein standardisiertes, modulares Lithium-Ionen-Batteriesystem. Der Projektleiter Heinrich Rot stellt dessen Besonderheiten vor.

Lithium-Ionen-Batterien kommen in sehr unterschiedlichen Bereichen zum Einsatz. Auf welche Anwendungsgebiete konzentrieren Sie sich in Ihrem Projekt und warum?

Wir konzentrieren uns auf Reinigungsmaschinen, dezentrale elektrische Energiespeicher und Flurförderfahrzeuge, wie Hubwagen oder Gabelstapler. Dies liegt unter anderem daran, dass die Verbote für herkömmliche Antriebe mit Verbrennungsmotoren zunehmen. Betroffen davon sind unter anderem Produktionsstätten, die Intralogistik und der maritime Verkehr, zum Beispiel auf geschützten Gewässern. Entsprechend steigt hier die Nachfrage nach elektrisch angetriebenen Alternativen. Ein modulares Batteriesystem ermöglicht einen einfachen Einsatz moderner Batterietechnologie. Der Wechsel der Akkus von unterschiedlichen Maschinen ohne lange Ausfallzeiten der Anlage ist für die Anwender sehr interessant. Technische Weiterentwicklungen innerhalb des Batteriesystems können umgesetzt werden, ohne dass ein Systemwechsel erforderlich wird oder das grundsätzliche Konzept in Frage gestellt werden muss.

Wie kann ein einheitliches Batteriemodul die unterschiedlichen Spannungsanforderungen der Anwendungen erfüllen?

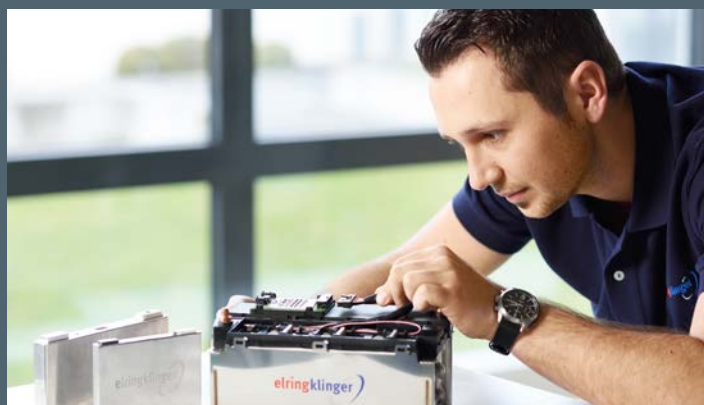
In unserem Projekt untersuchen wir, wie mittels integrierter Spannungswandler eine softwaregesteuerte Anpassung der Ausgangsspannung in einem definierten Spannungsband möglich ist. Auf diese Weise können mit einem System unterschiedliche Spannungslagen abgebildet werden und unterschiedliche Anwendungen können besser zusammenarbeiten. Selbst ein Tausch zwischen verschiedenen Anwendungen ist aufgrund der selbstjustierenden Spannungslage problemlos realisierbar. Das heißt, es können unterschiedliche Maschinen mit dem gleichen Batteriesystem betrieben werden. Der Systemanbieter kann marktunabhängig die gleichen Produkte verkaufen und muss lediglich den Bauraum und die standardisierte elektrische Schnittstelle der Batterie berücksichtigen.

Welche Vorteile bietet das modulare Multi-Use-Batteriesystem für Anwendungen „im Hausgebrauch“?

Die Batterie ist in Heimenergiesystemen der dominierende Kostenfaktor. Das System wird so ausgelegt, dass der Nutzen der Batterie maximal wird. Ändern sich die Rahmenbedingungen, muss auch das Batteriesystem angepasst werden. Dies ist mit den marktüblichen Anwendungen noch schwer zu realisieren, und wenn doch, ist der Erweiterungsspeicher nur von einem Hersteller beziehbar. Da das neue System modular aufgebaut ist und standardisierte Schnittstellen hat, kann es in vielfältige Anwendungen einfach integriert werden.

Das Interview führte Birgit Schneider, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi fördert das Projekt BaSyMo, kurz für „Batteriesystem für Modularität“ (Förderkennzeichen 03ET6087A-K), mit rund 3,9 Millionen Euro.



Da das BaSyMo-Batteriesystem modular aufgebaut ist und standardisierte Schnittstellen hat, kann es in vielfältige Anwendungen integriert werden.

Projekte

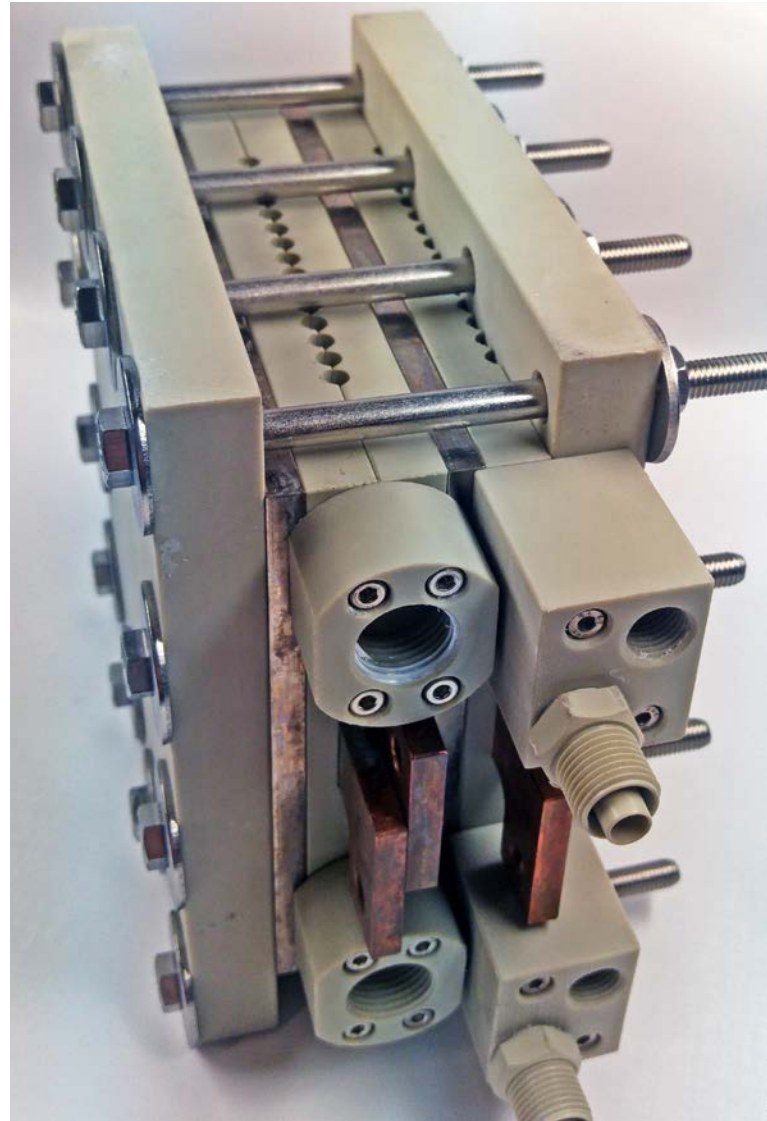
Flexibler laden mit Zink-Slurrys

Damit Elektrofahrzeuge immer weitere Strecken ohne Ladevorgang fahren können, müssen zukünftige Batteriesysteme deutlich höhere Energiedichten aufweisen. Eine Lösung könnten langfristig so genannte Zink-Luft-Batterien sein: Sie haben eine fünfmal so hohe Energiedichte wie gängige Lithium-Ionen-Batterien. Ziel des Forscherteams im Projekt **ZnMobil** ist es, eine skalierbare Zink-Luft-Batterie zu entwickeln, die sowohl mechanisch als auch elektrisch aufgeladen werden kann. Zink ist im Gegensatz zu Lithium ein gut verfügbares Material. Ferner hat das Metall eine gute elektrische Leitfähigkeit und ist in wässrigen Elektrolytlösungen ausreichend stabil. Somit bietet sich dessen Einsatz in halbfester Zink-Paste, dem so genannten Slurry, an.

Unter Leitung von Covestro Deutschland arbeiten Wissenschaftsteams daran, Elektrofahrzeuge zukünftig mit Zink-Slurrys mechanisch laden zu können. Bei diesem Verfahren lassen die Fahrer an entsprechenden Stationen die „verbrauchte“, also energiearme Paste aus dem Anodenraum der Batterie pumpen und gegen eine frische, geladene Slurry austauschen. Dies führt zu wesentlich kürzeren Ladezeiten als beim gängigen „Stromtanken“. Bei einer intelligenten Kopplung der Ladevorgänge kann Zink-Slurry an speziellen Tankstellen mechanisch getauscht und an zentralen Punkten bei Verfügbarkeit von regenerativen Energien geladen werden.

In naher Zukunft wird dieses Verfahren allerdings noch nicht ausgereift sein. Dies liegt unter anderem daran, dass die Anzahl der im Projekt bisher demonstrierten 150 Betriebsstunden der Zink-Slurry-Batteriezelle noch zu gering ist. Um weitere Verbesserungen zu erreichen, setzen die Forschenden verschiedene Katalysatoren und Zusatzstoffe ein. Für seine Entwicklungen im Bereich Elektrodenbeschichtung hat der Batteriekonzern Varta im Rahmen des Projekts erfolgreich ein Patent angemeldet.

Das BMWi fördert das Forschungsvorhaben ZnMobil, kurz für „Mechanisch und elektrisch wieder aufladbare Zink-Luft-Batterie für automobiler Anwendungen“ (Förderkennzeichen 03ET6090A-H), mit rund 2,3 Millionen Euro.

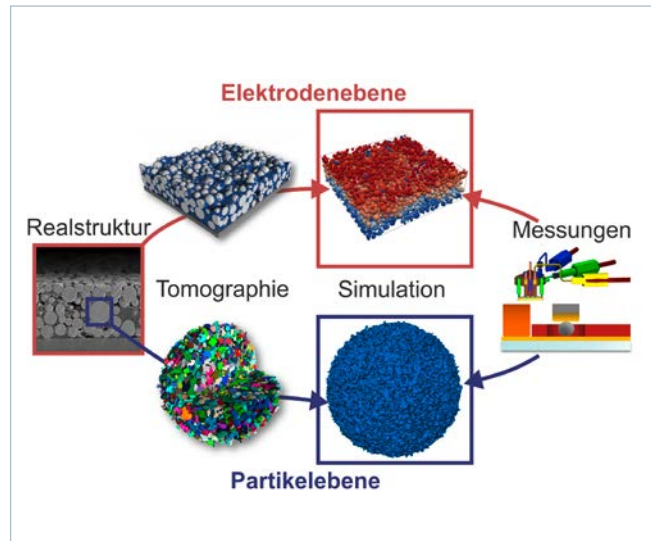


Ziel des Forscherteams im Projekt ZnMobil ist es, eine skalierbare Zink-Luft-Batterie zu entwickeln, die sowohl mechanisch als auch elektrisch aufgeladen werden kann.

Batterien am Computer optimieren

Im Projekt **HiKoMat** entwickeln Forscherteams unter Leitung des Karlsruher Instituts für Technologie KIT leistungsfähige Batteriematerialien für Elektrofahrzeuge. Im Fokus liegen Kathodenmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien. Diese weisen oft sehr schlechte elektrische Leitfähigkeiten auf und müssen daher mit Leitadditiven gemischt werden. Mit hierarchisch strukturierten Kompositmaterialien können die elektronischen und ionischen Transportvorgänge in einer Batteriezelle verbessert werden. Um solche Werkstoffe herzustellen, werden zunächst aus nanoskalierten Pulvern einige mikrometergroße, poröse Sekundärpartikel produziert, die mit sehr dünnen leitfähigen Schichten versehen werden können. Diese werden dann zur Kathodenschicht verarbeitet.

Damit sie diese komplexen Partikelverbundschichten verbessern können, müssen die Forschenden den Zusammenhang zwischen den Herstellungsparametern, der daraus resultierenden geometrischen Struktur und den



Ziel des Forschungsprojekts HiKoMat ist es, Batteriematerialien durch virtuelles Werkstoffdesign zu verbessern und dadurch die Leistungsfähigkeit von Lithium-Ionen-Batterien zu steigern.

Im Blickpunkt: Batterien für Elektroautos

Zwei Zelltypen, eine Batterie

Bislang wurden sie meist getrennt voneinander verwendet: die Hochenergie- und die Hochleistungszelle. Das lag an den unterschiedlichen Vor- und Nachteilen der beiden Zelltypen. Im Projekt HyPowerRange arbeiten sechs Unternehmen und Forschungsinstitute an einem neuen Konzept für Lithium-Ionen-Batterien, das beide Zelltypen geschickt kombiniert. Solche modular aufgebauten Batterien sollen Leistung und Reichweite von Elektroautos verbessern.

„Unser Hybridkonzept für Lithium-Ionen-Batterien könnte die Reichweite eines Elektroautos beispielsweise von 400 auf bis zu 450 Kilometer erhöhen“, sagt Projektleiter Matthias Puchta vom Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE. Das Konzept vereint die Vorteile der beiden Lithium-Ionen-Batterietypen: der Hochenergie- und der Hochleistungszelle. Hochenergiezellen speichern mehr elektrische Energie – damit lassen sich längere Wege zurücklegen. Darum finden sich in Elektrofahrzeugen hauptsächlich Batterien mit diesen Zellen. Deren Nachteil: Sie können weniger Leistung aufnehmen und abgeben als eine Hochleistungszelle mit gleichem Speichervolumen. Ein Fahrzeug mit Hochleistungszellen beschleunigt schneller und kann besser rekuperieren. Hinter dem Fachbegriff verbirgt sich ein technisches Verfahren, mit dessen Hilfe Elektroautos beim Bremsen die Batterie aufladen.

Im Projekt **HyPowerRange** entwickeln die Forschenden ein System, das beide Zelltypen zu einer modular aufgebauten Gesamtbatterie kombiniert. Das soll die Leistung gegenüber bisherigen Batterien mit Hochenergiezellen um 50 Prozent steigern und zugleich die Lebensdauer der Zellen verlängern. Das System kommt ohne einen teuren Spannungswandler aus, den man normalerweise für das Zusammenspiel der beiden Zelltypen benötigt. Stattdessen koppelt es die Zellen direkt. Die Steuerung übernimmt ein neuartiges Batteriemanagementsystem, das das Forscherteam im Projekt entwickelt.

Eine wichtige Rolle spielt dabei die Temperatur, denn Batterien sind anfällig für Temperaturschwankungen. „Werden die Zellen zu heiß, lässt die Leistung nach; außerdem altern sie schneller. Bei Kälte dagegen kann eine Batterie im Extremfall bis zu 30 Prozent ihrer Speicherkapazität verlieren“, verdeutlicht Matthias Puchta. Auch dies soll das neue Batteriemanagementsystem berücksichtigen und so Leistung und Reichweite von Elektroautos verbessern. 2019 sind Testfahrten vorgesehen, inklusive Tests im Ladebetrieb.

Das BMWi fördert HyPowerRange, kurz für „Direktgekoppelter hybrider Energiespeicher für Elektrofahrzeuge – Entwicklung, Systemintegration, Energie- und Thermomanagement“ (Förderkennzeichen 03ET6114A-F), mit rund 2,2 Millionen Euro.

Partikel- und Zelleigenschaften grundlegend verstehen. Hierzu entwickelt eine Arbeitsgruppe Methoden zur Messung der elektrischen Eigenschaften einzelner Sekundärpartikel. Ein weiteres Team erstellt dreidimensionale Bilder in Nanometer-Auflösung von im Projekt hergestellten, bis zu 100 Mikrometer dicken Kathodenschichten. Zusätzlich entwickeln die Expertinnen und Experten Computerwerkzeuge, die aus den gewonnenen geometrischen Daten und Materialparametern die 3D-Struktur und die Eigenschaften von Batterien berechnen und Designkriterien für optimierte Kompositwerkstoffe generieren können. Ziel ist es, Batterien mit möglichst hoher Energie- und Leistungsdichte für den Einsatz in Elektrofahrzeugen am Computer zu optimieren.

Das BMWi fördert das Forschungsvorhaben HiKoMat, kurz für „Werkstoffentwicklung hierarchisch strukturierter Kompositmaterialien für elektrochemische Energiespeicher“ (Förderkennzeichen 03ET6095A-E), mit rund 1,9 Millionen Euro.



Prototyp auf der Strecke: Feldversuche mit einem Testfahrzeug sollen zeigen, wie gut das neue Batteriesystem funktioniert.

Energiesystemanalyse

Energiesystemmodelle können das Zusammenwirken vernetzter Strukturen und Technologien mathematisch darstellen. Um politische Entscheidungsfindung zu unterstützen, müssen sie verfügbar, transparent und verlässlich sein.





SOUTH OVERVIEW SUMMARY

Prod	Actual	Error	Zone	Zone	Zone	Zone	Zone	Zone	Zone
19120	19000	-120	STAP-0	STAP-1	STAP-2	STAP-3	STAP-4	STAP-5	STAP-6
720	720	0	STAP-0	STAP-1	STAP-2	STAP-3	STAP-4	STAP-5	STAP-6
15180	15100	-80	STAP-0	STAP-1	STAP-2	STAP-3	STAP-4	STAP-5	STAP-6
1870	1840	-30	STAP-0	STAP-1	STAP-2	STAP-3	STAP-4	STAP-5	STAP-6
0	0	0	STAP-0	STAP-1	STAP-2	STAP-3	STAP-4	STAP-5	STAP-6
1960	2070	+110	STAP-0	STAP-1	STAP-2	STAP-3	STAP-4	STAP-5	STAP-6
300	440	+140	STAP-0	STAP-1	STAP-2	STAP-3	STAP-4	STAP-5	STAP-6
Total CGO	20420	20740	+320						

SOUTH DISPATCH ADVICE (DISP)

Prod	Actual	Zone	Zone	Zone	Zone	Zone	Zone	Zone	Zone
374	374	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040
50	50	104	104	104	104	104	104	104	104
125	125	420	420	420	420	420	420	420	420
420	420	420	420	420	420	420	420	420	420

Primary Response ADVICE

Prod	Actual	Zone	Zone	Zone	Zone	Zone	Zone	Zone	Zone
1010	1010	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040
430	430	420	420	420	420	420	420	420	420
430	430	420	420	420	420	420	420	420	420
430	430	420	420	420	420	420	420	420	420
594	594	594	594	594	594	594	594	594	594
710	710	710	710	710	710	710	710	710	710



Wer das Energiesystem verstehen will, muss die Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen Akteuren und Technologien berücksichtigen. Die nötige Wissensgrundlage dafür liefern Energiesystemmodelle. Indem sie Einflussfaktoren aus unterschiedlichen Fachdisziplinen zusammenführt, Datensätze gezielt aggregiert und Rechenprozesse verschlankt, trägt die Systemanalyse dazu bei, die Qualität der Modellergebnisse zu verbessern.

Mit Fortschreiten der Energiewende nehmen im Energiesystem die Vernetzungen, Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen Technologien, Akteuren und Märkten zu. So werden immer mehr Energieverbraucher auch zu Erzeugern und immer mehr Strom kommt von Windparks und Solaranlagen statt aus Kohle- und Atomkraftwerken. Dies erfordert tiefgreifende, systemische Veränderungen auf nahezu allen Ebenen des Energiesystems. Es braucht ein strukturiertes und optimiertes Zusammenwirken vernetzter Strukturen und Technologien. Systemmodelle können bei dieser zunehmenden Vernetzung einen wichtigen Beitrag leisten.

Systemanalytische Modelle erstellen keine Prognosen im Sinne von Zukunftsvorhersagen. Vielmehr verbessern diese Modelle das Verständnis für verschiedene Wirkzusammenhänge und machen spezifische Effekte sichtbar. Sie können dabei helfen, die komplexen Zusammenhänge im Energiesystem abzubilden und die möglichen Pfade für Veränderungen aufzuzeigen. Politik, Gesellschaft und Wirtschaft bieten sie somit wissenschaftlich fundierte Entscheidungshilfen und Handlungsoptionen, um die Auswirkungen neuer Technologien oder Markteingriffe rechtzeitig und umfassend beurteilen zu können. Aus diesem Grund sind Vergleich, Bewertung und Optimierung der gebräuchlichen Systemmodelle ein wichtiger Förderschwerpunkt.

Forschen, entwickeln und fördern

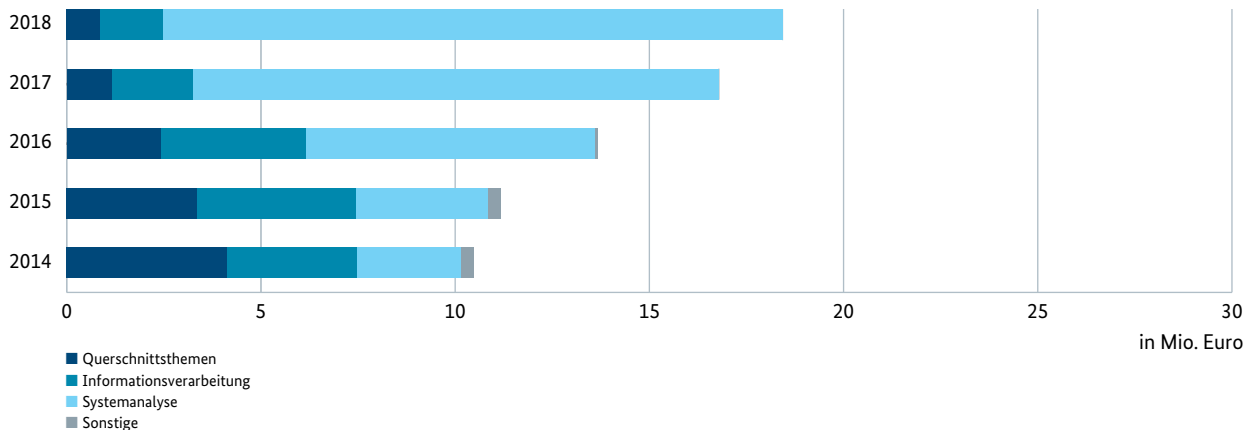
Ein Modell ist im Grunde die Vereinfachung eines komplexen Systems, wie beispielsweise des Energiesystems. Entscheidend für die Genauigkeit so eines Systemmodells ist das Zusammenspiel vieler verschiedener Fachdisziplinen wie der Ingenieurwissenschaften, der Ökonomie, der angewandten Mathematik, der Informatik, der Sozialwis-

senschaften und der Rechtswissenschaften. Je mehr Einflussfaktoren berücksichtigt werden und je vielfältiger die Betrachtungsweise, desto präziser ist das Ergebnis. Allerdings steigt mit dem Grad der Komplexität der Bedarf an Rechenleistung und Rechenzeit. Insbesondere Letzteres ist ein entscheidendes Auswahlkriterium im politischen wie im wirtschaftlichen Kontext. Die Herausforderung ist deshalb, Systemmodelle so zu optimieren, dass sie auch bei zeitkritischen Fragestellungen verlässliche Ergebnisse liefern. Schwerpunkt ist dieses Thema unter anderem bei dem Projekt WeatherAggReOpt (siehe auch „Detaillierungsgrad erhöhen, Rechenaufwand verringern“, Seite 126). Das Forscherteam reduziert Komplexitäten im Systemmodell, indem es die zugrundeliegenden Datensätze neu zusammenfasst und effizienter zuordnet.

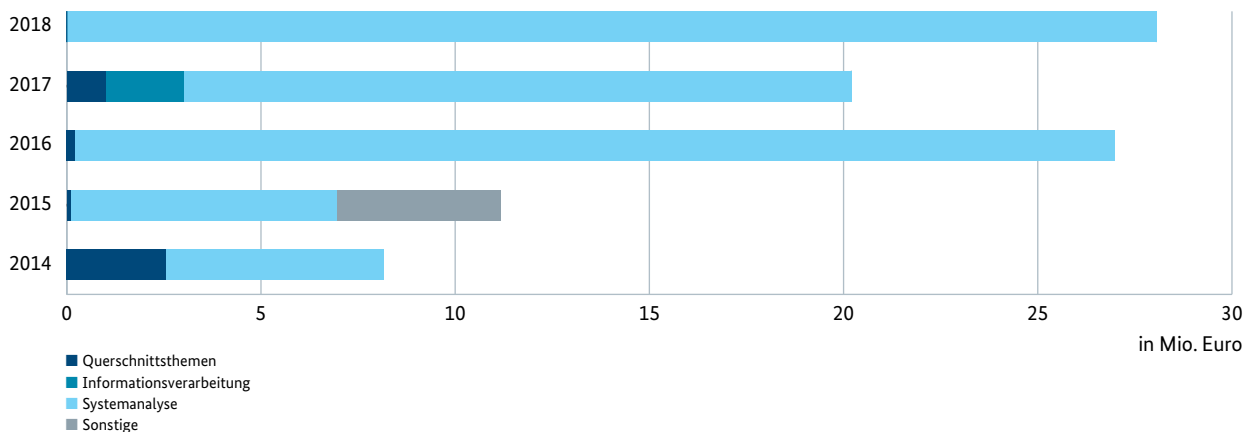
Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Verfügbarkeit von Energiesystemmodellen und die Möglichkeit, sich über die Grenzen von Forschungsinstituten und Unternehmen hinweg auszutauschen. Je mehr Akteure Zugang zu einem Modell haben, desto eher lassen sich Fehler erkennen und bestehende Methoden in kürzester Zeit optimieren. Daher spielen Open Source und Open Data in diesem Förderschwerpunkt eine besonders wichtige Rolle. So haben Forscherinnen und Forscher im Projekt open_eGo (siehe auch „Im Gespräch: Netzmodellierung“, Seite 122) nicht nur auf Grundlage frei verfügbarer Daten ein netzebenenübergreifendes Planungsinstrument geschaffen und es der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Mit einer eigens geschaffenen offenen Forschungsplattform bieten sie Akteuren der Energiewende sogar die Möglichkeit, sich mit Experten aus verschiedenen Disziplinen auszutauschen.

Energiesystemmodelle gibt es viele und sie werden gern und oft von politischen Entscheidungsträgern zu Rate gezogen. Dabei kommt es nicht selten zu unterschiedlichen Ergebnissen. Mal findet sich die Ursache in den verwendeten Daten, mal liegt es an unterschiedlichen Rechenmethoden. Doch wie lässt sich herausfinden, welches Modell für die aktuelle Fragestellung am besten geeignet ist? Dieser und ähnlichen Aufgaben widmen sich gleich sechs Forschungsvorhaben im Verbund MODEX (siehe auch „Im Blickpunkt: Modellexperimente“, Seite 124). Ziel ist es, die Ergebnisse verschiedener Modelle anhand von Modellexperimenten schrittweise zu vergleichen und entsprechend ihrer Tauglichkeit für den jeweiligen Zweck zu bewerten. MODEX-POLINS etwa konzentriert sich dabei auf Analysen rund um CO₂-Mindestpreis, Kohleausstiegsstrategien und Förderinstrumente zur Kraft-Wärme-Kopplung.

Systemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende: Verteilung der Fördermittel zwischen 2014 und 2018



Systemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2014



Das Energiesystem umfasst nicht nur das Stromnetz. So sind beim Thema Sektorkopplung auch der Wärme- und Verkehrssektor in die Systemanalyse mit einzubeziehen. Damit dies gelingt, müssen die Systemmodelle auch über Sektoren hinweg gekoppelt werden können. Hilfreich sind hierbei entsprechende offene Schnittstellen und ein modularer Aufbau. Auch und gerade der Faktor Mensch ist bei der Planung des künftigen Energiesystems nicht zu unterschätzen. Entscheidungsträger, ob im politischen oder wirtschaftlichen Kontext, werden von verschiedenen Richtungen ihres Umfelds und auf vielfältige Art und Weise in ihren Annahmen beeinflusst. Daher gilt es, neben technischen und wirtschaftlichen auch sozio-ökonomische Faktoren in die Modellierung mit einzubeziehen. Im Forschungsvorhaben Diffusion EE (siehe auch „Entscheidungsprozesse simulieren“, Seite 127) etwa liegt der Schwerpunkt auf Gebäudebesitzern und deren Entscheidungsprozessen bezüglich Sanierungsmaßnahmen zur Energieoptimierung. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wollen herausfinden, welche Aspekte Entscheidungsprozesse beein-

flussen und welche weiteren Personengruppen Einfluss auf die Entscheidung haben könnten.

Für Forschungsaktivitäten im Bereich der Systemanalyse hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2018 insgesamt 79 neue Projekte mit einem Fördervolumen von rund 28,1 Millionen Euro bewilligt (2017: 41 Projekte für rund 20,2 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 18,4 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2017: rund 16,8 Millionen Euro).

Ein komplexes System wird verständlich dargestellt.

Im Gespräch: Netzmodellierung

Blick ins Stromnetz



Prof. Dr.-Ing. Jochen Wendiggensen von der Hochschule Flensburg ist open-eGo-Verbundkoordinator.

1.714.000 Kilometer umfasst das Stromnetz in Deutschland. Würde man alle Übertragungs- und Verteilnetzleitungen aneinanderhängen, würden sie bequem zweimal zum Mond und wieder zurück reichen. In Wirklichkeit bilden sie ein komplex verzweigtes Geflecht. Dieses Netz zu kennen, seine Schwachstellen zu verstehen, ist Grundvoraussetzung für einen funktionierenden Netzausbau. Im Verbundprojekt open-eGo hat ein Forscherteam unter Leitung der Hochschule Flensburg deshalb ein Netzebenen übergreifendes Planungsinstrument entwickelt und es auf einer offenen Forschungsplattform öffentlich zugänglich gemacht, wie Professor Dr.-Ing. Jochen Wendiggensen im Interview berichtet.

Was unterscheidet Ihren Ansatz von den bereits existierenden Netzplanungsinstrumenten, wie etwa dem Netzentwicklungsplan der Übertragungsnetzbetreiber oder der Verteilnetzstudie der Deutschen Energie-Agentur?

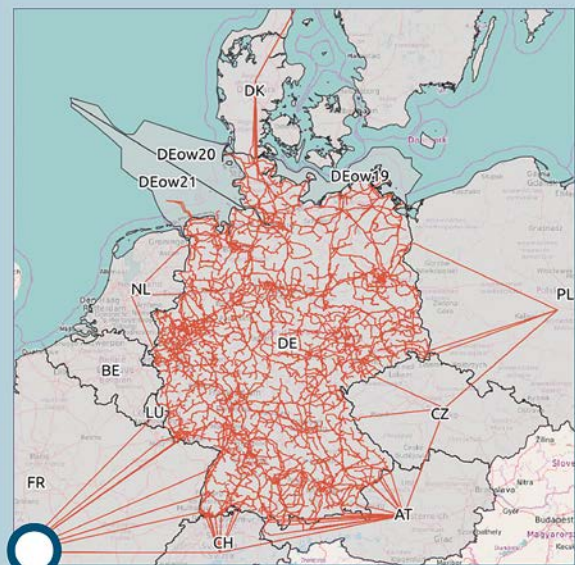
Es stimmt, dass der Ausbau des Übertragungsnetzes systematisch von den Übertragungsnetzbetreibern und der Bundesnetzagentur koordiniert und geplant wird. Aber das Übertragungsnetz macht nur etwa 2 Prozent des Stromnetzes in Deutschland aus. Die eigentliche Herausforderung der Energiewende liegt darin, die Verteilnetze, also Hoch-, Mittel- und Niederspannung, für dezentrale, regenerative Energiequellen fit zu machen. Hier gibt es nicht vier, sondern mehr als 800 Netzbetreiber, die alle ihre eigenen Instrumente zur Netzabbildung und -planung verwenden. Das Planungsinstrument eGo bildet sowohl das Übertragungsnetz als auch alle Verteilnetzebenen realitätsnah ab. Wir betrachten also das komplette Stromnetz.

Und das tun die Netzbetreiber nicht?

Wenn, dann nur in bestimmten Abschnitten. Ein vollumfänglicher Informationsaustausch zu Netzzustand und Ausbaubedarf findet weder zwischen den Verteilnetzbetreibern untereinander noch zwischen Verteilnetz- und Übertragungsnetzebenen statt. Es handelt sich ja im Prinzip um Geschäftsgeheimnisse. Deshalb haben wir mit der OpenEnergie-Platt-

Das Netzebenen übergreifende Planungstool eGo ist modular aufgebaut und setzt sich aus Tools zur Berechnung der Übertragungs- und Verteilnetzebenen (eTraGo und eDisGo) zusammen.

eTraGo



form direkt auch eine virtuelle Forschungsplattform etabliert und unser Planungstool dort zur Verfügung gestellt. Hier können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Energiesystemmodelle wie eGo gemeinsam ent- und weiterentwickeln. Diese Transparenz bündelt Ressourcen, fördert die Partizipation und festigt unserer Meinung nach auch die gesellschaftliche Akzeptanz.

Wenn die Netzbetreiber ihre Netzinformationen so ungern herausgeben, auf welcher Grundlage konnten Sie dann ein solches Planungsinstrument bauen?

Wir haben eGo ausschließlich mittels frei verfügbarer Informationen entwickelt. Wegpunkte für Stromleitungen und Ähnliches findet man in OpenStreetMap (OSM). Damit wir auch rechnen können, haben wir die OSM-Daten mit weiteren physikalischen Daten unterfüttert, wie etwa der Spannungsebene und der Leitungsart. Die Niederspannungsebene – also Hausanschlüsse und Ortsnetze – haben wir synthetisch erschlossen. Dazu haben wir uns die Straßenverläufe, Straßenzüge und Verbraucher angeschaut. Um die Netzauslastung festzustellen, haben wir Standardwerte für die angeschlossenen Erzeuger und Verbraucher genommen und diese hochgerechnet. Hinzukommen noch zahlreiche Bedingungen und Einflussfaktoren, wie der Vorrang von Strom aus erneuerbaren Energien am Netz, die Wetterlage und so weiter. Wenn dieses

Modell funktioniert, dann kann man verschiedene Szenarien durchspielen, wie etwa Windparks an bestimmten Orten oder das Abschalten eines Kohlekraftwerks – und zwar ortsscharf, also räumlich und zeitlich aufgelöst.

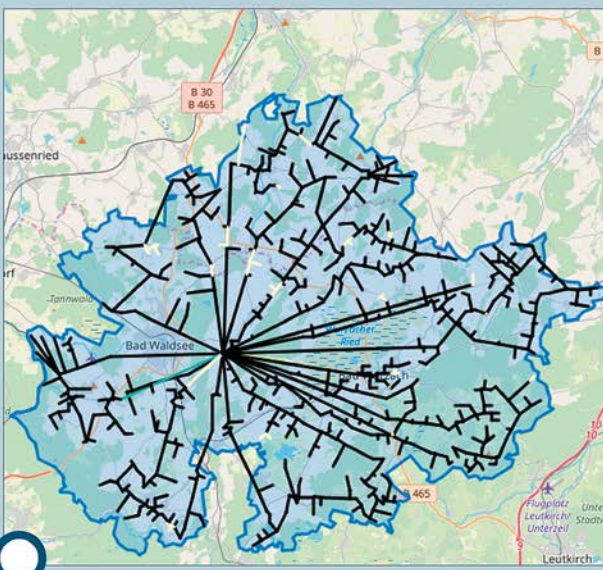
Welche Fragen lassen sich mit dem Tool beantworten?

Das kommt darauf an, welche Zielfunktion Sie eingeben. Zielfunktion könnte zum Beispiel sein, den Netzausbau möglichst kosteneffizient für Netzbetreiber wie auch für Verbraucher zu gestalten. Anhand der Ergebnisse lässt sich ermitteln, wo die entsprechenden Baustellen sind, wo sich der Einsatz von Speichern lohnen würde oder wo sich das ganze Last- und Erzeugungsprofil glätten ließe.

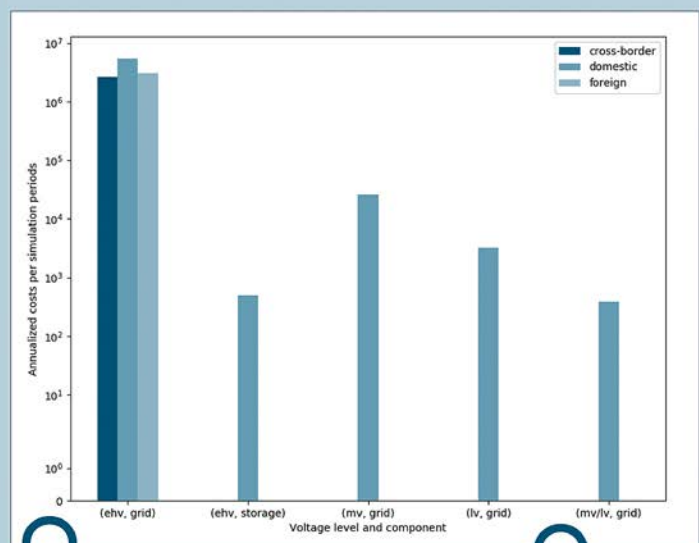
Das Interview führte Carolin Höher, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Das BMWi hat das Projekt open_eGo, kurz für „Netzebenenübergreifendes Planungsinstrument zur Bestimmung des optimalen Netz- und Speicherausbaus in Deutschland – integriert in einer OpenEnergy-Plattform“ (Förderkennzeichen 0324072A–B), mit rund 1,5 Millionen Euro gefördert.

eDisGo



eGo



Im Blickpunkt: Modellexperimente

Ergebnisse präziser einordnen

Je komplexer unser Energiesystem wird, desto komplexer und anspruchsvoller werden auch die Modelle, die dieses System beschreiben. Diese Modelle methodisch zu vergleichen und die Qualität durch wissenschaftlichen Austausch zu erhöhen, das ist das Ziel der sechs Forschungsvorhaben, die Anfang des Jahres unter dem Titel „MODEX – Modellexperimente“ gestartet sind. Eines dieser Projekte ist MODEX-POLINS, das von der Universität Duisburg-Essen koordiniert wird. Das Forscherteam vergleicht hier, wie Modelle die Auswirkungen politischer Steuerungsinstrumente beschreiben.

Welchen Einfluss hat das Abschalten von Kohlekraftwerken auf die Stromversorgung? Mit welchem Mix von erneuerbaren Energien, konventionellen Kraftwerken und Speichern kann man die Stromversorgung in einem bestimmten Gebiet gewährleisten? Wie wirkt sich dies auf den Strompreis aus? Bereits seit Jahren nutzen Akteure aus Politik und Wirtschaft Energiesystemmodelle, um die möglichen Auswirkungen bestimmter Maßnahmen sichtbar zu machen. Allerdings gibt es bislang nur wenige Analysen, in denen die Wirkung von einzelnen Steuerungselementen vergleichend untersucht wurde. Damit beschäftigt sich nun das Forscherteam im Modellexperiment **MODEX-POLINS**. „Unser Gesamtziel ist, die Qualität und Validität der Modelle in Hinblick auf zukünftige Anforderungen in der Politikberatung zu verbessern“, erklärt Professor Dr. Christoph Weber, Projektkoordinator und Inhaber des Lehrstuhls für Energiewirtschaft an der Universität Duisburg-Essen. „Dazu füttern wir ausgewählte Modelle mit den gleichen Informationen zu derselben Fragestellung und schauen dann, inwiefern sich die Ergebnisse ähneln oder unterscheiden. Gibt es Unterschiede – wovon ich ausgehe –, versuchen wir, der Ursache auf den Grund zu gehen und Verbesserungsmöglichkeiten für die Modelle aufzuzeigen.“

In drei Jahren Projektlaufzeit sind drei Experimente vorgesehen, bei denen die Projektpartner Analysen zu den Themen CO₂-Mindestpreis, Strategie für den Kohleausstieg und Förderinstrumente zu Kraft-Wärme-Kopplung durchführen. Das Schema ist für jedes Modellexperiment gleich: Zuerst werden gemeinsam die Politikinstrumente und deren Ausprägung festgelegt, dann ermittelt jeder Partner mit seinem Modell die Auswirkungen und die Ergebnisse werden verglichen. Auf dieser Grundlage werden dann die relevanten Modellunterschiede herausgearbeitet.

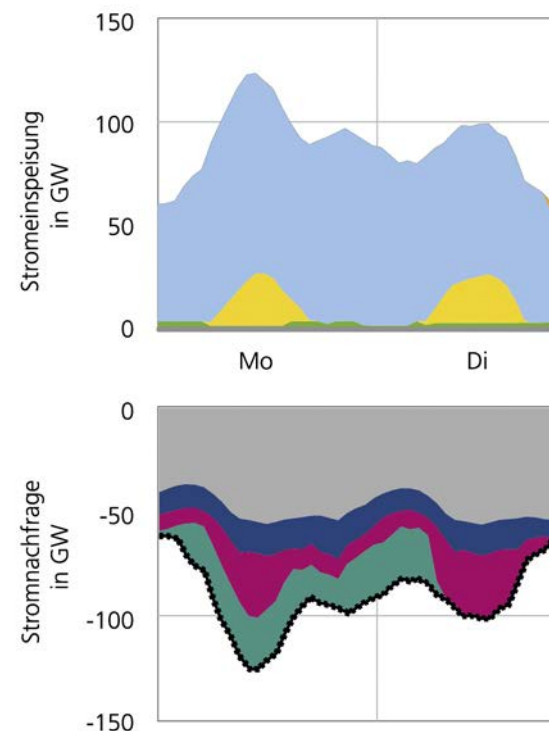
„Die Schwierigkeit hierbei ist, dass die Modelle sehr viele Parameter und Gleichungen enthalten und es häufig nicht ganz klar ist, welcher Unterschied nun welche Auswirkungen hat“, erklärt Christoph Weber. „Das untersuchen wir dann im dritten Schritt. Zu dieser Identifikation gehören zum

Beispiel Sensitivitätsanalysen, das heißt, dass einzelne Projektpartner in ihrem Modell Anpassungen vornehmen, sodass es den anderen Modellen ähnlicher wird.“ Ziel sei aber nicht, das beste Modell zu finden, sondern vielmehr, ein Ergebnis durch verschiedene Modelle absichern zu können.

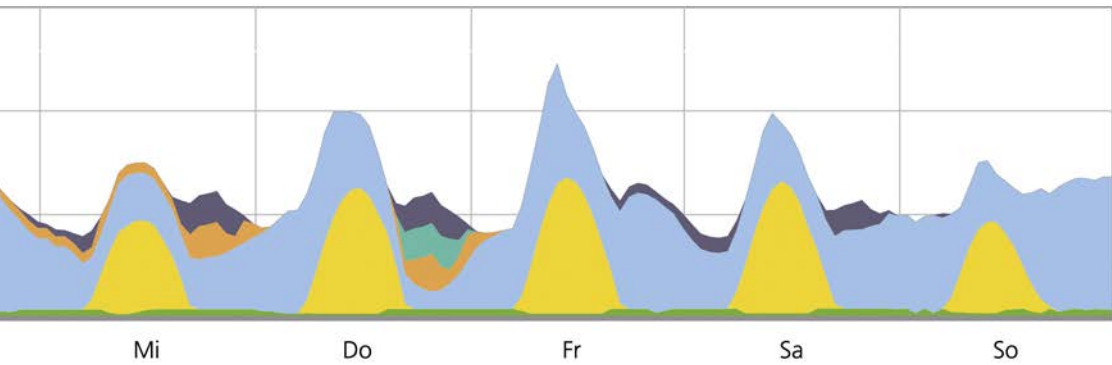
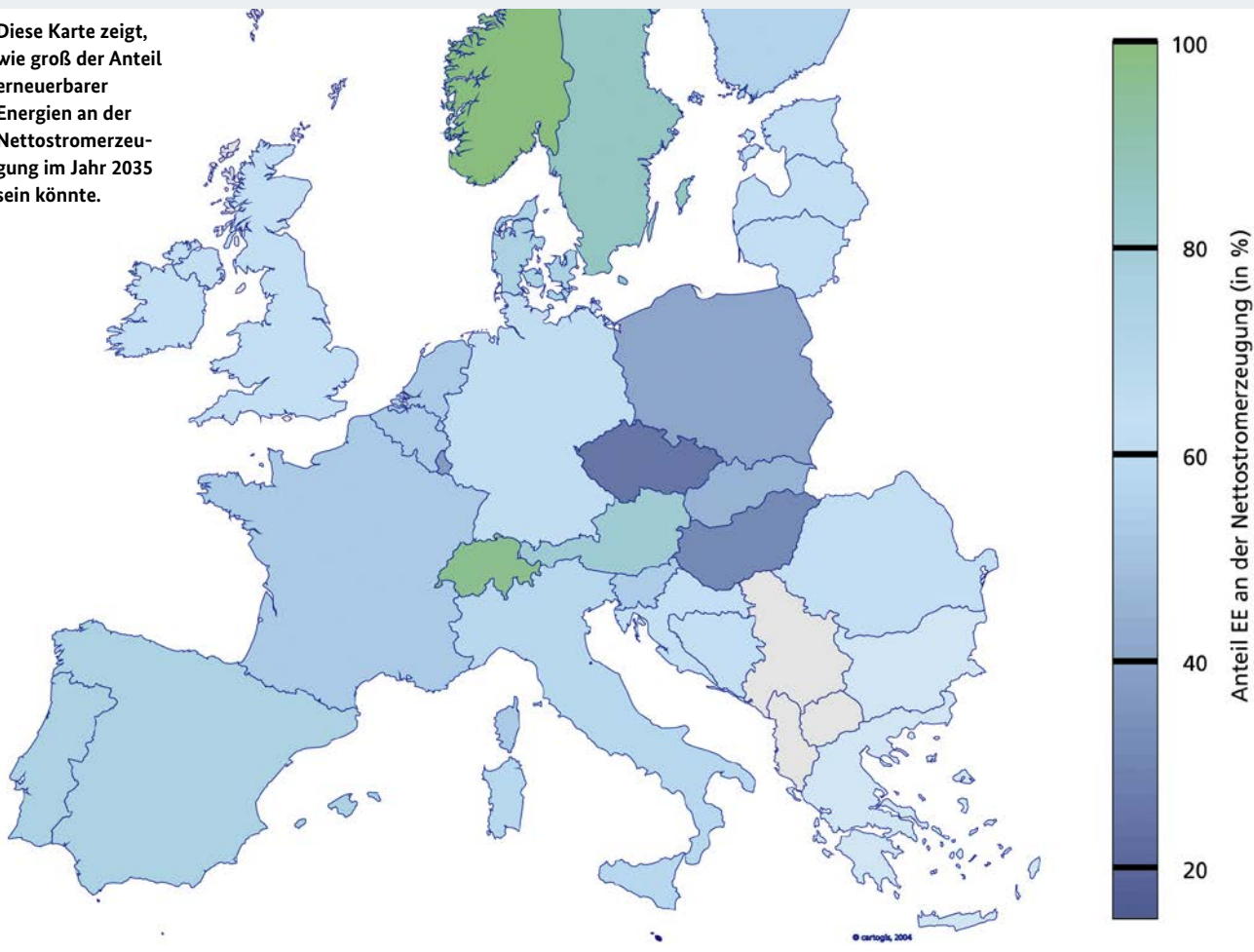
Die größte Herausforderung des Vorhabens ist die Zeit. Sind Modell und Daten erst einmal festgelegt, sind für die Berechnung valider Ergebnisse immer noch mehrere Monate zu veranschlagen. „Darum finde ich auch dieses Modellexperiment so wichtig“, betont der Projektkoordinator. „Wir haben nun die Zeit, zu verstehen, warum Studienergebnisse an bestimmten Stellen unterschiedliche Ergebnisse liefern. Wenn wir nach Projektabschluss wieder aufgefordert sind, die Politik zu beraten, können wir unsere Modellergebnisse viel präziser einordnen und begründen.“

Das BMWi fördert das Projekt MODEX-POLINS, kurz für „Modellvergleich zur Wirkungsanalyse politischer Steuerungsinstrumente“ (Förderkennzeichen 03ET4075A-E), mit rund 700.000 Euro.

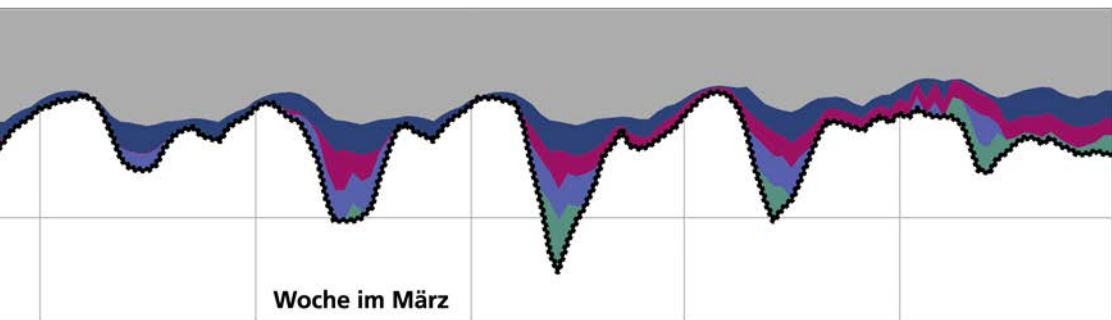
Die Grafik zeigt die Ergebnisse einer Szenariorechnung für 2050 bezüglich Stromerzeugung (oben) und -nachfrage (unten).



Diese Karte zeigt, wie groß der Anteil erneuerbarer Energien an der Nettostromerzeugung im Jahr 2035 sein könnte.



- Ausspeicherung
- Gasturbinen
- Kraft-Wärme-Kopplung
- Windkraft
- Photovoltaik
- Sonstige EE



- Power-to-Gas
- Einspeicherung
- Strom für Wärme/Kälte
- Strom für E-Mobilität
- Herkömmliche Last
- Stromnachfrage gesamt

Projekte



Detaillierungsgrad erhöhen, Rechenaufwand verringern

Die Umstellung des Energiesystems von fossilen zu erneuerbaren Energieträgern erfordert entsprechende Zubau-maßnahmen, sowohl bei der Erzeugung als auch in Bezug auf Netzausbau und Energiespeicher. Optimierende Energiesystemmodelle sind hierbei ein wichtiges Werkzeug. Indem sie die Auswirkungen der jeweiligen Maßnahmen ermitteln, kann zum Beispiel der optimale Transport- und Speicherbedarf in einem bestimmten Ausbauszenario abgeschätzt werden. Je detaillierter (disaggregierter) das Modell ist, desto aufwändiger und komplizierter werden allerdings die Rechenprozesse.

Hier setzt das Forschungsvorhaben **WeatherAggReOpt** an. Das Forscherteam unter Federführung der Universität Duisburg-Essen entwickelt gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE Verfahren, um die Komplexität solcher Energiesystemmodelle zu reduzieren und die Ergebnisse dabei möglichst wenig zu verfälschen. Hierfür wird zunächst das theoretische Verständnis zu den Auswirkungen einer entsprechenden „Aggregation“ auf Energiesystemmodelle erweitert. Anschließend entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Verfahren und Methoden für eine problemangepasste Aggregation, zum Beispiel für zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Einspeiseprofile fluktuierender erneuerbarer Energien. Auch die zeitliche, räumliche und technologische Aggregation lokaler Erzeugungscharakteristiken wird berücksichtigt. Entsprechende Datensätze beinhalten Wetterdaten, die geografische Lage und die Ausprägungen der installierten Anlagen. Ziel des Forscherteams ist, Aggregationsansätze so zu entwickeln, dass diese für andere Forschungsgruppen reproduzierbar sind und in zukünftigen Energiesystemmodellierungen eingesetzt werden können.

Das BMWi hat das Projekt WeatherAggReOpt, kurz für „Entwicklung von Aggregations- und Reduktionsmethoden zur Implementierung disaggregierter Einspeiseprofile erneuerbarer Energien in Energiesystemmodellen“ (Förderkennzeichen 03ET4042A-B), mit rund 620.000 Euro gefördert.

Die Wetter- und die geographische Lage von Erneuerbare-Energien-Anlagen sind entscheidende Faktoren bei dem Aufbau von Energiemodellen.

Entscheidungsprozesse simulieren

Ziel der Energiewende ist der Wandel der Energieversorgung hin zu einem System, das auf erneuerbaren Energien und größerer Energieeffizienz beruht. Insbesondere im Gebäudebereich liegt noch großes Potenzial für Maßnahmen, zum Beispiel durch erneuerbare Wärmeversorgungssysteme und Gebäudesanierung. Das Forschungsvorhaben **Diffusion EE** widmet sich der Frage, welche Aspekte die Entscheidungsprozesse von Gebäudebesitzern hierzu beeinflussen und welche Personengruppen außer den eigentlichen Investoren einen Einfluss darauf haben. Ziel ist, auf diese Weise die Entscheidungsprozesse in einem Energiesystemmodell für den Gebäudebereich genauer abzubilden, um etwa politische Maßnahmen modelltechnisch besser untersuchen zu können.

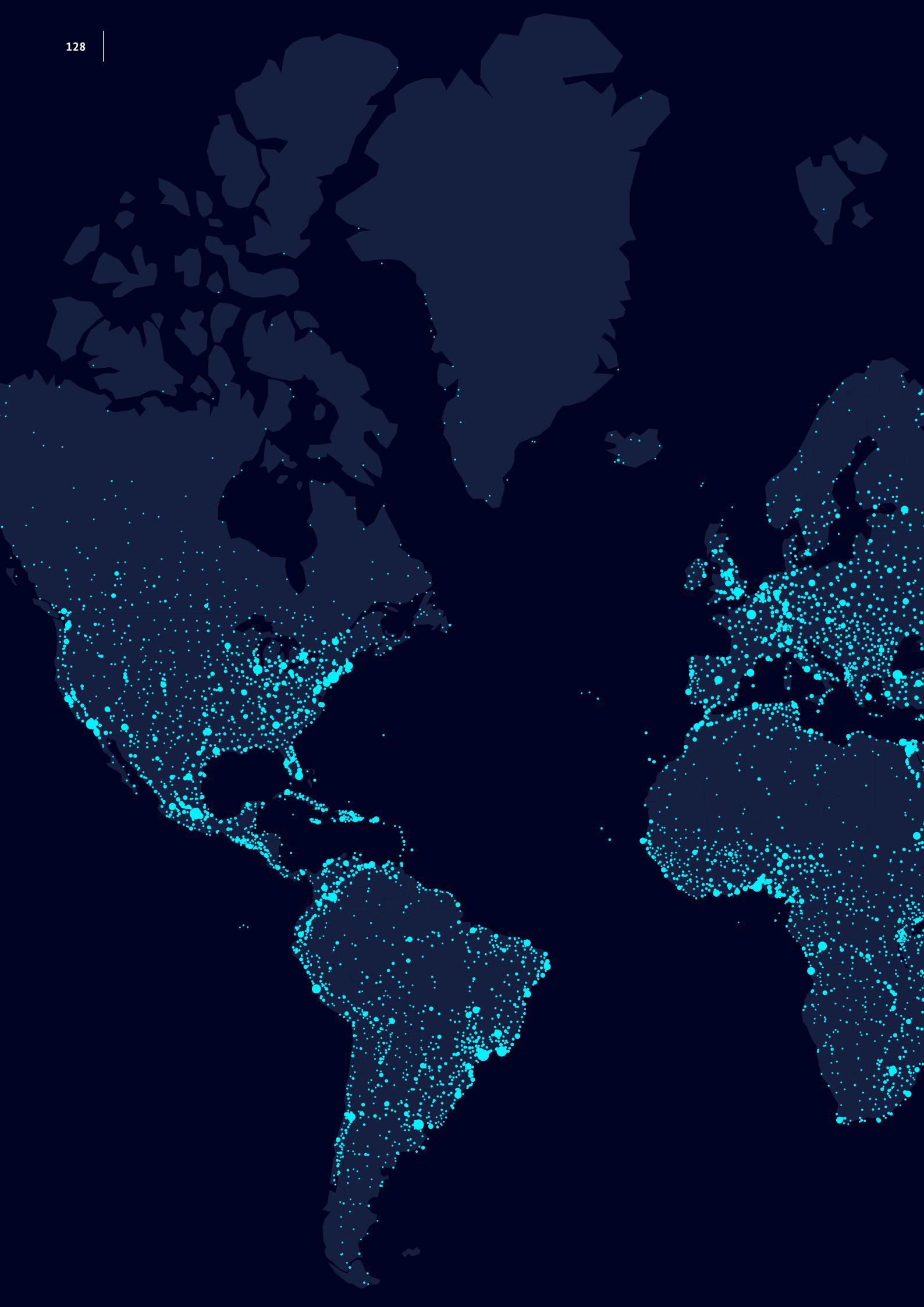
Ein wichtiger Aspekt des Projekts ist somit, neben technischen und wirtschaftlichen auch sozio-ökonomische Faktoren in die Modellierung mit einzubeziehen. Dazu führt das Forscherteam sozio-psychologische Studien zu den Besitzern von Wohn- und Nichtwohngebäuden sowie zu

potenziellen Einflussnehmern wie Energieberatern oder Handwerkern durch. Bei Letzteren soll analysiert werden, ob und inwieweit diese den Entscheidungsprozess von Investoren zum Beispiel hinsichtlich des Umfangs von Sanierungsmaßnahmen beeinflussen. Fokussiert wird auch auf das Beratungsverhalten und Angebotsportfolio, das heißt, wann zu welchen Sanierungsmaßnahmen oder Technologien geraten wird. Die Entscheidungsprozesse der Investoren sowie die Wechselbeziehungen zwischen Einflussnehmern und Investoren werden anschließend in INVERT-Agents modelliert. Das agentenbasierte Investitionsentscheidungsmodul INVERT-Agents ist Teil des Bottom-up-Simulationsmodells INVERT/EE-Lab. Das Projekt wird vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI koordiniert. Projektpartner ist die RWTH Aachen.

Das BMWi fördert das Projekt Diffusion EE, kurz für „Modellierung individueller Entscheidungsprozesse und des Einflusses von Intermediären bei der Diffusion von Energieeffizienzmaßnahmen und EE im Gebäudebereich“ (Förderkennzeichen: 03ET4045A-B), mit rund 720.000 Euro.

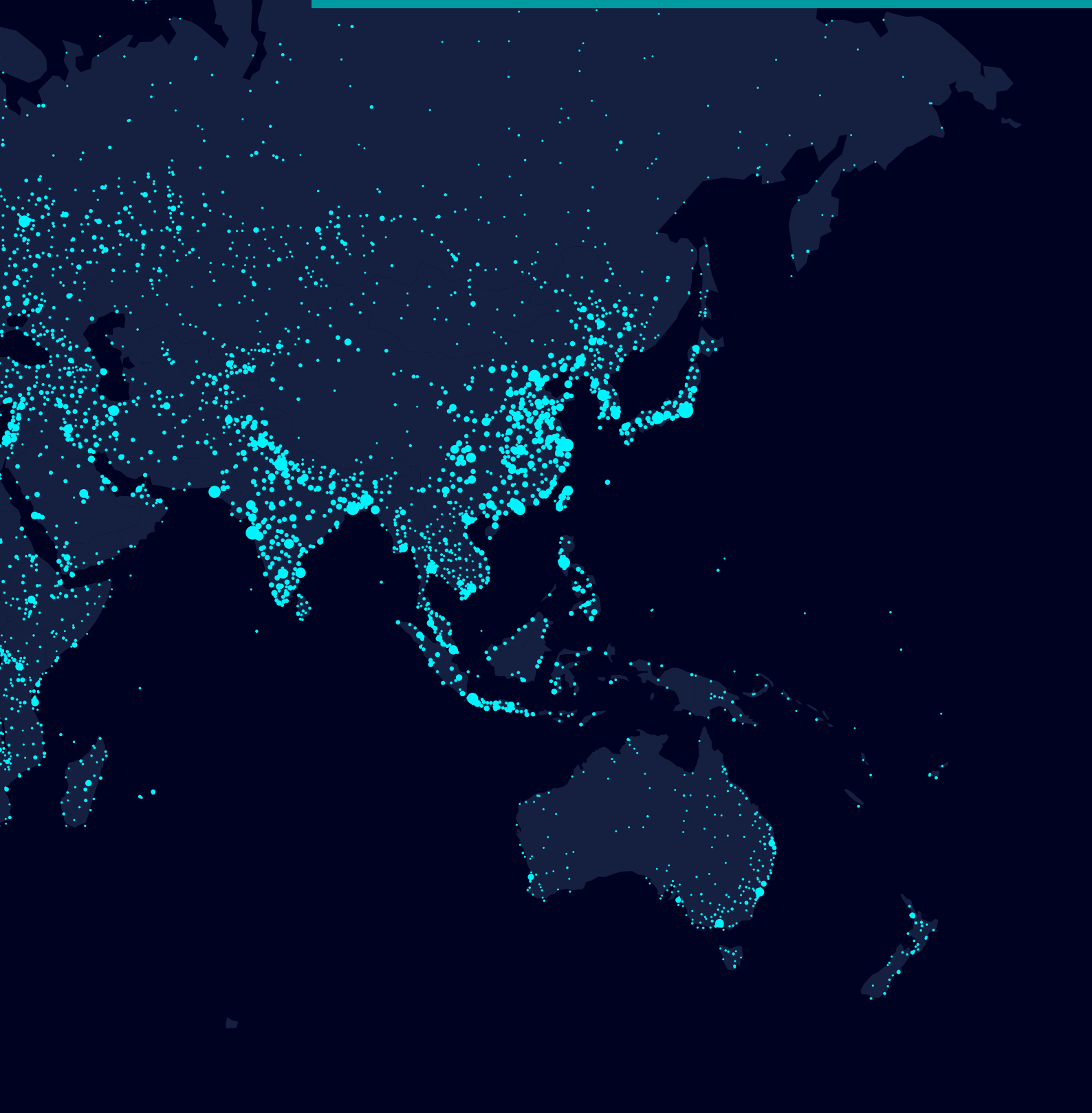


Eine energetische Gebäudesanierung kann den Energieverbrauch eines Hauses und damit auch die Kosten für die Hausbesitzer deutlich senken.



Internationale Zusammenarbeit

Durch die internationale Forschungsförderung werden Anreize für gemeinsame Förderanstrengungen auf internationaler und europäischer Ebene geschaffen, um die Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern voranzutreiben.



Intensive und internationale Vernetzung der Akteure im Energiesystem ist essenziell, um die Klimaziele zu erreichen und den globalen Temperaturanstieg auf maximal zwei Grad zu begrenzen. Denn die Veränderungen betreffen gleichermaßen Länder und Entscheidungsträger auf allen Ebenen – national, europäisch und international. Aus diesem Grund fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) die internationale Zusammenarbeit in den Bereichen Forschung, Entwicklung und Innovation.

Europäische Zusammenarbeit

Aufgrund der zunehmenden Vernetzung der Energiesysteme und der Bereitstellung von erneuerbaren Energien über Ländergrenzen hinweg ist eine europaweite Zusammenarbeit in der Energieforschung sinnvoll und notwendig. Denn nur so lassen sich Mittel zielgerichtet und ergebnisorientiert einsetzen. Der Zusammenschluss internationaler Partner ermöglicht größtmöglichen fachlichen Austausch und die effiziente Nutzung technischer und materieller Ressourcen. Aus diesem Grund treiben EU-Kommission und Mitgliedstaaten übergreifende Strategien für den Umbau der europäischen Energielandschaft immer weiter voran. So gibt es heute zahlreiche politische Papiere, Initiativen und Förderprogramme für eine sichere, klimafreundliche, kosten- und ressourceneffiziente Energieversorgung in Europa.

Das Forschungsrahmenprogramm Horizont 2020 ist mit knapp 80 Milliarden Euro das finanzstärkste Förderprogramm für Forschung und Innovation weltweit. Hier stehen Forschenden eine Vielzahl von Kooperationsmöglichkeiten zur Verfügung, etwa im Förderbereich der gesellschaftlichen Herausforderung „Sichere, saubere und effiziente Energie“. Gefördert werden technologische und technologiebegleitende Projektansätze: von der Forschung über die Demonstration bis zur Vorbereitung einer Markteinführung und -verbreitung. Allein für die direkte Projektförderung zu diesem Themenbereich standen in 2018 rund 600 Millionen Euro bereit. Über die gesamte Laufzeit von 2014 bis 2020 werden es mehr als 4,6 Milliarden Euro sein. Antragsteller aus Deutschland haben sich mit einem Förderumfang von rund 400 Millionen Euro bisher sehr erfolgreich daran beteiligt. Der Bereich „Erneuerbare Energien“ hat hier einen Budgetanteil von rund 38 Prozent.

Mit der Nationalen Kontaktstelle Energie (NKS) bietet das BMWi interessierten Organisationen aus Forschung, Industrie und Anwendung/Nutzung umfassende Hilfestellungen an. So werden dort gemeinsam geeignete Förderschwerpunkte für Projektideen identifiziert und die Passgenauigkeit von Projektvorschlägen für transnationale Konsortien analysiert. Mit Empfehlungen zur fachlich/inhaltlichen Ausrichtung sowie Informationen zu aktuellen Auswahlkriterien und zum wettbewerblichen Förderfahren können die Erfolgsaussichten der Antragsteller optimiert werden.

Eine effiziente Bündelung von Förderanstrengungen auf europäischer und einzelstaatlicher Ebene erfolgt durch den europaweiten Strategischen-Energie-Technologie-Plan (SET-Plan). Auch das neue 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung (7. EFP) unterstützt die Ziele des SET-Plans, die im Einklang mit der europäischen Initiative zur Energieunion stehen und auch die internationalen Ziele der „Sustainable Development Goals“ unterstützen. Nach Definition von fokussierten Aktionsbereichen wird aktuell die Implementierung der dazu identifizierten Handlungsbedarfe vorangetrieben, unterstützt durch konkrete Förderaktivitäten des BMWi im 7. EFP. Mit weiteren bi- und multinationalen Förderaufrufen nach dem „Berliner Modell“ wird die Initiative des BMWi zur internationalen Kooperation verstärkt.

Mit ERA-Net wird die Kooperation zwischen nationalen und regionalen Förderinstitutionen unterstützt. In Rahmen des ERA-Net Smart Grids Plus beispielsweise untersuchen europäische Verbundpartner im Projekt REstable (siehe auch „100 Prozent erneuerbar, 100 Prozent stabil“, Seite 132), wie erneuerbare Energien auf europäischer Ebene bei der Frequenzhaltung unterstützen und Regelleistung bereitstellen könnten. Die ERA-Net-Instrumente wurden unter Horizont 2020 zu ERA-Net-Cofunds zusammengeführt, sodass Mitgliedstaaten, assoziierte Staaten und Drittstaaten gemeinsame Ausschreibungen durchführen können, die von der Kommission anteilig unterstützt werden. Im Rahmen des ERA-Net Cofund GEOTHERMICA etwa arbeitet ein europäisches Forscherteam im Projekt ZoDrEx an der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des so genannten Hot-Dry-Rock-Verfahrens (siehe auch „Starkes Bündnis für die Geothermie“, Seite 133).

Das BMWi unterstützt auch multilaterale Forschungsinitiativen wie den Hochschulwettbewerb Solar Decathlon für nachhaltiges und energieeffizientes Planen und Bauen (siehe „Solar-Decathlon-Wettbewerbe kompakt“, Seite 132). Ursprünglich wurde der Solar Decathlon in den USA aus-



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

getragen, seit 2008 findet er als Solar Decathlon Europe auch in Europa statt.

Internationale Energieagentur (IEA)

Eine nachhaltige und zukunftsweisende Energieversorgung erfordert den fortlaufenden Austausch zwischen Regierungen, Forschungsinstituten, Universitäten und Industrieunternehmen – auf europäischer und globaler Ebene. Eine bedeutende Plattform für internationale Kooperation bietet die Internationale Energieagentur (IEA). Die im Jahre 1974 als Reaktion auf die Ölkrise gegründete IEA ist eine autonome Einheit der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und zählt mittlerweile 30 Mitgliedstaaten. Das Themenfeld hat sich in den vergangenen Jahrzehnten stark gewandelt. So steht heute nicht mehr nur die Sicherung der Ölversorgung im Vordergrund, sondern auch eine umweltbewusste, wirtschaftliche und flexible Energieversorgung aller Mitglieder. Wichtigstes Grundprinzip sind in diesem Zusammenhang freie und offene Märkte. Leuchtturmpublikation der IEA ist der World Energy Outlook (WEO), in dem die zukünftige Entwicklung der globalen Energieversorgung in Form von Szenarien prognostiziert wird.

Die IEA erfüllt eine beratende Funktion und bietet mit den Technologiekoooperationsprogrammen (TCP) die Möglichkeit, innovative Energietechnologien zu entwickeln und zu fördern. Die Programme bilden das gesamte energietechnologische

Spektrum ab und legen Arbeitsthemen, Regeln und Ziele der multilateralen Zusammenarbeit vertraglich fest. Gründungsmitglied Deutschland ist derzeit an 23 von insgesamt 38 laufenden TCP beteiligt und leistet nach den USA und Japan einen entscheidenden Beitrag zum Gesamtbudget der Agentur. Im CERT-Komitee, das alle Projekte und Aktivitäten im Bereich der Energieforschung koordiniert, wird die Bundesregierung durch das BMWi vertreten.

Abgestimmte Fördermittel auf europäischer Ebene ermöglichen Forschungskoooperationen über Ländergrenzen hinweg – für ein gemeinsames europäisches Stromsystem.

Projekte

Solar-Decathlon-Wettbewerbe kompakt

2002 ins Leben gerufen, gehört er inzwischen zu den renommiertesten Studentenwettbewerben: der Solar Decathlon. Angehende Architekten und Ingenieure entwerfen, bauen und betreiben in diesem solaren Zehnkampf in 20 Teams je ein Haus, das vollständig über Solarenergie versorgt wird. Die Häuser eines jeden Wettbewerbs müssen vergleichbare Anforderungen hinsichtlich Größe und Funktion erfüllen. Während der zweiwöchigen Präsentation werden Energieverbrauch und solare Energiebereitstellung gemessen und die Häuser in zehn Disziplinen bewertet. Mittlerweile wird der Solar Decathlon in China, Zentralamerika, im Nahen Osten, in Afrika und seit 2010 auch in Europa ausgetragen: Nächster Austragungsort ist 2019 das ungarische Szentendre, nahe Budapest. 2021 kommt der Wettbewerb nach Deutschland und wird in Wuppertal ausgetragen.

In den bisherigen 13 Wettbewerben haben die Studierenden 250 experimentelle Gebäude erdacht und gebaut. Allerdings fehlte bisher eine systematische Aufbereitung der Ergebnisse. Im Vorhaben **European Energy Endeavour** –



Das von Studierenden der Technischen Universität Berlin und der Universität der Künste Berlin entwickelte Solarhaus Rooftop belegte beim Solar Decathlon Europe 2014 in Versailles den vierten Platz.

europäische Initiative zur Weiterentwicklung und Umsetzung des SDE. Dokumentation und Querschnittsanalyse – hat die Bergische Universität Wuppertal diese Aufgabe übernommen: Unter der Leitung von Professor Dr.-Ing. Karsten Voss haben die Forscher die Online-Datenbank „Building Energy Competition & Living Lab Knowledge Platform“ entwickelt, um die Informationen aus den Wettbewerben besser nutzbar zu machen und das Wett-

bewerbsformat weiterzuentwickeln. Die Plattform hält Informationen zu den vergangenen und kommenden Wettbewerben bereit, strukturiert sie einheitlich und ermöglicht eine zusammenfassende Auswertung und einen Vergleich. „Der Solar Decathlon ist ein öffentlichkeitswirksames Format, um das Energiebewusstsein unter künftigen Generationen von Architekten und Ingenieuren sowie Entscheidungsträgern zu schärfen“, resümiert Karsten Voss und ergänzt: „Die bisherigen studentischen Beiträge aus Deutschland waren vorbildlich und machen Lust auf mehr.“

Das BMWi fördert die Initiative zur Weiterentwicklung und Umsetzung des SDE. Dokumentation und Querschnittsanalyse (Förderkennzeichen 03ET1328A) mit rund 340.000 Euro.

100 Prozent erneuerbar, 100 Prozent stabil

Ein stabil betriebener europäischer Stromnetzverbund mit 100 Prozent Anteil erneuerbarer Energien – dass dies möglich ist, will das Projekt **REstable** im Rahmen des ERA-Net Smart Grids Plus (SG+) zeigen. Gemeinsam mit Projektpartnern aus Frankreich und Portugal untersucht das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE, wie erneuerbare Energien auf europäischer Ebene bei der Frequenzhaltung unterstützen und Regelleistung bereitstellen könnten. Dazu bauen die Verbundpartner aus dezentralen Erzeugern ein virtuelles Kraftwerk (VK). Durch die europaweit verteilten Anlagen können wetterbedingte Erzeugungsschwankungen ausgeglichen werden. Auf diese Weise kann das VK verlässlich für die im Netzbetrieb notwendigen Systemdienstleistungen sorgen. Aktuell werden Erzeugungsanlagen in eine am Fraunhofer IEE entwickelte VK-Software integriert. Durch die Aggregation von deutschen und französischen Windparks verschiedener Betreiber stehen so bereits jetzt 253 Megawatt Nennleistung zur Verfügung. Das entspricht bereits etwa 25 Prozent der Leistung eines Großkraftwerks und soll noch weiter ausgebaut werden. Neben umfangreichen Simulationen der möglichen Szenarien und Marktstrukturen soll die Machbarkeit in einem europaweiten Feldtest gezeigt werden. Dabei stehen auch ökonomische Auswirkungen neuer Akteure an den europäischen Märkten für Regelleistung im Fokus. Zudem nimmt das Vorhaben die regulatorischen Rahmenbedingungen der EU in den Blick. Mit der europaweiten Demonstration zum Abschluss des Gesamtvorhabens wollen die Partner den VK-Prototypen evaluieren und auch Vorschläge für neue Marktmechanismen und verbesserte, an erneuerbare



Deutsch-französisch-portugiesisches Projekt REstable: Ein virtuelles Kraftwerk auf europäischer Ebene sorgt ausschließlich auf Basis erneuerbarer Energien für Systemdienstleistungen zur Frequenzhaltung.

Energien angepasste Regelleistungs-Anforderungen erarbeiten. Erste Vortests mit deutschen und französischen Windparks haben bereits vielversprechende Resultate gezeigt.

Das BMWi unterstützt die deutschen Partner im Vorhaben REstable (gefördert im Rahmen des ERA-Net SG+), kurz für „Verbesserung von regenerativ-basierten Systemdienstleistungen durch bessere Zusammenarbeit der europäischen Regelzonen“ (Förderkennzeichen 0324060), mit rund 590.000 Euro.

Starkes Bündnis für die Geothermie

Die europäische Cofund Action GEOTHERMICA hat das Ziel, Geothermie als Technologie im Markt zu etablieren. 2018 konnten neun vielversprechende Demonstrationsprojekte innerhalb dieses Förderprogramms starten, darunter fünf mit deutscher Beteiligung. Die in den Jahren zuvor innerhalb des ERA-Net Geothermie identifizierten Markthemmnisse werden hiermit gezielt angegangen. Das Projekt **ZoDrEx**, von deutscher Seite unter Koordination des

Internationalen Geothermiezentrums an der Hochschule Bochum (GZB), soll etwa dazu beitragen, zukünftige Geothermie-Projekte aus dem Bereich der Enhanced Geothermal Systems (EGS) solide und wirtschaftlicher zu gestalten. Hierbei geht es um künstlich erzeugte Wärmetauscher in einer Tiefe von mehr als drei Kilometern, mit Umgebungstemperaturen ab 100 Grad Celsius. Dafür wird Wasser in den Untergrund geleitet, dort durch den heißen Stein aufgeheizt und an anderer Stelle wieder an die Oberfläche gefördert. In der Regel ist die Durchlässigkeit des tiefen Gesteins nicht ausreichend, sodass durch so genannte Stimulationstechniken zunächst Rissysteme erzeugt werden müssen. Innerhalb von ZoDrEx soll die komplette Anwendungskette solcher Techniken demonstriert werden, von der Bohrung über die Komplettierung bis hin zum Betrieb, inklusive der Produktion von Strom aus geothermischer Energie. Die Hauptanwendungs- und Forschungsstätten sind das GZB in Bochum, das tiefe Bedretto Felslabor in der Schweiz und das geothermische Kraftwerk Rittershoffen bei Straßburg in Frankreich. Weitere deutsche Projektpartner sind die RWTH Aachen, H. Anger's Söhne Bohr- und Brunnenbaugesellschaft sowie Sirius – ES Deutschland. Das BMWi fördert das Projekt ZoDrEx, kurz für „Zonal Isolation, Drilling and Exploitation of EGS Projects“ (Förderkennzeichen 0324267A-D), mit rund 1,7 Millionen Euro.

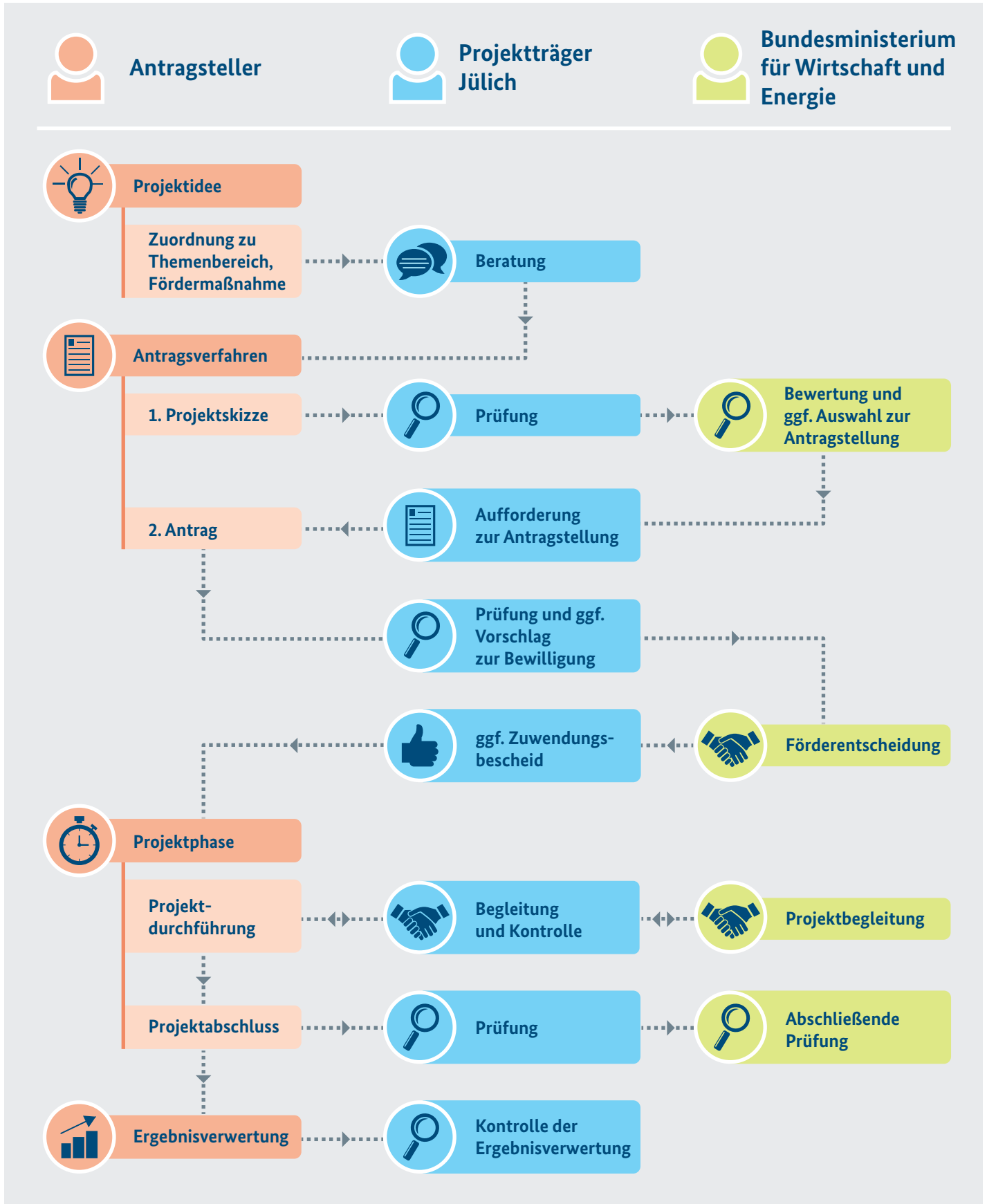
Weitere Projekte mit deutscher Beteiligung sind **HEAT-STORE** (Förderkennzeichen 0324264A-B), **GeConnect** (Förderkennzeichen 0324269), **PERFORM** (Förderkennzeichen 0324265A-B) und **CAGE** (Förderkennzeichen 0324266). Das BMWi fördert die deutsche Beteiligung an GEOTHERMICA mit insgesamt rund 4,2 Millionen Euro.



Um die nötige wirksame Anbindung einer vertikalen Bohrung an ein geothermisches Reservoir zu schaffen, wird bei ZoDrEx auf Mikro-Bohrtechnik gesetzt, welche mittels so genannter Coiled-Tubing-Anlagen angewendet werden kann.

Gewusst wie:

Projektförderung in der Energieforschung



Im Gespräch: Neue Referatsleitung

„Die Energiewende ist ein gewaltiges Projekt“



Als neuer Referatsleiter im BMWi verantwortet Dr. Wolfgang Langen die Projektförderung im Bereich Energieforschung.

Seit Oktober 2018 ist Dr. Wolfgang Langen der neue Referatsleiter der „Energieforschung – Projektförderung und Internationales“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Der studierte Physiker wechselte im BMWi aus der für Strom und Netze zuständigen Abteilung zur Forschungsförderung. Im Interview spricht er über seine Ziele, speziell hinsichtlich des neuen Energieforschungsprogramms.

Sie sind nun verantwortlich für Forschung und Innovation im Bereich Energie – sozusagen der Grundstock für eine moderne Energiewende. Was reizt Sie gerade an diesem Thema?

Die Energiewende ist ein gewaltiges Projekt für unser Land. Die Verfahren, wie wir Energie umwandeln, transportieren und verteilen, ändern sich. Wir erleben jetzt gerade den dynamischen Ausbau der erneuerbaren Energien, wir sehen, dass die Rolle der Energieträger Kohle und Erdgas im Wandel begriffen ist. Dieses Projekt klug zu gestalten, das ist für Deutschland entscheidend. Daran über die Energieforschung mitzuwirken – ein Gebiet, für das ich als Naturwissenschaftler eine Affinität habe –, das finde ich spannend und daher habe ich diese Aufgabe sehr gerne übernommen.

Worin liegen für Sie die wichtigsten Ziele des neuen Energieforschungsprogramms?

Der Transformationsprozess, der mit der Energiewende verbunden ist, wird durch die Energieforschung unterstützt. Ich bin sogar der Ansicht, dass er durch die Ergebnisse der Energieforschung erst ermöglicht wird: Bis zur Jahrhundertmitte werden wir neue, bessere und effizientere Technologien

haben. Das Ziel ist, diese zu entwickeln und damit in Deutschland zu Investitionen und Wachstum beizutragen. Was wir jetzt stärker als früher brauchen, ist eine Brücke von der Forschung in die Demonstration, in die Anwendung. Die Machbarkeit für eine Markteinführung muss in einem Umfeld nachgewiesen werden, das sich wandelt – ein Stichwort ist die Digitalisierung, die neue Möglichkeiten schafft. Das Tempo steigt und der internationale Wettbewerb wird stärker. Diesen Aspekten stellt sich die Energieforschung mit dem neuen Programm.

Wie tragen Sie mit Ihrem Referat zu diesen Zielen bei?

Das Energieforschungsreferat arbeitet an der Schnittstelle von Forschung, Politik – die ja den Rahmen für die Energiewende setzt – und Wirtschaft. Dazu gehört die Aufgabe, neue Förderformate umzusetzen, zum Beispiel die Reallabore oder die Start-ups. Wir achten darauf, dass die unterschiedlichen Ansätze und Projekte zusammengebunden werden. Wir stehen einerseits im engen Austausch mit den Kolleginnen und Kollegen der anderen Referate im Ministerium, die tiefer in den einzelnen Prozessen stecken, andererseits mit der Wissenschaft und mit den Anwendern. Wir schauen, wo wir welche Themen am besten aufsetzen können, wo wir neue Schwerpunkte setzen. Aus dem Austausch mit anderen heraus verbessern wir Prozesse, um sie an die Erfordernisse der Energiewende anzupassen.

Was wäre Ihre Empfehlung für Antragsteller mit neuen Projektideen: Wo erhalten diese einen guten Überblick über die Förderlandschaft?

Erst einmal freue ich mich über jede gute Idee, die im Bereich Energiewende die Prozesse weiter voranträgt. Natürlich muss das Ministerium oder auch der Projektträger, der uns unterstützt, von dieser Idee durch einen guten Antrag überzeugt werden. Damit wird eine Antragstellerin, ein Antragsteller ja auch nicht alleine gelassen. Wir stellen vielfältige Informationen zur Verfügung: Da verweise ich zum Beispiel auf das Portal energieforschung.de, wo Sie viele Informationen gebündelt finden. Die Förderberatung des Bundes „Forschung und Innovation“ steht für eine persönliche Beratung zur Verfügung. Nicht zuletzt eignen sich auch Publikationen wie diese hier für einen ersten Überblick, um dann die gute Projektidee – wenn Sie uns überzeugen – auch zu einem guten Ergebnis zu führen.

Das Interview führte Meike Bierther, Wissenschaftsjournalistin beim Projektträger Jülich.

Statistischer Überblick

Förderthema	Mittelabfluss in Mio. € in					Anzahl laufende Projekte in				
	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Windenergie	53,06	53,04	49,69	75,11	59,73	242	284	322	354	420
Photovoltaik	43,34	59,68	57,82	80,95	76,92	260	262	368	424	447
Solarthermische Kraftwerke	9,25	10,09	8,58	7,73	7,15	77	75	76	66	81
Geothermie	15,55	13,38	12,54	16,49	12,92	106	94	83	80	81
Wasserkraft	1,21	1,68	2,01	2,15	1,40	15	19	17	17	16
Biomassenutzung	5,03	4,69	3,66	4,18	4,20	146	101	100	117	128
Kraftwerkstechnik sowie CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung	26,74	26,22	27,16	32,82	29,57	233	277	312	326	297
Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien	22,82	19,74	15,41	21,91	20,10	105	119	126	136	131
Energiespeicher	31,04	34,13	31,17	32,05	31,07	206	232	263	304	322
Stromnetze und Netzintegration erneuerbarer Energien	33,62	44,93	56,91	61,45	53,26	285	450	527	527	550
Energieoptimierte Gebäude und Quartiere	55,19	51,15	49,73	58,84	67,24	412	486	531	616	741
Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	32,94	34,05	33,38	44,59	47,92	274	339	378	433	504
Elektromobilität	10,40	12,61	12,90	14,05	14,11	44	57	79	92	108
Energiesystemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende	10,47	11,18	13,67	16,79	18,43	89	99	147	140	179
Programmkooperation Industrielle Gemeinschaftsforschung	-	-	0,05	2,52	4,22	-	-	2	23	31
Gesamt	350,64	376,58	374,68	471,63	448,23	2.494	2.894	3.331	3.655	4.036

Förderthema	Neu bewilligte Projekte in Mio. € in					Anzahl neu bewilligter Projekte in				
	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Windenergie	38,51	85,39	86,24	95,97	90,59	63	103	93	86	121
Photovoltaik	66,91	78,64	116,57	89,31	83,21	90	97	166	103	96
Solarthermische Kraftwerke	7,44	3,76	8,90	5,62	13,21	22	16	13	21	29
Geothermie	12,65	17,33	19,55	8,00	10,48	15	21	22	17	21
Wasserkraft	2,02	2,33	3,51	1,21	-	6	5	4	2	0
Biomassenutzung	5,81	0,38	5,98	6,04	9,10	38	3	37	43	47
Kraftwerkstechnik sowie CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung	23,79	53,97	29,03	25,34	23,61	55	108	73	51	66
Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien	21,50	25,35	18,48	28,57	15,96	28	42	28	45	25
Energiespeicher	20,52	42,79	38,60	38,19	62,99	46	58	68	94	108
Stromnetze und Netzintegration erneuerbarer Energien	71,03	77,92	53,23	54,96	67,25	152	163	119	91	135
Energieoptimierte Gebäude und Quartiere	47,19	73,48	69,19	93,36	112,94	98	159	148	170	234
Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	38,60	58,48	56,57	55,03	62,71	83	115	115	130	123
Elektromobilität	14,87	17,40	18,38	16,69	12,59	11	25	41	22	36
Energiesystemanalyse und übergreifende Fragen der Energiewende	8,15	11,17	27,00	20,20	28,05	26	27	67	41	79
Programmkooperation Industrielle Gemeinschaftsforschung	-	-	0,80	8,71	5,12	-	-	2	21	11
Gesamt	378,99	548,38	552,03	547,18	597,80	733	942	996	937	1.131

Wichtige Links

www.bmwi.de

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

www.bmel.de

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

www.bmbf.de

Bundesministerium für Bildung und Forschung

www.energieforschung.de

Energieforschungsförderung des BMWi

www.bmwi.de/go/energieforschung

Energieforschung des BMWi

www.ptj.de/angewandte-energieforschung

Geschäftsbereiche zum Thema Energiesystem des Projektträgers Jülich

www.foerderinfo.bund.de

Förderberatung Forschung und Innovation des Bundes

www.foerderdatenbank.de

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

www.forschungsnetzwerke-energie.de

Forschungsnetzwerke Energie des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/bioenergie/start

Forschungsnetzwerk Bioenergie des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/energiewendebauen

Forschungsnetzwerk ENERGIEWENDBAUEN des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/erneuerbare-energien

Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/flexible-energieumwandlung

Forschungsnetzwerk Flexible Energieumwandlung des BMWi

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

Forschungsnetzwerk Energie in Industrie und Gewerbe des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/startups

Forschungsnetzwerk Start-ups des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/systemanalyse

Forschungsnetzwerk Energiesystemanalyse des BMWi

www.forschungsnetzwerke-energie.de/stromnetze

Forschungsnetzwerk Stromnetze des BMWi

www.strom-forschung.de

Fachportal zu BMWi-geförderten Forschungsprojekten zur Stromerzeugung

www.energiewendebauen.de

Portal der Forschungsinitiative Energiewendebauen

www.enargus.de

Zentrales Informationssystem EnArgus

www.nks-energie.de

Nationale Kontaktstelle Energie (NKS Energie)

www.horizont2020.de

Rahmenprogramm der EU für Forschung und Innovation

www.dsttp.org

Deutsche Solarthermie-Technologieplattform

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

Europäische Technologie- und Innovationsplattform Windenergie

www.solar-era.net

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

www.geothermica.eu

Europäische Cofund Action GEOTHERMICA

www.iea.org

Internationale Energieagentur (IEA)

<http://mission-innovation.net>

Mission Innovation

