



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Energie **wende**  
Umschalten auf Zukunft



# Erneuerbare Energien: Innovation durch Forschung

Jahresbericht 2013 zur Forschungsförderung

## Impressum

### Herausgeber

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

### Redaktion

Projekträger Jülich

### Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

### Stand

August 2014

### Druck

Bonifatius GmbH, Paderborn

### Bildnachweis

© Rainer Sturm\_stormpic.de (Titel), Bundesregierung/Bergmann (S. 4), Fotolia/istockphoto – Pedrosala/LPETTET (S. 6), Fraunhofer IWES (S. 7), DLR (CC-BY 3.0) (S. 8), WACKER (S. 9), Hochschule Ulm (S. 10), Fa. Timo Leukefeld – Energie verbindet (S. 11), Novatec Solar GmbH (S. 12), Lehrstuhl Energiewirtschaft, BTU Cottbus-Senftenberg (S. 13), Schleswig Holstein Netz AG (S. 16), Fotolia – Gina Sanders (S. 18), Fotolia – Thorsten Schier (S. 22), Fraunhofer IWES – Harry Soremski (S. 23), Holger Schuh (S. 24), Siemens AG (S. 25), Audi AG (S. 26), Fotolia – Strippenzieher (S. 28), Deutscher Wetterdienst (DWD) (S. 29), Fotolia – F. Schmidt (S. 30), M. Kühn (S. 32), Fotolia – F. Schmidt (S. 32), fos4X GmbH (S. 34), GetProject (S. 35 oben), © Skywind GmbH (S. 35 unten), © Senvion SE, 2014 (S. 36), Foto Dirkshof (S. 37), IGB-TUBS (S. 38), Klaus Hochradel, Lehrstuhl für Sensorik, Universität Erlangen-Nürnberg (S. 39), Fotolia – Gyula Gyukli (S. 40), ISFH (S. 43), Fraunhofer ISE/Foto: Michael Eckmann (S. 44), SolarWorld AG (S. 45), © Fraunhofer ISE – A. Wekkeli (S. 46), AZUR SPACE Solar Power GmbH (S. 48), TÜV Rheinland (S. 49), istockphoto – natmint (S. 50), Pfalzwerke geofuture GmbH (S. 53), Silke Meier (S. 54), Pfalzwerke geofuture GmbH (S. 55 oben), BGR/MAGS-Projekt (S. 55 unten), BSW-Solar – Langrock (www.solarwirtschaft.de) (S. 56), Fotolia – digital-designer (S. 58 oben), Christian Zahler, Industrial Solar GmbH (S. 58 unten), Fraunhofer ISE (S. 60, S. 61), DLR/Ernsting (S. 62), DLR, CIEMAT-PSA (S. 65), Dr. Björn Schiricke (S. 66 oben), DLR (S. 66 unten), DLR-SF (S. 67 oben) DLR – R. Uhlig (S. 67 unten), istockphoto – MarianneBlais (S. 68), ifps UG, 2013 (S. 69), Fotolia – Coloures-pic (S. 70), © Caroline Enders/Ide (S. 71), Fotolia – davis (S. 72), Fotolia – Wolfgang Jargstorff (S. 76), © Fotolia – Berca (S. 77), istockphoto – Jan-Otto (S. 79)

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



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



Diese und weitere Broschüren erhalten Sie bei:  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
Referat Öffentlichkeitsarbeit  
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de  
www.bmwi.de

### Zentraler Bestellservice:

Telefon: 030 182722721  
Bestellfax: 030 18102722721



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



# Erneuerbare Energien: Innovation durch Forschung

Jahresbericht 2013 zur Forschungsförderung

# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| <b>Vorwort</b> .....  | 5  |
| <b>Highlights der Forschungsförderung</b>   |    |
| Regenerative Energieversorgungssysteme .....  | 6  |
| Windenergie .....   | 7  |
| Photovoltaik .....  | 9  |
| Geothermie .....  | 10 |
| Niedertemperatur-Solarthermie .....   | 11 |
| Solarthermische Kraftwerke .....  | 12 |
| Übergreifende Fragen der Energieforschung .....   | 13 |
| <b>Forschung und Entwicklung für die Energiewende</b> .....   | 14 |
| <b>SystemEem: Regenerative Energieversorgungssysteme und Integration erneuerbarer Energien</b>          |    |
| Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund<br>der Markt- und Technologieentwicklung ..... | 18 |
| Auswahl geförderter Projekte .....  | 23 |
| <b>Windenergie</b>  |    |
| Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund<br>der Markt- und Technologieentwicklung ..... | 30 |
| Auswahl geförderter Projekte .....  | 34 |
| <b>Photovoltaik</b>   |    |
| Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund<br>der Markt- und Technologieentwicklung ..... | 40 |
| Auswahl geförderter Projekte .....  | 43 |
| <b>Geothermie</b>   |    |
| Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund<br>der Markt- und Technologieentwicklung ..... | 50 |
| Auswahl geförderter Projekte .....  | 52 |
| <b>Niedertemperatur-Solarthermie</b>  |    |
| Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund<br>der Markt- und Technologieentwicklung ..... | 56 |
| Auswahl geförderter Projekte .....  | 59 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Solarthermische Kraftwerke</b>  |           |
| Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund<br>der Markt- und Technologieentwicklung..... | 62        |
| Auswahl geförderter Projekte .....   | 64        |
| <b>Wasserkraft und Meeresenergie</b>   |           |
| Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund<br>der Markt- und Technologieentwicklung..... | 68        |
| Auswahl geförderter Projekte .....   | 69        |
| <b>Übergreifende Fragen der Energieforschung</b>   |           |
| Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund<br>der Markt- und Technologieentwicklung..... | 70        |
| Auswahl geförderter Projekte .....   | 71        |
| <b>Internationale Zusammenarbeit</b>   |           |
| SET-Plan.....  | 74        |
| ERA-NET .....  | 74        |
| Internationale Energieagentur .....  | 75        |
| <b>Fünf Jahre Förderprogramm Energetische Biomassenutzung.....</b>                                     | <b>76</b> |
| <b>Forschungsförderung anderer Ministerien mit Bezug zu erneuerbaren Energien</b>                      |           |
| Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) .....  | 78        |
| Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) .....   | 78        |
| Institutionelle Förderung .....  | 79        |
| <b>Wichtige Links.....</b>   | <b>80</b> |
| <b>Statistischer Überblick.....</b>  | <b>81</b> |

# Vorwort

Neue Herausforderungen verlangen neue Ideen und Lösungen. Dies gilt vor allem auch mit Blick auf unsere Energiewende, mit der wir in Deutschland ein großes Experiment gewagt haben. Wir haben die strategische Entscheidung getroffen, ein Energiesystem aufzubauen, das langfristig ohne Emissionen und Energieimporte auskommt. Nötig ist dafür neben einem intelligenten Ordnungsrahmen vor allem intensive Forschung, die die Entwicklung von neuen Energietechnologien und weiteren Innovationen im Energiebereich vorantreibt. Darum geht es im vorliegenden Bericht.

Erneuerbare Energien und Energieeffizienz sind die tragenden Säulen einer nachhaltigen Energiewende und bilden Schwerpunkte unserer Energiepolitik. Bereits im 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ stehen diese beiden Top-Themen im Vordergrund der Forschungs- und Entwicklungsbemühungen. Eine verbesserte Systemintegration der volatil erzeugten erneuerbaren Energien erfordert zudem den verstärkten Einsatz von Energiespeichern und modernen, intelligenten Netzen. Deshalb werden auch innovationsfördernde Maßnahmen in diesen Bereichen in erheblichem Umfang gefördert.

Die Bündelung aller für die Energiewende relevanten Fördermaßnahmen im Bundeswirtschaftsministerium ermöglicht fortan einen effizienteren Einsatz der finanziellen Mittel. Künftig werden zudem neue, thematisch übergreifende und systemorientierte Forschungsansätze verstärkt in den Förderaktivitäten aufgegriffen. Dies ist von großer Bedeutung, denn das Energiesystem der Zukunft wird eine sehr viel höhere Komplexität als die heutige Energieversorgungsstruktur aufweisen. Weitere wichtige Maßnahmen



sind die Verstärkung der europäischen und internationalen Zusammenarbeit und die Erhöhung der Transparenz der Fördermaßnahmen durch ein neues Informationssystem.

Der Jahresbericht „Innovation durch Forschung“ informiert umfassend über die Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen im Bereich der erneuerbaren Energien. Technologie- und Marktentwicklungen werden dargestellt und wichtige Projekte präsentiert. Gezeigt wird, dass und wie die Energiewende trotz aller Herausforderungen zum Erfolg geführt werden kann. Auf den jetzt gewonnenen Erkenntnissen werden wir aufbauen und unseren Innovationsvorsprung auch in Zukunft sichern.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen viel Gewinn bei der Lektüre,

Ihr

**Sigmar Gabriel**

Bundesminister für Wirtschaft und Energie



# Highlights der Forschungsförderung



## Regenerative Energieversorgungssysteme

### Sicherer Netzbetrieb mit erneuerbaren Energien

Mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien wird der Anteil der fluktuierenden Erzeugung steigen. Dies stellt neue Anforderungen an das Zusammenspiel von konventioneller und erneuerbarer Stromproduktion, den Netzausbau bzw. -umbau und die Energiespeicherung. Die heutige Stromversorgung ist auf den Transport von Strom aus großen zentralen Kraftwerken hin zu den Verbrauchern ausgerichtet. Zukünftig wird die Stromversorgung jedoch verstärkt von vielen dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA) auf Basis erneuerbarer Energien sichergestellt werden.

Welche Anforderungen sich daraus an die Kraftwerkseigenschaften der Photovoltaik- und Windenergieanlagen ergeben, untersucht das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in Zusammenarbeit mit der Enercon GmbH, der Tennet TSO GmbH und dem DERlab e. V., im Projekt **DEA-Stabil**.

Was passiert bei einem plötzlichen Spannungsabfall? Und wie müssen die Photovoltaik- und Windenergieanlagen hierauf reagieren? Die Forscher simulieren Störfälle wie

diesen sowie die jeweiligen Auswirkungen auf die Netzstabilität und leiten notwendige Reaktionen der DEA auf die einzelnen Störfälle ab. So können sie simulieren, welche technischen Anforderungen der Anlagen sich als am sinnvollsten erweisen und welche Regelverfahren benötigt werden. Dabei werden auch die Auswirkungen des Verhaltens der DEA auf das übergeordnete Übertragungs- bzw. Hoch- und Höchstspannungsnetz untersucht.

Darauf aufbauend sollen die neuen Regelverfahren in einem zweiten Schritt nicht nur simuliert, sondern auch an einem Demonstrations-Prüfstand getestet werden. Die zuvor entwickelte echtzeitfähige Netzsimulationsumgebung ermöglicht den Test der Verfahren unter realitätsnahen Bedingungen. So kann konkret gezeigt werden, wie bestimmte Regelverfahren zur Stabilität des Stromnetzes beitragen können.

Die Erkenntnisse des Projekts sollen auch auf europäischer Ebene verbreitet werden. Netzanschlussrichtlinien anderer europäischer Länder werden analysiert und Vorschläge zur Weiterentwicklung harmonisierter europäischer Netzanschlussrichtlinien eingebracht.

Das Vorhaben wird mit rund 2,7 Millionen Euro gefördert. Die Förderung erfolgte bis 2013 durch das Bundesumwelt-

ministerium (BMU) und wird seit 2014 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fortgeführt. (Im Folgenden BMU/BMWi, weitere Informationen zu den neuen Ressortzuschnitten siehe Seite 14.)

### Innovative Speicher koppeln elektrische und thermische Energieflüsse

Um Strom aus dezentralen Photovoltaik (PV)-Anlagen optimal in das Energiesystem integrieren zu können, sind innovative Speicherkonzepte notwendig. Hohes Potenzial bieten dezentrale, untereinander vernetzte PV-Speichersysteme, die elektrische und thermische Energieflüsse koppeln (so genannte Hybridsysteme). Werden diese Speichersysteme durch ein intelligentes Energiemanagement miteinander verbunden, entstehen neue Möglichkeiten zur Bereitstellung von Netzdienstleistungen: durch den so entstehenden virtuellen Großspeicher oder durch jede einzelne der Anlagen. Der durch die intelligente Verknüpfung entstehende virtuelle Großspeicher kann eine ausgleichende Wirkung auf die Leistungsflüsse haben und somit einen wertvollen Beitrag zur optimalen Ausnutzung des Netzes leisten.

Das Verbundvorhaben **INE-VES** – Innovative Energiespeicher in vernetzten Photovoltaik-Hybridsystemen – unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Systemtechnik IWES befasst sich mit diesen Fragestellungen. Ziel des Vorhabens ist ein System von optimierten, weitgehend eigenständigen und dezentralen Technologien, die sich untereinander bzw. in Wechselwirkung mit dem Netz unterstützen. Besonderes Augenmerk liegt auf einem möglichst hohen Eigenverbrauch des lokal erzeugten Stroms und damit der Netzentlastung. Thermische Speicher (z. B. Trinkwasser, Heizung, Kälte) und thermische Energieerzeuger

(z. B. Mikro-Blockheiz-Kraftwerke) werden als Teil des Systems berücksichtigt und weiterentwickelt.

Die Forscher erarbeiten Anwendungsszenarien und Betriebsführungsstrategien, um den Nutzen der Speicher sowohl aus Sicht des Netzes, als auch aus Sicht des Anlagenbetreibers zu erhöhen. Die Gesamt-Energiebilanz soll optimal auf den jeweiligen Anwendungsfall ausgerichtet werden. Für den Anlagenbetreiber ergeben sich daraus wirtschaftliche Vorteile, wie die Entkopplung von steigenden Stromkosten, ein optimierter Eigenverbrauch sowie eine sichere Stromversorgung. Aus Sicht des Netzbetreibers bieten die innovativen PV-Speichersysteme eine Entlastung des Niederspannungsnetzes, eine Vermeidung von Spitzenlasten sowie die Möglichkeit zur Bildung virtueller Großspeicher, die sich aktiv am Netzbetrieb beteiligen und somit zu deren optimaler Ausnutzung beitragen.

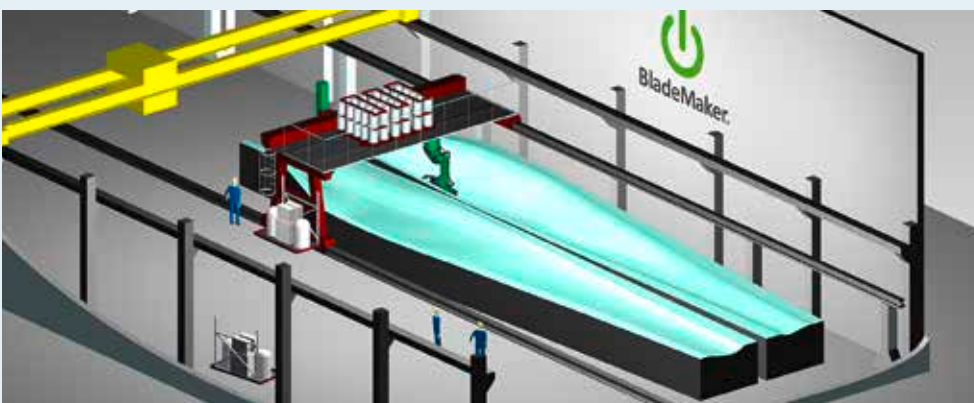
Eine enge Einbindung der Industrie wird durch den Verbund mit der Saft Batterien GmbH, der SMA Solar Technology AG sowie der Vaillant GmbH sichergestellt.

Das BMU/BMWi fördert INE-VES mit rund 2,4 Millionen Euro.

## Windenergie

### Optimierte Rotorblätter

Rotorblätter werden noch überwiegend in Handarbeit gefertigt. Sie machen rund ein Viertel der Gesamtkosten einer Windenergieanlage aus. In dem Projekt **BladeMaker** arbeiten Forscher daran, die Rotorblattproduktion zu automatisieren. So sollen Rotorblätter künftig kostengünstiger, schneller und in einer höheren Qualität hergestellt



**Modell des BladeMaker-Demonstrationszentrums: Nationale und internationale Anlaufstelle für Forschung und Entwicklung in der Rotorblattfertigung.**



**Prinzip eines Smart  
Blades: Schnelleres  
Anpassen an die  
Windbedingungen**

werden. Durch Umstellung von Kleinserienfertigung auf großindustrielle Produktion können erhebliche Kostensenkungspotenziale erschlossen werden. Ziel ist es, die Produktionskosten um über zehn Prozent zu senken. Mit der Automatisierung wird auch dem hohen Kostendruck begegnet, unter dem die Blatthersteller im internationalen Wettbewerb stehen. Außerdem soll ein Demonstrationzentrum als nationale und internationale Anlaufstelle für Forschung und Entwicklung in der Rotorblattfertigung aufgebaut werden. Damit dieses ehrgeizige Ziel erreicht werden kann, werden das Rotorblattdesign, die Werkstoffe und die Fertigungsverfahren betrachtet.

In dem vom Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES koordinierten Verbundprojekt mit 15 beteiligten Partnern aus Industrie und Wissenschaft steht die gesamte Fertigungskette der Rotorblattproduktion im Fokus. Stand der Technik ist hier das so genannte Vakuuminfusionsverfahren. Zu diesem Zweck werden zwei Formen bzw. Blatthälften mit Glas- oder Kohlenstofffaserbahnen belegt. Dieser Arbeitsschritt erfolgt fast vollständig manuell. Anschließend wird ein Vakuum aufgebaut und ein Harz eingegossen, das die Bahnen verklebt. Nach der Aushärtung werden die Hälften zu einem Blatt zusammengefügt und lackiert.

Die Forscher analysieren zunächst sämtliche Arbeitsschritte und Technologien der Rotorblattproduktion und schätzen deren Automatisierungspotenzial ab. Anschließend werden aussichtsreiche automatisierte Fertigungsverfahren für die Formwerkzeugherstellung, die Faserablage, die Einbringung der Kernwerkstoffe, die Verklebung und die mechanische Nachbearbeitung entwickelt. Am Ende des fünfjährigen Projekts entstehen Demonstratoren für die jeweiligen Prozessschritte und es wird das „BladeMaker-Blatt“ entworfen, mit dem das Automatisierungspotenzial quantifiziert werden kann.

Das BMU/BMWi fördert das Projekt mit rund 8 Millionen Euro.

### Intelligente Rotorblätter denken mit

Weht der Wind zu stark, müssen Betreiber ihre Windkraftanlagen derzeit aus dem Wind drehen. Denn die neuen, bis zu 85 Meter langen Rotorblätter überstreichen bei jeder Umdrehung eine Fläche, die mehreren Fußballfeldern entspricht. Bei böigem Wind treten schon innerhalb dieser



Fläche sehr unterschiedliche Windgeschwindigkeiten auf. Ein pauschales und auch relativ langsames Verstellen des gesamten Rotorblattes, wie es derzeit möglich ist, kann dies nicht berücksichtigen. Das führt zu Ertragseinbußen und vermindert die Wirtschaftlichkeit der Anlage.

Intelligente Rotorblätter, so genannte Smart Blades, versprechen Abhilfe: Durch aktive Strömungskontrolle sollen sich Rotorblätter in Zukunft besser und schneller an die lokalen Windströmungen anpassen können. Innerhalb des Verbundprojektes Smart Blades wollen Wissenschaftler die Machbarkeit und Effizienz von Smart Blade-Konzepten unter Beweis stellen.

Das vom BMU/BMWi mit rund 12 Millionen Euro geförderte Projekt untersucht unterschiedliche Technologien für intelligente Rotorblätter, um die große Bandbreite der vorgeschlagenen Konzepte und ihrer Nutzungspotenziale abzudecken: Zum einen passive Smart Blades, die so ausgelegt werden, dass sie sich bei aerodynamischen Laständerungen nicht nur biegen, sondern auch um ihre Achse verdrillen, damit den Anströmwinkel verändern und so automatisch der Laständerung entgegenwirken. Zum anderen aktive Smart Blades, die den gleichen Effekt mit Hilfe verformbarer Teile oder verstellbarer Klappen erreichen. Die Forscher erwarten, dass durch die Anpassungsfähigkeit der Smart Blades die Lasten auf die Rotorblätter gemindert werden. Sie wollen so ein aerodynamisch optimiertes und gleichzeitig leichteres Design umsetzen. Dadurch sollen Material- und Logistikkosten eingespart werden.

Zur Erreichung der Projektziele werden die verschiedenen Kompetenzen des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, des Zentrums für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen (ForWind) und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) kombiniert, um den Schritt zu solchen neuartigen Technologien zu ermöglichen.

## Photovoltaik

### Zukunftsweisendes Kristallisationsverfahren für Siliziumwafer

Solarzellen aus einkristallinem Silizium sind teuer in der Produktion, jedoch hocheffizient. Insbesondere in weniger sonnenintensiven Gebieten eignen sich einkristalline Siliziumwafer zur solaren Stromerzeugung. Dank zukunftsweisender neuer Materialien und innovativer Herstellungsverfahren sollen die Produktionskosten der hocheffizienten Siliziumsolarzellen weiter gesenkt werden.

Im Projekt **MAINPAGE** arbeiten Wissenschaftler an neuen Silizium-Ausgangsmaterialien für Solarzellen und Leistungselektronik. In dem Verbundvorhaben wird die Herstellung von Silizium-Einkristallen mit einem Durchmesser von 200 Millimetern aus Silizium-Granulat erforscht. Dabei wird ein Verfahren eingesetzt, das granulares Silizium verwendet, statt der aufwändig zu fertigenden Siliziumstäbe, die der klassische Float-Zone-Prozess benötigt. Da das Granulat deutlich günstiger herstellbar ist als die Siliziumstäbe, ermöglicht das innovative Ziehverfahren eine deutliche Senkung der Herstellungskosten. Das neue Verfahren wird Granular Float Zone (GFZ)-Prozess genannt.

**Zukunftsweisendes Material für die Herstellung von Solarzellen: Statt der aufwändig zu fertigenden Siliziumstäbe wird granulares Silizium verwendet.**

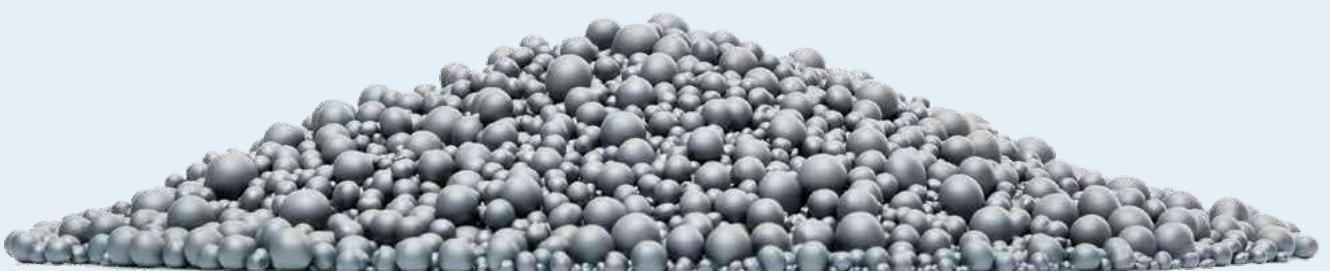
Der wesentliche Unterschied zwischen dem neuen GFZ-Material und den heutigen Standardmaterialien für Solarzellen ist der sehr geringe Sauerstoffgehalt bei GFZ. Dies ist günstig, da bei heutigen Solarzellen (auf Basis von Bor dotiertem p-Typ Silizium) Sauerstoff zu einer beträchtlichen Reduzierung des Zellwirkungsgrades führt. Ein weiterer Vorteil des GFZ-Verfahrens ist, dass längs der Achse über die Länge des Einkristalls eine konstante Grunddotierung eingestellt werden kann. Das bedeutet für den Zellhersteller eine Erleichterung bei der Prozessführung und bessere Optimierungsmöglichkeiten. Erste Kristalle mit dem Durchmesser 200 Millimeter wurden mit dem neuen Verfahren bereits gezogen.

Das Projekt ist aufgeteilt in zwei Teilvorhaben, wobei der erste Part die Herstellung von granularem Polysilizium mit hoher Reinheit bei der Wacker Chemie AG abdeckt und der Zweite die Herstellung von Silizium-Einkristallen aus diesem Granulat bei der Siltronic AG beinhaltet. Die Entwickler des GFZ-Verfahrens wurden 2013 mit dem Alexander-Wacker-Innovationspreis ausgezeichnet.

Das BMU/BMWi fördert die Arbeiten mit rund 2,4 Millionen Euro.

### Lebensdauer von Solarzellen verlängern

Solarzellen auf Basis der CIS-Dünnschichttechnologie (CIS steht für eine Verbindung aus den Elementen Kupfer, Indium und Selen) haben mit dem erzielten Wirkungsgrad-Weltrekord von 20,8 Prozent ihre hohe Leistungsfähigkeit bewiesen. Möglich wird die stetige Wirkungsgradverbesserung durch gezielte Prozess- und Materialmodifikationen. Die Zuverlässigkeit und Stabilität des Materialsystems für den jahrzehntelangen Einsatz ist eine notwendige Voraussetzung für die Photovoltaik (PV)-Anwendung, da dies maßgeblich die Stromgestehungskosten im Wettbewerb mit anderen Energieerzeugungsarten bestimmt.





**Untersuchung des Langzeitverhaltens von CIS-Dünnschicht-solarzellen mittels Temperatur-, Beleuchtungs- und elektrischen Belastungstests**

Im Projekt **RECIS** (Reliability von CIS-Dünnschicht-solarzellen) werden relevante Schnelltests für den langjährigen Einsatz entwickelt und durchgeführt. Die Methodik und Verfahren kommen aus der Halbleitertechnik und werden auf die speziellen Anforderungen der CIS-Dünnschicht-technik angewendet. Diese Schnelltests beinhalten Temperatur-, Beleuchtungs- und elektrische Belastungstests sowie deren Kombination. Daraus soll einerseits das Verhalten der CIS-Solarzelle im späteren Einsatz abgeleitet, andererseits die Zusammenhänge der Materialeigenschaften mit den Herstellbedingungen geklärt werden. Primäres Projektziel ist die Absicherung einer Lebensdauer der Solarzellen von mehr als 30 Jahren im Feld. So kann ein wichtiger Beitrag zur Reduktion von Stromgestehungskosten aus PV geleistet werden.

Die Forscher untersuchen sowohl Material von Modulen aus der Pilotlinie der Manz CIGS Technology GmbH als auch von Zellen der neuesten Entwicklungen für Höchstwirkungsgrade am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg (ZSW). Letzteres dient dazu, schon vor der Umsetzung in Produktionstechnik mögliche Schwachstellen des Materials rechtzeitig zu erkennen. Die Methodik, Analyse und Charakterisierung wird von der Hochschule Ulm eingebracht. Für die Beurteilung des Langzeitverhaltens kommt eine Vielzahl von elektro-optischen sowie chemischen Analysemethoden zum Einsatz. Für das bessere Verständnis von Verlustmechanismen in der Zelle werden begleitend spezielle Simulationen durchgeführt.

Die bisher durchgeführten Tests an Hochleistungs-Laborzellen im 20 Prozent Wirkungsgrad-Bereich belegen die Stabilität des Materials. Geringfügige Driften von Solarzellen-Parametern unter speziellen Belastungen konnten durch Optimierung der Herstellparameter im Fertigungsprozess ausgeglichen werden. Eine zusätzlich zur Temperaturbelastung angelegte Beleuchtung verbessert außer-

dem das Langzeitverhalten von CIS-Dünnschichtzellen (so genannter Light-Soak-Effekt).

Durch die langjährige Erfahrung der Projektpartner auf den Gebieten Präparation, Analytik und Simulation im Bereich der CIS-Dünnschichttechnik liefert das Projekt wertvolle Erkenntnisse für die Zuverlässigkeit der CIS-Zelle. Zudem kann die Methodik auf andere Materialsysteme angewendet werden.

Das BMU/BMWi fördert die Verbundvorhaben RECIS und RECIS II mit 1,3 Millionen Euro.

## Geothermie

### Tiefes Kristallin dank seismischer Messungen erschließen

In Deutschland befinden sich die meisten Geothermieanlagen im bayerischen Voralpenland und im Oberrheingraben. Diese nutzen überwiegend die natürliche Wärme des im tiefen Untergrund vorhandenen heißen Wassers (hydrothermale Geothermie). Allerdings sind diese Reservoirs begrenzt. Ein weitaus größeres geothermisches Potenzial bieten hingegen petrothermale Systeme, bei denen im Wesentlichen die im Gestein gespeicherte Wärme mit zu erwartenden Temperaturen oberhalb von 150° C genutzt wird. Aktuelle Forschungsprojekte untersuchen die Möglichkeit, kristalline Tiefengesteine wie den Granit für die Geothermie zu erschließen. Solche Kristallin-Gebiete für die Tiefengeothermie nutzbar zu machen, wäre ein großer Schritt nach vorne. Wesentliches Hemmnis für die kommerzielle Nutzung dieser Energiequelle ist bisher die nur geringe Kenntnis über die geologischen Bedingungen in diesen Tiefen-Gesteinen, sowie das Risiko, dass die für eine wirtschaftliche Nutzung erforderlichen Wassermengen, Schüttungsraten und Temperaturen nicht garantiert werden können (Fündigkeitsrisiko).



**Energieautarkes Haus: Im Rahmen des Projekts EAHplus-Monitoring werden Messdaten aufgenommen, registriert und verdichtet, um Informationen über die thermischen und elektrischen Energieflüsse zu gewinnen.**

Eine Risikoverminderung kann durch den Einsatz seismischer Verfahren erreicht werden. Dabei werden die Reflexionen von Schallwellen im Boden verfolgt, um Informationen über den Aufbau der Gesteinsschichten zu erhalten. Für die Erkundung von hydrothermalen Reservoiren wird bereits seit mehreren Jahren die 3D-Seismik verwendet. Sie ergibt ein anschauliches dreidimensionales Bild des Untergrundes. Zur 3D-Seismik in Kristallin-Gebieten liegen weltweit jedoch nur sehr wenige Erfahrungen vor. Forscher erhoffen sich von dieser Technik nun einen wertvollen Schlüssel für den Zugang zum Kristallin in der Tiefe.

Eine solche Messung für geothermische Zwecke wurde nun erstmalig im Verbundprojekt **Seismik im Kristallin** im Granit des kristallinen Grundgebirges durchgeführt – und zwar im westlichen Erzgebirge im Raum Schneeberg. Hauptziel des vom Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) koordinierten Projektes ist es, steilstehende Bruchzonen im Gebirge mit ihren möglichen Wasserwegsamkeiten abzubilden und zu charakterisieren. Zieltiefen sind fünf bis sechs Kilometer. Dabei soll auch geprüft werden, inwieweit sich die 3D-Seismik als Werkzeug zur Vorerkundung im Grundgebirge eignet. Charakteristische Herausforderung bei der Erkundung dieser potenziellen petrothermalen Reservoire sind die unterschiedlichen kristallinen Gesteinskomplexe sowie die komplizierten, meist steil stehenden Störungssysteme. Infolgedessen sind zusätzlich zur Messtechnik neue und unkonventionelle Methoden bei der Erfassung, Bearbeitung und Interpretation der erhobenen Daten gefordert.

Erste Resultate zeigen ein reichhaltiges, zum großen Teil unerwartetes Strukturinventar im tieferen Granit. Geologische Verwerfungen lassen sich mit unterschiedlichen Eigenschaften entweder direkt oder indirekt erkennen. Frühere geologische Modellvorstellungen müssen aufgrund dieser Ergebnisse in weiten Teilen korrigiert werden. Mit diesem weltweit einzigartigen Datensatz hat sich die moderne 3D-Seismik auch im kristallinen Grundgebirge als unverzichtbares Explorationsinstrument bewährt. In dem Verbundprojekt haben sich das LIAG, das Institut für Geophysik und Geoinformatik der Technischen Universität Bergakademie Freiberg sowie das Institut für Geophysik der Universität Hamburg zusammengeschlossen.

Das BMU/BMWi fördert das Projekt mit rund 6,5 Millionen Euro.



## Niedertemperatur-Solarthermie

### Sonnenhäuser und solare Systemkonzepte

Solarthermie kann in Verbindung mit energieeffizientem Bauen sowie in Kombination mit anderen erneuerbaren Energien und Effizienztechnologien einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige, versorgungssichere und umweltgerechte Wärme- und Kälteversorgung leisten. Mehrere Forschungsvorhaben befassen sich mit einer umfassenden Systemanalyse zum technischen und wirtschaftlichen Potenzial der Solarthermie für die solare Energieversorgung von Gebäuden und Stadtquartieren. Hier soll die Basis für einen ökonomisch optimierten Ausbau der solaren Energieversorgung gelegt werden. Exemplarisch werden hier drei Vorhaben vorgestellt:

Eine umfassende Systemanalyse zum technischen und wirtschaftlichen Potenzial der Solarthermie und der Photovoltaik für eine 50 und 100 Prozent solare Energieversorgung von Gebäuden und Stadtquartieren führt das Institut für Gebäude- und Solartechnik der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig in dem Vorhaben **future: solar** durch. Die Forscher betrachten sowohl den Neubau als auch die Sanierung bzw. Modernisierung des Gebäudebestands. Ziel ist es, in einem Kosten-Nutzen Verhältnis die bauphysikalische Sanierung und die anlagentechnische Ausrüstung bewerten zu können. Zusätzlich zur Solarthermie werden weitere erneuerbare Energien und zukunftsfähige Technologien zur Wärme-, Strom- und Kälteerzeugung berücksichtigt. Die Studie ermöglicht einen genauen Vergleich der verschiedenen Möglichkeiten zur regenerativen Versorgung und zeigt deren energetische, ökologische und ökonomische Auswirkungen.

Das BMU/BMWi fördert future: solar mit rund 420.000 Euro.

Solarthermische Kraftwerke eignen sich besonders in Regionen mit hoher solarer Direkteinstrahlung. In Deutschland entwickelte Kraftwerkskomponenten sind besonders leistungsfähig und von hoher Qualität. Sie werden in Kraft-

werken weltweit eingesetzt. Für deutsche Unternehmen bieten sie wichtige Wachstums- und Exportchancen. Hier das Solarkraftwerk Puerto Errado 1 in Spanien, das auf der Linear-Fresnel-Kollektor-Technologie beruht.



In dem Vorhaben **ENWISOL** steht die innerstädtische Energieversorgung mit Solarthermie im Fokus. Hier haben sich die Badenova-Tochter **WÄRMEPLUS** und das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE mit Unterstützung der Stadt Freiburg (im Breisgau) zusammengeschlossen und ein innovatives, solarthermisches Energiesystem für das innerstädtische Neubaugebiet Gutleutmatten entwickelt. Dabei wird erstmalig eine Wärmeversorgungsanlage auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung mit dezentraler Solarthermie kombiniert. Das Wärmenetz kann zudem im Sommer abgeschaltet werden. Ziel des Vorhabens ist eine energieeffiziente Bewertung von solarthermischen Systemen in der innerstädtischen Energieversorgung. Aus den Projektergebnissen sollen sich allgemeingültige Regeln für die langfristige Nutzung von Solarthermie in vergleichbaren Wohnquartieren ableiten lassen. Mit dieser innovativen Wärmeversorgung sollen CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart und ambitionierte Klimaschutzziele verfolgt werden.

Das BMU/BMWi fördert das Vorhaben mit rund 1,7 Millionen Euro.

Die HELMA Eigenheimbau AG Lehrte hat zusammen mit dem Solarexperten Prof. Timo Leukefeld aus Freiberg eine neue Generation energieautarker Häuser entwickelt. Im Rahmen des Projekts **EAHplus-Monitoring** werden Messdaten aufgenommen, registriert und verdichtet, um Informationen über die thermischen und elektrischen Energieflüsse zu gewinnen. Im Gegensatz zu so genannten Nullenergie- oder Plusenergiehäusern sollen sich die

energieautarken Häuser vollständig energie- und damit CO<sub>2</sub>-neutral versorgen können. Infolgedessen besteht ein hoher Bedarf an Speichertechnologie: Wärme und Strom müssen über längere Zeit so bereitgestellt und gespeichert werden, dass eine Versorgung über den gesamten Jahreszeitraum gewährleistet ist.

Das BMU/BMWi fördert das mehrjährige Monitoring der beiden Häuser an der TU Bergakademie Freiberg mit rund 440.000 Euro.

## Solarthermische Kraftwerke

### Das Salz im Kollektor

Für die Energieversorgung der Zukunft spielt die solarthermische Stromproduktion, insbesondere in Kombination mit thermischer Speicherung, eine wichtige Rolle. Denn sie kann Strom bedarfsgerecht liefern und trägt so zur Netzstabilität bei. Damit die Technologie konkurrenzfähig bleibt, müssen die Stromgestehungskosten jedoch weiter gesenkt werden.

Die Novatec Solar GmbH hat eine kosteneffiziente solarthermische Kraftwerkstechnologie erfolgreich am Markt eingeführt, welche die Fresnelkollektor-Technik mit solarer Direktverdampfung kombiniert. Fresnelkollektoren sind linienkonzentrierende Systeme: Spiegellamellen konzentrieren die Solarstrahlung auf den über ihnen feststehenden



Receiver. Wasser wird durch ein Absorberrohr im Receiver gepumpt und durch die gebündelte Sonnenenergie erhitzt und verdampft.

Für dieses Konzept der direkten Dampferzeugung existiert jedoch noch kein kommerzielles Speichersystem – beispielsweise zur mehrstündigen Überbrückung von Wolkendurchgängen oder längerem Betrieb am Abend. Im Vorhaben DMS-Fresnel testet Novatec deshalb in einer Demonstrationsanlage erstmals in Europa die Kombination aus Fresnelkollektoren und Flüssigsalz als Wärmeträgermedium in diesen Kollektoren (Direct Molten Salt, DMS).

Durch den Einsatz von Flüssigsalz können hohe Prozess-temperaturen von ca. 550 °C erreicht werden. Im Gegensatz zur Direktverdampfung stehen für Salz bereits Speicherlösungen zur Verfügung und machen es daher in der Kombination als Wärmeträger- und Speichermedium sehr attraktiv.

Verläuft das Projekt wie geplant, wird Novatec Solar künftige Kollektorfelder auf DMS-Basis für Kraftwerke und andere prozesstechnische Anwendungen anbieten. Die Stromgestehungskosten dieser Kraftwerkstechnologie könnten dann deutlich gesenkt und ein wichtiger Beitrag zur Wirtschaftlichkeit solarthermischer Kraftwerke geleistet werden.

Das Projekt wird vom BMU/BMWi mit rund 1,8 Millionen Euro gefördert.

## Übergreifende Fragen der Energieforschung

### Power-to-Heat: Mehr Flexibilität im Energiesystem

Durch den forcierten Ausbau und die Integration von erneuerbaren Energien in den deutschen Strommarkt kommt es in Zukunft sowohl zu häufigeren Perioden mit Stromüberschüssen, als auch zu Phasen erhöhter Knappheit. Zeitweise ist bei Stromüberschüssen auch eine Überlastung der Stromnetze möglich. Hieraus ergibt sich für die Integration der erneuerbaren Energien ein zusätzlicher Bedarf an Flexibilität im Energiesystem. Eine Möglichkeit der Nachfrageflexibilisierung ist die Umwandlung günstig verfügbarer oder sogar überschüssiger Strommengen in Wärmeenergie. Wobei durch Wärmespeicherung der Verbrauch zeitlich von der Erzeugung entkoppelt werden könnte. Der Prozess der Umwandlung von elektrischer

Wärmespeicher im Eingangsbereich des Energiezentrums der BTU Cottbus.



Energie in Wärme wird dabei als ‚Power-to-Heat‘ bezeichnet. Die Nutzung elektrischer Energie in Zeiten mit geringen Strompreisen durch Power-To-Heat und die dabei mögliche Zwischenspeicherung führen zu einer besseren Nutzung der heimischen regenerativen Energieträger.

In dem Forschungsprojekt Power-to-Heat untersucht der Lehrstuhl Energiewirtschaft der Brandenburgischen Technischen Universität in Cottbus die technologischen und wirtschaftlichen Potenziale von Power-to-Heat-Systemen.

Außerdem werden die Rückwirkungen auf die deutsche Energiebereitstellungsstruktur, wie z. B. andere Wärmelieferanten oder Netzausbaubedarf, diskutiert. Darauf aufbauend analysieren die Wissenschaftler Hindernisse im Marktdesign und mögliche Fördermaßnahmen im Hinblick auf ihre Kosteneffizienz und Zielerreichungsgrade. Das Vorhaben wird Power-to-Heat-Systeme im Kontext des deutschen Energiesystems bis zum Jahr 2020, mit einem Ausblick auf das Jahr 2030, darstellen. Besonders berücksichtigt werden dabei die Veränderungen, Herausforderungen und Chancen, die sich aus der Energiewende und den Ausbauzielen für die erneuerbaren Energien ergeben. Die Ergebnisse können einerseits politischen Entscheidungsträgern bei der optimalen zukünftigen Ausgestaltung des Energiemarktes helfen, andererseits Investoren bei der Auswahl der optimalen Speicher- bzw. Flexibilitätsinvestitionen unterstützen.

Das BMU/BMWi fördert das Vorhaben mit rund 224.000 Euro. ■

# Forschung und Entwicklung für die Energiewende

## Förderung innovativer Technologien für eine Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien durch das Bundesumweltministerium (bis 2013) und das Bundeswirtschaftsministerium (ab 2014).

Grundidee der Energiewende ist der Ausbau der erneuerbaren Energien als Alternative zur Kernkraft. Genauso wichtig ist es, mehr Energie einzusparen, vor allem beim Heizen von Wohnungen und Häusern und bei der Mobilität. Deutschland soll sich zu einer der umweltschonendsten und energiesparsamsten Volkswirtschaften weltweit entwickeln – bei wettbewerbsfähigen Energiepreisen und hohem Wohlstandsniveau. In der Koalitionsvereinbarung hat die Regierung deshalb festgelegt, dass sie die Entwicklung zu einer Energieversorgung ohne Atomenergie und mit einem stetig wachsenden Anteil erneuerbarer Energien zielgerichtet und planvoll fortführen will. Die Energieforschung soll weiterhin konsequent auf die Energiewende ausgerichtet werden. Beim weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien wird der Kosteneffizienz und Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems eine höhere Bedeutung zugemessen.

Zu Beginn der Legislaturperiode der Bundesregierung wurden die Ressortzuschnitte neu gefasst. Im Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) werden unter der neuen Bezeichnung „Bundesministerium für Wirtschaft und Energie“ alle für die Energiewende relevanten Fördermaßnahmen zusammengefasst. Diese Maßnahmen betreffen auch das Energieforschungsprogramm: Die Projektförderung der Forschung und Entwicklung im Bereich erneuerbarer Energien, bisher in der Zuständigkeit des Bundesumweltministeriums, wurde dem Bundeswirt-

schaftsministerium übertragen und wird in Zukunft dort weitergeführt. Die Weiterentwicklung des Energieforschungsprogramms ist Gegenstand des nächsten Bundesberichts Energieforschung, der zur Jahresmitte vorgelegt werden wird.

Die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der erneuerbaren Energien zielt auch künftig auf den Ausbau der erneuerbaren Energien, Kostensenkungen und die Optimierung der Energieversorgungssysteme für einen steigenden Anteil erneuerbarer Energien ab. Weitere Ziele sind die Unterstützung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen – und damit die Schaffung zukunftsfähiger Arbeitsplätze in Deutschland – sowie die möglichst umwelt- und naturverträgliche Nutzung der erneuerbaren Energien, wie im geltenden 6. Energieforschungsprogramm festgelegt.

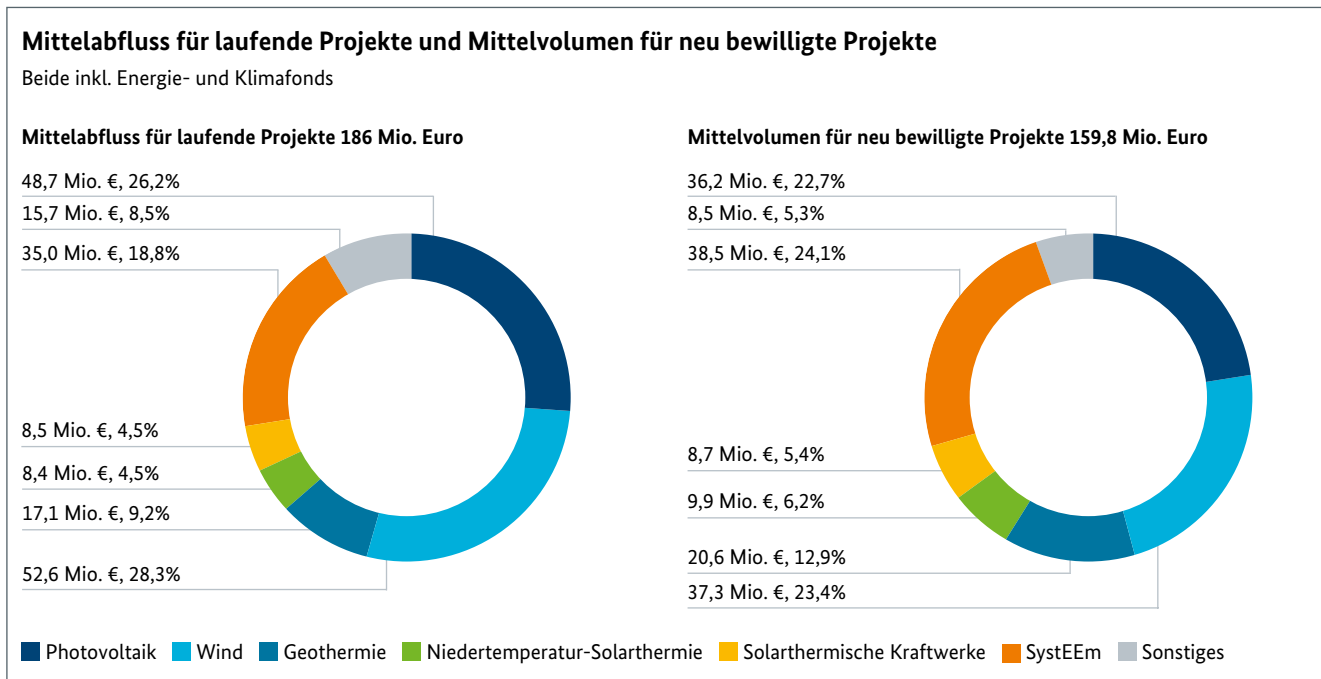
Auch im Jahr 2013 hat diese Zielsetzung die Ausgestaltung der Forschungsförderung für erneuerbare Energien geprägt. Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über alle Bereiche der Forschungsförderung im Bereich der erneuerbaren Energien, die bisher in der Zuständigkeit des Bundesumweltministeriums lag. Er zeigt die wichtigsten Markt- und Technologieentwicklungen in den einzelnen Bereichen auf und stellt beispielhaft wichtige Projekte vor, die mit Unterstützung des BMU realisiert und künftig vom BMWi weiter umgesetzt werden. Außerdem werden Förderaktivitäten anderer Bundesministerien mit Bezug zu erneuerbaren Energien kurz dargestellt.

Im Jahr 2013 hat das BMU Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Bereich der erneuerbaren Energien mit

## Mittelabfluss (in Tsd. Euro)

|                               | 2004          | 2005          | 2006          | 2007          | 2008          | 2009           | 2010           | 2011*          | 2012*          | 2013*          |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Photovoltaik                  | 24.417        | 41.961        | 37.609        | 32.108        | 39.939        | 32.889         | 39.087         | 38.827         | 51.667         | 48.725         |
| Wind                          | 7.354         | 16.885        | 9.765         | 15.741        | 29.908        | 27.894         | 36.774         | 44.013         | 38.451         | 52.634         |
| Geothermie                    | 5.883         | 10.667        | 13.985        | 14.443        | 7.415         | 13.837         | 9.889          | 11.599         | 20.816         | 17.104         |
| Niedertemperatur-Solarthermie | 3.532         | 4.920         | 6.612         | 5.676         | 5.736         | 6.313          | 8.371          | 6.451          | 7.965          | 8.399          |
| Solarthermische Kraftwerke    | 5.552         | 5.154         | 5.906         | 5.935         | 7.078         | 7.068          | 5.841          | 6.058          | 7.574          | 8.459          |
| SystEEm                       |               |               |               |               | 822           | 10.874         | 11.332         | 12.819         | 15.061         | 34.974         |
| Sonstiges                     | 3.504         | 6.229         | 6.490         | 6.437         | 7.610         | 10.677         | 8.908          | 9.631          | 12.940         | 15.745         |
| <b>Summe</b>                  | <b>50.242</b> | <b>85.816</b> | <b>80.367</b> | <b>80.340</b> | <b>98.508</b> | <b>109.552</b> | <b>120.202</b> | <b>129.398</b> | <b>154.474</b> | <b>186.040</b> |

\* inkl. Energie- und Klimafonds



insgesamt rund 186 Millionen Euro aus dem Bundeshaushalt und dem Energie- und Klimafonds (EKF) unterstützt. Dies entspricht einer Steigerung um 31,5 Millionen Euro gegenüber 2012, um 66 Millionen Euro gegenüber 2010 und auf mehr als das Dreifache im Vergleich zu 2004.

260 Projekte mit einem Gesamtvolumen von rund 160 Millionen Euro wurden neu bewilligt. Damit lag das Neubewilligungsvolumen 2013 rund 19 Millionen Euro über dem Volumen des Jahres 2010, allerdings erheblich unter dem Gesamtvolumen neu bewilligter Projekte in den Jahren 2011 und 2012. In diesen Jahren konnten aufgrund der aufwachsenden Mittelvolumina im Bundeshaushalt und im EKF deutlich mehr Projekte bewilligt werden als in den Vorjahren. Gegenüber dem Jahr 2004 hat sich das Neubewilligungsvolumen 2013 hingegen verdreifacht.

Schwerpunkte der Förderung blieben die Technologien der erneuerbaren Energien, die den größten Beitrag zur Energiewende im Strombereich leisten: Wind und Photovoltaik. Intensiviert wurde die Förderung des Bereichs „SystEEm“ (regenerative Energieversorgungssysteme und Integration erneuerbarer Energien) aufgrund der zunehmenden Bedeutung optimierter Energieversorgungssysteme für die Energiewende. Wesentliche Fördergebiete waren außerdem die Bereiche Geothermie, Niedertemperatur-Solarthermie und solarthermische Kraftwerke. Projekte zu Wasserkraft und Meeresenergie wurden wie bisher in Einzelfällen gefördert. In allen Bereichen wird in der Förderung Wert gelegt auf einen möglichst raschen Wissens- und Technologietransfer von der Forschung in den Markt. Im Rahmen der Querschnittsforschung (übergreifende Fragestellungen) wurden Projekte mit Blick auf geeignete politische, soziale, ökologische und ökonomische Rahmenbedingungen für ein auf erneuerbaren Energien basierendes deutsches Ener-

giesystem gefördert. Außerhalb des 6. Energieforschungsprogramms förderte das BMU auch Projekte zur energetischen Biomassenutzung (siehe Seite 76).

Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien wird der Anteil der zeitlich schwankenden (fluktuierenden) Erzeugung weiter steigen. An das Zusammenwirken von konventioneller und erneuerbarer Strom- und Wärmeproduktion, den Netzausbau bzw. -umbau und die Energiespeicherung stellt dies neue Anforderungen. Mit diesen Herausforderungen befasst sich der Bereich „**Regenerative Energieversorgungssysteme (SystEEm)**“, in dessen Mittelpunkt die Themenbereiche intelligente Netze, Energiespeicher, Systemdienstleistungen und die Vernetzung von erneuerbaren Energien und Speichern zu virtuellen Kraftwerken stehen. Der Ausbau des Förderschwerpunkts SystEEm wird bei den Mitteln für laufende Projekte deutlich: Rund 35 Millionen Euro flossen in bereits laufende Forschungsvorhaben. Damit lag der Mittelabfluss deutlich über dem Durchschnitt der Jahre 2009 bis 2012 (12,5 Millionen Euro). Insgesamt hat das BMU 2013 in diesem Bereich 66 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 38,5 Millionen Euro neu bewilligt. Etwas mehr als die Hälfte des Neubewilligungsvolumens entfiel auf Vorhaben mit Bezug zu Speichertechnologien. Denn mittel- bis langfristig wird der Einsatz von Speichern mit dem stetig steigenden Anteil der erneuerbaren Energien immer bedeutsamer. Die andere Hälfte setzt sich zum Großteil aus Forschungsprojekten zum Thema Netztechnologien und intelligente Netze zusammen. Ein weiterer Fokus liegt auf der Fragestellung, wie die Erbringung von Systemdienstleistungen durch erneuerbare Energien statt durch konventionelle Kraftwerke sichergestellt werden kann. Zu den wichtigsten Systemdienstleistungen zählen heute die Frequenzhaltung, die Spannungshaltung, der Netzwiederaufbau und das Netzengpassmanagement.

**Förderinitiative Energiespeicher: Im Projekt SmartRegion Pellworm erforschen Wissenschaftler, wie elektrische Speicher mit erneuerbaren Energien optimal zusammenarbeiten.**

In den gemeinsamen Förderinitiativen „Energiespeicher“ und „Zukünftige Stromnetze“ kooperieren das BMU/BMWi und das Bundesforschungsministerium (BMBF). Bis Mitte Dezember 2013 sind im Rahmen der Forschungsinitiative Energiespeicher 255 eingereichte Vorhaben mit einem Fördervolumen von rund 191 Millionen Euro bewilligt worden, davon entfallen 89 Vorhaben mit einem Fördervolumen von rund 56 Millionen Euro auf die Forschungsförderung zu erneuerbaren Energien. Zum selben Zeitpunkt sind bereits die Einreicher von 18 Projektskizzen mit einem Fördervolumen von rund 33 Millionen Euro durch das BMU/BMWi im Rahmen der Förderinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ zur Antragstellung aufgefordert worden. Voraussichtlich Mitte des Jahres 2014 können die ersten Vorhaben aus der Initiative bewilligt werden.

Die **Windenergie** hatte 2013 einen Anteil von 7,9 Prozent an der Stromerzeugung. Die verstärkte Nutzung der Windenergie auf dem Meer sowie die weitere Erschließung der Windenergienutzung an Land durch moderne, leistungsfähigere Anlagen sind ein wesentlicher Pfeiler des Ausbaus der erneuerbaren Energien. Die Offshore-Windenergie spielt in den Ausbauzielen der Bundesregierung eine wichtige Rolle. Sie ist unverzichtbar für das Gelingen der Energiewende und den nahezu vollständigen Umbau der Stromversorgung bis 2050. Offshore-Windenergie wird einen wesentlichen Beitrag zur Versorgungssicherheit, Systemqualität und Reduzierung der Gesamtkosten liefern. Außerdem stehen in hohem Umfang geeignete Flächen zur Verfügung und es ist zu erwarten, dass es aufgrund der besseren Windbedingungen als an Land auch einen höheren Stromertrag geben wird. Trotz der gegenüber dem Onshore-Ausbau höheren Installations- und Wartungskosten ist deshalb ein volkswirtschaftlich sinnvoller Beitrag zum Ausbau der erneuerbaren Energien möglich.

Weltweit wächst die installierte Leistung von Windenergieanlagen stetig. Jedoch gab es in einigen Ländern – insbesondere USA, teilweise auch Spanien und Frankreich – massive Einbrüche. Diese konnten von den erheblichen Zuwächsen in anderen Staaten, z. B. Australien, Großbritannien, Brasilien, Marokko oder Kanada, nicht aufgefangen werden. Deutsche Hersteller haben in Anbetracht des weltweiten Zubaus gute Aussichten, denn neben den momentan schwierigen Märkten USA und China eröffnen sich auf allen Kontinenten interessante Möglichkeiten, am Ausbau der Windenergie erfolgreich teilzuhaben.

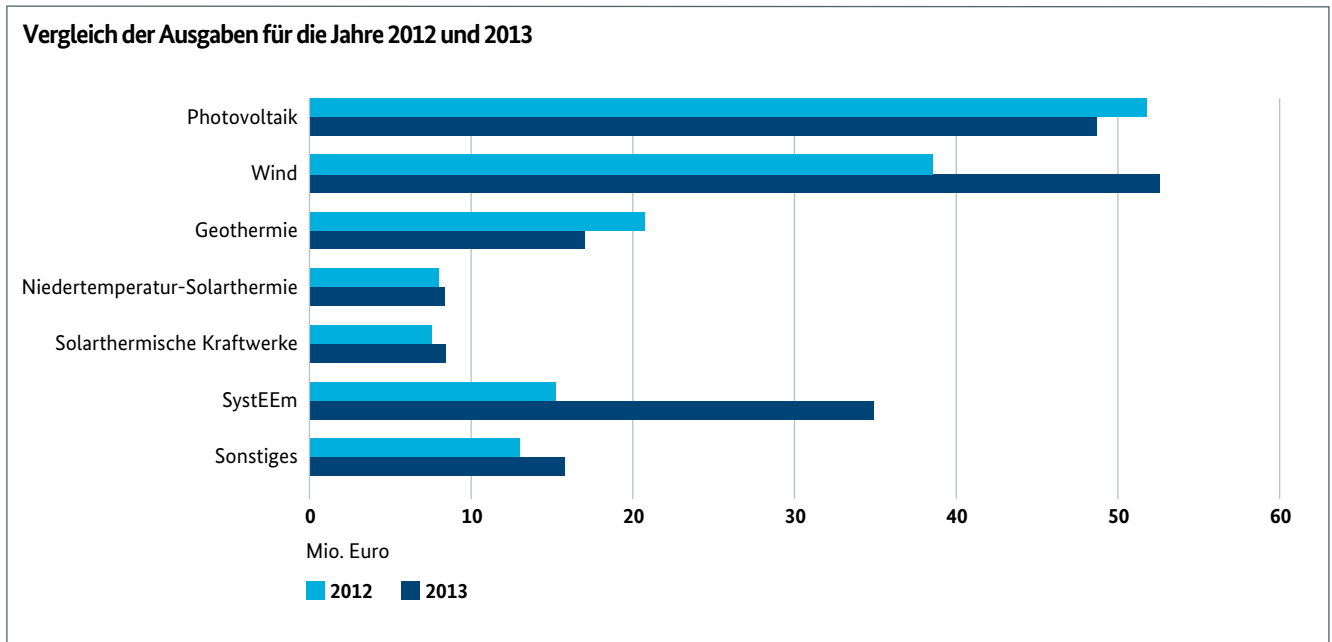


Insgesamt hat das BMU 2013 im Bereich Windenergie 60 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 37,3 Millionen Euro neu bewilligt. Bereits laufende Forschungsvorhaben wurden mit 52,6 Millionen Euro gefördert. Ziel der Forschungsförderung ist vor allem die Reduktion der Kosten für die Windenergienutzung. Ein Schwerpunkt der Forschungsförderung ist die Offshore-Windenergie, wobei die geförderten Projekte durch die Übertragbarkeit der Ergebnisse auch für die Onshore-Windenergie einen Nutzen bieten. Vor allem Offshore können die Stromgestehungskosten durch die Verringerung des Wartungsaufwandes der Anlagen gesenkt werden, da so eine höhere Verfügbarkeit der Anlagen erreicht wird.

Die **Photovoltaik** hatte 2013 einen Anteil von rund 4,5 Prozent an der Brutto-Stromerzeugung in Deutschland. Rund 1,5 Millionen Photovoltaikanlagen sind mittlerweile am Netz und es ist unbestritten, dass die Photovoltaik in einer nachhaltigen Energiezukunft eine entscheidende Rolle spielen wird. Gleichzeitig hatten im vergangenen Jahr Photovoltaikindustrie, Anlagenbau und Zulieferer erneut mit einem schwierigen Marktumfeld zu kämpfen. Die Produktionskapazitäten überstiegen nach wie vor deutlich die Nachfrage auf dem Weltmarkt. Infolgedessen waren die Modulpreise sehr gering, sodass weltweit fast alle Herstellerfirmen Verluste machten.

Die Forschungsförderung des BMU/BMWi unterstützt deutsche Photovoltaikunternehmen bei der Entwicklung innovativer, konkurrenzfähiger Lösungen. Infolgedessen werden vor allem Verbundvorhaben mit Industriebeteiligung gefördert. Gleichzeitig werden aber auch die ausgezeichneten deutschen Forschungseinrichtungen in ihrer Vorlauftforschung unterstützt, sodass sie der Industrie Forschungsideen anbieten können, deren Machbarkeitsnachweis bereits erfolgreich erbracht wurde.





Insgesamt hat das BMU 2013 in diesem Bereich 43 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 36,2 Millionen Euro neu bewilligt. Der Mittelabfluss in bereits laufende Forschungsvorhaben lag 2013 bei 48,7 Millionen Euro. Schwerpunkte der Förderung sind insbesondere Technologien zum kristallinen Silizium, zur CIGS-Dünnschichttechnologie, der konzentrierenden Photovoltaik und der Systemtechnik, da hier hohe Entwicklungspotenziale und große Chancen für die deutsche Industrie liegen. Als wichtiges Querschnittsthema rückt zudem die Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit von Photovoltaiksystemen immer stärker in den Fokus der Forschungsförderung. Erfolge dieser Forschungsstrategie zeigen sich insbesondere in den positiven Zwischenergebnissen der laufenden Vorhaben zur Innovationsallianz Photovoltaik. Flankiert wird diese durch den gemeinsamen Förderaufruf zu „Forschung und Entwicklung für Photovoltaik“, den Bundesumwelt- und Bundesforschungsministerium im März 2013 gemeinsam gestartet haben.

Die in der **Geothermie** geförderten Vorhaben umfassen alle Stufen der geothermischen Wertschöpfung, mit dem primären Ziel, die Kosten weiter zu senken und damit die Technologie in den Bereich der Wirtschaftlichkeit zu führen. Das BMU hat 2013 insgesamt 29 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 20,6 Millionen Euro neu bewilligt. Gleichzeitig flossen rund 17,1 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben. Insbesondere die Bohrungen müssen kostengünstiger und in kürzerem Zeitrahmen umgesetzt werden. Sie verursachen momentan den Hauptteil der Investitionskosten. Infolgedessen sind rund die Hälfte der neu bewilligten Projekte der Bohr-, Errichtungs- und Bauphase sowie der Technologieentwicklung zuzuordnen. Um das Fündigkeitsrisiko für die wirtschaftliche Nutzung der Geothermie zu minimieren, beschäftigt sich außerdem knapp ein Drittel der neu bewilligten Vorhaben mit der Bau- und Explorationsphase von Geothermieanlagen.

Im Bereich der **Niedertemperatur-Solarthermie** fokussierte die Förderung auf die weitere Kostensenkung der Systeme insgesamt. Dies beinhaltet vor allem die Entwicklung und Anwendung neuer Systemansätze, verstärkte Standardisierungsanstrengungen sowie die Erhöhung der Funktions- und Ertragssicherheit. Insgesamt hat das BMU 2013 im Bereich der Solarthermieforschung 25 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 9,9 Millionen Euro neu bewilligt. Gleichzeitig flossen rund 8,4 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben.

Bei den Projekten im Bereich der **solarthermischen Kraftwerke** lagen die Förderschwerpunkte auf neuen Wärmeträgerfluiden und auf Maßnahmen zur Standardisierung und Qualifizierung aller Kraftwerkskomponenten. Diese sollen dazu beitragen, die hohe Qualität der deutschen Technologie im internationalen Maßstab noch besser demonstrieren zu können. Insgesamt hat das BMU 2013 im Bereich der solarthermischen Stromerzeugung 14 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 8,7 Millionen Euro neu bewilligt. Der Mittelabfluss in bereits laufende Vorhaben betrug 8,5 Millionen Euro.

Die Untersuchungen sozialer, ökologischer und ökonomischer Rahmenbedingungen im Rahmen der Förderung **übergreifender Fragestellungen** konnten 2013 mit einem Fördervolumen von rund 4,6 Millionen Euro den Wert des Vorjahres übersteigen. Für diesen Forschungsbereich wurden 16 Projekte in Höhe von rund 4 Millionen Euro neu bewilligt. Ergänzt werden diese Forschungsschwerpunkte durch das Programm zur Förderung von Forschung und Entwicklung zur klimaeffizienten Optimierung der energetischen Biomassenutzung. ■



# SystEEm: Regenerative Energieversorgungssysteme und Integration erneuerbarer Energien



Die größte Herausforderung der Energiewende liegt im Umbau und der Anpassung des bisherigen Energieversorgungssystems für hohe Anteile erneuerbarer Energien. Mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien wird der Anteil der fluktuierenden Erzeugung steigen. Dies stellt neue Anforderungen an das Zusammenwirken von konventioneller und erneuerbarer Stromproduktion, den Netzausbau bzw. -umbau und die Energiespeicherung. Forschung und Entwicklung im Bereich „Regenerative Energieversorgungssysteme (SystEEm)“ befasst sich mit diesen Herausforderungen.

## Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund der Markt- und Technologieentwicklung

### Marktgeschehen Deutschland und weltweit

Bis 2050 soll der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch in Deutschland 60 Prozent erreichen, der Anteil an der Stromerzeugung 80 Prozent. Derzeit beträgt der Anteil an der Stromerzeugung ca. 25 Prozent. Dieser Wert ist allerdings lediglich ein Durchschnittswert für das gesamte Jahr. Zeitweise ist der Anteil schon heute deutlich höher. So betrug beispielsweise am Montag, den 28. Oktober 2013 zwischen 10:00 und 13:00 Uhr die regenerative Stromerzeugung aus Wind 24 Gigawatt, aus Photovoltaik 8 Gigawatt und in Summe 32 Gigawatt. Dem stand zu dieser Zeit ein relativ hoher Stromverbrauch von 70 Gigawatt gegenüber. Somit lag der Anteil fluktuierender

erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in dieser Zeit bei ca. 46 Prozent. Handlungsbedarf ergibt sich auch, wenn man statt der produzierten Strommengen die installierte Leistung betrachtet. Laut Netzentwicklungsplan (NEP 2014, Szenario B) werden im Jahr 2024 wahrscheinlich bereits rund 139 Gigawatt an erneuerbaren Energien in Deutschland installiert sein. Der Stromverbrauch innerhalb eines Jahres schwankt allerdings lediglich zwischen ca. 40 und 80 Gigawatt.

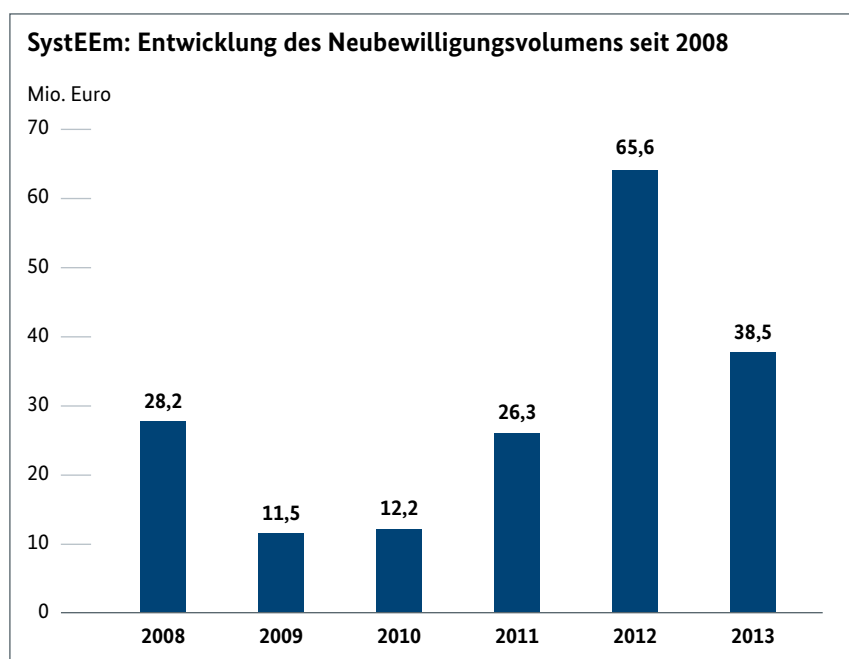
Eine Möglichkeit für einen räumlichen Ausgleich zwischen regenerativer Erzeugung und Stromverbrauch sind die Netze. Das bisherige Stromnetz ist aufgrund seiner historischen Struktur für die zukünftigen Anforderungen einer regenerativen Energieversorgung nur bedingt geeignet. Die heutige Stromversorgung ist auf den Transport von Strom aus großen zentralen Kraftwerken hin zu den Verbrauchern ausgerichtet. Zukünftig wird die Stromversorgung jedoch

zu großen Teilen von vielen dezentralen Erzeugungseinheiten auf Basis erneuerbarer Energien sichergestellt werden. Der Strom fließt daher künftig nicht länger ausschließlich aus den Übertragungsnetzen zu den Verteilnetzen, sondern wird auch direkt in die Verteilnetze eingespeist. Im Bereich der Stromnetze besteht laut Netzentwicklungsplan (NEP) 2013 beispielsweise auf Übertragungsebene ein Bedarf für 56 Maßnahmen, rund 2.800 Kilometer an Optimierungs- und Verstärkungsmaßnahmen in bestehende Trassen und etwa 2.650 Kilometer an Neubauprojekten. Auf Verteilnetzebene herrscht ebenfalls Handlungsbedarf. Neben dem klassischen Netzausbau stehen dabei der Umbau zu einem intelligenten Netz und die Nutzung von Lastmanagementpotenzialen im Vordergrund. Hier gibt es bereits mehrere erfolgreiche Projekte, z. B. zu intelligenten Ortsnetzstationen mit flexiblen Transformationen oder zu intelligenten Netzen (Smart grids). Allerdings sind dies bisher Einzelprojekte. Ein flächendeckendes intelligentes Stromnetz gibt es in Deutschland bisher nicht.

Stromspeicher bieten die Möglichkeit, Erzeugung und Verbrauch zeitlich zu entkoppeln. Im Bereich der Stromspeicher gibt es in Deutschland bisher fast ausschließlich Pumpspeicherwerke. Insgesamt sind in Deutschland Stromspeicher mit einer Leistung von rund sieben Gigawatt und einer Speicherkapazität von lediglich ca. 0,04 Terawattstunden installiert. Derzeit erfahren stationäre Batteriespeicher eine starke Entwicklung – allerdings aus-

gehend von einem sehr geringen Niveau. Treiber ist hier insbesondere der Photovoltaik (PV)-Eigenverbrauch. Die Anschaffung solcher Speicher ist derzeit allerdings noch mit relativ hohen Kosten verbunden. Kostensenkungen sind deshalb ein Hauptziel der Forschungsförderung. Neben der Forschungsförderung wird die Hürde der hohen Investitionskosten derzeit durch ein Markt-Anreiz-Programm gesenkt. Das BMU hat die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) mit der Umsetzung des Förderprogramms „Erneuerbare Energien – Speicher (275)“ beauftragt. Dabei wird die Neuinstallation von stationären Batteriespeichersystemen in Kombination mit PV-Anlagen gefördert, wenn diese netzdienliche Mindestanforderungen erfüllen. Insgesamt wurden bis Ende 2013 rund 2.700 Anträge für PV-Speichersysteme mit einem Kreditvolumen von 45,3 Millionen Euro bewilligt. Wie eine netzdienliche Betriebsführung von PV-Speicher-Systemen weiter optimiert werden kann, wird derzeit untersucht. Eine Option könnte die Bereitstellung von Regelleistung sein.

Durch die Leistungsfähigkeit der erneuerbaren Erzeugungsanlagen vermarkten immer mehr Betreiber von Photovoltaik- oder Windkraftanlagen den erzeugten Strom selbst. Diese Möglichkeit fördert das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) seit Einführung des Marktprämienmodells im Jahr 2012. Mit Stand Ende 2013 werden insgesamt rund 37 Gigawatt an erneuerbaren Energien direkt vermarktet. Am weitesten verbreitet ist die Direktvermarktung



von Windstrom mit knapp 28 Gigawatt gefolgt von Photovoltaik mit rund 4,2 Gigawatt und Biomasse mit rund drei Gigawatt. Für eine kosteneffiziente Vermarktung benötigen die Betreiber und Händler eine besonders genaue Prognose für den Strom aus Windparks oder PV-Anlagen, damit sie weniger Reserven vorhalten müssen. Mittlerweile gibt es einen Markt von wenigen Anbietern für die Prognose am aktuellen Tag (intraday) bzw. den Folgetag (day-ahead). Für eine optimale Direktvermarktung von Strom aus Windkraft- und PV-Anlagen sind die verwendeten Verfahren und deren Güte weiter zu verbessern.

### Fortschritte in Forschung und Entwicklung

In den letzten Jahren konnten einige Fortschritte erzielt werden, die thematisch zu differenzieren sind. Laut einem Bericht des Joint Research Centre der EU-Kommission von 2013 zu Projekten mit dem Fokus intelligente Netze („Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments: 2012 update“) gehört Deutschland zu den führenden Akteuren bei Projekten zu intelligenten Stromnetzen in Europa. Ein erfolgreiches Beispiel für die Forschungsförderung in diesem Bereich ist die Initiative „E-Energy“. Bei dem 2013 abgeschlossenen Förderprogramm, welches das Bundesumwelt- und das Bundeswirtschaftsministerium durchgeführt haben, nahmen insgesamt 8.500 Endverbraucher in sechs Modellregionen teil. Schwerpunkte der Modellregionen des BMU waren dezentrale Lösungen für den Ausgleich von Stromerzeugung und -verbrauch. Aufgrund der Feldversuche liegen nun unter anderem valide Informationen zum Potenzial von Lastverschiebungen und einem dezentralen Netzbetrieb bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien vor. Außerdem wurden Aspekte zu Schnittstellen und Standards ausgearbeitet. Es wird erwartet, dass die im Schwerpunkt „SystEEm“ und in der gemeinsamen Förderinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ geförderten Projekte weitere Erkenntnisgewinne im Hinblick auf Technologieentwicklung und die Optimierung des Energiesystems für die Energiewende führen.

Im Bereich der Energiespeicher reicht das Spektrum der geförderten Forschungsprojekte von Batterien in Haushalten über Stromspeicher im Megawatt-Maßstab für Energieversorger oder Netzbetreiber, bis hin zu Vorhaben zur Langzeitspeicherung erneuerbarer Energien, bei denen mittels regenerativ erzeugten Stroms die Herstellung von Wasserstoff in Elektrolyseuren erfolgt. Hier konnte 2013

beispielsweise die weltgrößte Power-to-Gas Anlage zur Herstellung von Methan („Erdgas“) aus erneuerbaren Energien eingeweiht werden.

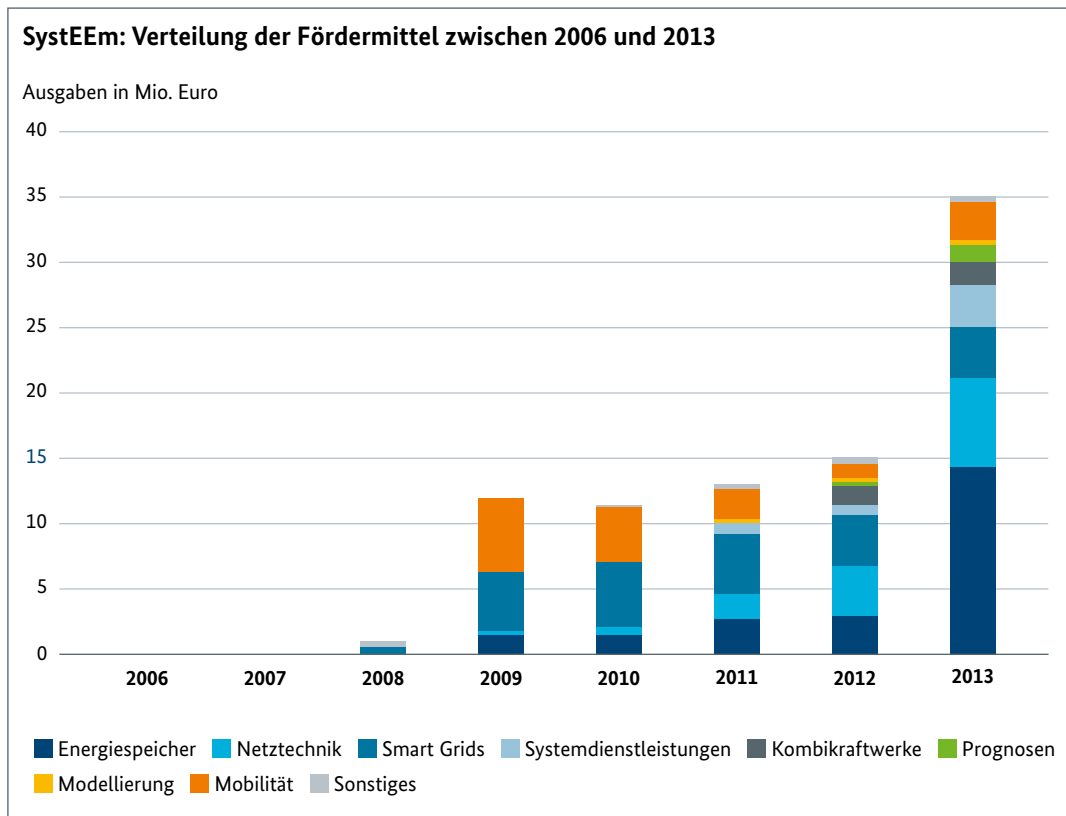
Im Bereich der „Intelligenten Netze“ wurde im Rahmen eines Verbundvorhabens eine aktive intelligente Netzstation entwickelt, um die Aufnahmefähigkeit von erneuerbaren Energien in Niederspannungsnetzen zu erhöhen. Dies hat zur Folge, dass insbesondere in ländlichen Regionen mit großem Photovoltaik-Anteil, geringer Last und langen Netzausläufern die so genannte Lastflussumkehr sowie die Rückspeisung ins überlagerte Netz und lokale Spannungsüberhöhungen vermieden werden. Aufgrund der nachgewiesenen Eigenschaften ist nach einer solchen Technologie eine rege Nachfrage seitens der Verteilnetzbetreiber entstanden.

Bei der Frage der Systemsicherheit konnte im Rahmen eines realen Feldtests gezeigt werden, wie erneuerbare Energien alternativ zu konventionellen Kraftwerken Primärregelleistung erbringen und damit die Frequenzstabilität sicherstellen können. Hierfür wurden regenerative Erzeugungsanlagen zu einem Kombikraftwerk zusammengefasst. Das Vorläuferprojekt hatte gezeigt, dass die erneuerbaren Energien jederzeit den Strombedarf abdecken können.

### Strategie der Forschungsförderung

Zukünftig werden die fluktuierenden erneuerbaren Energien – Windenergie und Photovoltaik – den Hauptanteil der Stromerzeugung stellen. Das Energieversorgungssystem muss an diese Fluktuationen angepasst werden, die erneuerbaren Energien müssen Systemverantwortung übernehmen. Um den Umbau der Energieversorgungssysteme für hohe Anteile erneuerbare Energien zu beschleunigen, werden im Bereich SystEEm daher weiterhin Projekte in folgenden Bereichen gefördert:

- ▶ Netze,
- ▶ Systemdienstleistungen,
- ▶ Energiespeicher,
- ▶ regenerative Kombikraftwerke bzw. virtuelle Kraftwerke sowie
- ▶ Prognosen für Erzeugung und Verbrauch.



Zu den Themen Netze und Speicher führen das BMU/ BMWi und das Bundesforschungsministerium (BMBF) zwei Forschungsinitiativen durch. Schwerpunkte der ressortübergreifenden Forschungsinitiative „Energiespeicher“ (<http://forschung-energiespeicher.info>) sind die Weiterentwicklung von Batterien und Anpassung an fluktuierende Einspeisung, z. B. zur Netzstützung und für PV-Eigenverbrauch („Batterien im Verteilnetz“), und die Umwandlung von fluktuierender Einspeisung erneuerbarer Energien in regenerativen Wasserstoff bzw. Methan und deren Speicherung („Wind-Wasserstoff-Kopplung“). Bis Mitte Dezember 2013 wurden im Rahmen der Forschungsinitiative Energiespeicher 255 Vorhaben mit einem Fördervolumen von rund 191 Millionen Euro bewilligt. Davon werden 89 Vorhaben mit einem Volumen von rund 56 Millionen Euro im Bereich der erneuerbaren Energien gefördert. In der Förderinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ stehen die Themen intelligente Verteilnetze, Übertragungsnetze, sowie Netzregelungsverfahren und Systemdienstleistungen im Vordergrund. Hier sind bereits 18 Projektvorschläge mit einem Fördervolumen von rund 33 Millionen Euro durch das BMU im Rahmen der Förderinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ zur Einreichung eines Antrages aufgefordert worden. Mit einer Bewilligung der Vorhaben (dann durch BMWi) wird im Laufe des Jahres 2014 gerechnet.

Zukünftig rückt im Förderschwerpunkt SystEEm die Kopplung der Energiesektoren, z. B. von Strom und Wärme, zunehmend in den Fokus, da sich dadurch erhebliche Flexibilitätsmöglichkeiten für das Energiesystem bieten. Außerdem können so die EE-Anteile in den anderen Sektoren,

wie z. B. Wärme, gesteigert werden. Mit Bezug auf die Klimaziele der Bundesregierung ergeben sich dadurch wichtige Synergien, denn in Deutschland entfällt etwa die Hälfte des Endenergiebedarfs auf den Bereich Wärme. Die Kopplung der Energiesektoren wird, genauso wie die Erbringung von Systemdienstleistungen bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien, in der zukünftigen Forschungsförderung einen weiteren Schwerpunkt bilden.

Um die zukünftige Ausrichtung der Forschungsförderung sinnvoll und zielgerichtet weiterzuentwickeln, hat das BMU den Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Bereich Systemdienstleistungen gemeinsam mit führenden Experten erörtert. In einer Online-Umfrage des Projektträgers Jülich wurden die Experten zunächst zu Forschungsthemen und Methoden der Forschungsförderung im Bereich Systemdienstleistungen befragt. Die gewonnenen Thesen wurden in einem Strategieworkshop Ende November 2013 in Berlin weiter konkretisiert und diskutiert (*Weitere Informationen siehe Seite 27*).

Insgesamt hat das BMU 2013 im Bereich SystEEm 66 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 38,5 Millionen Euro neu bewilligt (2012: 65,6 Millionen Euro). Dies liegt zwar deutlich unter dem Neubewilligungsvolumen des vergangenen Jahres, aber wesentlich höher als vor 2011. Die Jahre 2011 und 2012 müssen aufgrund besonders aufwachsender Mittelvolumina im Bundeshaushalt und im Energie- und Klimafonds gesondert betrachtet werden. Etwas mehr als die Hälfte des Neubewilligungsvolumens entfällt auf Vorhaben mit Bezug zu Speichertechnik (*weiter auf S. 23*)





## Zukunftsfähige Stromnetze

**Der Um- und Ausbau der Stromnetze spielt für das Gelingen der Energiewende eine zentrale Rolle. Übertragungs- und Verteilnetze sollen auf die Einspeisung hoher Anteile erneuerbarer Energien ausgerichtet werden. Um das zu erreichen, fördert die Bundesregierung die Erforschung von Technologien und Konzepten zur Anpassung der Netzinfrastruktur.**

Die Bundesministerien für Umwelt, Wirtschaft und Forschung haben im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms die ressortübergreifende Initiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet gestartet. Die drei Ressorts werden bis zu 150 Millionen Euro Fördermittel für die Initiative bereitstellen und damit laufende Förderaktivitäten in dem Bereich verstärken.

Mit der Initiative sollen auf diesem für die Umsetzung der Energiewende wichtigen Gebiet die notwendigen technologischen Voraussetzungen und Innovationen für eine langfristig gesicherte, bezahlbare und umweltverträgliche Stromversorgung geschaffen werden. Ziel ist es, den Ausbau von Stromnetzinfrastrukturen und deren Ausrichtung auf die Einspeisung hoher Anteile erneuerbarer Energien in die Übertragungs- und Verteilnetze zu ermöglichen. Dies erfordert moderne Technologien und Konzepte.

Im Fokus der Förderinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ stehen Forschung und Entwicklung, einschließlich Demonstrationsvorhaben, in den Bereichen

- ▶ intelligente Verteilnetze,
- ▶ Übertragungsnetze,
- ▶ Systemdienstleistungen und Netzregelungsverfahren.

Insgesamt sollen Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Ressourceneffizienz der Stromnetze und die Sicherheit der Stromversorgung in Deutschland verbessert werden.

Nach der gemeinsamen Forschungsinitiative Energiespeichertechnologien ist dies die zweite gemeinsame Maßnahme der am sechsten Energieforschungsprogramm beteiligten Ministerien.

Insgesamt wurden rund 170 Projektskizzen mit ca. 700 Projektpartnern und einem Fördervolumen von insgesamt rund 320 Mio. Euro eingereicht. Besonders erfreulich ist das hohe Interesse der Industrie: Rund 400 Unternehmen wollen sich an den Forschungsverbänden beteiligen. Mehr als 150 davon fallen in die Kategorie kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Rund 300 Hochschulen und Forschungseinrichtungen wollen an den Projekten teilnehmen. Das BMU hat 2013 bereits 18 Projektvorschläge mit einem Fördervolumen von rund 33 Millionen Euro zur Einreichung eines Antrages aufgefordert. Bewilligung (dann durch BMWi) und Start der Vorhaben ist im Laufe des Jahres 2014.



### Demonstration des Feldtests in der Leitwarte des Kombi- kraftwerk 2.



nologien. Die andere Hälfte setzt sich im Wesentlichen aus Projekten zum Thema Netztechnologien und intelligente Netze zusammen, die ergänzt werden durch Vorhaben zu Kombikraftwerken. Rund 35 Millionen Euro flossen 2013 in bereits laufende Forschungsvorhaben (2012: 15,1 Mio.). Damit liegt der Mittelabfluss deutlich über dem Durchschnitt der Jahre 2009–2012 (12,5 Millionen Euro), was die zunehmende Bedeutung dieses Bereichs unterstreicht.

## Auswahl geförderter Projekte

An dieser Stelle werden einige vom BMU/BMWi geförderte Projekte im Bereich SystEEm – Regenerative Energieversorgungssysteme und Integration erneuerbarer Energien vorgestellt. Leuchtturmprojekte aus diesem Technologiebereich sind außerdem im Kapitel „Highlights“ zu finden (siehe Seiten 6/7).

## Regenerative Kombikraftwerke/Virtuelle Kraftwerke

### Interaktion zwischen Virtuellen Kraftwerken und Netzbetrieb

Erneuerbare Energien sind heute lokal in Netzen technisch integriert und teilweise überregional in virtuellen Kraftwerken (d. h. Verbänden aus Erneuerbaren-Energien-Anlagen mit Speichern und/oder Lastmanagement) ökonomisch organisiert. Das Verbundprojekt **In2VPP** untersucht die Integration technisch und ökonomisch optimierter virtueller Kraftwerke (VKW) in das Energienetz. Unter Koordination der Siemens AG wird eine der systemtechnischen Kernfragen für die Energiewende untersucht: Wie kann der sich heute abzeichnende ökonomische Betrieb von erneuerbaren Energien in VKW mit einem technisch nachhaltigen Betrieb der regionalen Netzinfrastruktur kombiniert werden? Hierzu baut das Projekt auf bereits vorliegenden Forschungsergebnissen der Projektpartner auf und fokussiert sich insbesondere auf den systemtechnischen Ansatz der Interaktion zwischen VKW und Netzbetrieb.

Um in mehreren Schritten die Projektergebnisse zu überprüfen, bezieht das Projekt eine bestehende Testregion des beteiligten Stadtwerks in das Projekt mit ein – ergänzt durch begleitende Simulationsaktivitäten. Bei der Feldevaluierung sind drei Erprobungsstufen vorgesehen: Der unabhängige Betrieb von VKW und Netzbetrieb, der

Betrieb von VKW und in sich geschlossenen regionalen Energiesystemen (Microgrids) und der abgestimmte Betrieb von überregionalen VKW und regionalen Verteilnetzen. Ziel des Projekts ist die Erarbeitung anwendbarer Systemansätze sowie eines praktisch einsetzbaren Werkzeugkastens für die Kopplung regional betriebener Verteilnetze und überregional betriebener VKW. Diese werden international in die Standardisierung eingebracht und mit Hilfe des assoziierten Projekts INTEGRA in Österreich überregional verifiziert.

Im Rahmen des vom BMU/BMWi mit rund zwei Millionen Euro geförderten Projekts werden die für diese Systemansätze notwendigen Komponenten weiterentwickelt und in Feldtests für die Produktentwicklung erprobt. Für dieses Ziel arbeiten die Projektpartner Siemens AG, OFFIS e. V., infra fürth gmbh und Technische Universität München zusammen.

## Netzstabilität/Systemdienstleistungen

### Kombikraftwerk 2 demonstriert: Sicherer Stromnetzbetrieb bei 100% erneuerbaren Energien möglich

Die Sicherheit der Stromversorgung hängt nicht nur von der zuverlässigen Deckung des Stromverbrauchs sondern auch von der Stabilität der Spannung und der Netzfrequenz ab. Die Steuerung dieser Parameter erfolgt über so genannte Systemdienstleistungen, wie Regelleistung oder Spannungshaltung, die bislang vorrangig von thermischen Großkraftwerken erbracht werden. Das vom BMU/BMWi geförderte und auf drei Jahre angelegte Forschungsprojekt **Kombikraftwerk 2** hat nun gezeigt, dass der Bedarf an Systemdienstleistungen auch in einem zukünftigen Versorgungssystem allein auf Basis erneuerbarer Energien (EE) gedeckt werden kann.

Dabei wurde unter anderem die Frequenzhaltung durch Bereitstellung von Regelleistung in einem Feldtest an realen EE-Anlagen untersucht. Dazu wurden in ganz Deutschland verteilte Wind-, Solar- und Biogasanlagen zu einem Kombikraftwerk zusammengeschaltet. (weiter auf S. 25)

## Energie dank Batterie

Um das Stromnetz zu entlasten, ist es wichtig, regenerativ erzeugte Energie gezielt vor Ort nutzen, speichern oder bedarfsgerecht einspeisen zu können. Darüber hinaus können Batterien auch direkt im Verteilnetz zu einem verbesserten Netzbetrieb beitragen und so den Netzausbaubedarf reduzieren. Holger Schuh, Geschäftsführer der Saft Batterien GmbH, zeigt Perspektiven und aktuelle Entwicklungen im Bereich dieser elektrochemischen Speichertechnologien auf. Saft ist eines der weltweit führenden Unternehmen in Entwicklung und Herstellung von Hightech-Batterien für die Industrie.

### **Zu welchen Fragen forschen Sie aktuell?**

**Schuh:** Im Rahmen der Förderinitiative Energiespeicher beschäftigen wir uns sowohl mit Fragestellungen zu großformatigen Batteriesystemen als auch zu kleineren Systemen, die beispielsweise im Eigenheim eingesetzt werden können. Bei beiden Systemen analysieren wir, inwieweit die Einbindung dieser Speicher in die Energienetze einen Mehrwert für die Energiewende und für die Netzstabilität schafft. Zum anderen untersuchen wir, wie das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Speicher optimiert werden kann. Dafür nutzen wir verschiedene Simulationsmodelle. Aber natürlich ist für uns als Batteriehersteller auch der Hardware-Aspekt wichtig. Deswegen konzipieren wir auf Basis der bei uns verfügbaren modularen Baukastensysteme individuelle Lösungen und stellen diese unseren Partnern, die für Leistungselektronik und Energiemanagementsysteme zuständig sind, zur Verfügung.

### **Wie steht es um die technische Leistungsfähigkeit der Batteriespeicher?**

**Schuh:** Wir sind inzwischen in der Lage, Batteriespeicher auf Basis der Lithium-Ionen-Technologie im Kleinserienmaßstab auf den Markt zu bringen. Man muss jedoch realistisch sagen, dass wir mit dem Einsatz dieser neuen Technologie in dieser Anwendung erst seit vier, fünf Jahren Erfahrung haben. Es gibt also noch einige Möglichkeiten, um die Leistungsfähigkeit weiter zu verbessern und die Kosten zu reduzieren. Der entscheidende Punkt dabei ist die Produktion im Großserienmaßstab. Hier gehe ich allerdings davon aus, dass wir trotz kontinuierlicher Verbesserungen vor 2020 keine Quantensprünge erwarten können.

### **Welche Rolle werden Batteriespeicher im Energiesystem der Zukunft spielen?**

**Schuh:** Mit dem stetig steigenden Anteil erneuerbarer Energien wird der Einsatz von Energiespeichern immer wichtiger. In vielen Bereichen wird man elektrochemische Speicher, also Batteriesysteme, benötigen. Lithium-



Ionen-Speicher können nicht alle Aspekte der Speicherung im Rahmen der Energiewende erfüllen, aber sie können im kleinformatigeren Bereich sehr viel leisten und einige 10 Megawatt-Stunden kurzfristig

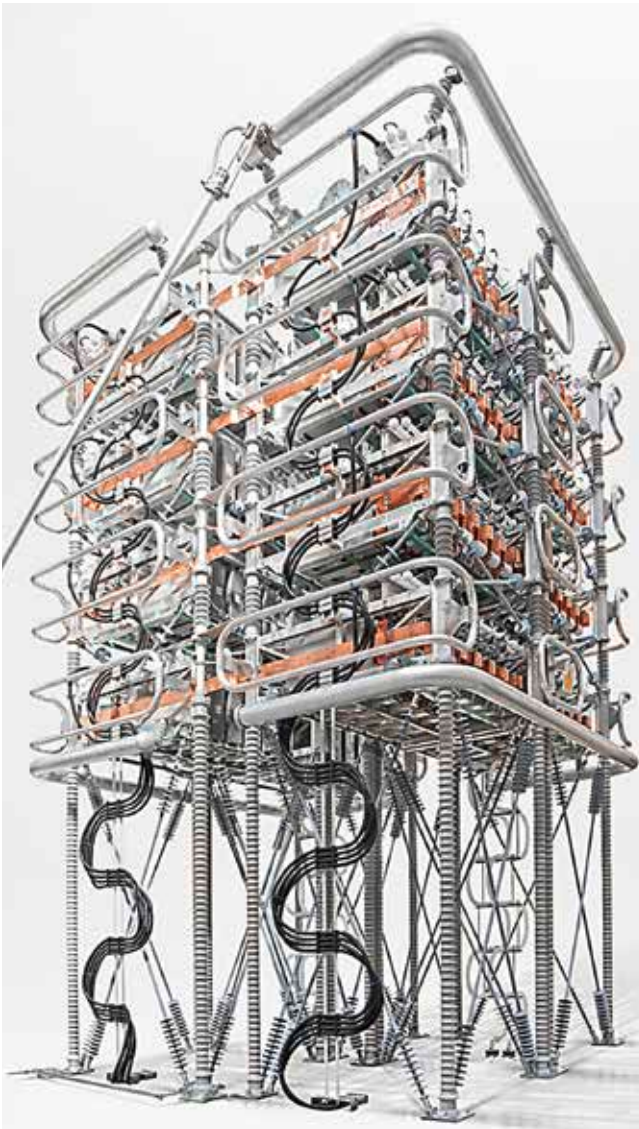
zur Verfügung stellen. Wenn jedoch zum Beispiel eine Woche Windflaute kompensiert werden muss, benötigt man andere Speichermöglichkeiten, da in diesem Fall wesentlich mehr Energie gespeichert werden müsste.

### **Sie haben erste Batteriesysteme auch bei privaten Nutzern aufgestellt. Welche Erfahrungen haben Sie hier gemacht?**

**Schuh:** Wir haben im Rahmen des SOL-ION-Projekts gemeinsam mit unseren Partnern für den Bereich der häuslichen Speicher die Grundlage gelegt. Dabei haben wir sowohl das Verbrauchsverhalten, als auch eine mögliche Maximierung dieser Eigenverbrauchsanteile analysiert. Außerdem haben wir untersucht, wie neue Technologien, in diesem Fall die Lithium-Ionen-Batteriesysteme bestmöglich auf dem Markt eingeführt werden können. Im Mittelpunkt standen Sicherheitsaspekte und die saubere Definition und Zertifizierung der neuen Produkte als Referenz für die Marktteilnehmer. Mehrere Feldtests haben unsere Überlegungen bestätigt, dass private Nutzer, unabhängig von der Größe des Haushalts, einen Großteil ihres Bedarfs durch selbst erzeugte Energie decken können und deutlich weniger Energie zukaufen müssen.

### **Welche Fragen stellen sich im Hinblick auf die Nutzung von Energiespeichern?**

**Schuh:** Die Nutzung der Speicher durch mehrere Marktteilnehmer kann die Wertschöpfung im Bereich der Batteriesysteme weiter optimieren. Denn wenn ein Speicher immer nur für eine Sache genutzt wird, gehen mögliche andere Einnahmequellen verloren. Auch wenn der Speicher aufgrund der stärkeren Nutzung schneller altert, ist dies wirtschaftlich sinnvoll. Nehmen Sie das Beispiel Elektrofahrzeug: Jemand fährt morgens zur Arbeit, dann steht das Auto den ganzen Tag angeschlossen an der Steckdose und abends fährt er wieder heim. Es ist schade, dass der Speicher nur für diese zwei Fahrten verwendet wird und die restliche Zeit nicht genutzt wird. Stattdessen könnte er beispielsweise die gewonnene Energie aus der Photovoltaik-Mittagsspitze zwischenspeichern. In der „SmartRegion Pellworm“ machen wir das im großen Maßstab. Da bewerten wir aktuell die verschiedenen Geschäftsmodelle und die Einbindung der Speicher in die gesamte Energiewirtschaft.



**Stromrichterurm einer Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung: Typischerweise bilden 24 dieser acht Meter hohen Türme eine Station der neuen HVDC-PLUS-Anlagen von Siemens.**

des Konsortiums sind: Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, CUBE Engineering GmbH, SMA Solar Technology AG sowie die Siemens AG. Weitere assoziierte Partner sind: Deutscher Wetterdienst, ENERCON GmbH, ÖKOBIT GmbH, Fachgebiet Elektrische Energieversorgung der Leibniz Universität Hannover, SolarWorld AG und die Agentur für Erneuerbare Energien.

### Planungssicherheit erhöhen

Steigende Anteile dezentraler und fluktuierender Energieerzeugung stellen die Planung von Erzeugungs- und Netzkapazitäten vor enorme Herausforderungen. Eine Vielzahl von Parametern und Wechselwirkungen muss kurzfristig in Szenarien modelliert werden, um eine gesicherte Entscheidungsgrundlage für Weichenstellungen im Infrastrukturumbau zu schaffen.

Eine zentrale Rolle übernehmen dabei die Übertragungsnetze auf Basis von Gleichstrom (DC) und Wechselstrom (AC). Sie sind die tragende Säule der Energieübertragung und -verteilung. Dieses DC- und AC-Rückgrat bedarf bei der Planung eines besonderen Augenmerks, da es hier noch einige technische Fragen gibt – z. B. Stabilitätsfragen bei der Integration von Gleichspannungsnetzen in das klassische Wechselstromnetz – und noch größere Technologiesprünge zu erwarten sind.

Im Vorhaben **ACCES2Grid** adressiert die Siemens AG diesen Handlungsbedarf. Die Forscher rücken die gesamte Systemarchitektur in das Zentrum vergleichender Analysen zur Einbindung von erneuerbaren Energien wie Offshore-Windparks oder Technologiebausteinen wie Hochleistungs-Stromrichter in das bestehende Verbundnetz.

Die Forscher vergleichen anhand von Konzepten und Studien alle verfügbaren Technologieoptionen, so dass eine übergreifende Bewertung möglich ist, mithilfe derer beispielsweise anstehende Infrastrukturentscheidungen erheblich erleichtert werden können. Parallel sollen Planungswerkzeuge geschaffen werden, welche die Planungsqualität verbessern und die Planungsgeschwindigkeit steigern sollen. Das Projekt kann somit einen wichtigen Beitrag zur Kostensenkung beim anstehenden Ausbau des Stromnetzes leisten.

Das BMU/BMWi fördert Acces2Grid mit rund 2,4 Millionen Euro.

In einer Live-Demonstration Ende Oktober 2013 wurden die Anlagen über eine Leitwarte angesteuert und mussten ein vorgegebenes Leistungssignal abfahren, das dem Abruf von Regelleistung entspricht. Trotz äußerst widriger Wetterbedingungen mit nur wenig Wind und kaum Sonne konnte der vorgegebene Fahrplan eingehalten werden und so die Fähigkeit zur verlässlichen Erbringung von Regelleistung nachgewiesen werden. Um die schon heute vorhandenen technischen Fähigkeiten zur Systemstabilisierung einbringen zu können, müssen allerdings die regulatorischen Rahmenbedingungen entsprechend angepasst werden.

Für die Untersuchung der Stabilität eines zukünftigen rein regenerativen Stromversorgungssystems wurden in einem räumlich hochaufgelösten Szenario detailliert Erzeugung und Verbrauch über ein ganzes Jahr modelliert. Die Berechnungen zeigen, dass ein intelligentes System aus EE-Anlagen, Speichern und Reservekraftwerken mit EE-Gas (z. B. Wasserstoff oder Methan aus EE) jederzeit in der Lage ist, nicht nur den Stromverbrauch zu decken, sondern auch das System insgesamt stabil zu halten. Das BMU/BMWi fördert das Projekt mit 1,8 Millionen Euro. Geförderte Partner



## Speichertechnologien

### Strom- und Gasnetz zusammenführen

Die wetterabhängige Einspeisung der regenerativen Stromerzeugung führt zu einer zunehmenden Entkopplung von Stromproduktion und -verbrauch. Speicher können dies ausgleichen und die Energieversorgung flexibilisieren. Benötigt werden leistungsfähige und kostengünstige Speicher- und Erzeugungstechnologien. In dem Projekt **KonStGas** – Integration fluktuierender erneuerbarer Energien durch konvergente Nutzung von Strom- und Gasnetzen – haben sich 13 Forschungseinrichtungen und drei Netzbetreiber unter der Leitung des DBI-Gastechnologischen Instituts Freiberg zusammengeschlossen. Das Konsortium will die Chancen, die sich aus der Kopplung von Strom- und Gasnetzen ergeben, technisch und volkswirtschaftlich untersuchen.

Die Verbundpartner analysieren die Strom- und Gasnetze, um die Vorteile und Potenziale einer Kooperation beider Systeme in ihrer Funktion als Energiespeicher und Flexibilitätsoption herauszuarbeiten. Dabei liegt der Fokus der Untersuchung auf Umwandlungskapazitäten von Strom aus erneuerbaren Energien in erneuerbare Gase mittels Elektrolyse und Methanisierung (Power-to-Gas). Nur eine Analyse des gesamten Energieversorgungssystems ermöglicht die Übersicht über alle Marktprozesse und verhindert Fehler durch die Bevorzugung einzelner Versorgungsstränge.

Das Projekt wird im Rahmen der „Förderinitiative Energiespeicher“ vom BMU/BMWi mit rund 3,1 Millionen Euro gefördert.

### Weltweit erste industrielle Power-to-Gas-Anlage mit Methanisierung

Forscher und Ingenieure verfolgen im Verbundvorhaben **WOMBAT** die Idee, Strom- und Gasnetz miteinander zu verbinden. Überschüssiger Strom aus regenerativen Energien soll zur Gewinnung von Wasserstoff genutzt werden. Dieser wird mit Kohlendioxid aus einer Biogasanlage zu Methan, also der Hauptkomponente von Erdgas, synthetisiert. So lässt sich die bestehende, weitverzweigte Infrastruktur der Gaswirtschaft für die Speicherung von erneuerbaren Energie nutzen.

In der weltweit ersten Power-to-Gas Anlage in industriellem Maßstab können pro Stunde über 320 Kubikmeter Methan aus Ökostrom hergestellt werden. Das Bild zeigt das Herzstück der Anlage: den Methanisierungsreaktor.



Der Name des Projektes leitet sich her von „Wirkungsgrad-Optimierung Methanisierungs- und Biogas-Anlagen-Technologie“. Unter Koordination der Audi AG konnte im Herbst 2013 die weltweit erste Power-to-Gas-Anlage mit Methanisierung in industriellem Maßstab in Betrieb genommen werden. Gemeinsam mit dem Anlagenbauer ETOGAS GmbH, vormals SolarFuel, wurde die Anlage mit 6,3 Megawatt Leistung im windenergiereichen Emsland (Niedersachsen) in der Gemeinde Werlte erbaut. Dort können pro Stunde über 320 Kubikmeter Methan aus Ökostrom hergestellt werden. Das CO<sub>2</sub> bezieht die Anlage aus dem Abgasstrom einer nahe gelegenen Biogasanlage.

An der von Audi gebauten Anlage wollen die Wissenschaftler die gesamte Prozesskette von Elektrolyse und Methanisierung bis hin zur Nutzung des Speichergases optimieren.

Dazu gehören technische Optimierungen am Anlagenverbund, unterschiedliche Betriebsstrategien sowie systemische Analysen zu den Rückkopplungen in den Netzen und im Mobilitätsbereich. Untersucht wird auch, wie Vermarktungswege für die eingespeicherte Energie etabliert werden können. Die Forscher wollen aufzeigen, wie Power-to-Gas- Standorte wirtschaftlich betrieben werden und so zur ökologischen Optimierung der Sektoren Energie und Mobilität beitragen können.

Für die maßgebliche Entwicklung der Methanisierungstechnologie hat ETOGAS den Energy Award 2013 gewonnen. Das Unternehmen wurde in der Kategorie „Energie-Startup des Jahres“ für seine Verdienste um die Ökostromspeichertechnologie ausgezeichnet. Das Unternehmen konnte die Jury insbesondere mit seiner Kreativität, der wirtschaftlichen Perspektive und dem langfristigen Potenzial der Geschäftsidee überzeugen.

Neben Audi und ETOGAS haben sich in dem Verbundprojekt die EWE Vertrieb GmbH, das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES zusammengeschlossen. Das BMU/BMWi fördert WOMBAT mit rund 5,5 Millionen Euro.

## Intelligente Netze/Lastmanagement

### Intelligente Steuerung auf Verteilnetzebene

Um die Einspeisung von Strom aus dezentralen und regenerativen Erzeugern in die Verteilungsebene besser zu integrieren und dabei einen weiterhin störungsarmen Netzbetrieb und eine normgerechte Spannungsqualität zu gewährleisten, ist die Überwachung der Prozessgrößen und die Steuerung auf Verteilnetzebene nötig.

## Systemdienstleistungen im Stromversorgungssystem

Zu den wichtigsten Systemdienstleistungen zählen heute die Frequenzhaltung, die Spannungshaltung, der Netzwiederaufbau und das Netzengpassmanagement. In Energiesystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energien können Systemdienstleistungen nicht mehr wie bisher vor allem von konventionellen Kraftwerken erbracht werden, sondern müssen mehr und mehr dezentral durch erneuerbare Energien geleistet werden.

Um die zukünftige Ausrichtung der Forschungsförderung im Bereich Systemdienstleistungen zielgerichtet weiterzuentwickeln, hat das BMU den Forschungs- und Entwicklungsbedarf gemeinsam mit führenden Experten erörtert. Hierfür wurden die Experten zunächst in einer Online-Umfrage des Projektträgers Jülich aufgefordert, zu Forschungsthemen und Methoden der Forschungsförderung im Bereich Systemdienstleistungen Stellung zu nehmen. Die gewonnenen Thesen wurden in einem Strategieworkshop Ende November in Berlin weiter konkretisiert und diskutiert.

Zentrale Ergebnisse waren unter anderem: Im Bereich Frequenzhaltung sollen wahrscheinkeitsbasierte Präqualifikationsanforderungen weiter erforscht und eventuell angepasst werden. Für die Spannungshaltung

sollen einerseits die Eigenschaften der Erzeugungsanlagen genutzt werden und andererseits die flexiblen Ortsnetzstationen sinnvoll modelliert, weiterentwickelt und eingesetzt werden. Die Regelung sollte hier Spannungsebenen-übergreifend erfolgen. Auch die Zusammenarbeit zwischen Übertragungsnetz- und Verteilnetzbetreibern bei der Spannungsregelung soll fokussiert werden.

Simulation und Modellierung der Netze auf mikro- und makroskopischer Ebene wurden als wichtige Aspekte für die Weiterentwicklung von Systemdienstleistungen genannt. Dafür sollte die Datenqualität und Datenverfügbarkeit gesichert und eventuell ein Benchmarking-System zum Vergleich der Datenmodelle eingeführt werden. Auch sollten Ausnahmesituationen simuliert werden, um im zukünftigen Energiesystem angemessen reagieren und damit die Versorgungssicherheit aufrechterhalten zu können. Dabei schätzten die Experten auch den Netzwiederaufbau als zukünftig wichtige Systemfragestellung ein. Erwünscht sei ein zuverlässiger Grundmechanismus, der auch bei einem Ausfall der Informations- und Kommunikationstechnologie eine Stromversorgung sicherstelle. Die Schwarzstartfähigkeit der einzelnen Anlagen sei hingegen keine akute Forschungsfrage.





Höchst- und Hochspannungsnetze können durch die vorhandene Messtechnik bereits vollständig beobachtet werden. Dieser klassische Weg erfordert jedoch den zusätzlichen Einsatz von Messtechnik und Überwachung in SCADA- (Supervisory Control And Data Acquisition) Systemen und ist für Verteilnetze, aufgrund ihrer großen Netztopologie, vergleichsweise sehr teuer und aufwendig. Daher müssen andere Verfahren zur Bestimmung des Netzzustandes entwickelt werden.

Ziel des Projektes **Smart SCADA** ist es, die Überwachungs- und Steuerungslücke zu schließen, die zwischen den SCADA-Systemen im Höchst- und Hochspannungsbereich und den Daten aus Smart Meter-Systemen in den Niederspannungsnetzen existiert. In dem Verbundprojekt entwickeln Partner aus Industrie und Wissenschaft unter Koordination der IDS GmbH ein Verfahren, um über den Zustand eines Mittel- oder Niederspannungsnetzes zuverlässige Aussagen treffen zu können.

Mit Hilfe dieser Methode lässt sich, ohne den Einsatz zusätzlicher Messtechnik, der Zustand des Nieder- und Mittelspannungsnetzes abschätzen. Möglich macht dies die intelligente Kopplung von Daten aus der vorhandenen Smart Meter-Infrastruktur mit prognostizierten Leistungsdaten für erneuerbare Energien-Einspeisungen und SCADA-Systemen. Damit soll künftig eine kosteneffiziente Überwachung und Steuerung des elektrischen Energiesystems auf Verteilnetzebene realisiert werden.

Neben der IDS GmbH, die sich auf Netzmanagement sowie Leittechnik, Automatisierungs-, Fernwirk- und Kommunikationstechnik spezialisiert hat, sind an dem Verbundprojekt die Meteocontrol GmbH, die COMback GmbH, der Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiemanagement der Technischen Universität Kaiserslautern sowie die SWK Stadtwerke Kaiserslautern Versorgungs-AG beteiligt. Das BMU/BMWi fördert Smart SCADA mit rund 1,3 Millionen Euro.

### Geschäftsmodelle für erneuerbare Energien flexibilisieren

Strom aus erneuerbaren Energien wird aktuell nur auf wenigen Strommärkten (vor allem an der Strombörse) vermarktet. Hierbei wird die gute Steuerbarkeit der einzelnen Anlagen noch nicht optimal genutzt. Aufgrund der Vielfalt der Marktregeln und zeitlichen Abfolgen ist die gekoppelte Optimierung unterschiedlicher Anlagentechnologien auf verschiedenen Märkten äußerst komplex. Erst geeignete Geschäftsmodelle können hier eine wirtschaftliche Nutzung der flexiblen Erzeugung für die verschiedenen Marktakteure ermöglichen.

In dem Verbundprojekt **Flexi** entwickeln die energy & meteo systems GmbH, die MVV Energie AG sowie das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI Modelle für die bestmögliche Nutzung der regenerativ erzeugten Energie. Statt den wirtschaftlichen Betrieb lediglich durch Förderinstrumente zu ermöglichen, sollen die Geschäfts-

modelle der erneuerbaren Energien systematisch verbessert werden. Die Forscher möchten so eine effiziente Vermarktung und damit den kostendeckenden Betrieb der Anlagen ermöglichen.

Durch das Projekt werden zwei wesentliche Optionen, und zwar die gekoppelte Vermarktung von Energie aus dezentralen Anlagen an verschiedenen Energiemärkten und die Möglichkeit zur Auskopplung von Wärme konzeptionell und methodisch soweit entwickelt, dass sie operativ für ein virtuelles Kraftwerk eingesetzt werden können.

Für solche Konzepte wird es in Zukunft eine große Nachfrage geben, da sich die Energiewirtschaft insgesamt stärker hin zu dezentralen Strukturen entwickelt.

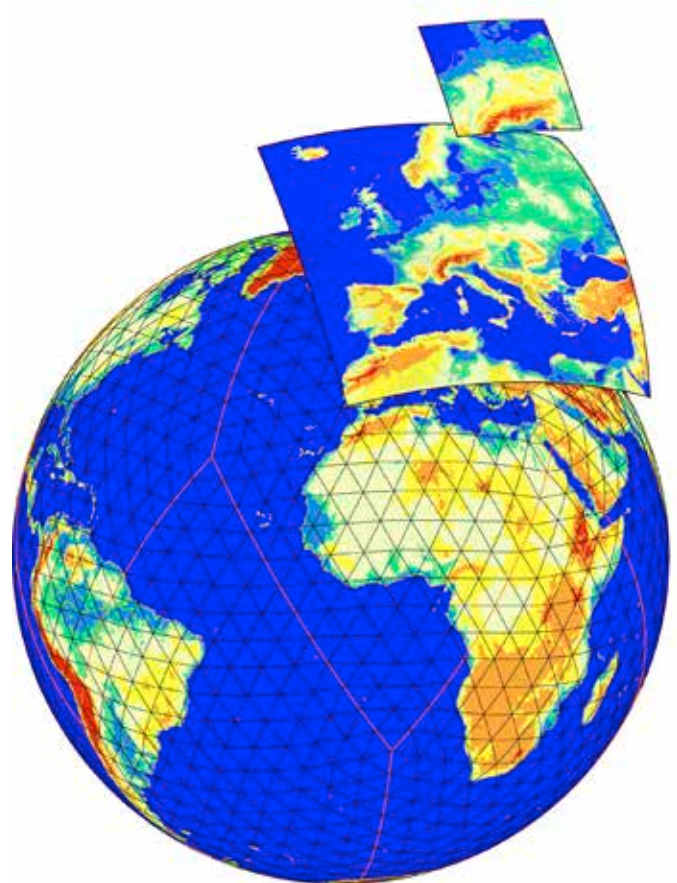
Dieser Prozess zeigt sich weltweit, so dass die geplante Technologie- und Konzeptentwicklung auch potenzielle Exportmöglichkeiten eröffnet. Das BMU/BMWi fördert Flexi mit knapp 700.000 Euro.

## Prognosen für Erzeugung und Verbrauch

### Wetterfrosch 2.0

Der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung auf einen Anteil von 40 bis 45 Prozent des deutschen Strombedarfs im Jahr 2025 stellt auch steigende Anforderungen an die Qualität der Leistungsprognosen fluktuierender Einspeiser, damit das Energiesystem weiterhin wirtschaftlich und sicher betrieben werden kann. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) und das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in Kassel arbeiten im Forschungsprojekt **EWeLiNE** – Erstellung innovativer Wetter- und Leistungsprognosemodelle für die Netzintegration wetterabhängiger Energieträger – daran, die Wetter- und Leistungsprognosen für Windenergie- und Photovoltaik-Anlagen zu verbessern und neue Prognoseprodukte vor allem für die Sicherheit des Übertragungsnetzes zu entwickeln.

Das Forschungsprojekt wird von der „Industrie- und Forschungsplattform Prognose“ begleitet, in der 30 Institutionen aus den Bereichen Energiehandel, Leistungsprognose, Wetterdienstleistung, Beratung, Netzbetrieb, Produktion und Forschung beteiligt sind. Ziel dieser Plattform ist es, die wissenschaftlichen Untersuchungen und Entwicklungen des Projekts von einem externen Expertengremium



**Vom großen Ganzen ins Detail:**  
Modellgitter der Wettervorhersagemodelle des Deutschen Wetterdienstes GME, COSMO EU und COSMO DE.

kritisch zu begleiten und zu bewerten sowie eventuell offene Fragestellungen zu priorisieren. Die Plattform sorgt auch dafür, dass jederzeit neue Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung in dem Projekt berücksichtigt werden können. Außerdem sollen Standards, Schnittstellen und Datenformate für die Arbeit mit Prognosen in der Energiewirtschaft diskutiert und erarbeitet werden.

Die Ableitung von Wahrscheinlichkeiten oder anderen probabilistischen Produkten (z. B. Sicherheitsabschätzungen) aus Prognosen ist ein wichtiger Teil des EWeLiNE-Projektes, um den zusätzlichen Wert dieser Information den Anwendern geeignet zur Verfügung stellen zu können. Die Industrie- und Forschungsplattform Prognose trifft sich halbjährig, um im Wechsel über Anwendungen von Prognosen und Fragestellungen aus Forschungssicht zu diskutieren.

Das BMU/BMWi fördert EWeLiNE mit rund 7 Millionen Euro. ■



# Windenergie



**Die Windenergienutzung an Land ist in Deutschland seit nunmehr über zwei Jahrzehnten etabliert und stellt die neben Wasserkraft kostengünstigste erneuerbare Form der Strombereitstellung dar. Sie liefert den größten Beitrag zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Das Potenzial der Windenergie ist aber noch lange nicht ausgeschöpft: Vor allem die verstärkte Nutzung des Windes auf dem Meer sowie die weitere Erschließung der Windenergienutzung an Land, insbesondere durch moderne, leistungsfähigere Anlagen, bieten interessante Perspektiven.**

## **Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund der Markt- und Technologieentwicklung**

### **Marktgeschehen Deutschland und weltweit**

Der Zubau von Windenergieanlagen an Land ist in Deutschland im Vergleich zum Vorjahr noch einmal deutlich von 2.335 Megawatt 2012 auf 2.998 Megawatt 2013 gewachsen. Dabei ist ein klarer Trend hin zu höheren Anlagenleistungen wie auch (überdurchschnittlich) vergrößerten Rotordurchmessern zu erkennen. Der Trend zu längeren Rotorblättern weist trotz der höheren Investitionskosten insbesondere zwei positive Effekte auf: Zum einen wird die Einspeisung durch das Erhöhen der Volllaststundenzahl deutlich verstetigt. Zum anderen lassen sich Standorte fast überall in Deutschland erschließen, so dass der Bedarf an Netzausbau deutlich reduziert werden kann.

Angelaufen ist insbesondere das Baugeschehen auf freier See (offshore). Mit einem Volumen von mehr als 1,7 Gigawatt kumulierter im Bau befindlicher Leistung wird die Offshore-Windenergie in naher Zukunft signifikante Beiträge zum Gesamtzubau liefern. Im Jahr 2013 wurden 48 Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) mit einer Leistung von 240 Megawatt neu an das Netz angeschlossen, während 2012 insgesamt lediglich 80 Megawatt Zubau verzeichnet werden konnten. Somit speisten in Deutschland Ende 2013 insgesamt 116 OWEA in Nord- und Ostsee mit einer Gesamtleistung von 520,3 Megawatt Strom ein.

Neben den bereits angeschlossenen OWEA sind weitere 103 OWEA (394,6 Megawatt) in drei Offshore-Windparks im Jahr 2013 vollständig errichtet worden, waren aber noch ohne Netzanschluss.

Der weltweite Zuwachs installierter Leistung von Windenergieanlagen ist mit wenigen Ausnahmen von hoher Steigtigkeit geprägt. Allerdings sind diese wenigen Ausnahmen in den vergangenen Jahren so bedeutend gewesen, dass der massive Einbruch in den USA und mit Abstrichen auch in Spanien und Frankreich, nicht von den erfreulichen, erheblichen Zuwächsen in einer Reihe von Staaten (z. B. Australien, Großbritannien, Brasilien, Marokko, Kanada) aufgefangen werden konnte.

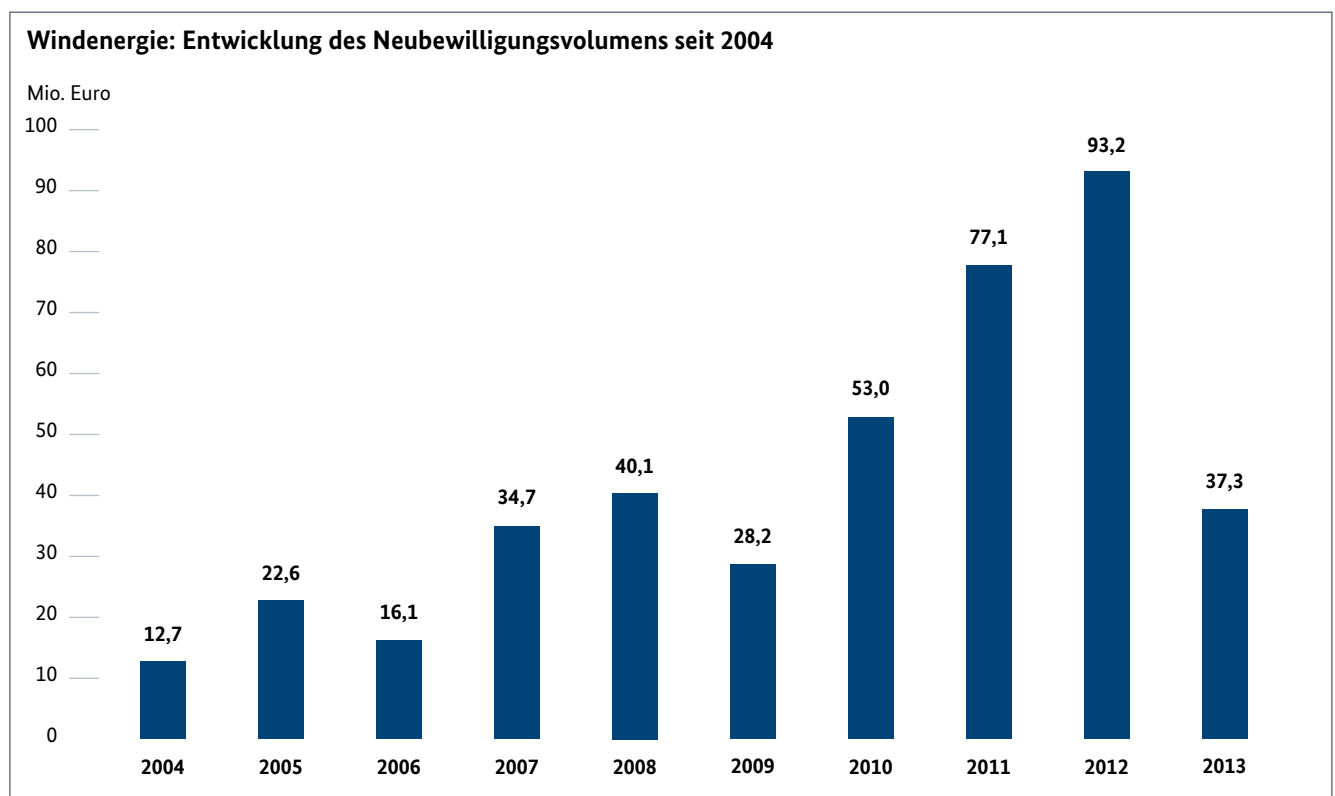
Für das Jahr 2014 kann davon ausgegangen werden, dass bei der Inbetriebnahme von Offshore-Anlagen eine neue Rekordmarke erzielt wird, da 2013 mehr als 280 Fundamente und Teilanlagen für neue Windenergieanlagen gesetzt wurden. Kombiniert mit der weiteren Bautätigkeit und den bereits fertiggestellten Anlagen ohne Netzanschluss erscheint eine Gesamtleistung von ungefähr 1,5 Gigawatt möglich.

Detaillierte Prognosen für den Onshore-Ausbau können wegen der anstehenden Reform des EEG an dieser Stelle nicht getroffen werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Ausbau im gesetzlich festgelegten Ausbaupfad von 2,5 Gigawatt liegen wird.

Für den weltweiten Zubau erscheinen die Aussichten für deutsche Hersteller gut, denn neben den aktuell schwierigen Märkten USA und China eröffnen sich auf mittlerweile allen Kontinenten interessante Möglichkeiten, am Ausbau der Windenergie erfolgreich zu partizipieren. Deutsche Unternehmen profitieren dabei von einem stabilen Heimatmarkt, der nun auch offshore angesprungen ist, wie auch von dem frühzeitig erkannten Trend zu Schwachwindturbinen, der durch geeignete Produktlinien erfolgreich adressiert worden ist.

### Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Der Onshore-Windenergie kann insgesamt ein hoher Reife-grad bescheinigt werden. Dies lässt sich besonders deutlich an der hohen technischen Verfügbarkeit der Anlagen ablesen, die üblicherweise über 95 Prozent erreicht. Erhebliche Erkenntnislücken bestehen jedoch noch bezüglich einer Reihe einzelner Aspekte. So liegt insbesondere zu den technischen Auswirkungen der zunehmenden Rotordurchmesser noch keine Langzeiterfahrung vor hinsichtlich der Kombination relativ kleiner Maschinen mit großen Rotordurchmessern und immer größeren Nabenhöhen. (weiter auf S. 33)



## Mehr Energie ernten

Durch optimierte Anlagen- und Parkregelung kann der Energieertrag von Windparks erhöht werden und die Einspeisung ins Stromnetz gleichmäßiger als bisher erfolgen. Professor Martin Kühn vom Zentrum für Windenergieforschung ForWind stellt aktuelle Entwicklungen und Forschungsvorhaben dar.

### Welche Forschungsziele verfolgen Sie aktuell?

**Kühn:** Zum einen wollen wir den Energieertrag steigern und damit die Kosten der Stromproduktion reduzieren. Um den Wirkungsgrad von Windparks zu erhöhen, untersuchen wir die Optimierung der Windströmung im Park. Gleichzeitig sollen die so genannten nachlaufinduzierten Belastungen und damit einhergehend die Betriebskosten weiter verringert werden. Zum anderen wollen wir durch eine gleichmäßigere Leistungsabgabe ins Verbundnetz und eine bessere Planbarkeit die erzeugte Windenergie optimal in das elektrische Leistungsnetz einspeisen und damit eine hohe Verlässlichkeit der Windenergie als Stromquelle erreichen. Windparkverbünde sollen in Zukunft ähnlich betrieben werden und ähnliche Leistungen erbringen können wie konventionelle Kraftwerke heutzutage.

### Wie kann der Energieertrag von Windparks weiter erhöht werden?

**Kühn:** Die verschiedenen Windenergieanlagen innerhalb eines Windparks beeinflussen sich gegenseitig. So bekommen zum Beispiel die vorderen Turbinen den meisten Wind ab und produzieren dabei kilometerlange Wirbelschleppen. Das verringert die Leistung der nachgelagerten Rotoren und führt zu höheren mechanischen Beanspruchungen.

Zur Verminderung dieser Effekte messen wir zunächst die Verwirbelungen und Abschattungen mit besonders leistungsfähigen laser-optischen Fernerkundungsgeräten, so genannten LIDAR-Systemen. Dadurch können wir die Interaktion zwischen der turbulenten atmosphäri-



schen Bodengrenzschicht, den Anlagen und deren Nachlaufströmungen genauer verstehen und in Versuchen im Windkanal sowie in Simulationen im Hochleistungsrechencluster modellieren. Anhand dieser Daten untersuchen wir, wie durch Anlagen- und Parkregelung die Nachlaufeinflüsse reduziert werden können.

### Wie könnte dies aussehen?

**Kühn:** Derzeit ist es beispielsweise so, dass jede einzelne Turbine versucht, die maximale Leistung aus dem Wind zu entziehen. Wenn man aber den Windpark als Ganzes betrachtet, kann das Optimum durchaus darin bestehen, zum Beispiel die erste Anlagenreihe etwas reduziert zu betreiben, sodass in den nachlaufenden Reihen mehr Energie geerntet werden kann. Ein weiterer Ansatz geht dahin, dass die Nachläufe die nachliegenden Anlagen nicht voll treffen.

### Welche Möglichkeiten bietet der Einsatz von LIDAR-Messtechnologien?

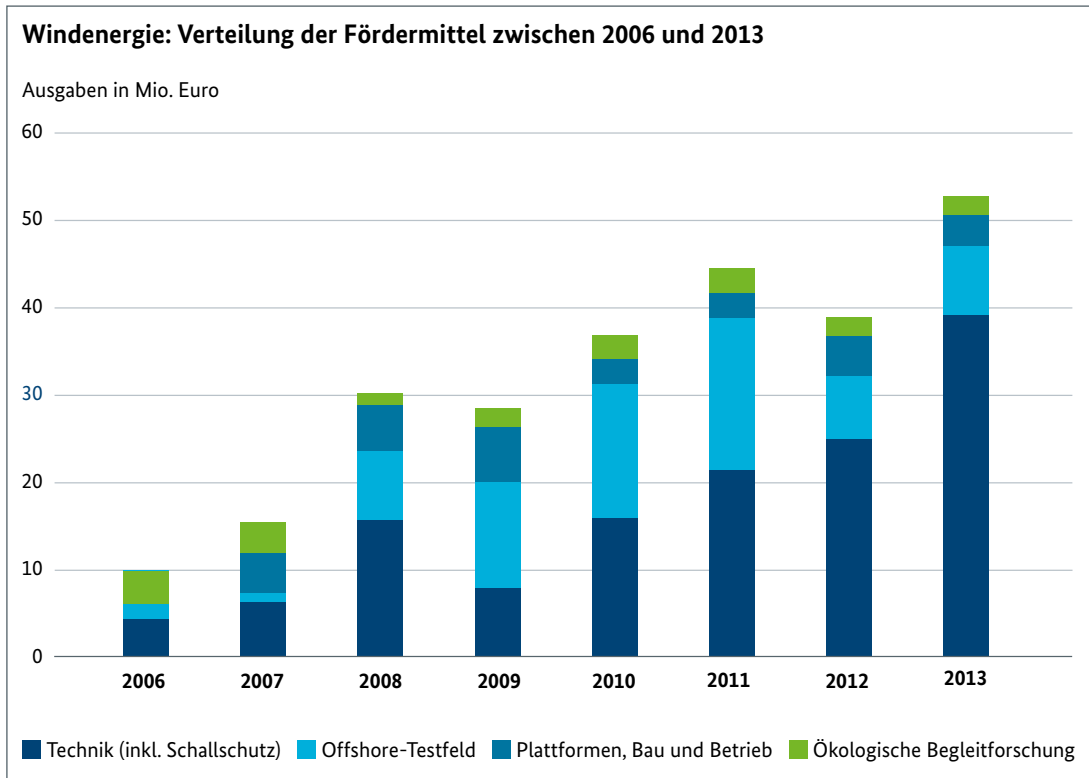
**Kühn:** Dank dieser laseroptischen Geschwindigkeitsmessungen können wir über größere Entfernungen die Windströmung sowohl vor als auch hinter den Anlagen abtasten. Derzeit wird dies vor allem in der Forschung genutzt. Zukünftig werden einfache, robuste Geräte aber den Betrieb von Windenergiesystemen unterstützen. Eine prädiktive Anlagenregelung kann Windböen vorhersehen. Dies führt zu geringeren Belastungen der Anlagen, was sich wiederum in einer Gewichts- und Kostenreduktion niederschlägt. Im Windpark wird eine Optimierung der Ernte innerhalb der „Windfarm“ und eine genauere Prognose der Leistungsabgabe möglich sein.

### Sehen Sie die technologischen Voraussetzungen gegeben, dass Windparks Kraftwerke ersetzen und Systemdienstleistungen erbringen können?

**Kühn:** Ja, davon bin ich überzeugt. Windenergieanlagen können schnell und gut geregelt werden. Durch Weiterentwicklung von Windleistungsprognosen und deren Vernetzung mit dem Monitoring und der Regelung von Windparks kann die Planbarkeit verbessert werden. Dies erstreckt sich von einzelnen Parks bis hin zum Zusammenspiel von geographisch weit auseinanderliegenden Windparks, um eine gleichmäßigere Energieeinspeisung zu erreichen.







Hier sind Logistikkonzepte für den Bau und angepasste Betriebsstrategien gefragt. Wichtig ist die Instandhaltung der Anlagen, wobei die Wahl des richtigen Zeitpunkts sowie die Möglichkeit zur Verlängerung der Wartungsintervalle besonders entscheidend sind. Dazu werden unter anderem Ansätze zur Bauteilverbesserung sowie zu einer verbesserten Anlagenüberwachung (Condition Monitoring) verfolgt.

Gute Fortschritte haben sich in den vergangenen Jahren auch auf dem Gebiet der Windfelderkundung mittels laserbasierter Windmessgeräte (LIDAR) ergeben. Aufgrund der mittlerweile rasch sinkenden Kosten für einfachere Geräte erscheint auch deren Einsatz für einen lastreduzierenden Betrieb in Griffweite zu kommen: Hierbei sorgen schnell wirkende Regelungssysteme dafür, dass beispielsweise drohende Belastungen der Anlagenkomponenten aufgrund herannahender Windböen durch die rechtzeitige Verstellung der Rotorblätter deutlich gemindert werden.

Offshore liegt der Schwerpunkt vor allem in der Entwicklung ökologisch möglichst unbedenklicher und kostengünstiger Gründungen, verbesserter Installationslogistik sowie der Optimierung der Instandhaltung. Langjährige Erfahrungen mit Multi-Megawatt-Windenergieanlagen in tiefen Gewässern, liegen bisher noch nicht vor. Mit einem umfangreichen Messprogramm im Offshore-Testfeld „alpha ventus“ wie auch im Mess- und Evaluierungsprogramm offshore (OWMEP) soll möglicher Forschungsbedarf frühzeitig erkannt werden. Zwar zeigt sich beim Bau und auch bei den Wartungskonzepten eine steile Lernkurve, doch bietet die noch junge Technologie erhebliche Potenziale zu Prozessverbesserungen.

### Strategie der Forschungsförderung

Zwar spielt die Offshore-Windenergie bezogen auf die bereitgestellte Strommenge derzeit noch keine marktrelevante Rolle, doch war sie in den vergangenen Jahren ein Schwerpunkt in der Forschungsförderung. Die Offshore-Windenergie ist für die Ausbauziele der Bundesregierung deshalb so wichtig, da die gesteckten Ziele zum Ausbau der erneuerbaren Energien ohne Offshore-Windenergie wahrscheinlich nicht erreicht werden können. Aufgrund der sehr viel stetigeren Windbedingungen als an Land wird auch eine Verstetigung der Einspeisung erwartet. Außerdem stehen geeignete Flächen in großem Umfang zur Verfügung. Offshore-Windenergie kann infolgedessen einen wesentlichen Beitrag zur Versorgungssicherheit, Systemqualität und Reduzierung der Gesamtkosten liefern. Trotz der gegenüber dem Onshore-Ausbau höheren Installations- und Wartungskosten sind Investitionen in die Offshore-Windenergie deshalb aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll.

Ein Untersuchungsaspekt der meisten laufenden Forschungsvorhaben ist es, einen Beitrag zur Kostensenkung zu liefern. Während Vorhaben zu kostengünstigen und schallarmen Gründungen allein der Offshore-Windenergie zuzurechnen sind, bieten so gut wie alle anderen Projekte durch die Übertragbarkeit der Ergebnisse auch für die Onshore-Windenergie einen Nutzen. So können die Verbesserungen der Zuverlässigkeit und die Erfahrungen mit Multi-Megawatt-Maschinen auch wichtige Impulse für den Onshore-Ausbau liefern, wie die zuletzt deutlich beschleunigte Erschließung von Schwachwindstandorten mit großen Rotorblattlängen, großen Nabenhöhen und gegenüber

**Durch die Messung der Blattlasten ist es möglich, die Windenergieanlage individuell zu regeln und somit zu entlasten.**

den letzten Jahren auch größeren Nennleistungen in Richtung von drei Megawatt je Turbine.

Für die wachsenden Blattlängen sind neben geeigneten Prüfständen auch Fertigungskonzepte gefragt, um die Kosten für die Blatherstellung drastisch senken und gleichzeitig die Fertigungsqualität erhöhen zu können. Dies wird derzeit in einem größeren Verbund mit der Kurzbezeichnung BladeMaker untersucht (siehe Seite 7).

Um die Entwicklung bestehender Turbinenkonzepte und neuer Entwicklungsansätze zu beschleunigen, werden aktuell aus Mitteln des Landes Nordrhein-Westfalen und der Europäischen Union in Aachen sowie mit Bundesmitteln in Bremerhaven neue Gondelprüfstände errichtet. Es darf erwartet werden, dass mithilfe dieser leistungsfähigen Infrastruktur unter anderem wichtige Erkenntnisse zu bisher noch unverstandenen Schädigungsmechanismen geliefert werden können.

Insgesamt hat das BMU 2013 im Bereich Windenergie 60 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 37,3 Millionen Euro neu bewilligt. Im Vergleich zum Vorjahr stellt dies einen deutlichen Rückgang des Neubewilligungsvolumens dar (2012: 93,2 Millionen Euro). Bereits laufende Forschungsvorhaben wurden 2013 mit 52,6 Millionen Euro gefördert (2012: 38,5 Millionen Euro). Bei beiden Angaben muss berücksichtigt werden, dass die Jahre 2011 und 2012 aufgrund eines Aufwuchses im Bundeshaushalt und erheblicher verfügbarer Mittel im Energie- und Klimafonds (EKF) gesondert zu betrachten sind. So lagen die Neubewilligungsvolumina von 2006 bis 2010 – ohne die EKF-Sonderjahre 2011 und 2012 – im Durchschnitt bei 34,43 Millionen Euro, womit sich das Neubewilligungsvolumen 2013 sogar über dem bereits hohen Niveau der Vorjahre befindet.

## Auswahl geförderter Projekte

An dieser Stelle werden einige vom BMU/BMWi geförderte Projekte im Bereich Windenergie vorgestellt, die einen Einblick in die Umsetzung der zugrunde liegenden Forschungsschwerpunkte aus der Förderbekanntmachung geben. Leuchtturmprojekte aus diesem Technologiebereich sind außerdem im Kapitel „Highlights“ zu finden (siehe Seiten 7/8).



## Technikforschung

### Optimierung von Windenergieanlagen mittels faseroptischer Blattlastmessung

Moderne Windkraftanlagen nehmen in ihrer Dimension tendenziell zu, um höhere Anlagenleistungen und somit höhere Erträge zu erzielen. Mit zunehmendem Rotordurchmesser gehen aber auch inhomogenere Windlasten einher. Hieraus folgen zusätzliche, mechanische Belastungen auf den Antriebsstrang (so genannte parasitäre Lasten), ausgelöst durch Vibrationen in den Blättern. Die erhöhten Belastungen führen neben höheren Wartungskosten zu einer verminderten Effizienz der gesamten Windenergieanlage. Beim Design neuer Anlagen erfordern diese parasitären Lasten zudem kostentreibende Verstärkungen an den betroffenen Strukturen.

Im Projekt **DyLaR** – Dynamische Lastmessung an Rotorblättern mittels faseroptischer Messtechnik – untersucht der Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik der Technischen Universität München zusammen mit der fos4X GmbH die faseroptische Messung der Lasten in den Rotorblättern. Der Ursprung parasitärer Lasten auf die gesamte Windenergieanlage liegt primär in der inhomogenen Beanspruchung der Rotorblätter. Durch die Messung der Blattlasten ist es möglich, die Windenergieanlage individuell zu regeln und somit zu entlasten. Ein Konzept hierfür ist die Regelung der Neigungswinkel der einzelnen Blätter (Individual Pitch Control). Dieses Regelungskonzept ermöglicht eine Minimierung der mechanischen Spitzenlasten und folglich auch des Materialbedarfs und der Kosten einer Anlage. Der Effizienzgewinn mittels individueller Pitch-Regelung steigert zudem die Verfügbarkeit, und den Ertrag einer Windenergieanlage im Betrieb.



**Inspektion einer durch Regen erodierten Rotorblattoberfläche**

Die Untersuchungen gehen über Labor- und Prüfstandtests hinaus. Die entwickelten Sensoren werden bereits in Feldversuchen in mehreren Multi-Megawatt Windenergieanlagen erprobt. Erste Analysen der erhobenen Daten zeigen hohe Potenziale für Betriebsoptimierungen der untersuchten Anlagen.

Das Projekt wird vom BMU/BMWi mit rund 450.000 Euro gefördert.

### Bessere Beschichtung für Rotorblätter

Für die aerodynamische Effizienz einer Windenergieanlage (WEA) ist die Vermeidung von Verwirbelungen an den Rotorblattoberflächen von entscheidender Bedeutung. Durch Umwelteinflüsse wie Regen, Sand und Schmutz kommt es zu Aufrauungen der vormals aerodynamisch optimierten Oberflächen. Diese Effekte werden durch (Meer-)Salz, Temperaturwechsel und UV-Strahlung verstärkt. Die resultierenden Oberflächendefekte setzen den Wirkungsgrad der Anlagen deutlich herab. Außerdem erhöhen sie die durch die WEA verursachten Geräuschemissionen.

Da zur Effektivitätssteigerung von Offshore-WEA zukünftig höhere Blattspitzengeschwindigkeiten genutzt werden sollen, die Schädigung jedoch überproportional mit der Blattspitzengeschwindigkeit steigt, besteht akuter Bedarf zur Verbesserung der Erosionsbeständigkeit von Beschichtungssystemen. Zudem erfordert der durch aufwändige Logistik bedingte hohe Wartungs- und Reparaturaufwand auf See eine Optimierung bestehender Konzepte.

Daher soll in dem Projekt **Regenerosion an Rotorblättern** ein klimatisierter Regenerosionsteststand aufgebaut und in praxisnahen Versuchen ein entsprechendes Testverfahren

für Rotorblattbeschichtungen etabliert werden. Das vom Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES und der Automation Dr. Nix GmbH & Co. KG durchgeführte Projekt strebt die Verbesserung der Effizienz von Windkraftanlagen an. So soll der Reparatur- und Wartungsaufwand von Rotorblättern gemindert und damit eine Verbesserung des Ertrags erreicht werden. Weitere Projektpartner sind das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, die BASF Coatings GmbH, Epurex Films GmbH & Co. KG, ein Bayer MaterialScience-Unternehmen, cp.max Rotortechnik GmbH & Co. KG, GETproject GmbH & Co. KG sowie RETC GmbH.

Das Projekt wird vom BMU/BMWi mit rund 841.000 Euro gefördert.

### Windenergieanlagen optimieren

Im Rahmen des Verbundprojektes **OpTiWi** wird ein Konzept für Windenergieanlagen (WEA) mit dem Ziel entwickelt, die Kosten der Windenergienutzung weiter zu reduzieren.

Die Firma SkyWind GmbH führt das Projekt gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), der Technischen Universität München und der Universität Stuttgart durch. Gesamtziel des Verbundvorhabens ist die Entwicklung und Erforschung einer zuverlässigen WEA mit nur zwei Rotorblättern, was neben einer erwarteten Kostenreduktion insbesondere auch logistische Vorteile bei der WEA-Errichtung bieten kann.



**Entwicklung und Erforschung einer zuverlässigen Windenergieanlage mit zwei Rotorblättern.**

**In dem Forschungsprojekt preInO wird eine Software entwickelt, die dringend erforderliche Arbeiten in Windparks erkennt und die entsprechende Logistik selbstständig in Gang setzt.**

Dem gegenüber gibt es auch Nachteile, zum Beispiel aufgrund der gegenüber Dreiblatt-Rotoren höheren dynamischen Lasten im Betrieb der Anlage. Ohne geeignete Lastreduktionsmaßnahmen wäre das Konzept kaum realisierbar. Die einzelnen Teilprojekte des Vorhabens fokussieren daher auf die Optimierung von Windenergieanlagen mit zwei Rotorblättern hinsichtlich eines lastarmen Betriebs (Teilprojekt LARS) und die Reduktion der Kosten für Montage, Errichtung und Wartung von Windenergieanlagen (Teilprojekt KALOS).

Die Teilprojekte sind angeschlossen an den Bau und die Nutzung einer Forschungsplattform in Form einer 3,4 Megawatt-Windenergieanlage (Teilprojekt Technologieträger WETEC). Aufgrund des modularen Aufbaus der Anlage können auch große Komponenten einfach und kostengünstig ausgetauscht werden. Erstmals können so Hersteller ihre neu entwickelten Bauteile im Betrieb einer realen Windenergieanlage testen und gegenüber Dritten demonstrieren. Für dieses innovative Vorhaben wurde Skywind mit dem Windallianz Technology Award der Windenergie-Leitmesse Husum Windenergie ausgezeichnet.

Das Projekt wird vom BMU/BMWi mit rund 2,5 Millionen Euro gefördert.

## Logistik und Betriebsführung

### Künstliche Intelligenz auf hoher See

Erforderliche Arbeiten an Windparks sollen in Zukunft per Software automatisch identifiziert und die entsprechende Logistik selbstständig in Gang gesetzt werden. So können Wartungs- und Reparaturabläufe von Offshore-Windenergieanlagen optimiert werden.

In dem gemeinsamen Forschungsprojekt **preInO** entwickeln das Bremer Institut für Produktion und Logistik (BIBA), der Windenergieanlagenbauer Senvion SE sowie das Software- und Prozessberatungshaus SWMS Methoden und Werkzeuge für eine bereits im Vorfeld agierende Instandhaltung von Offshore-Windenergieanlagen.

Bislang erfolgen Wartung und Reparatur der Anlagen auf See in der Regel in festen Zyklen oder bei einem Ausfall von Systemen. Die Abstimmung von Material und Einsätzen ist in der Offshore-Industrie von großer Bedeutung. Für die Planung müssen Wetterbedingungen, die technische



Qualifikation der Mitarbeiter, Teilebeschaffung, Hubschraubereinsätze und verbindliche Vertragsklauseln berücksichtigt werden. Jeder Verzug birgt ein enormes Kostenpotenzial. Der Ertrag und damit die Wirtschaftlichkeit von Windenergieanlagen werden maßgeblich bestimmt durch ihre Verfügbarkeit.

Mit preInO wird ein Steuerungssystem entwickelt, das dezentral und selbstständig aus allen verfügbaren Daten den Zustand eines Windparks erkennt, die Dringlichkeit der Aufgaben bewertet, Risiken abwägt, Instandhaltungsumfänge einschätzt, Arbeitspläne taktet und die erforderliche Logistik anstößt. Die Software analysiert unterschiedlichste Datenquellen, wie beispielsweise Sensorwerte und Wartungsdaten aus der Lebenslaufakte, und verknüpft diese automatisch. Erkannte Fehler werden auf dieser Grundlage priorisiert und eine dynamische Planung des Wartungsumfangs und Einplanung in bestehende Arbeitsabläufe sowie der damit verbundenen Logistik automatisch durchgeführt.

Das Projekt wird vom BMU/BMWi mit rund 866.000 Euro gefördert. *(weiter auf S. 38)*



## Radarstörungen erkennen – Flugsicherheit gewährleisten

**Wenn Radarwellen auf die Rotorblätter von Windenergieanlagen treffen, werden sie gestreut. Diese potenziellen Störungen können die Radargeräte von Meteorologen, Flugsicherung und Bundeswehr beeinträchtigen. So manches Windenergieprojekt liegt derzeit auf Eis, weil die Betreiber der Radaranlagen externe Unbedenklichkeitsgutachten, die auf reinen Simulationsmodellen basieren, nicht mehr akzeptieren. Ein neu entwickeltes Messsystem soll in Zukunft die grundlegenden Daten für Simulationsmodelle liefern und somit Gutachtern helfen, mit verbesserter Modellierung verlässlichere Prognosen für Genehmigungsbehörden abzuleiten.**

Ein neues Messsystem erfasst mit bisher unerreichter Genauigkeit die elektrische Feldstärke sowie die Signalinhalte von Navigationsanlagen der Flugsicherung. Der innovative Ansatz des Projektes **WERAN** – Wechselwirkung Windenergieanlagen und Radar/Navigation – besteht darin, die komplexe Einschätzung von Radarstörungen durch Windparks in messtechnisch erfassbare Zwischenschritte aufzuteilen. Mit der Auswertung der aufgezeichneten Messdaten lässt sich schon im Vorfeld des Baus eines Windenergieparks besser klären, inwieweit dieser benachbarte Radaranlagen der Flugsicherung, Luftverteidigung oder Wetterbeobachtung beeinflussen würde.

Herzstück der Technik ist ein von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und der FCS Flight Calibration Services GmbH aus Braunschweig entwickeltes Antennen- und Empfangssystem. In seiner bisherigen Ausführung wird es unter einem Helikopter befestigt und kann an beliebigen Punkten im Raum die elektromagnetische Feldstärke messen und zeitsynchron Messdaten und Ort mit sehr hoher Abtastrate speichern. Erfolgreiche Tests haben bereits gezeigt, dass es das für die einwandfreie Signalübertragung notwendige elektro-

magnetische Fernfeld, beispielsweise zwischen einem Instrumentenlandesystem und einem Flugzeug, so genau messen kann, wie es die Internationale Zivilluftfahrtorganisation vorschreibt. Die Messung wird auf das internationale Einheitensystem (SI) rückgeführt und damit vergleichbar gemacht. Diese Technologie ist bisher in Europa einmalig.

Windenergieanlagen sind ab einer bestimmten Höhe mit einer Kollisionswarnbefeuerung ausgerüstet, die sie niedrig fliegenden Flugzeugen kenntlich macht und so eine Kollision verhindern soll. Die blinkenden roten Warnfeuer werden jedoch von vielen Anwohnern als störend empfunden und locken Vögel an, die durch Kollision mit den Rotoren zu Tode kommen können. Die Warnbefeuerung soll deshalb nur bei der Annäherung eines Flugzeugs eingeschaltet werden. Hierfür müssen Flugbewegungen in der Nähe der Anlagen erfasst und analysiert werden. Das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR entwickelt in dem Projekt **PARASOL** – Passiv Radar basierte Schaltung der Objektkennzeichnung für die Luftfahrt – eine bedarfsgerechte Steuerung der Kollisionswarnbefeuerung an Windenergieanlagen.

Das PARASOL-System nutzt Passiv-Radar-Sensoren für die Detektion sich annähernder Flugzeuge. Diese geben keine eigene Radarstrahlung ab, sondern nutzen bereits vorhandene Rundfunksignale, um Flugzeuge zu orten. Der Schutzbereich eines Passiv-Radar-Netzwerks spannt sich wie ein Sonnenschirm (Parasol) über dem Windpark auf. Dieses Verfahren zeichnet sich aus durch eine hohe Umweltverträglichkeit, geringe Kosten und die Tatsache, dass eine Sendegenehmigung wie bei anderen, aktiven Verfahren nicht erforderlich ist. Die intelligente Steuerung für Warnleuchten an Windenergieanlagen kann die Akzeptanz von Windparks in der Bevölkerung erhöhen und somit die Nutzung erneuerbarer Energien weiter vorantreiben.



**Das PARASOL-System nutzt Passiv-Radar-Sensoren für die Detektion sich annähernder Flugzeuge.**





Hydroschalldämpfer im Einsatz beim Bau des Offshore-Windparks London Array.

## Schallschutz

### Hydroschalldämpfer mindern Unterwasserschall

Bei Gründungsarbeiten für Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) werden häufig hydraulische Schlagrammen zum Setzen der Pfähle genutzt, die zu einem hohen Schalleintrag in das umgebende Wasser (Hydroschall) führen und somit marine Säuger, insbesondere Schweinswale, gefährden.

In dem Projekt **Hydroschalldämpfer** untersucht die Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig neuartige und kostengünstige Hydroschalldämpfer (HSD)-Netze als Verfahren zur Hydroschallminderung bei Offshore-Rammarbeiten für die Gründung von OWEA. Neben der Entwicklung und Optimierung der HSD testen die Forscher Prototypen in Zusammenarbeit mit der Bauindustrie im Offshore-Einsatz unter realen Bedingungen und messen die schallmindernde Wirkung. So können belastbare Ergebnisse zur Wirksamkeit der HSD als neues, effektives Schallminderungsverfahren gewonnen werden.

Die Projektarbeiten schließen sowohl grundlegende analytische, numerische und messtechnische Untersuchungen zur Einschätzung der unterschiedlichen physikalischen Effekte auf die Minderung von Hydroschall ein, als auch die gezielte technische Nutzung, Weiterentwicklung und Anwendungsoptimierung mit unterschiedlichen Materialien und Ausführungsvarianten.

Durch Offshore-Tests und Messungen im realen Bauablauf soll die Wirksamkeit und Offshore-tauglichkeit von HSD und Netzvarianten nachgewiesen werden. In einem Test während des Baus des Offshore-Windparks ‚London Array‘ konnten bereits sehr gute Schallminderungen von bis zu 13 Dezibel Schallleistungspegel in 750 Metern Entfernung von der Gründungsstruktur erzielt werden.

Das BMU/BMWi fördert das Forschungsprojekt Hydroschalldämpfer mit rund 1,9 Millionen Euro.

## Technologische Lösungen zur Minderung der Umweltbelastungen durch die Windenergie

### Umweltverträglicher Ausbau der Offshore-Windenergie

Deutschlands erster Meereswindpark *alpha ventus* mit zwölf Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) wurde 2009 errichtet. Von Beginn an wurden Bau und Betrieb des Testfeldes von umfangreichen ökologischen Untersuchungen begleitet, gebündelt im Projekt **StUKplus**. Ein Ziel war es, die gültigen methodischen Standards für das vorgeschriebene, betreiberseitig durchzuführende Umweltmonitoring zu evaluieren. Sie sind im so genannten Standarduntersuchungskonzept (StUK) des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) enthalten. Weitere Projektziele bildeten die Entwicklung und Erprobung neuer Methoden zur Erfassung von Vögeln und Fischen sowie die Erweiterung des Kenntnisstandes zu möglichen ökologischen Auswirkungen der Offshore-Windenergienutzung. Anhand der im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse wurde das Standarduntersuchungskonzept angepasst. Auf der Abschlusskonferenz zum StUKplus-Vorhaben im Oktober 2013 wurde die dritte Fortschreibung des StUK (StUK4) offiziell in Kraft gesetzt. Die Projektergebnisse finden damit unmittelbar Eingang in die aktuelle Genehmigungspraxis des BSH und tragen zum umwelt- und naturverträglichen Ausbau der Offshore-Windenergie bei.

Das StUKplus-Projekt wurde vom BSH koordiniert. In 14 Unterprojekten wurden unter anderem die Auswirkungen von OWEA auf Benthos (Bodentiere), Fische, Vögel und Meeressäuger untersucht. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass befürchtete Entwicklungen wie eine Verödung der Fauna oder Massenschlag bei Vögeln nicht eingetreten sind. Die Fundamente der OWEA bilden künstliche Riffe, an denen sich Muscheln, Seeanemonen oder Seesterne sowie Fische wie der Seebull ansiedeln. Durch das Fischereiverbot innerhalb der Windparks erholt sich der Meeresboden von der Fischerei mit Grundschleppnetzen. Weiterer Forschungsbedarf besteht noch bei der Untersuchung der Auswirkungen auf Zug- und Seevögel.

Die Ergebnisse der Forschungstätigkeiten sind in qualitätsgeprüften Datenbanken zusammengefasst. Sie dienen als Basis für die langfristige, großflächige Analyse und Bewertung von marinen Lebensräumen. Außerdem werden sie in einer Buchpublikation veröffentlicht. Weitere Informationen unter: [www.alpha-ventus.de](http://www.alpha-ventus.de) und [www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Standard/7003.pdf](http://www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Standard/7003.pdf)

Das BMU/BMWi fördert StUKplus mit rund 7,8 Millionen Euro.

### Fledermausfreundlicher Betrieb für Windenergieanlagen

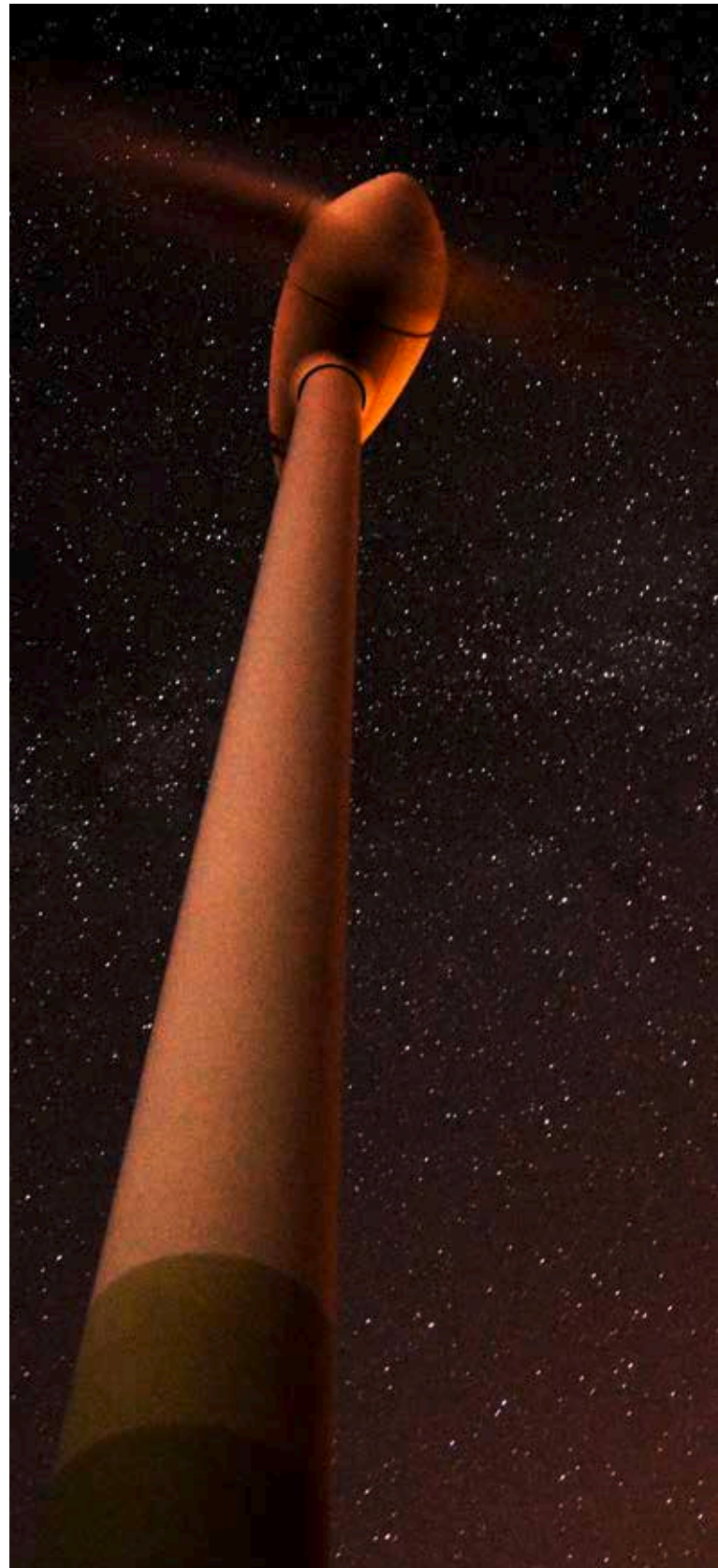
In einem ersten Forschungsprojekt **RENEBAT** hat die Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg eine Methode zur Vorhersage der Aktivität und damit des Kollisionsrisikos von Fledermäusen im Rotorbereich von Windenergieanlagen entwickelt. Basierend auf dieser Methode wurden im Rahmen des Folgeprojektes **RENEBAT II** bundesweit 16 WEA in acht Windparks betrieben, die eigens entwickelten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen folgen. Die Ergebnisse der durchgeführten Schlagopfersuchen zeigen, dass das Schlagrisiko deutlich reduziert wurde: Es konnte ein hoher Schutz für Fledermäuse bei minimalen Ertragseinbußen erreicht werden.

Untersuchungen zeigen weltweit, dass an Windenergiestandorten größere Zahlen von Fledermäusen durch Rotoren gefährdet sind. Fehlende Untersuchungen zum Umfang des Problems, insbesondere jedoch zu möglichen Lösungsansätzen, hatten lange Zeit zur Folge, dass dem potenziellen Konfliktfeld Fledermäuse – Windenergie in uneinheitlicher und häufig unspezifischer Weise Rechnung getragen wurde.

Ziel des neu anlaufenden Vorhabens **RENEBAT III**, das weiterhin in Zusammenarbeit mit der Firma ENERCON durchgeführt wird, ist die vereinfachte und standardisierte Erfassung, Analyse und Reduktion des Schlagrisikos von Fledermäusen an WEA. So soll unter anderem die zeitliche und kleinräumliche Variabilität der Fledermausaktivität in Bezug auf verschiedene Jahre und Jahreszeiten untersucht werden. Außerdem betrachtet werden sollen die Effekte der Größe des Rotordurchmessers sowie der Anlaufwindgeschwindigkeit auf das Schlagrisiko, denn bei höheren Windgeschwindigkeiten fliegen Fledermäuse nicht in den Rotorbereich. Anhand dieser Studien sollen die Kosten und der Zeitaufwand für entsprechende Untersuchungen auf das notwendige Minimum begrenzt werden. Die geplanten Untersuchungen schaffen damit eine wichtige Voraussetzung für einen schnellen, kostengünstigen und umweltverträglichen Ausbau der Windenergie.

Das BMU/BMWi fördert die Projekte RENEBAT II-III mit rund 2,4 Millionen Euro. ■

Neue Methoden ermöglichen einen hohen Kollisionsschutz für Fledermäuse bei minimalen Ertragseinbußen.





# Photovoltaik



Die Photovoltaik kann einen signifikanten Beitrag dazu leisten, einen Großteil der Elektrizitätsversorgung mit erneuerbaren Energien abzudecken. Bereits heute trägt sie rund 5 Prozent des deutschen Stromverbrauchs. Solardächer mit dezentraler Stromspeisung in das Netz sind bei vielen Hausbesitzern beliebt. Mittlerweile sind rund 1,5 Millionen Photovoltaikanlagen am Netz, überwiegend gefördert über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).

## Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund der Markt- und Technologieentwicklung

### Marktgeschehen Deutschland und weltweit

Für Photovoltaikindustrie, Anlagenbau und Zulieferer war 2013 erneut ein schwieriges Geschäftsjahr. Weltweit stehen einem Markt von rund 40 Gigawatt aktuell Produktionskapazitäten von 60 bis 70 Gigawatt gegenüber. Dies führt zu einem Überangebot mit geringen Modulpreisen, die aktuell eine Größenordnung um 0,60 Euro pro Watt erreicht haben. Aufgrund dessen können nur die wirtschaftlichsten Fertigungen ohne Verluste produzieren. Viele Unternehmen weltweit hatten daher erneut mit ernst wirtschaftlichen Problemen zu kämpfen. Eine Besserung der Situation wird frühestens Ende 2014, vielleicht auch erst 2015 erwartet, wenn Fertigungskapazitäten und Märkte in etwa ein konformes Niveau erreicht haben werden.

In Deutschland führte diese wirtschaftlich schwierige Lage dazu, dass sich zwei der großen deutschen Marktführer neu orientieren mussten: Die Bitterfelder Firma Q-Cells wurde von der koreanischen Hanwha Gruppe übernommen. Bosch Solar kündigte die Aufgabe der Fertigung von Solarmodulen auf der Basis kristallinen Siliziums zum Jahresende 2013 an. In Summe waren 2013 nur noch rund 40 Photovoltaikunternehmen mit rund 11.000 Mitarbeitern in Deutschland tätig; 2008 waren es noch 62 Firmen mit mehr als 32.000 Mitarbeitern. Die größten Produktionskapazitäten finden sich nach wie vor in China.

Der deutsche Photovoltaikmarkt entwickelt sich, auch aufgrund der Anpassung des EEG im Jahr 2012, ebenfalls deutlich gebremst. Die Zubauzahlen 2013 liegen mit 3,3 Gigawatt innerhalb des gesetzlich festgelegten Zubaukorridors von 2,5 bis 3,5 Gigawatt. In Summe waren damit Ende 2013 rund 35,7 Gigawatt Photovoltaik-Leistung installiert. Wurde bis 2012 der weltweit größte Absatz in Deutschland

erzielt, finden sich 2013 mindestens vergleichbare Märkte in den USA, Japan und insbesondere China.

### Fortschritte in Forschung und Entwicklung

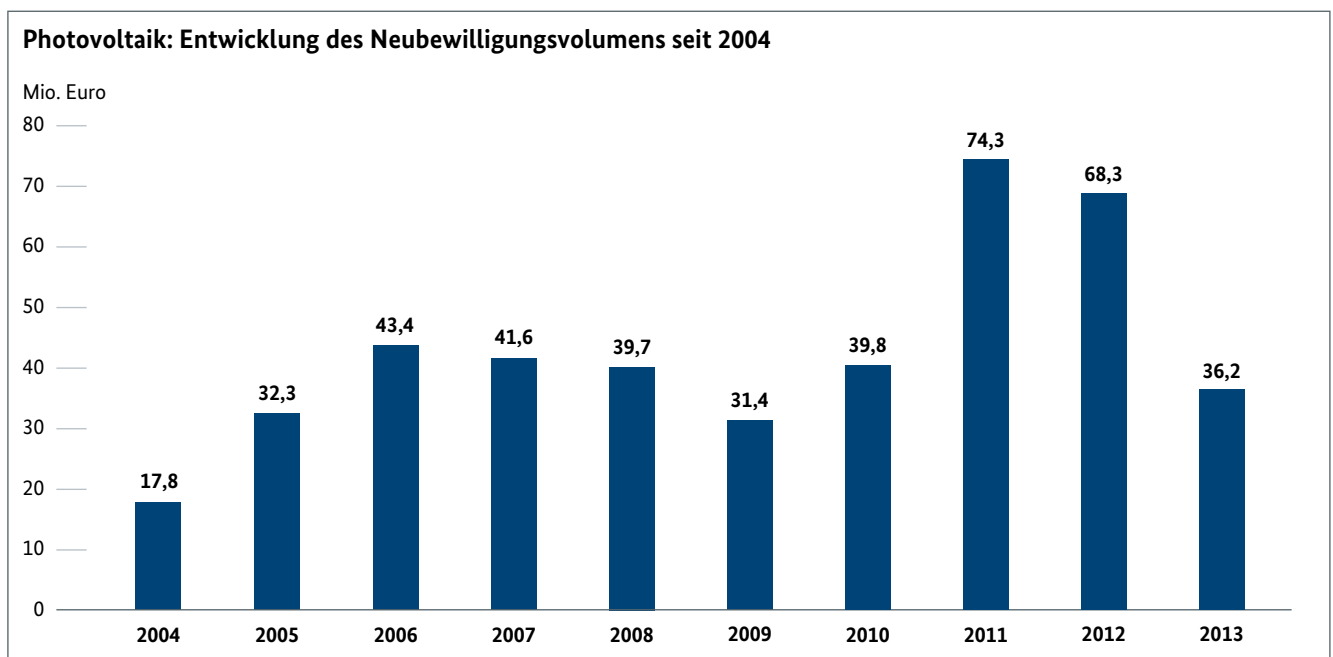
Angesichts des internationalen wirtschaftlichen Umfelds müssen die Kosten für qualitativ hochwertige Solarmodule weiter gesenkt werden. Aktuelle Entwicklungsziele liegen unter 0,50 Euro pro Watt. Mit Blick auf die übrigen Systemkomponenten wie Wechselrichter, Montagesysteme und Installation wird außerdem deutlich, dass nur mit hocheffizienten Modulen und Systemen eine weitere Reduzierung der Stromgestehungskosten erreichbar ist. So beträgt der Anteil der Module am Systempreis für kleine Aufdachanlagen (fünf Kilowatt) aktuell noch rund 40 Prozent. Davon entfallen 12 Prozent auf den Wechselrichter. Für Verkabelung, Montagesystem, Planung und Installation fallen die verbleibenden 58 Prozent an. Dies macht durchgreifende technische Neuerungen bei Zellen und Modulen notwendig. Gelingt dies, sind auch in Deutschland Stromkosten aus Solarenergie unter 0,10 Euro pro Kilowattstunde möglich.

Mit rund 90 Prozent der globalen Installationen sind Photovoltaikmodule auf Basis des kristallinen Siliziums nach wie vor der Standard. Sie haben inzwischen einen hohen Reifegrad erlangt. Die Fertigungstechnologien konnten in den letzten Jahren sukzessive verbessert werden. Die PERC

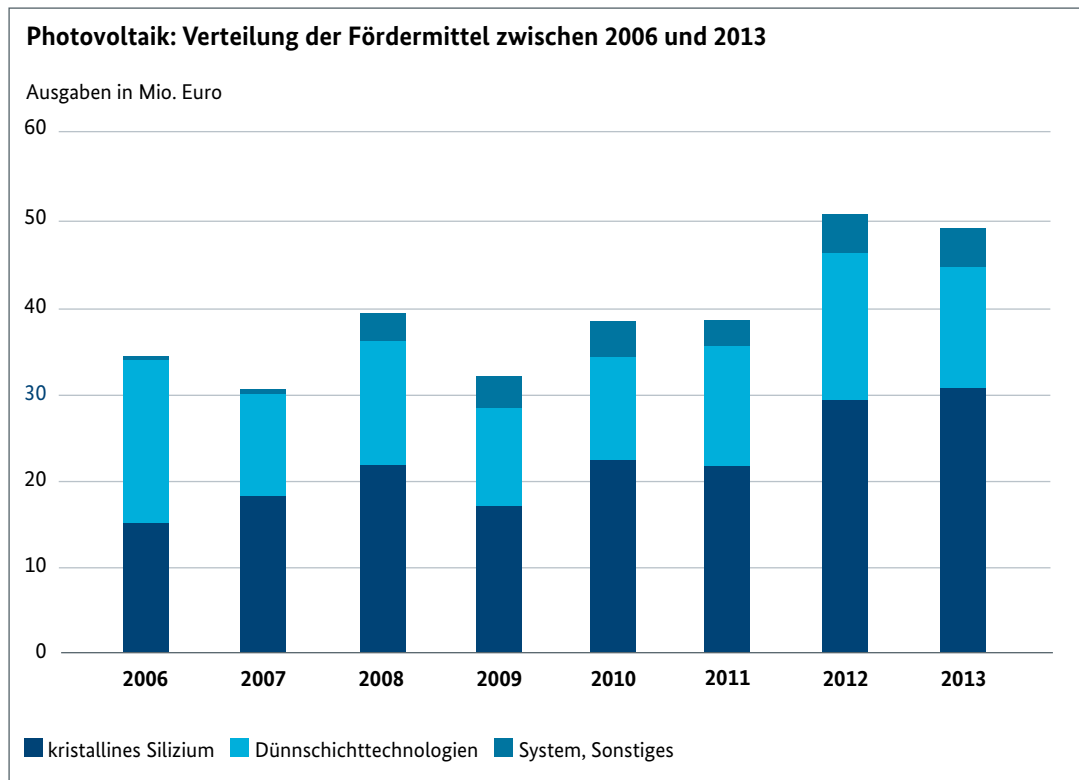
Technologie (Passivated Emitter and Rear Contact) mit Zellwirkungsgraden von 18 Prozent und mehr befindet sich in der Phase der Markteinführung. Hier konnte der Anlagenbau in Deutschland zusammen mit Photovoltaikfirmen und Forschungsinstituten wesentliche Innovationen umsetzen und hat deshalb gute Chancen, von einer Absatzbelebung zu profitieren. Darüber hinaus ist der Weg zur Entwicklung von noch effizienteren, qualitativ hochwertigeren Modulen aufgezeigt.

Im Vergleich dazu befinden sich die Dünnschichttechnologien in einer schwierigeren Lage. Auch wenn hier ausgereifte, marktfähige Produkte angeboten werden, stagniert der Marktanteil doch bei rund jeweils zwei Prozent für Silizium- und Chalkopyrit-Dünnschichttechnologien bzw. bei vier bis fünf Prozent für Module auf der Basis des Halbleiters Cadmiumtellurid. Der Siliziumdünnschichttechnologie ist es bislang nicht gelungen, Wirkungsgrade oberhalb von 10 Prozent in der Fertigung zu realisieren. Hier wird aktuell diskutiert, welche neuen Forschungsansätze zielführend sein könnten.

Solarmodule auf der Basis von Chalkopyriten (so genannte CIGS Module) haben im Labormaßstab ein Wirkungspotenzial von deutlich über 20 Prozent nachgewiesen; den aktuellen Weltrekord hält das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) mit 20,8 Prozent. Jetzt gilt es, dieses Potenzial für







die Fertigung zu erschließen. Mehrere deutsche Firmen bieten Anlagentechnik zur Herstellung von CIGS Modulen an. Nach dem Rückzug des US-Unternehmens First Solar aus Frankfurt (Oder) findet in Deutschland die Fertigung von Modulen auf der Basis des Halbleiters Cadmiumtellurid (CdTe) auf sehr niedrigem Niveau statt.

Mit konzentrierender Photovoltaik (CPV) ist ein Systemwirkungsgrad von 30 Prozent und mehr in Aussicht, der in sonnenreichen Gegenden Maßstäbe setzt. Dazu ist mit AZUR Space ein Unternehmen in Deutschland beheimatet, das als Weltmarktführer in der höchst komplexen Zelltechnologie gilt. Die Anwendung der CPV beschränkt sich bislang allerdings im Wesentlichen auf Pilotprojekte.

Mit sinkenden Modul- und Systemkosten gerät auch der Wechselrichter wieder in den Fokus von Forschung und Entwicklung. Mehrere deutsche Unternehmen bieten hier überzeugende Lösungen an, die zunehmend auch die Interaktion mit dem Stromnetz zur Netzstabilisierung oder auch die Einbindung von Batteriespeichern zur Steigerung des Eigenverbrauchs ermöglichen. Für eine weitere Kostenreduktion unter 0,15 Euro pro Watt könnte die Entwicklung neuer Schaltungstopologien, die zusammenhängend und fugenlos hergestellt werden, interessant sein. Alternative Solartechnologien wie organische Photovoltaik oder die neu entwickelten Solarzellen, in denen das Licht von einem metallorganischen Perovskit – einem halb organischen und halb anorganischen Halbleiter – eingefangen wird, sind der Grundlagenforschung zuzuordnen und werden im Rahmen der Projektförderung des Bundesforschungsministeriums (BMBF) berücksichtigt.

Zur Klärung des Förderbedarfs hat das BMU im Mai 2013 den Workshop „Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit von Photovoltaik-Systemen“ durchgeführt. Unter den rund 30 Experten aus Industrie und Forschung herrschte Konsens, dass Solartechnik aus Deutschland gegenüber der Konkurrenz einen Qualitätsvorsprung beibehalten muss. Dieser muss von der Zellebene über die Komponenten bis hin zum Gesamtsystem sichergestellt werden. Dazu soll die Steigerung des Verständnisses für Alterungsprozesse auf allen Ebenen sowie die Entwicklung von Inline-Mess- und Prozesstechnik für die Massenfertigung vordringlich verfolgt werden.

Weiter fand Ende November das BMU-Strategiegespräch zu Forschung und Entwicklung im Bereich Photovoltaik statt. Es wurde deutlich, dass gerade auch für deutsche Unternehmen günstige Aussichten zur Technik des kristallinen Siliziums bestehen. Verabredet wurde, unter industrieller Leitung eine Entwicklungsroadmap zu erstellen, die relevante Forschungsthemen aufführt und bezüglich der angewandten Forschung eine Fokussierung der Arbeiten unterstützt. Eine analoge Aktivität soll zu den Dünnschichttechnologien angestoßen werden. Mit Blick auf die Integration der Photovoltaik in die Energiesysteme wurde angeregt, in einem Workshop die jeweiligen Optimierungsmöglichkeiten im Gesamtsystem zu erarbeiten. Interessante Anwendungsfelder sind unter anderem kleine dezentrale Systeme, Eigenverbrauchssysteme unterschiedlicher Größe, Großkraftwerke und Inselsysteme, also Photovoltaikanlagen, die nicht an das öffentliche Stromversorgungsnetz angeschlossen sind, jedoch den jeweiligen Besitzern energetische Unabhängigkeit gewährleisten.

## Strategie der Forschungsförderung

In den letzten Jahren wurden sowohl auf System- als auch auf Komponentenebene deutliche Kostenreduzierungen erreicht. Um diese Entwicklung weiter voranzubringen und das Ausbaupotenzial der Photovoltaik wirtschaftlich und effizient zu realisieren, sind weiterhin Wirkungsgrade zu verbessern und bestehende Kostensenkungspotenziale zu realisieren. In der aktuellen Situation tritt dabei das Ziel der BMU/BMWi-Förderung in den Vordergrund, die deutsche Photovoltaikindustrie, den Anlagenbau sowie die Zulieferfirmen bei der Entwicklung innovativer, konkurrenzfähiger Lösungen zu unterstützen. Daher werden Verbundvorhaben mit Industriebeteiligung favorisiert. Gleichzeitig wird aber auch eine Vorlaufforschung ermöglicht, um die ausgezeichneten deutschen Forschungseinrichtungen in die Lage zu versetzen, in vier bis fünf Jahren der Industrie Ideen anzubieten, die die Phase des „proof-of-concepts“ bereits erfolgreich durchlaufen haben.

Erfolge dieser Strategie zeigen sich insbesondere in den positiven Zwischenergebnissen der laufenden Vorhaben zur Innovationsallianz Photovoltaik, wie das erste Statuskolloquium dieser Allianz Ende April 2013 zeigte. Zur Flankierung der Innovationsallianz wurde im Mai 2013 von BMU und BMBF der gemeinsame Förderaufruf zu „Forschung und Entwicklung für Photovoltaik“ gestartet. Ab 2014 werden aus den eingereichten Projektvorschlägen 12 industriegeführte Vorhaben mit insgesamt bis zu 50 Millionen Euro bewilligt werden.

Insgesamt hat das BMU 2013 in diesem Bereich 43 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 36,2 Millionen Euro neu bewilligt. Das Neubewilligungsvolumen ist damit im Gegensatz zum Vorjahr deutlich gesunken (2012: 85 neu bewilligte Projekte mit insgesamt 68,3 Millionen Euro Fördervolumen). Zu beachten ist hierbei jedoch, dass 2011 und 2012 aufgrund der aufwachsenden Mittelvolumina im Bundeshaushalt und im Energie- und Klimafonds (EKF) deutlich mehr Projekte bewilligt werden konnten als in den Vorjahren.

Aufgrund der oben ausgeführten Entwicklungspotenziale und der klar erkennbaren Chancen für die deutsche Industrie liegen die Schwerpunkte der Förderung insbesondere bei den Technologien zum kristallinen Silizium, aber auch zur CIGS-Dünnschichttechnologie, der CPV und der Systemtechnik. Ein wichtiges Querschnittsthema ist die Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit von Photovoltaik-

**Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme des Querschnitts einer am ISFH hergestellten 20,3% effizienten PERC Solarzelle. Deutlich sind die lokalen siebgedruckten Kontakte auf der Vorder- und Rückseite der Zelle zu erkennen.**



systemen. In bereits laufende Forschungsvorhaben flossen im vergangenen Jahr 48,7 Millionen Euro; der Wert lag leicht unter dem Vorjahreswert (2012: 51,7 Millionen Euro), jedoch über dem Mittelwert der Jahre 2009-2012 (40,6 Millionen Euro).

## Auswahl geförderter Projekte

An dieser Stelle werden einige vom BMU/BMWi geförderte Projekte im Bereich Photovoltaik vorgestellt, die einen Einblick in die Umsetzung der zugrunde liegenden Forschungsbereiche aus der Förderbekanntmachung geben. Leuchtturmprojekte aus diesem Technologiebereich sind außerdem im Kapitel „Highlights“ zu finden (siehe Seiten 9/10).

## Siliziumwafer-Technologie

### Wirkungsgradsteigerung durch innovative Zellkonzepte

Heutige industriell produzierte Solarzellen verwenden überwiegend Bor-dotierte Siliziumwafer und siebgedruckte Metallkontakte. Der vollflächige Aluminium-Rückkontakt limitiert jedoch aufgrund von elektrischen und optischen Verlusten auf der Zellrückseite den Wirkungsgrad auf etwa 19 Prozent. Eine vielversprechende Möglichkeit zur Erhöhung des Wirkungsgrades sind „Passivated Emitter and Rear Cell“ (PERC) Solarzellen, bei denen die Zellrückseite beispielsweise mit einer Doppelschicht aus Aluminiumoxid und Siliziumnitrid passiviert ist und das Aluminium den

Siliziumwafer nur noch lokal kontaktiert. Das Institut für Solarenergieforschung Hameln GmbH (ISFH) entwickelt im Rahmen des vom BMU/BMWi geförderten Projektes **HighScreen** hocheffiziente, industriell produzierbare PERC-Solarzellen zusammen mit mehreren Industriepartnern. In Kooperation mit der Singulus Technologies AG hat das ISFH eine neue Abscheidemethode für die Auftragung des Aluminiumoxids mit der Bezeichnung „Inductively Coupled Plasma“ entwickelt, welche nun von Singulus kommerziell angeboten wird. Außerdem hat das ISFH zusammen mit der Rena GmbH nasschemische Politurprozesse für PERC-Zellen weiterentwickelt, welche einen Rekordwirkungsgrad von 20,3 Prozent ermöglicht haben. Inzwischen werden PERC-Solarzellen bei dem Projektpartner Solar-World AG und weiteren Zellherstellern in der Pilotproduktion erprobt. Bei diesen hocheffizienten PERC-Zellen wird der Wirkungsgrad nun allerdings durch die Ladungsträgerlebensdauer im Bordotierten Siliziumwafer limitiert.

Mit Phosphor dotiertes Silizium, so genanntes n-dotiertes Silizium, besitzt hingegen deutlich höhere Ladungsträgerlebensdauern. Daher entwickelt das ISFH im Rahmen der vom BMU/BMWi geförderten Projekte **SimpliHigh** und **CHIP** so genannte „Passivated Emitter and Rear totally diffused“ (PERT) Zellen auf Basis von Phosphor-dotierten Wafern, zusammen mit der Leibniz Universität Hannover. Bei PERT-Zellen wird der Emitter Bor-dotiert und die Zellrückseite ganzflächig Phosphor-dotiert. Ziel der beiden Projekte ist es, die Bor- und Phosphor-Dotierungen mit einem möglichst einfachen und kostengünstigen Herstellungsprozess zu erzeugen. Im CHIP Projekt wird dafür die in der Halbleiterbranche bereits etablierte Ionenimplantation evaluiert. Auf den ersten Zellchargen konnten damit sehr gute Wirkungsgrade bis 20,3 Prozent demonstriert werden. Im SimpliHigh Projekt wird die lokale Deposition von Dotierquellen für die Entwicklung einfacher Fertigungsprozesse von Hocheffizienz-Solarzellen genutzt. Damit werden wichtige Grundlagen für Senkungen der Herstellungskosten von Hocheffizienz-Solarzellen geschaffen. Das BMU/BMWi fördert diese drei vielversprechenden Vorhaben mit insgesamt rund 6,1 Millionen Euro.

Im Projekt **THESSO** verfolgt das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE einen praxisorientierten, einheitlichen Ansatz zur Erhöhung des Wirkungsgrades industriell produzierbarer Solarzellen auf bis zu 21,5 Prozent. Das hier verwendete n-dotierte Siliziummaterial (n steht für die freibewegliche negative Ladung, welche durch das Dotieren in das Silizium eingebracht wurde) und

**Ionenimplanter im Reinraum des Fraunhofer ISE zur Dotierung von Silicium mit Bor und Phosphor mit einer sehr exakten lokalen Auflösung.**



dessen Herstellung im Kristallzüchtungsprozess werden grundlegend untersucht und optimiert. Für eine breite Massenfertigung werden einerseits die Technologien innerhalb des Fertigungsprozesses neu entwickelt beziehungsweise angepasst. Andererseits wird der gesamte Aufbau der Solarzellen überarbeitet. Ziel aller Arbeiten ist ein hoher Wirkungsgrad bei gleichzeitig schlankem Fertigungsprozess. Die fortschrittlichen Solarzellenprozesse werden auf Pilotniveau am Photovoltaik Technologie Evaluationscenter „PV-TEC“ entwickelt und demonstriert. Zur Gewährleistung der industriellen Kompatibilität erfolgt abschließend die Herstellung von Demonstratormodulen mit einem angestrebten Modulwirkungsgrad von 20 Prozent.

In dem Projekt **ForTES** evaluieren die Forscher des Fraunhofer ISE neue Technologien, die für eine zukünftige Weiterentwicklung der Silizium-Solarzelle notwendig sind. Im besonderen Fokus stehen hierbei die Herstellung alternativer Emitters und die Realisierung so genannter „Passivierter Kontakte“. Durch die stetig verbesserte Qualität des Siliziummaterials werden die Eigenschaften des Emitters und der Kontakte immer wichtiger, um weiter an die physikalischen Wirkungsgradgrenzen der Silizium-Solarzelle heranzukommen. Hierbei werden besonders auch Technologien aus der Mikroelektronik, wie die Ionenimplantation, ultradünne Tunneloxide und Polysilizium-Emitter betrachtet und mittels Simulation und fortgeschrittener Charakterisierungsmethoden untersucht und bewertet. Ziel des Projektes ist es, einen Technologiebaustein für die nächste Generation von Silizium-Solarzellen zu etablieren. Das BMU/BMWi fördert diese beiden innovativen Vorhaben am Fraunhofer ISE mit rund 12 Millionen Euro.

### Produktionsstart des Glas-Glas-Moduls „Protect“ von Solarworld.



## Hocheffiziente Zellen dank SONNE

Auch mit optimierten Fertigungsabläufen und langlebigeren Modulen können die Kosten für die Erzeugung von Solarstrom um ein Drittel reduziert werden. Bei Modulen aus kristallinen Siliziumzellen soll so die Modulleistung von heute typisch 270 Watt um über 10 Prozent auf deutlich über 300 Watt gesteigert werden. Um dies zu erreichen, haben sich sieben Unternehmen und zwei Forschungseinrichtungen im Projekt **SONNE** zusammengeschlossen. Durch eine erhöhte Modullebensdauer und optimierte Fertigungsabläufe beabsichtigen die Projektpartner weiterhin eine Kostenreduktion des Solarstroms um ein Drittel.

Das Forscherteam klopft zu diesem Zweck die gesamte Prozesskette nach Optimierungspotenzialen ab: Beim Zell- und Moduldesign, bei den industriell relevanten Prozessfolgen sowie bei der Auswahl verbesserter Materialien. In vier Teilprojekten arbeiten Arbeitsgruppen zusammen, die bereits beachtliche wissenschaftlich technische Ergebnisse erzielt haben.

Eine der Möglichkeiten zur Verbesserung des Wirkungsgrades von Solarzellen ist es, auf die Zellenvorderseite dünnere Kontaktlinien zu drucken. Dieses vermindert Verschattungsverluste der Solarzellen und erhöht somit die effektive Einfangfläche des Sonnenlichts. Eine Anlage, die Silberpaste zur Kontaktierung in einem berührungslosen Feinliniendruck-Verfahren aufbringt, wurde bereits in Betrieb genommen. Die feinsten erreichten Linienbreiten liegen bei 30 Mikrometer. Ein beachtlicher Erfolg, sieht die internationale Roadmap für Siliziumsolarezellen ein solches Ergebnis doch erst für ca. 2020 vor.

Ein weiterer erfolgreicher Ansatz des Projekts besteht in der Verwendung halber Zellen innerhalb der Module. Durch deren optimierte Verschaltung kann die Modulleistung gesteigert werden, denn es ergeben sich geringere Widerstandsverluste. In der Kombination der Hochleistungs-PERC-Zelle, einer optimierten Antireflex-Schicht, einer Halbzellen-Verschaltung mit 5-Busbars und einer optimierten EVA-Folie wurden 300,6 Watt Peak demonstriert. Ein Leistungsgewinn von rund sechs Watt wurde davon allein durch die Verwendung halber Zellen erreicht.

Neu ist auch die Entwicklung eines langlebigen Glas-Glas-Moduls. Durch den Einsatz von zwei Millimeter anstatt der sonst verwendeten vier Millimeter starken Scheiben ist das Modul nicht schwerer als ein vergleichbares Glas-Folien-Modul. Aufgrund der langzeitstabilen Eigenschaften von Glas liegt die Degradation mit 0,35 Prozent pro Jahr jedoch deutlich niedriger als bei heutigen Standardmodulen, was den Ertrag, bezogen auf 30 Jahre Modullebensdauer, effektiv um 20 Prozent erhöht.

Das Projekt **SONNE** wird im Rahmen der Innovationsallianz Photovoltaik vom BMU/BMWi mit 11,9 Millionen Euro gefördert. Unter Koordination der Solarworld Innovations GmbH beteiligen sich die Verbundpartner Hochschule Mittweida, Momentive Performance Materials GmbH, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Berkenhoff GmbH, SITEC Solar GmbH, Solar Factory GmbH, RENA GmbH, Technische Universität Chemnitz und KUKA Systems GmbH.





**Weltrekordsolarzelle mit 44,7 Prozent Wirkungsgrad, bestehend aus vier Teilsolarzellen auf Basis von III-V Halbleitern, für die Anwendung in der Konzentration-Photovoltaik.**

## Dünnschichttechnologie

### Verwendung des Elektrischen Asymmetrie-Effektes

Um die Herstellkosten von Silizium-Dünnschichtsolarmodulen zu reduzieren, wurde in dem Projekt **ELIAS** die Verwendung des Elektrischen Asymmetrie-Effektes (EAE) zur Anwendung für die Herstellung von Siliziumdünnschicht-Solarzellen untersucht. Die EAE-Technologie bietet die Möglichkeit, durch Variation der self-bias-Spannung die Plasmaeigenschaften und somit den Abscheidungsprozess auf Elektrode und Gegenelektrode zu beeinflussen. Anlagenseitig führt dies zu kürzeren Taktzeiten und geringeren Verbrauchskosten.

Die Nutzung des EAE ist ein noch sehr junges Verfahren der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung (PECVD). In dem Forschungsvorhaben konnte die Leybold Optics GmbH gemeinsam mit dem Institut für Plasma und Atomphysik der Ruhr-Universität Bochum zeigen, dass die EAE-Technologie eine sehr präzise Kontrolle der Homogenität der abgeschiedenen Schichten ermöglicht. Zusätzlich kann die Abscheidung auf den Elektroden unabhängig voneinander kontrolliert werden. So wurden eine bessere Umsetzung der Materialien und höhere Abscheidungsraten für Dünnschichtsolarzellen auf Basis von mikrokristallinem Silizium realisiert. Auch bei amorphen Solarzellen ist eine hohe Depositionsrate der effektivste Weg zur Senkung der Produktionskosten.

Neben der weiteren Aufskalierung auf größere Elektrodenanordnungen stellten die Forscher insbesondere bei der Verwendung weiterer Frequenzregime ein Verbesserungspotenzial zur technischen Verwendung von EAE-Plasmen fest.

Die Entdeckung des „Elektrischen Asymmetrie-Effekts“ an der Ruhr-Universität Bochum wurde 2010 von der Europäischen Physikalischen Gesellschaft (EPS) mit dem „Inno-

vationspreis für Plasmaphysik“ ausgezeichnet. Das Anwendungsspektrum reicht von der Solarzellenproduktion über Oberflächenfunktionalisierung bis zum Halbleiterätzen in der Mikroelektronik. Das Projekt wurde vom BMU mit 1,9 Millionen Euro gefördert.

### Konzentrierende Photovoltaik

Die konzentrierende Photovoltaik (CPV), bei der das Sonnenlicht mittels konzentrierender Systeme auf die Solarzellen fokussiert wird, besitzt ein bedeutendes Potenzial für mittelgroße und große Anlagen in südlichen Klimazonen. Denn durch die Konzentration des Lichts wird der Verbrauch von teurem Halbleitermaterial um einen Faktor 300-1000 reduziert und durch kostengünstige Optik ersetzt. Neben einer Erhöhung des Wirkungsgrads ist die Ermöglichung von Massenfertigungen wichtig für die weitere Entwicklung der Technologie. Die Ergebnisse der Labor- und Pilotfertigung müssen auf eine schnelle und kostengünstige Industrieproduktion mit hoher Ausbeute und geringen Parameterschwankungen übertragen werden.

### Weltrekord-Solarzelle mit 44,7 Prozent Wirkungsgrad

Bei der Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom konnte das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE gemeinsam mit der Soitec Solar GmbH, der französischen Forschungs- und Technologieorganisation CEA-Leti und dem Helmholtz Zentrum Berlin einen neuen Weltrekord von 44,7 Prozent erzielen. Dies bedeutet, dass 44,7 Prozent der gesamten Energie im Sonnenspektrum in elektrische Energie umgewandelt wird, dank einer neuen Solarzellenstruktur aus vier Stapelzellen. Derartige Solarzellen werden in der Konzentration-Photovoltaik (CVP) eingesetzt, die an den sonnenreichen Standorten der Welt doppelt so hohe Wirkungsgrade wie konventionelle Solarkraftwerke ermöglicht. Hier hat sich der Einsatz von sogenannten III-V Mehrfachsolarzellen durchgesetzt, um

## Neue F&E-Förderinitiative gestartet

**Bis zu 50 Millionen Euro für innovative Verbundprojekte in der Photovoltaik stellen Bundeswirtschafts- und Bundesforschungsministerium gemeinsam zur Verfügung. Die Förderung soll konkrete anwendungsorientierte Forschung unterstützen und sich auf Themen für den Markt der Zukunft konzentrieren: Ganzheitlich optimierte dezentrale Energieversorgungssysteme für einen wirtschaftlichen Photovoltaik-Betrieb, innovative Herstellungstechniken und Photovoltaik-Produktionsanlagen sowie Qualitäts-Module als Alleinstellungsmerkmal für die deutsche Photovoltaik-Industrie.**

Bundeswirtschafts- und Bundesforschungsministerium bauen auf eine erfolgreiche ressortübergreifende Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der Photovoltaik (PV)-Branche auf. Bis Ende August 2013 konnten sich Zusammenschlüsse von Herstellern, Anlagenbauern, Ausrüstern und Forschungseinrichtungen um zusätzliche Fördermittel bewerben. Die neue Förderinitiative unterstützt mit 50 Millionen Euro die Anstrengungen der PV-Industrie in Deutschland, die Fertigungskosten weiter zu senken, Wettbewerbsvorteile durch einen Technologie- und Qualitätsvorsprung zu erarbeiten und derzeit neu entstehende Märkte zu erschließen.

Neben produktionsnahen Innovationen in der PV-Modultechnik und dem PV-Anlagenbau werden vor allem komplexe systemtechnische Ansätze und PV-Systemlösungen entwickelt. Ziel ist es, Geschäftsmodelle mit Wertschöpfungsketten am Standort Deutschland im Verbund von Industrie und industrienahen Dienstleistungen voranzutreiben.

Die Ministerien haben den Projektträger Jülich zusammen mit dem PT-VDI mit dem Management der Förderinitiative beauftragt. Insgesamt wurden 72 Projekt-skizzen eingereicht. Besonders erfreulich ist das hohe Interesse der Industrie: Rund 226 Unternehmen wollen sich an den Forschungsverbänden beteiligen. Start der

ersten Vorhaben ist voraussichtlich Anfang 2014. Die geförderten Projekte werden sich vor allem mit der Entwicklung hocheffizienter Qualitätsmodule auf Basis des kristallinen Siliziums sowie der zugehörigen Prozesstechnik und der Integration der Photovoltaik in die Energieversorgungssysteme befassen.

Bereits 2010 hatten sich mit Unterstützung zweier Ministerien mehr als 120 weltweit führende Forschungsinstitute und Solarunternehmen, die auf allen Stufen der Wertschöpfungskette tätig sind, in der Innovationsallianz Photovoltaik zusammengeschlossen. Eines der vielversprechenden Zwischenergebnisse der Initiative: In dem Verbundprojekt CIGSfab konnte eine CIGS-Dünnschichtsolarzelle mit einem Wirkungsgrad von 20,8 Prozent hergestellt werden. Die Rekordsolarzelle aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid, kurz: CIGS, wurde in einer Laborbeschichtungsanlage mit einem Simultanverdampfungsverfahren hergestellt, das grundsätzlich auch auf industrielle Produktionsprozesse übertragbar ist. Die Forschungsergebnisse können dazu beitragen, die Kosten für Solarstrom künftig noch weiter zu senken.

Dieses und weitere interessante Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in der Photovoltaik werden auf [www.innovationsallianz-photovoltaik.de](http://www.innovationsallianz-photovoltaik.de) vorgestellt.

höchste Wirkungsgrade bei der Umwandlung des Sonnenlichts in Strom zu realisieren. Die einzelnen Teilsolarzellen absorbieren unterschiedliche Spektralbereiche des Sonnenlichts.

Eine wichtige Grundlage für die erfolgreiche Entwicklung dieser Vierfachsolarzelle bilden verschiedene vom BMU/BMWi geförderte Projekte im Bereich der CPV. So entwickelt das Fraunhofer ISE in einem aktuellen Projekt – **KoMGen** – wichtige Komponenten für die III-V Mehrfachsolarzellen und Konzentratormodule der nächsten Generation.

In dem Forschungsvorhaben soll ein Ansatz verfolgt werden, der auf eine Erhöhung des Konzentrationsfaktors zielt. Dies ist entscheidend, da mit steigender Konzentration weniger Solarzellenfläche benötigt wird und die

Zelleffizienz sogar noch ansteigt. In dem Projekt KoMGen werden Konzentratormodule auf der Basis von Spiegelsystemen untersucht, welche es erlauben das Licht 1000-fach auf die Solarzelle zu bündeln.

Die entwickelten Technologien stellen die Basis für zukünftige photovoltaische Konzentratorsysteme dar und bieten die Perspektive, in zukünftigen Projekten in die industrielle Fertigung überführt zu werden und so einen Beitrag zur regenerativen Solarstromerzeugung zu liefern. Durch die Entwicklung von Spiegelsystemen entsteht ein entscheidendes Kostensenkungspotenzial für die CPV.

Das BMU/BMWi fördert KoMGen mit rund 3 Millionen Euro.



Zellen für konzentrierende Photovoltaik auf einem Wafer bzw. vor der Vereinzelung.

### Wirtschaftliche Fertigungsfähigkeit für Konzentrazorzellen

Im Forschungsprojekt **WiFerKon** konnte die AZUR SPACE Solar Power GmbH in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der Fertigungskosten von CPV-Modulen leisten.

Basierend auf der gitterangepassten Tripelzellstruktur konnte eine CPV-Zelle der 40 Prozent-Klasse mit kostenoptimierter Herstellung entwickelt und erfolgreich in den Markt überführt werden. Darüber hinaus wurden metamorphe Tripelsolarzellen für die nächste Generation einer CPV-Zelle der 42 Prozent-Klasse entwickelt und ebenfalls eingeführt. Durch die Erhöhung der Abscheideraten in der Epitaxie sowie die Überführung der Prozesse von vier auf sechs Zoll konnte die Energie- und Kosteneffizienz bei der Herstellung der CPV-Zellen wesentlich gesteigert werden. Die Zellen können nun in der im Zuge des Projektes in Betrieb genommenen Fertigungsanlagen produziert werden. Die Verfahren zu Alterungstests und zur produktionskompatiblen Charakterisierung stellen einen weiteren wichtigen Baustein für die Produkteinführung und den Vertrieb der CPV-Zellen dar. WiFerKon wurde vom BMU mit rund 2,8 Millionen Euro gefördert.

Die erreichten hohen Wirkungsgrade, optimierte Kosten sowie erzielte Fortschritte im Bereich Qualifikation und Messtechnik senden ein positives Signal für den CPV-Markt aus. Für zukünftige Forschungsvorhaben bilden sie eine wertvolle Basis. So wird zum Beispiel die Entwicklung von breitbandigen Antireflex-Beschichtungen in dem Verbundvorhaben INKOTEK weiter verfolgt, welches vom BMU/BMWi im Rahmen der Innovationsallianz Photovoltaik mit rund 2,7 Millionen Euro gefördert wird. ■

## Photovoltaikanlagen: Kein Kurzschluss

Wie von jeder elektrischen Installation kann auch von einer Photovoltaik (PV)-Anlage potentiell Gefahr ausgehen. Willi Vaaßen, Geschäftsfeldleiter Solarenergie bei TÜV Rheinland, erläutert, wie die Zuverlässigkeit und Sicherheit der Anlagen weiter optimiert werden kann.

### Wie steht es um die Sicherheit der aktuell in Deutschland installierten Photovoltaikanlagen?

**Vaaßen:** Der Betrieb einer fachgerecht aufgebauten PV-Anlage ist sicher. Allerdings kann es wie bei jeder technischen Anlage, die über einen Zeitraum von 20 Jahren und mehr betrieben wird, zu Problemen kommen. Insbesondere wenn sie, wie im Fall der Photovoltaik, extremen Wettereinflüssen ausgesetzt ist. So ist es bei einzelnen PV-Anlagen auch zu Bränden gekommen. Allerdings ist die Anzahl der Brände gemessen an den 1,5 Millionen in Deutschland installierten Anlagen statistisch nahezu irrelevant. Doch jeder Brand ist einer zu viel.

### Was sind die häufigsten Brandursachen?

**Vaaßen:** In den meisten Fällen sind mangelhafte Produkte oder eine nicht fachgerechte Installation der Brandauslöser. Fehler bei den Abschaltvorrichtungen, der Leitungsverlegung oder unzureichende Schraub- und Steckverbindungen erhöhen das Brandrisiko. Wir analysieren dieses Risiko und überprüfen auf Grundlage der Untersuchungen, ob und wenn ja wie die bestehenden Normen und Sicherheitskonzepte ergänzt werden sollten. Ein wichtiger Aspekt ist dabei auch die Erarbeitung noch detaillierter Handlungsanweisungen zum Schutz der Feuerwehreinsatzkräfte.

### Welche Besonderheiten gilt es bei PV-Anlagen zu beachten?

**Vaaßen:** Wir haben es bei der Photovoltaik mit einem Gleichstromsystem zu tun. Dieses kann man nicht einfach abschalten, denn solange Licht auf die Module fällt, stehen sie unter Spannung. Wenn sich also zum Beispiel eine Klemme löst oder ein Kabel aufgescheuert ist, dann kann es zu ungewollten Unterbrechungen und damit zu Lichtbögen kommen. Die können im schlimmsten Fall direkt brandauslösend sein. Bestehende Sicherheitskonzepte sollen das verhindern. Erweiternd erarbeiten wir konkrete Maßnahmen für die verstärkte Prävention



von Lichtbögen. Diese Richtlinien betreffen sowohl die Produktion hochwertiger Komponenten als auch die fachgerechte Montage von PV-Anlagen, die im Notfall automatisch abgeschaltet oder in einen sicheren Zustand überführt werden können. Dabei spielt auch das Thema Wartung eine entscheidende Rolle. Denn Photovoltaikanlagen sind nicht wartungsfrei!

***Sichere spannungsfreie Schaltvorgänge sind ein weiterer wichtiger Aspekt der Forschung. Welche Herausforderungen stellen sich hier?***

**Vaaßen:** Selbst wenn bei einem Notfall das Wechselstromnetz vom Energieunternehmen abgestellt ist, stehen die Gleichspannungsleitungen und Anschlusspunkte zwischen den Photovoltaik-Modulen und dem Wechselrichter unter Spannung, solange Licht einfällt. Dies kann für Menschen ein zusätzliches Risiko darstellen. Wir erarbeiten deswegen technische Grundlagen zur



Konstruktion, Bewertung und Prüfung von technischen Schaltern, die eine sichere Trennung oder im Bedarfsfall den Kurzschluss der Gleichstromseite ermöglichen. Die besondere Herausforderung besteht darin, Konzepte zu finden, die sowohl die verschiedenen Fehler- und Brandfälle abdecken, als auch deren jeweilige Sicherheits-, Konstruktions- oder Prüfanforderungen definieren. Wir möchten zu Festlegungen kommen, die nachfolgend in Standards und Normen überführt werden sollen, um sinnvolle Gerätetechnik oder auch Anlagensystematiken einzuführen. So können wir in Zukunft in Brandfällen für eine noch höhere Sicherheit der Feuerwehrleute und weiteren handelnden Personen sorgen.

***Was sind aus Ihrer Sicht die nächsten Schritte?***

**Vaaßen:** Wir sollten gemeinsam mit allen Akteuren eine Qualitäts-Roadmap erarbeiten, in der wir einerseits die Produktqualifizierung weiter vorantreiben, sodass noch hochwertigere und sicherere Produkte auf den Markt gelangen. Andererseits sollten wir die Installationsqualität verbessern, sodass wir die zwar geringen, aber dennoch vorhandenen Sicherheitsrisiken von PV-Anlagen noch stärker minimieren. Ich könnte mir beispielsweise vorstellen, dass in einer möglichen Neufassung des Erneuerbare Energien Gesetzes ein Zusatz zur Qualität und Sicherheit von Photovoltaikanlagen aufgenommen wird.

*Das BMU/BMWi fördert das Verbundvorhaben „Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung“, an dem neben dem TÜV Rheinland auch das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE beteiligt ist, mit insgesamt 1,7 Millionen Euro.*





# Geothermie



Die Geothermie nutzt stetig vorhandene Erdwärme und steht deshalb im Vergleich zur fluktuierenden Wind- und Sonnenenergie kontinuierlich als Energiequelle zur Verfügung. Neben der direkten thermischen Nutzung, die etwa in Nahwärmenetzen bereits in verschiedenen Anlagen realisiert wird, bietet sich die Geothermie auch für die kontinuierliche Stromproduktion und Wärmebereitstellung an und kann deshalb in einem regenerativen Energiemix der Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Bei der durch das BMU/BMWi geförderten tiefen Geothermie wird Wärme aus geothermischen Reservoiren ab 400 Meter Tiefe genutzt, wobei in der hydrothermalen Geothermie vorwiegend die Energie des im Untergrund enthaltenen heißen Wassers erschlossen wird, bei der petrothermalen Geothermie dagegen die im Gestein gespeicherte Energie.

## Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund der Markt- und Technologieentwicklung

### Marktgeschehen Deutschland und weltweit

In Deutschland sind insbesondere das Molassebecken im Süden, der Oberrheingraben im Südwesten sowie das norddeutsche Becken für die geothermische Nutzung vorrangig geeignet. Nach Angaben des Bundesverbands Geothermie e. V. waren 2013 deutschlandweit 25 geothermisch versorgte Heizkraftwerke mit einer installierten Leistung von 222,95 Megawatt thermisch in Betrieb, die über Fernwärmenetze Haushalte, Unternehmen und öffentliche Gebäude mit Wärmeenergie versorgen.

Die vier Standorte Insheim und Landau (beide Rheinland-Pfalz, 2007), Unterhaching (Bayern, 2008/09) und Bruchsal (Baden-Württemberg, 2009) konnten bisher bis zur Stromgewinnung entwickelt werden und verfügen zusammen über eine installierte Leistung von 12,31 Megawatt elektrisch. 2013 befinden sich fünf weitere Kraftwerke im Bau: Dürrnhaar, Kirchstockach, Kirchweidach, Sauerlach und Traunreut (alle in Bayern).

Obwohl auch 2013 der bereits zuvor erzielte wissenschaftlich-technische Fortschritt noch weiter ausgebaut werden konnte, befindet sich die Geothermie weiterhin nicht in einem Stadium, in dem die Technologie großflächig zuverlässig und in wirtschaftlichen Maßstäben genutzt werden kann. Bei der tiefen Geothermie handelt es sich in Deutschland um einen noch jungen Markt, der sich derzeit im Feld

der erneuerbaren Energien etabliert. Getragen wird dieser Markt überwiegend von kleinen und mittelständischen Unternehmen aus dem Maschinenbau, sowie von einigen Großunternehmen, die mit ihrem Portfolio eher aus dem klassischen Energiebereich wie der Kohlenwasserstoffindustrie kommen. Obwohl der Markt noch im Aufbau ist, wird deutsche Fachexpertise bereits im Ausland nachgefragt, etwa in Korea oder Ostafrika, sodass sich interessante Exportmöglichkeiten bieten.

International liegt Deutschland nach Angaben des Bundesverbands Geothermie (GtV) mit einer installierten thermischen Leistung von knapp 2.500 Megawatt weltweit auf Platz fünf bei der Wärmenutzung geothermischer Energie. Den ersten Platz nehmen die USA ein (12.611 Megawatt), gefolgt von China (8.898 Megawatt). Es folgen Schweden (4.460 Megawatt) und Norwegen (3.300 Megawatt). Die Statistik fasst tiefe und oberflächennahe Geothermie zusammen. Die tiefe Geothermie erlebt weltweit derzeit einen raschen Aufbau und viele Länder wie Island, Italien, die USA, Neuseeland oder die Philippinen haben zahlreiche Projekte zur tiefen Geothermie in Angriff genommen.

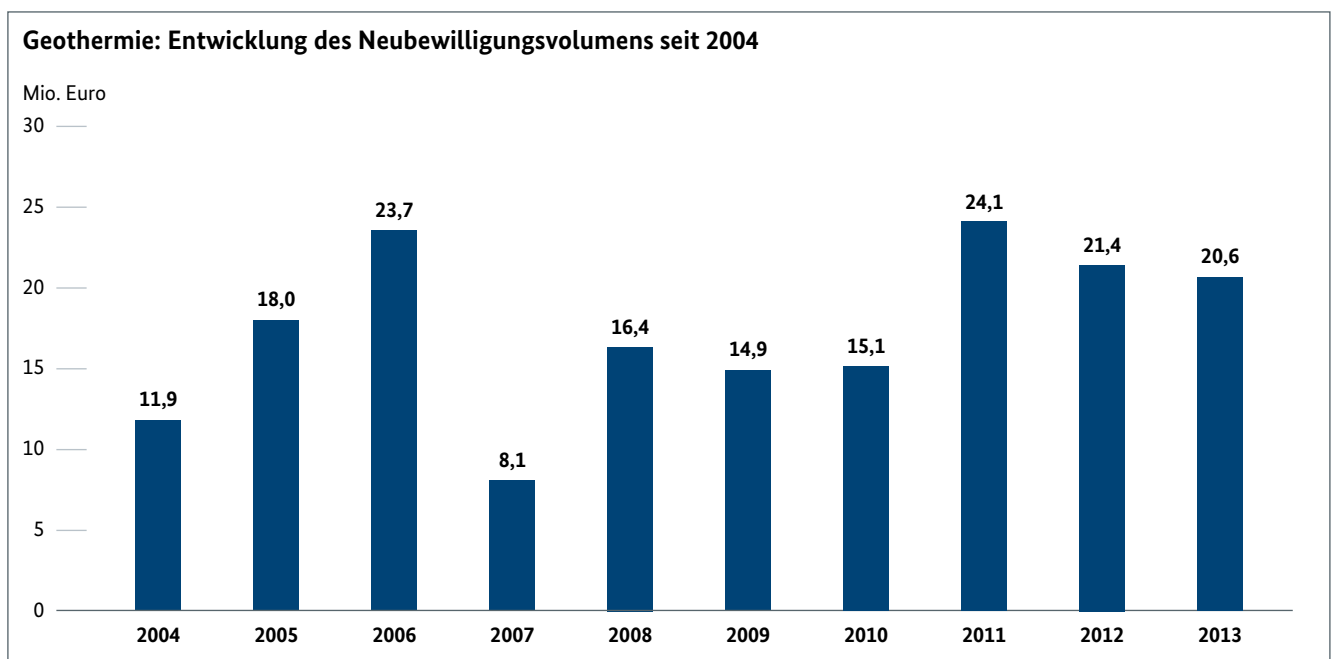
**Fortschritte in Forschung und Entwicklung**

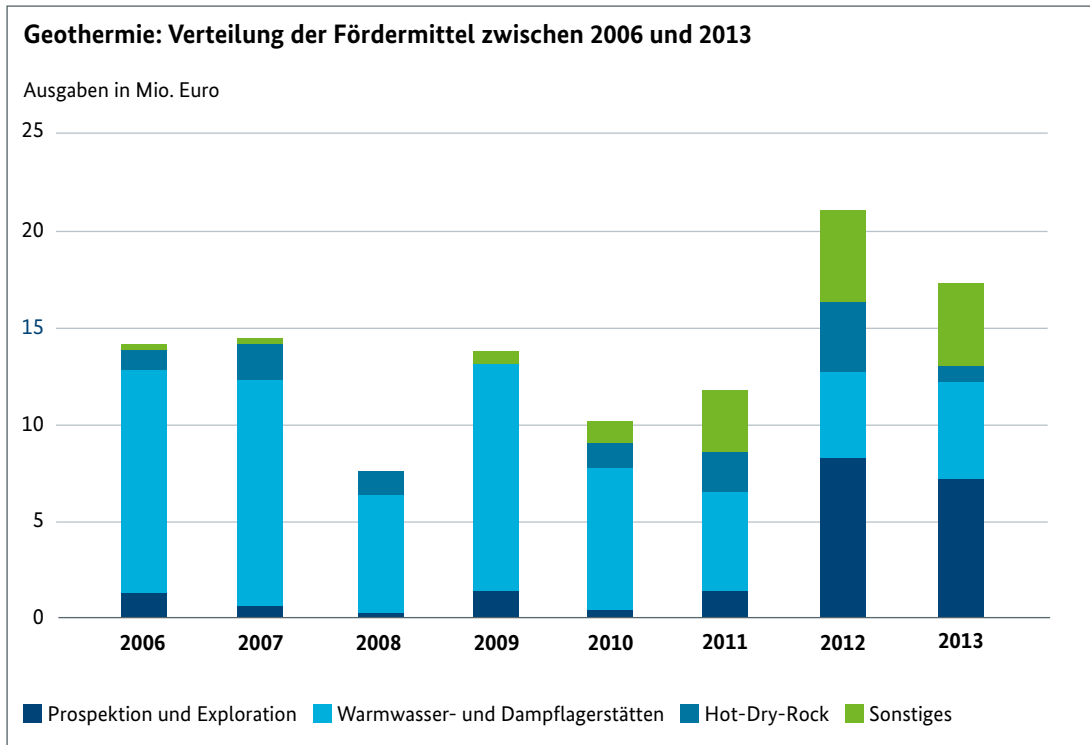
Um das Potenzial der Geothermie als eine kontinuierlich nutzbare erneuerbare Energiequelle zu erschließen, wur-

den bereits zahlreiche Anstrengungen unternommen. Diese reichen von der Auffindung und Erschließung besonders geeigneter Standorte, der Entwicklung von Bohrtechnologien bis hin zum Anlagenbau, um die gewonnene Erdwärme in Nahwärmenetze einzuspeisen oder in Strom umzuwandeln.

Neben Vorhaben zur Reduzierung des Erfolgsrisikos bei der Suche nach neuen geothermischen Reservoiren widmeten sich mehrere geförderte Vorhaben der Fortentwicklung von Bohranlagen, der Verrohrung von Geothermiebohrungen, sowie der Weiterentwicklung von Thermalwasserpumpen. Das Verhalten von geothermischen Reservoiren wurde in entsprechenden Simulationsvorhaben ebenso eingehend weiter untersucht, wie das Monitoring bestehender Geothermieanlagen. Ziel ist es, Betriebserfahrungen zu sammeln und künftige Anlagen optimaler betreiben zu können. Vorhaben, die sich mit Fragen der Werkstoffkorrosion oder dem Verhalten spezieller Anlagebauteile eines Geothermiekraftwerks befassen, runden das Portfolio der geförderten Projekte ab.

Der Beitrag der tiefen Geothermie zum Primärenergieverbrauch in Deutschland lag 2013 nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) lediglich bei rund 0,01 Prozent. Das Potenzial der tiefen Geothermie zeigt jedoch, dass sich dieser Anteil bei einer entsprechenden Marktentwicklung deutlich erhöhen kann.





Die Projektförderung im Bereich tiefe Geothermie spielt hierbei eine entscheidende Rolle und ist notwendig um die Technologie voranzubringen.

### Strategie der Forschungsförderung

Die derzeit in der Förderung befindlichen Forschungsprojekte umfassen alle Stufen der geothermischen Wertschöpfung. Ihr Ziel liegt vor allem darin, die Kosten für die Technologieentwicklung in allen Projektphasen weiter zu senken, um die Geothermie in den Bereich der Wirtschaftlichkeit zu führen. Neben einer Senkung der Bohrkosten, die nach wie vor den Hauptteil der Investitionskosten darstellen, bilden die Entwicklung geothermiespezifischer, leistungsfähiger Förderpumpen und die Minimierung induzierter seismischer Aktivitäten wesentliche Kernpunkte künftiger Forschungsvorhaben. Damit soll sichergestellt werden, dass fertig gestellte Anlagen künftig effizient, wartungsarm und zuverlässig funktionieren. Neben der technischen Weiterentwicklung in der Geothermie zählen Konzepte für eine verbesserte Öffentlichkeitsarbeit inzwischen zum selbstverständlichen Bestandteil erfolgreicher Forschungsvorhaben. Nicht zuletzt müssen zudem Grundlagen dafür geschaffen werden, die Geothermie auch in bisher weniger geeigneten Regionen einsetzbar zu machen.

Im Bereich der Geothermieforschung hat das BMU 2013 insgesamt 29 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 20,6 Millionen Euro neu bewilligt (2012: 37 neue Projekte für 21,4 Millionen Euro). Gleichzeitig flossen rund 17,1 Millionen Euro in bereits laufende Forschungsvorhaben (2012: 20,8 Millionen Euro). Die geförderten Vorhaben

umfassen alle Stufen der geothermischen Wertschöpfung, mit dem grundsätzlichen Ziel, die Kosten – insbesondere der Bohrungen – weiter zu senken. Infolgedessen sind rund die Hälfte der neu bewilligten Projekte der Bohr-/Errichtungs-/Bauphase und Technologieentwicklung zuzuordnen. Um das Fündigkeitsrisiko für die wirtschaftliche Nutzung der Geothermie zu minimieren, beschäftigt sich knapp ein Drittel der Vorhaben mit der Bau- und Explorationsphase von Geothermieanlagen.

### Auswahl geförderter Projekte

An dieser Stelle werden einige vom BMU/BMWi geförderte Projekte im Bereich der tiefen Geothermie vorgestellt. Ein weiteres Leuchtturmprojekt aus diesem Technologiebereich ist außerdem im Kapitel „Highlights“ zu finden (siehe Seite 10).

### Vorerkundungsverfahren

#### Aufschlussanalogstudien in der geothermischen Exploration

Um das Fündigkeitsrisiko geothermischer Bohrungen zu minimieren sind detaillierte Kenntnisse der gesteinsphysikalischen Eigenschaften der potentiellen Reservoirgesteine im Untergrund essentiell. Deren Kenntnisse erlauben unter anderem Rückschlüsse über zu erwartende Fließraten. Direkte gesteinsphysikalische Messungen in mehreren tausend Metern Tiefe im Reservoir sind jedoch erst nach Niederbringen einer kostspieligen Bohrung möglich. (weiter auf S. 54)

## Feinjustierte Kühlung verbessert Wirkungsgrad

**In dem Projekt Geothermie Insheim wurde untersucht, wie geothermische Energie durch die Erschließung eines Störungssystems im Kristallin gewonnen und mikro-seismisch überwacht werden kann. Von 2008 bis 2012 wurde die neben dem Kraftwerk Landau zweite Geothermieanlage im pfälzischen Oberrheingraben entwickelt. Bei Bau und Inbetriebnahme des Insheimer Kraftwerks wurden die in Landau gewonnenen Erfahrungen konsequent umgesetzt. So sind etwa die verwendeten Systeme zur Sekundärkreislaufkühlung entscheidend für eine Verbesserung des Kraftwerkwirkungsgrades, schildert Dr. Christian Lerch, Geschäftsführer der Pfalzwerke geofuture GmbH.**

### **Welche Rolle spielt die Sekundärkreislaufkühlung für die Effizienz von Geothermiekraftwerken?**

**Lerch:** Geothermiekraftwerke haben ein sehr großes Kühlsystem. Das hängt damit zusammen, dass ein Sekundärmedium eingesetzt wird, um den Generator antreiben und somit Strom generieren zu können. Das geförderte Thermalwasser gibt in einem Wärmetauscher die Wärmeenergie an das Arbeitsmedium ab. Dieses Medium mit einem niedrigen Siedepunkt, in unserem Fall Isopentan, wird verdampft und erzeugt den entsprechenden Druck für den Antrieb der Turbine, die wiederum mit einem Generator gekoppelt ist. Wenn das Isopentan nun hinten aus der Turbine wieder herauskommt, ist es nicht flüssig, sondern wie ein Nebel mit vielen kleinen Tröpfchen. Um aus diesen Tröpfchen wieder die benötigte Flüssigkeit zu machen und damit den Kreislauf von vorne starten zu können, muss das Isopentan möglichst günstig und effizient gekühlt werden. Je besser dies gelingt, desto höher ist der Gesamtwirkungsgrad der Anlage.

### **Wie konnten Sie die in vorherigen Projekten gewonnenen Erkenntnisse beim Bau der Kühlung des Insheimer Kraftwerks umsetzen?**

**Lerch:** Um die Effizienz der Anlage vor allem im Sommerbetrieb zu verbessern, haben wir die Luftkühlung doppelt so groß und regelbar ausgelegt. Für die Motoren der Lüfter haben wir Frequenzumrichter installiert. So können wir jeden einzelnen Lüftermotor individuell bedienen. Das hat zwei Effekte: Zum einen ist der Wirkungsgrad der Anlage besser, weil wir viel feiner justieren können. Zum anderen sparen wir Energie, denn jeder laufende Motor muss auch betrieben werden und das reduziert den netto erzeugten Strom. In Landau benötigen wir rund 30 Prozent des produzierten Stroms selbst, davon entfällt die Hälfte auf die Kühlleistung. In Insheim konnten wir den Eigenbedarf auf 25 Prozent senken,

davon etwa 10 Prozent für die Ventilatoren. Für die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Anlage bedeutet dies einen deutlichen Fortschritt.

Besonderen Wert haben wir außerdem auf eine möglichst geringe Geräuschemission gelegt. Dafür wurden Kühlung, Wärmetauscher, Turbine und Generator mit Lärmschutzwällen umgeben und bei den Luftkühlern eine besonders leise Technologie mit Langsamläufern und speziellen Antriebsriemen verwendet. Für die Akzeptanz in der Bevölkerung ist der so ermöglichte leisere Anlagenbetrieb äußerst wichtig.

### **Meinen Sie, dass sich die Herstellung maßgeschneiderter Systeme zur Sekundärkreislaufkühlung wirtschaftlich lohnt?**

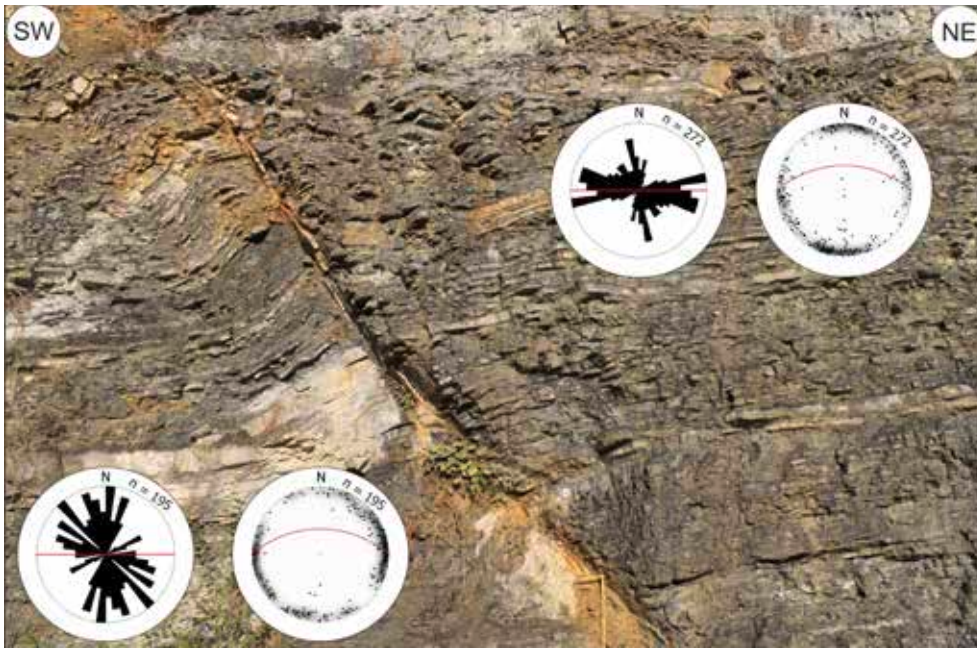
**Lerch:** Ich denke, dass wir hier zweigleisig fahren sollten. Zum einen ist es wichtig, über Standardisierung und Normung die Preise zu senken. Ich muss Komponenten einzelner Anbieter problemlos austauschen können. Gleichzeitig sollte jedoch auch bei jeder Anlage flexibel auf die spezifischen Randbedingungen reagiert werden können. Wir müssen Komponenten standardisieren und damit Preise senken, aber auch ermöglichen, dass durch die Kombination von Standards optimierte Lösungen entwickelt werden können.

### **Was sind aus Ihrer Sicht die entscheidenden Punkte, um die Geothermie wirtschaftlicher zu machen?**

**Lerch:** Das A und O wird sein, deutlich mehr Anlagen ins Feld und zum Laufen zu kriegen. Wir müssen Erfahrungen sammeln, Fehler ausmerzen und über diesen Weg die Betriebs- und Gesamtkosten von Geothermiekraftwerken senken. Die gewonnene Energie muss günstiger erzeugt und gezielter platziert werden können, als dies heute noch der Fall ist.







Untersuchte obertägig zugängliche Störungszone mit Kluftrosen und Polpunkten im Oberen Muschelkalk in Knittlingen.

Aufschlussanalogstudien können ein wichtiges Werkzeug sein, um im Vorfeld Aussagen über die zu erwartenden gesteinsphysikalischen Eigenschaften zu treffen. Dabei werden obertägig, das heißt an der Erdoberfläche, Gesteinsaufschlüsse analysiert, die ihre Entsprechung im Reservoirgestein in mehreren tausend Metern Tiefe haben. Der tektonische Bau des Oberrheingrabens ist hierfür besonders geeignet. Aufgrund der großen vertikalen Versätze an den Hauptgrabenstörungen können Gesteine, die im Grabeninneren in der Tiefe vorzufinden sind, auf den Grabenschultern in wenigen Kilometern Entfernung zum Reservoir obertägig aufgeschlossen angetroffen werden. Ziel des Verbundprojektes **AuGE** ist die Erforschung und Darstellung der Anwendbarkeit von Aufschlussanalogstudien in der geothermischen Exploration. Dabei sollen Analogaufschlüsse auf den Grabenschultern des Oberrheingrabens herangezogen werden, um nutzungsrelevante Reservoirereigenschaften (insbesondere Porosität und Durchlässigkeit der Gesteine) und deren Übertragbarkeit auf die analogen Tiefenreservoirs zu untersuchen. Dadurch soll die räumliche Prognose dieser Eigenschaften verbessert und ein kostengünstiges und effektives Methodeninventar für die geothermische Exploration bereitgestellt werden.

Projektpartner sind die Geothermal Engineering GmbH, das Geozentrum Nordbayern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, das Geowissenschaftliche Zentrum der Georg-August-Universität Göttingen, das Institut für Geowissenschaften der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg sowie die GeoEnergy GmbH. Die Geothermal Engineering GmbH koordiniert die Integration der Ergebnisse, deren Validierung in konkreten geothermischen Projekten und die Weiterentwicklung zu sinnvollen Explorationskonzepten für tiefe Geothermie. Das BMU/BMWi fördert AuGE mit rund 1 Million Euro.

## Anlagenbetrieb

### Wärme aus dem kristallinen Untergrund nutzen

In dem Projekt **Geothermie Insheim** untersuchte die BESTEC GmbH, beauftragt durch die Pfalzwerke geofuture GmbH als Betreiberin des Geothermieprojektes Insheim, die Gewinnung geothermischer Energie durch die Erschließung eines Störungssystems im Kristallin und dessen mikroseismische Überwachung.

Die durchgeführten Untersuchungen und ihre Ergebnisse sind nicht nur von hoher Bedeutung für den Betrieb des Insheimer Kraftwerkes sondern auch zur Entwicklung weiterer industrieller Geothermieanlagen, welche die Wärme des kristallinen Grundgebirges im Oberrheingraben industriell nutzen möchten. Die Bedingungen für die Förderung von Erdwärme sind in Insheim besonders vorteilhaft. Für die Geothermieanlage wurden zunächst zwei Tiefbohrungen bis auf über 3.800 Meter abgeteuft. Mehrmonatige, eingehende Zirkulationsversuche wurden durchgeführt. Da die Bohrung keine ausreichende Durchlässigkeit aufwies, wurde ein zweiter Seitenarm im unteren Bereich der Injektionsbohrung ab einer Tiefe von etwa 2.500 Metern abgeteuft. Das Wasser im Untergrund sollte so großräumiger verteilt, das mikroseismische Risiko weiter reduziert und die Durchlässigkeit der Bohrung verbessert werden. Mit Erfolg: Die Injektion in Insheim erfolgt jetzt gleichzeitig über zwei Bohrlocharme.

Im November vergangenen Jahres wurde das ORC-Kraftwerk (ORC: Organic Rankine Cycle) mit einer elektrischen Nennleistung von rund 4,8 Megawatt in Betrieb genommen. Bei Installation und Inbetriebnahme der ORC-Anlage in Insheim wurde großer Wert auf eine geringe Geräuschemission gelegt. Nach Beginn des ersten Probetriebs

Im Kraftwerk Insheim wird durch die Erschließung eines Störungssystems im Kristallin geothermische Energie gewonnen.



erreicht die Anlage in Insheim mittlerweile rund 75 Prozent ihrer Nennleistung. Die ORC-Anlage beweist dabei ihre sehr gute Teillastfähigkeit.

Das BMU hat das Geothermieprojekt in Insheim mit rund 640.000 Euro gefördert.

## Monitoring

### Mikroseismische Aktivität geothermischer Systeme

In Deutschland traten in der Nähe der Geothermiekraftwerke in Landau, Insheim und Unterhaching kleine aber spürbare Erdbeben auf. Für die Akzeptanz der tiefen Geothermie ist es entscheidend, ob diese Seismizität auf Mikroben begrenzt bleibt, oder ob eine Gefahr für Menschen und Gebäude von den induzierten seismischen Ereignissen ausgehen könnte. An dieser Frage arbeitete der Forschungsverbund **MAGS**, bestehend aus Wissenschaftlern der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), der

Ludwig-Maximilians Universität München, der Freien Universität Berlin, dem Energie-Forschungszentrum der Technischen Universität Clausthal und der Technischen Universität Bergakademie Freiberg. Für eine sichere Energiegewinnung aus tiefer Geothermie fand zudem eine enge Zusammenarbeit mit Betreibern und Genehmigungsbehörden statt. Gefördert wurde das Projekt vom BMU mit 2,3 Millionen Euro.

Die Arbeiten gliederten sich in die zwei Schwerpunkte Monitoring und Modellierung. So wurde die Seismizität an Standorten der tiefen Geothermie in der Pfalz, im Großraum München, im Norddeutschen Becken und im sächsischen Kristallin gemessen und ausgewertet. Diese Ergebnisse flossen in die Gefährdungsabschätzung und die Modellierung fluidinduzierter Seismizität ein. Die Forscher entwickelten Methoden, um die seismische Gefährdung durch induzierte Mikroben zu berechnen und mit der Gefährdung durch natürliche Erdbeben zu vergleichen. Durch Modellierung der Seismizität konnte das Verständnis der Prozesse, die zum Entstehen fluidinduzierter Erdbeben führen, deutlich verbessert werden.

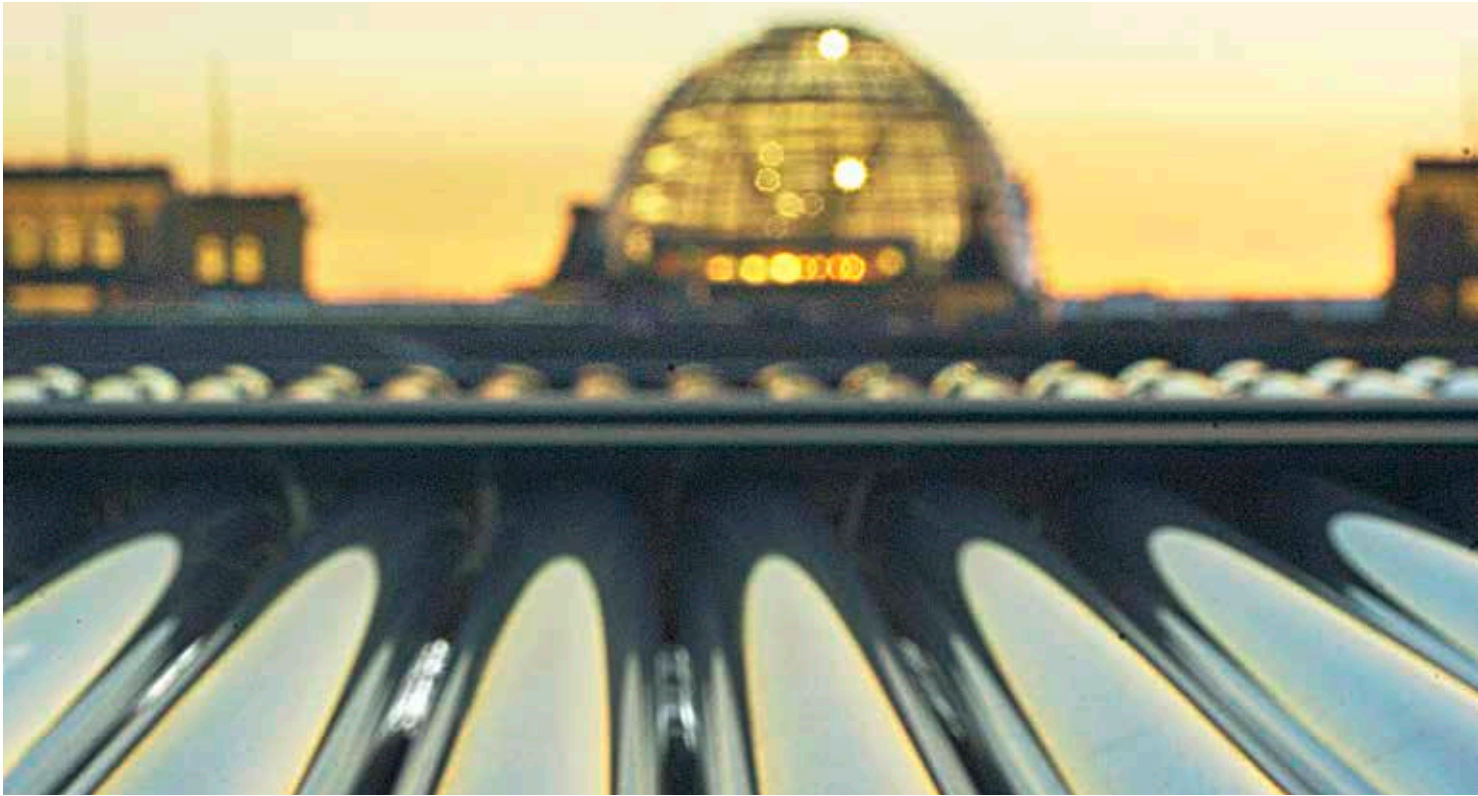


Im Folgeprojekt **MAGS2** sollen benachbarte Standorte gemeinsam betrachtet werden. Themenfelder sind hier die Überwachung von Geothermiefeldern, die sich gegenseitig seismisch beeinflussen sowie die Abschätzung der Seismizität bereits vor dem Abteufen der Bohrungen. Diesen Verbund fördert das BMU/BMWi mit rund 5,3 Millionen Euro. ■

**Monitorwand der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe:** Zu sehen sind unter anderem Echtzeitdaten der Messungen von MAGS in Landau/Insheim sowie die Stationsverfügbarkeit und eine Karte der MAGS-Stationen in der Südpfalz.



# Niedertemperatur-Solarthermie



**Neben der Stromerzeugung muss bei der regenerativen Energieversorgung auch die die Wärme- und Kälteversorgung mit in den Blick genommen werden. Moderne Heizungstechnik und erneuerbare Wärme sind ein wichtiger Schlüssel für den Erfolg der Energiewende. Bei der Modernisierung der Heizungstechnik im Gebäudebestand wird die Integration von solarer Wärme eine wichtige Rolle spielen. Auch wird zukünftig eine stärkere Vernetzung von Strom und Wärme in den Bereichen Erzeugung, Speicherung und Verbrauch erwartet.**

## **Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund der Markt- und Technologieentwicklung**

### **Marktgeschehen Deutschland und weltweit**

Der Solarthermie wird sowohl national als auch weltweit ein großes Potenzial attestiert. Eine aktuelle Studie des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE prognostiziert dieser Form der Energiegewinnung unter der Voraussetzung weiterer Kostensenkungen eine wichtige Rolle in der Wärmeversorgung in Deutschland. So könnte 2050 ein Drittel der dezentralen Heizungsanlagen und zwei Drittel der zentralen Anlagen in Wärmenetzen mit Solarthermie ausgestattet sein, was einer installierten Wärmeleistung von insgesamt 140 Gigawatt entspräche. Auch die IEA Technology-Roadmap 2012 prognostiziert, dass in Deutschland bei konzertierter Aktion von Regierung und

Industrie 2050 der jährliche Anteil der Solarthermie für solares Heizen und Kühlen 16 Prozent betragen könnte.

In der Realität hat die Solarthermiebranche in den letzten fünf Jahren allerdings eine harte Konsolidierungsphase durchlaufen und auch 2013 ist der Markt in Deutschland gegenüber dem Vorjahr um ca. 10 Prozent zurückgegangen. 2013 wurde eine Solarkollektorfläche von rund 1,02 Millionen Quadratmetern neu installiert. Damit waren Ende 2013 insgesamt 1,94 Millionen Solarwärmeanlagen mit 17,5 Millionen Quadratmetern Kollektorfläche – entsprechend rund 12,2 Gigawatt thermische Leistung – installiert. Nach wie vor liegt der überwiegende Anteil der Neuinstalltionen (weit über 90 Prozent) im Segment der Ein- und Zweifamilienhäuser. Anwendungen in den Bereichen Kühlung, Prozesswärme und solarer Nahwärme sind bislang Nischenmärkte geblieben. Herausfordernd für die Solarthermie ist die Vielfalt der verfügbaren

Technologien zum Heizen und die Konkurrenz zur Photovoltaik, die aufgrund eines deutlichen Preisrückgangs solarelektrisches Heizen und Kühlen immer attraktiver werden lässt.

Andererseits wächst weltweit der Markt für Solarthermie kontinuierlich. Inzwischen sind laut IEA Solar Heating & Cooling Programme fast 380 Millionen Quadratmeter Kollektorfläche bzw. ca. 265 Gigawatt thermische Leistung installiert (Stand 2012). Der größte Markt liegt in China (rund zwei Drittel aller Installationen), ein weiterer wird momentan in Indien erschlossen.

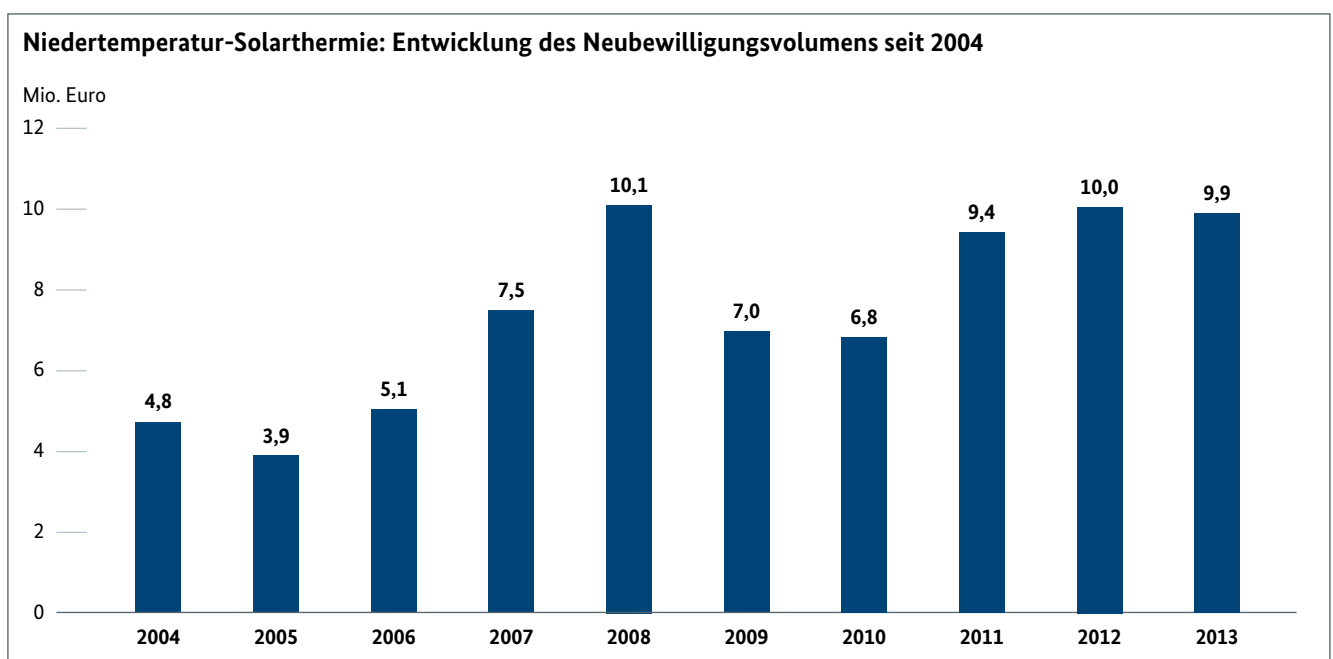
### Fortschritte in Forschung und Entwicklung

In den klassischen Anwendungsfeldern der Solarthermie – Warmwasserbereitung und solare Heizungsunterstützung – ist heute ein hoher Reifegrad der Technologie erreicht. Durch Forschung und Entwicklung sowie Lernkurveneffekte konnten die solaren Wärmekosten von 1995 bis 2010 halbiert werden. Leider kommen diese Kostensenkungen, die auf Komponentenebene erreicht worden sind, noch nicht in vollem Umfang beim Endkunden an. Um dies zu erreichen, bedarf es weiterer Kostenreduzierungen auf der Systemebene, einer weiteren Standardisierung, einfacherer Installationen durch vorgefertigte Systeme und noch besserer Funktions- und Ertragssicherheit. Vor diesem Hintergrund wurden in den letzten Jahren verstärkt

Forschungsansätze zur Systemintegration gefördert. Für die Zukunftsmärkte solares Kühlen, solare Prozesswärme und solare Nahwärme ist in der Praxis noch mehr als bisher der Nachweis zu führen, dass Solarenergie eine technisch und ökonomisch solide Alternative zum Einsatz fossiler Energiequellen darstellt.

Die Förderaktivitäten werden kontinuierlich gespiegelt am Stand der Technik. Dazu werden regelmäßig Workshops und Konferenzen initiiert. So fand Ende Januar 2013 in Berlin die vom BMU geförderte 3. Solarthermietechnologiekonferenz statt. Knapp 160 Teilnehmer diskutierten Highlights aus Forschung und Entwicklung, und in einem Start-up-Forum stellten neu gegründete Unternehmen ihre Produkte vor.

Zu einer Standortbestimmung des Zukunftsmarktes für solare Prozesswärme kamen im Juni 2013 auf Einladung des BMU 60 Experten in Berlin zusammen. Die bisherige Strategie, über Branchenkonzepte – also maßgeschneiderten Lösungen für konkrete Anwendungen – und Forschungs- und Demonstrationsprojekte neue Märkte zu erschließen, zeigte sich als erfolgversprechend und soll weiter verfolgt werden. In der Folge wurden zwei neue Initiativen zum Einsatz der solaren Prozesswärme in Wäschereien und der Lebensmittelbranche gestartet. Ein weiterer Ansatz ist die Kombination konzentrierender Solartechnik mit Dampfkesseln zur Substitution fossiler Energieträger bei der Prozessdampfherstellung. *(weiter auf S. 59)*





## Solar für industrielle Prozesse nutzen



In vielen Industrie- und Gewerbebetrieben könnten thermische Solaranlagen einen großen Teil des Wärmebedarfs decken und so fossile Energieträger ersetzen. Die Technologie hat ein erhebliches Ausbaupotenzial, betont Christian Zahler, Geschäftsführer von Industrial Solar und Sprecher der Arbeitsgruppe „Industrielle Prozesswärme“ des Bundesverbandes Solarwirtschaft (BSW-Solar).

**Der „Fahrplan Solarwärme“ des BSW-Solar beschreibt Strategien und Maßnahmen der Solarwärme-Branche für ein beschleunigtes Marktwachstum bis 2030. Wie sieht der Status quo aus und welche Ziele streben Sie an?**

**Zahler:** Über die Hälfte des gesamten Endenergiebedarfs in Deutschland wird für Wärme aufgewendet. Aus meiner Sicht kann die Energiewende nur gelingen, wenn auch im Wärmebereich konsequent auf erneuerbare Energien umgestellt wird. Hier ist die Solarwärme ein wichtiger Treiber. Im Jahr 2010 lieferte sie allerdings erst einen Anteil von rund einem Prozent an der Wärmeverversorgung deutscher Haushalte. Es gibt also noch ein erhebliches Ausbaupotenzial. Unser Ziel ist es, im Jahr 2030 rund 70 Gigawatt solarthermischer Leistung bzw. rund 100 Millionen Quadratmeter Kollektorfläche auf deutschen Dächern installiert zu haben. Dabei sehen wir insbesondere im Bereich der industriellen Prozesswärme gute Wachstumsaussichten. So könnten im Jahr 2030 mehr als 10 Prozent des Wärmebedarfs der deutschen Industrie aus Solarwärmeanlagen stammen.

**Welchen Einfluss hat hier die Novelle des Marktanzreizprogramms?**

**Zahler:** Durch die Förderung wird der Einstieg in die solare Prozesswärme erheblich erleichtert. Praktisch aus dem Stand konnten seit Beginn der Förderung vor einem Jahr rund 70 Anlagen für den Einsatz von Solarthermie in industriellen Fertigungsprozessen ermöglicht werden. Dies war der erste Schritt in die richtige Richtung und wir hoffen, dass durch die anstehende Überarbeitung des KWK-Gesetzes die solare Prozesswärme der Kraft-Wärme-Kopplung gleichgestellt und ihr so zu einem signifikanten Marktanteil in naher Zukunft verholfen wird.

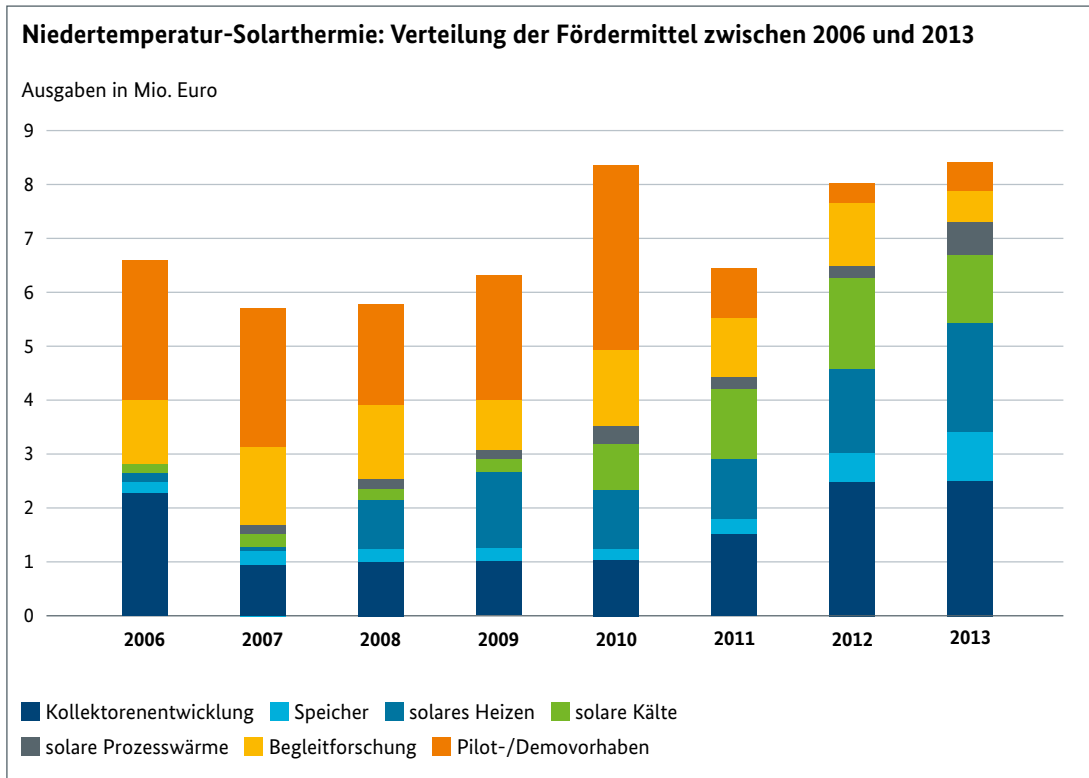
**Im Juni fand auf Einladung des BMU ein Expertenworkshop zur solaren Prozesswärme statt. Wie sehen die nächsten Schritte aus?**

**Zahler:** Eine der dringlichsten Aufgaben ist es sicherlich, die Technologie bekannter zu machen. So wollen wir beispielsweise mit einer Broschüre zu Leuchtturmprojekten den Bekanntheitsgrad der solaren Prozesswärme erhöhen. Abgeleitet aus einer Studie zu Wärmepreisen in der Industrie werden wir zudem ein Positionspapier zur Kraft-Wärme-Kopplung erarbeiten, um unsere politische Argumentation zu stützen. Außerdem gehen wir auf einzelne Branchen zu, um mit maßgeschneiderten Lösungen für konkrete Anwendungen neue Märkte zu erschließen. Mit diesen spezifischen Branchenkonzepten können wir für die Nutzung der industriellen Prozesswärme werben.

**Wie schätzen Sie die Entwicklung auf dem Gebiet der solaren Prozesswärme in den kommenden Jahren ein?**

**Zahler:** Die Technologie kann einen substanziellen Beitrag dazu leisten, die Energiekosten der Unternehmen zu senken. Bereits heute ist Solarwärme preisgünstiger als Wärme aus Heizöl. Dennoch müssen wir als Branche weiter daran arbeiten, dass die Systeme noch günstiger und leistungsfähiger sowie stärker standardisiert werden. Zum anderen müssen aber auch die energiepolitischen Rahmenbedingungen angepasst werden. Wir hoffen, dass in den nächsten Monaten die Weichen gestellt werden für eine gleichberechtigte Förderung insbesondere mit der Vergleichstechnologie Kraft-Wärme-Kopplung. Dann kann die Solare Prozesswärme ihre Vorteile voll ausspielen: Lieferung von 100 Prozent CO<sub>2</sub>-freier Wärme zu langfristig kalkulierbaren Kosten.





### Strategie der Forschungsförderung

Mit Blick auf die oben skizzierte Situation – hoher Reifegrad der Technologie, trotzdem keine ausreichende Kostensenkung der Solarthermie-Anlagen – wurde der Fokus der Forschungsförderung 2013 auf eine weitere Kostensenkung der Systeme insgesamt gelegt. Des Weiteren wurden Konzepte für solare Plusenergiehäuser bzw. Solaraktivhäuser Häuser mit 100 Prozent erneuerbarer Energieversorgung im Neubau und in der Bestandsmodernisierung in den Blick genommen. Je ambitionierter die Energiestandards, desto mehr müssen Technik (einschließlich Solarthermie), Bauhülle und Nutzung gemeinsam betrachtet werden. Auch die Entwicklung hin zu Quartierslösungen, welche Solarthermie in ihre Wärmeversorgung integrieren, ist ein zentrales Thema der Förderung.

Auf dem Gebiet der Wärmespeicherung lag das Augenmerk auf Vorhaben, die sowohl eine weitere Kostensenkung der spezifischen Speicherkosten insbesondere bei der Langzeitwärmespeicherung als auch eine weitere Effizienzhöhung und Reduzierung der Wärmeverluste zum Ziel haben. Eine Effizienzhöhung kann insbesondere dadurch erreicht werden, dass Speicher nicht nur für Solarwärme eingesetzt werden, sondern auch als Multifunktionsspeicher Abwärme oder Überschussstrom aus erneuerbaren Energien zwischenspeichern.

Weitere geförderte Forschungsaktivitäten betreffen die Zukunftsmärkte solares Kühlen, solare Prozesswärme und solare Nahwärme.

Insgesamt hat das BMU 2013 im Bereich der Solarthermie-forschung 25 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 9,9 Millionen Euro neu bewilligt. Dies entspricht dem Vorjahreswert. Gleichzeitig flossen rund 8,4 Millionen Euro in laufende Forschungsvorhaben (2012: 8 Millionen Euro).

### Auswahl geförderter Projekte

An dieser Stelle werden einige vom BMU/BMWi geförderte Projekte im Bereich Niedertemperatur-Solarthermie vorgestellt, die einen Einblick in die Umsetzung der zugrunde liegenden Forschungsbereiche aus der Förderbekanntmachung geben. Weitere Leuchtturmprojekte aus diesem Technologiebereich sind im Kapitel „Highlights“ zu finden (siehe Seiten 11/12).

### Solare Kühlung

#### Chancen und Grenzen im Vergleich zu Referenztechnologien

Im Juni 2013 fand auf Einladung des BMU ein Fachworkshop zur solaren Kühlung statt, welcher Zwischenbilanz der bisher erreichten Ergebnisse der Forschungsförderung zog und einen Ausblick auf weitere notwendige Schritte zum Ausbau der Technologie gab. Präsentiert wurden unter anderem die Ergebnisse einer umfangreichen Simulationsstudie im Vorhaben **EVASOLK** – Evaluierung der Chancen und Grenzen von solarer Kühlung im Vergleich zu Referenztechnologien. In dieser Arbeit konnten die Experten



Anlage zur solaren Kühlung an der Richard-Fehrenbach-Gewerbeschule in Freiburg. Eingebaut wurde dort eine Adsorptionskälteanlage, die mit solarer Wärme betrieben wird.

des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE, des Instituts für Luft- und Kältetechnik (ILK) und des Bayerischen Zentrums für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern) zeigen, dass solare Kühlungsanlagen an sonnigen Standorten und bei sorgfältiger Auslegung bereits mit moderaten Kostensenkungen wirtschaftlich attraktiv betrieben werden können. Unter der Voraussetzung, dass parallel auch die Kollektorwärme ganzjährig genutzt wird.

Die Veranstaltung machte deutlich, dass deutsche Forschungseinrichtungen und mittelständische Unternehmen im Bereich der solaren Kühlung international eine führende Rolle einnehmen. Insbesondere Kältemaschinen – vornehmlich im kleinen Leistungsbereich – wurden in den letzten Jahren bis zur Marktreife entwickelt. Trotz dieser Fortschritte ist der Markt allerdings bisher ein Nischenmarkt geblieben, weltweit existieren circa 1.000 Anlagen, wovon rund ein Zehntel in Deutschland betrieben wird. Das liegt unter anderem daran, dass sich die thermisch angetriebenen Anlagen zunehmend dem Wettbewerb mit Kompressionskälte aus erneuerbarem Strom stellen müssen. Die Herausforderungen sind hier wie auch in der gesamten Solarthermiebranche dieselben – die Kosten für die Systeme müssen signifikant gesenkt werden, effiziente Betriebsführungskonzepte werden benötigt und die Systemintegration muss weiter vorangebracht werden. Zudem muss sich die Branche der Konkurrenz durch asiatische Hersteller stellen.

Neben fünf im Rahmen des Förderkonzeptes Solarthermie 2000+ errichteten Pilotanlagen einschließlich der wissenschaftlichen Begleitung wurden in den vergangenen Jahren sieben Verbundvorhaben gefördert, die verschiedene Themenstellungen der solaren Kühlung adressierten. Das Projekt EVASOLK wurde vom BMU mit rund 800.000 Euro gefördert.

## Solare Prozesswärme

### Integration in industrielle Prozesse verbessern

Solarthermische Anlagen könnten in vielen Industrie- und Gewerbebetrieben einen erheblichen Teil des Wärmebedarfs decken und so fossile Energieträger ersetzen. Das Potenzial wird jedoch nur zögerlich erschlossen. Das BMU/BMWi bemüht sich darum, mit branchenbezogenen Projekten Barrieren abzubauen. So arbeiten in dem Verbundprojekt **SoProW** – Optimierte Erzeugung und Integration solarer Prozesswärme am Beispiel der Wäscherei-Branche – das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, die Industrial Solar GmbH, das Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH und die Dr. Valentin Energie Software GmbH zusammen, um auf Basis einer Branchenanalyse realitätsbezogene Parameter für Simulationen zu entwickeln, aus denen sich standardisierte solarthermische Systemkonzepte für zukünftige Anwendungen ableiten lassen. Geplant sind die Entwicklung von Lösungen für die solare Sanierung industrieller Dampfnetze, die Auslegung von drei Leuchtturmprojekten und die Erstellung eines Branchenkonzepts für Planer. Das BMU/BMWi fördert SoProW mit rund 930.000 Euro.

Auch in der Lebensmittelindustrie gibt es zahlreiche Prozesse, die mit solarer Prozesswärme optimal versorgt werden könnten. In dem Projekt **SolFood** – Solarwärme für die Ernährungsindustrie – erarbeitet das Institut dezentrale Energietechnologien gGmbH (Ide) Planungshilfetools, welche die Vorplanung solarer Prozesswärmeanlagen deutlich vereinfachen sollen. Um diese zu erproben, werden in ausgewählten Branchen der Ernährungsindustrie Fallstudien durchgeführt, in deren Rahmen die Produktionsprozesse und Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten untersucht und Konzepte zur Einbindung von Solarwärme in die industriellen Prozesse erarbeitet werden. Das BMU/BMWi fördert SolFood mit rund 320.000 Euro.

Um die Planungs- und Installationskosten weiter zu reduzieren, untersuchen die Industrial Solar GmbH, die Viessmann Werke Berlin GmbH und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in dem Verbundprojekt **SolSteam** die Kombination eines direktverdampfenden konzentrierenden Solarkollektors mit einem fossil gefeuerten Hochdruck-Dampferzeuger. Damit schaffen sie die Basis für die Entwicklung eines solar-fossilen Hybridsystems,



Wäscherei Laguna in Marburg (Lahn) mit Prozesswärme-Flachkollektoren.



das insbesondere für südliche Länder mit hoher Direkteinstrahlung von Bedeutung ist. Das Projekt SolSteam wird vom BMU/BMWi mit rund 1,1 Millionen Euro gefördert.

### Solares Heizen und Kühlen wird immer wichtiger

Bei der Umsetzung der von der Europäischen Union verabschiedeten Richtlinie zum Neubau von „Nahezu-Null-Energie-Häusern“ ab 2020 wird die solare Wärme- und Kälteerzeugung eine immer größere Rolle spielen. Zu diesem Ergebnis kam die zweite internationale **Solar Heating and Cooling Konferenz (SHC) 2013** in Freiburg. Rund 400 Experten aus Forschung und Industrie aus 36 Ländern diskutierten über technologische Entwicklungen, die weltweite Marktsituation und politische Rahmenbedingungen.

In parallel stattfindenden Veranstaltungen wurden alle Anwendungsmöglichkeiten der Solarthermie dargestellt. So wurde beispielsweise in der Sitzung „Market reports and framework conditions“ die Perspektive der Solarthermie für die Wärme- und Kälteerzeugung aufgezeigt, um die europäische Richtlinie zum Neubau von „Nahezu-Null-Energie-Häusern“ ab 2020 in die Tat umsetzen zu können. Mit einer weltweiten Wachstumsrate von 14 Prozent im vergangenen Jahr baut die Solarthermie ihre Stellung als maßgebliche Variante der regenerativen Wärme- und Kälteversorgung aus. Die Konferenz zeigte jedoch auch, dass die Systemkosten solarthermischer Anlagen nach

wie vor signifikant gesenkt werden müssen und weitere Standardisierungen notwendig sind. Insbesondere die Entwicklung solarthermischer Gesamtlösungen vom einzelnen Wohngebäude zu komplexen Stadtquartieren bietet erhebliches Ausbaupotenzial. Das BMU hat die wissenschaftliche Vorbereitung und Durchführung der SHC-Konferenz 2013 mit rund 54.000 Euro gefördert.

Unter der Überschrift „Technik und Innovation – der Beitrag der Solarwärme zur Energiewende“ fand die **3. Deutsche Solarthermie-Technologiekonferenz** mit rund 200 Teilnehmern in Berlin statt. Schwerpunktthemen waren Systemlösungen zur Nutzung von Solarenergie für die industrielle Prozesswärme sowie hocheffiziente Kollektoren und Wärmespeicher. Zahlreiche Ergebnisse von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die sich aus der Forschungsstrategie Niedertemperatur-Solarthermie 2030 abgeleitet haben, wurden auf der Konferenz präsentiert. Daneben hatten junge Firmen die Möglichkeit, ihre innovativen Lösungen einem breiten Fachpublikum vorzustellen. Die von der Deutschen Solarthermie-Technologieplattform (DSTTP) formulierte Strategie zeigt den Forschungsbedarf zur Weiterentwicklung der Solarwärmetechnologie und die energetischen Potenziale auf.

Die Konferenz wurde vom Bundesverband Solarwirtschaft e. V. (BSW-Solar) und dem Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e. V. (BDH) organisiert und durch das BMU mit rund 24.000 Euro gefördert. ■



# Solarthermische Kraftwerke



Aufgrund ihres technischen Grundprinzips werden die Technologien für solarthermische Kraftwerke (Concentrated Solar Power – CSP) für den Einsatz in Ländern mit hoher solarer Direkteinstrahlung entwickelt. In Spanien, Nordafrika, dem arabischen Raum sowie den USA hat diese Technologie eine hohe Bedeutung für den Wandel der Stromversorgung von einem fossil oder nuklearbetriebenen hin zu einem regenerativen, klimaneutralen Kraftwerkspark. Durch die Möglichkeit, den solarthermischen Kraftwerksteil mit einem fossil befeuerten zu kombinieren, also so genannte Hybridkraftwerke zu errichten, lässt sich die Solarisierung der Energieversorgung schrittweise gestalten. Darüber hinaus lassen sich in solarthermischen Kraftwerken thermische Energiespeicher integrieren, die einen wichtigen Beitrag zur Stabilisierung der Stromnetze auch in Zeiten ohne Sonneneinstrahlung leisten können.

## Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund der Markt- und Technologieentwicklung

### Marktgeschehen Deutschland und weltweit

Weltweit sind aktuell knapp 2,8 Gigawatt solarthermische Leistung installiert, davon 55 Parabolrinnen-, fünf Fresnel- und neun Solarturmkraftwerke. Weitere 44 Anlagen befinden sich im Bau. Gegenüber dem Vorjahr ist ein Zuwachs der installierten CSP-Kraftwerkskapazität von 0,5 Gigawatt zu verzeichnen. Gleichzeitig gibt es Ankündigungen für Ausschreibungen in Nordafrika und im Mittleren Osten (MENA-Region), sowie in Südafrika, Südamerika, China und Indien, die sich zu einer Leistung im zweistelligen Gigawattbereich summieren.

Trotz dieser Fortschritte entwickelt sich der CSP-Zubau verglichen mit anderen erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung seit zwei Jahren sehr verhalten. Hintergrund ist in erster Linie die Preisentwicklung bei der Photovoltaik. In den USA wurden 2011 und 2012 aus Kostengründen mehrere solarthermische Projekte in Photovoltaikprojekte umgewandelt, mit entsprechenden nachfolgenden Insolvenzen, unter anderem des großen deutschen Solarkraftwerkentwicklers Solarmillennium AG. Einen weiteren Dämpfer erlitt die Branche durch die Aufgabe der Solarpartie der Siemens AG. Diese Entwicklungen haben zu einem deutlichen Abbau von Produktionskapazitäten bzw. Geschäftsaufgaben auch bei deutschen Komponentenherstellern und Zulieferern geführt. Die Konkurrenz durch ausländische Unternehmen, die oftmals deutliche Standortvorteile für Versuchsanlagen haben, wächst. Zudem

führt der vergleichsweise geringe Umsatz dazu, dass Kostensenkungen aufgrund von Skaleneffekten nicht realisiert werden können.

Dennoch haben deutsche Unternehmen im internationalen CSP-Markt noch immer wichtige Positionen inne. Dies zeigt sich beispielsweise in umfangreichen Lieferungen für das Kraftwerksprojekt „Schams 1“ in Abu Dhabi, Vereinigte Arabische Emirate, ein 100 Megawatt Parabolrinnenkraftwerk, das März 2013 in Betrieb ging: die Spiegel stammen aus der Fertigung der Firma Flabeg, die Receiver von Schott Solar und die Turbine wurde von MAN geliefert.

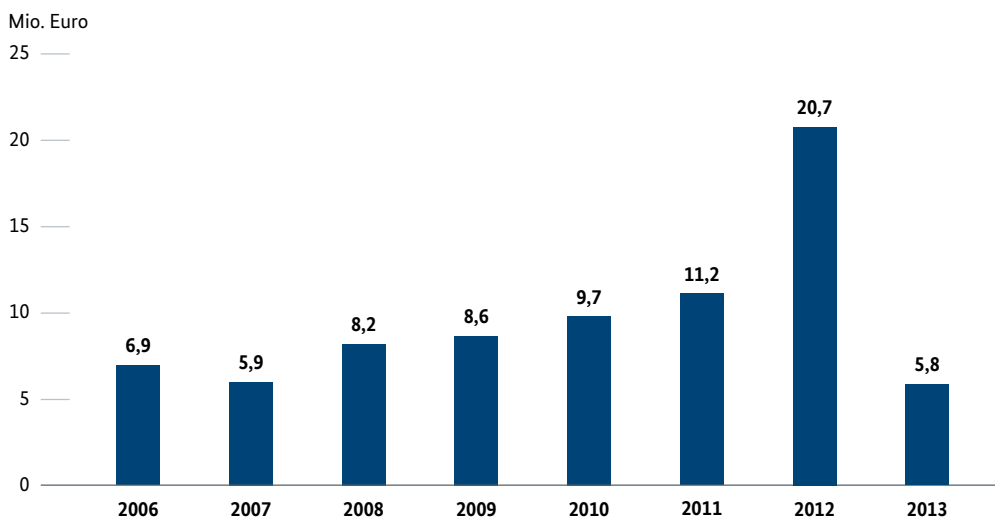
### Fortschritte in Forschung und Entwicklung

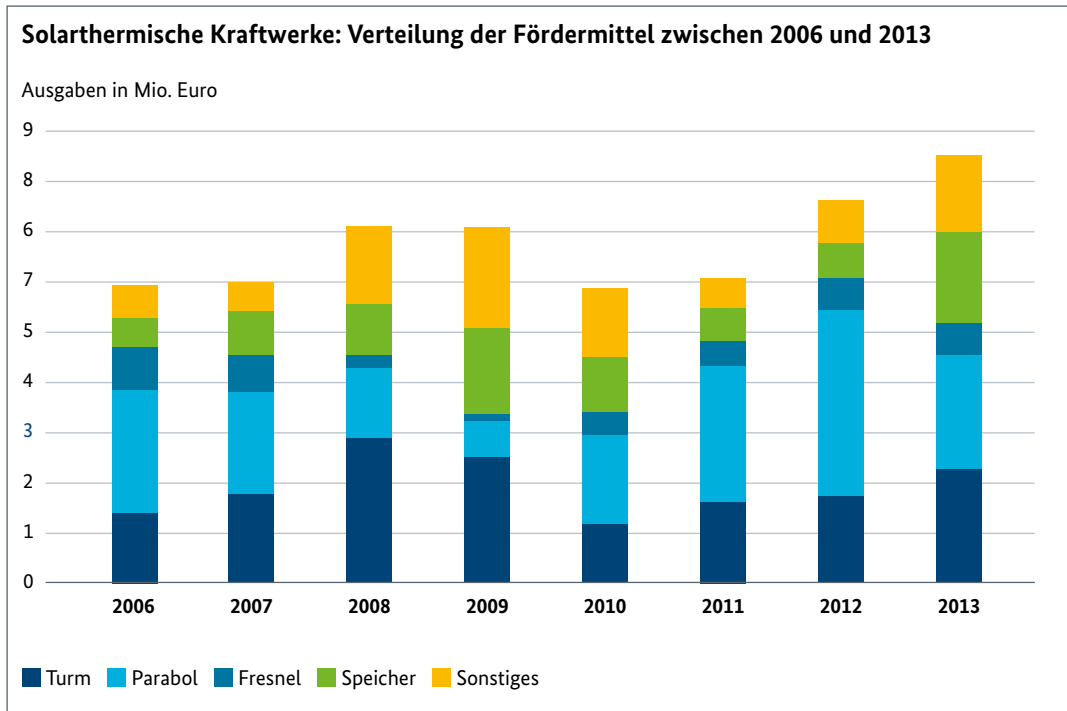
Die Parabolrinnentechnologie mit Thermoöl als Wärmeträgermedium ist aufgrund der vergleichsweise hohen installierten Kraftwerkskapazität heutiger Stand der Technik bei den solarthermischen Kraftwerken. Hier liegen die größten Erfahrungen vor, sowohl bei Bau und Betrieb als auch bei der Finanzierung. Von Nachteil sind allerdings die mit 400 °C relativ geringe Betriebstemperatur, der daraus resultierende geringere Kraftwerkswirkungsgrad und ein höheres erforderliches Speichervolumen. Einer der Schwerpunkte der Forschungsförderung des BMU im Bereich CSP lag daher in den vergangenen Jahren auf der Entwicklung alternativer Wärmeträgermedien, vor allem auf überhitztem Wasserdampf sowie auf Salzschnmelzen.

Erfahrungen mit der Direktverdampfung in Parabolrinnenversuchsanlagen liegen seit über 15 Jahren vor. In Fresnel- und Parabolrinnenanlagen kleiner Leistung wird sie bereits realisiert, allerdings bei moderaten Dampfparametern. Eine weitere Alternative zu Thermoöl und Wasserdampf ist Flüssigsalz, das einen druckarmen Betrieb erlaubt, vergleichsweise günstig erhältlich und direkt speicherbar ist. Die hohe Wärmekapazität der Salze erlaubt außerdem eine vergleichsweise geringe Speichergröße. Um das Betriebsverhalten von Salzschnmelzen zu untersuchen, wird derzeit mit Unterstützung des BMU/BMWi von einem deutschen Konsortium eine Großversuchsanlage aufgebaut und betrieben, von der in etwa zwei Jahren aussagekräftige Ergebnisse erwartet werden. Zu Turmkraftwerken liegen noch wenige Erfahrungen mit dem Wärmeträgermedium Salz vor. In Spanien und den USA sind aktuell jedoch mehrere Turmkraftwerke mit Wasserdampf oder Salz als Wärmeträgermedium in Bau oder bereits in Betrieb, teilweise mit nennenswerter Kraftwerksleistung.

Für alle CSP-Technologien ist es zunehmend wichtig geworden, diese in Kooperation mit den Anwendern in den Zieländern zu entwickeln. Vor diesem Hintergrund fand im November 2013 eine Konferenz des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit dem Industrietzwerk Deutsche CSP zu solarthermischen Kraftwerken statt, gefördert durch das BMU. Knapp 100 Teilnehmer diskutierten die wichtigsten Entwicklungen der deutschen Technologiehersteller und deren Anwendbarkeit im saudi-arabischen Umfeld.

**Solarthermische Kraftwerke: Entwicklung des Neubewilligungsvolumens seit 2006**





### Strategie der Forschungsförderung

In Deutschland produzierte Komponenten solarthermischer Kraftwerke nehmen hinsichtlich Leistung und Qualität immer noch eine herausgehobene Stellung ein. Vor diesem Hintergrund sind Maßnahmen zur Standardisierung und Qualifizierung aller Kraftwerkskomponenten ein wichtiger Bestandteil der Forschungsförderung, da sie dazu beitragen, die hohe Qualität deutscher Technik zu unterstreichen und damit die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen zu stützen.

Für Turmkraftwerke wird insbesondere die Technologie des druckbeaufschlagten und des volumetrischen Receivers verfolgt, durch dessen Einsatz ebenfalls Temperaturen deutlich oberhalb des Temperaturniveaus von 400 °C erreicht werden können. Zu dieser Kraftwerksvariante haben sich deutsche Unternehmen einen Entwicklungsvorsprung erarbeitet. Auch der Einsatz als Hybridkraftwerk kann diese Technologien gerade für die MENA-Region begünstigen.

Insgesamt hat das BMU 2013 im Bereich der solarthermischen Stromerzeugung 18 Projekte mit einem Fördervolumen von rund 5,8 Millionen Euro neu bewilligt. Beim Vergleich mit dem Vorjahreswert (2012: 32 Projekte mit 20,7 Millionen Euro Fördervolumen) muss beachtet werden, dass die Jahre 2011 und 2012 aufgrund eines Aufwuchses im Bundeshaushalt und erheblicher verfügbarer Mittel im Energie- und Klimafonds gesondert zu betrachten sind. So liegt der Mittelabfluss in bereits laufende Vorhaben 2013 mit 8,5 Millionen Euro über dem durchschnittlichen Mittelabfluss der Jahre 2009–2012 (6,6 Millionen Euro).

Im Fokus der Forschungsförderung stehen die Standardisierung und Qualifizierung aller Kraftwerkskomponenten, um die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen weiter auszubauen. Weiterhin ist Salz als Wärmeträgermedium für Parabolrinnen- und Fresnel-Systeme aus oben genannten Gründen eines der Forschungsthemen mit Vorrang. Forschungsprojekte in diesem Bereich sollen deutschen Unternehmen ermöglichen, Komponenten für leistungsgesteigerte Kraftwerkskonzepte anbieten zu können.

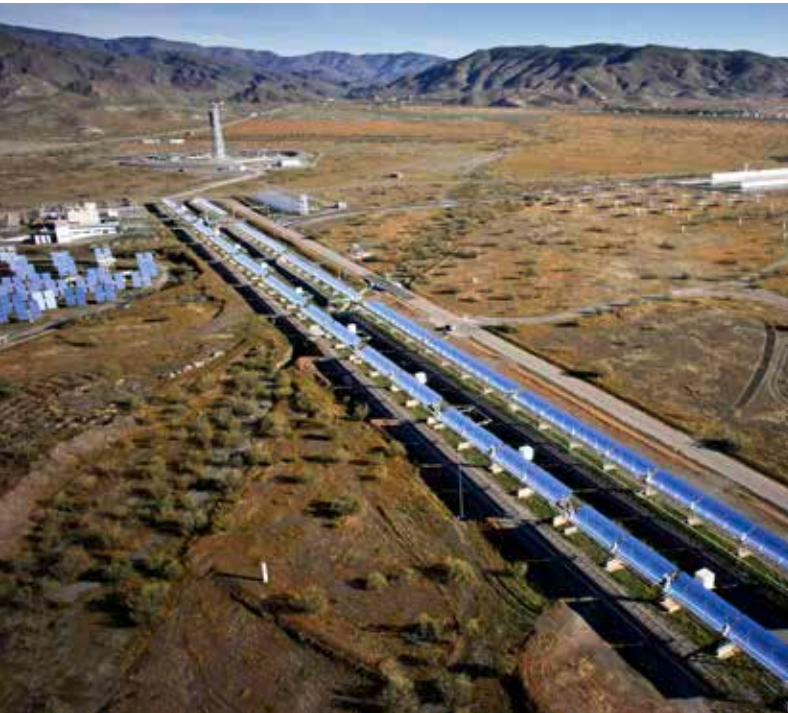
### Auswahl geförderter Projekte

An dieser Stelle werden einige vom BMU/BMWi geförderte Projekte im Bereich solarthermische Kraftwerke vorgestellt, die einen Einblick in die Umsetzung der zugrunde liegenden Forschungsbereiche aus der Förderbekanntmachung geben. Ein weiteres Leuchtturmprojekt aus diesem Technologiebereich wird außerdem im Kapitel „Highlights“ vorgestellt (siehe Seite 12).

### Parabolrinnenkollektoren

#### Entwicklung eines Durchlaufkonzepts für die solare Direktverdampfung

Parabolrinnenkraftwerke nutzen als Wärmeträgermedium im Solarfeld meist ein synthetisches Thermoöl. Um den Prozess effizienter, umweltverträglicher und kostengünstiger zu gestalten, bietet die solare Direktverdampfung eine aussichtsreiche Alternative. Denn mit diesem Verfahren wird direkt in den Absorbern der Parabolrinnenkollektoren Prozessdampf erzeugt. Der Dampf kann sofort zum Prozess



**Neue DISS-Testanlage auf der Plataforma Solar de Almería in Spanien.**

geleitet werden und spart so fossile Energie beim zentralen Dampferzeuger ein. Mit Thermoöl als Transportmedium entstehen hingegen höhere Wärmeverluste, da es über einen Wärmeübertrager geschickt werden muss und höhere Temperaturen im Kollektorfeld entstehen. Erste kommerzielle Kraftwerke mit solarer Direktverdampfung sind in Spanien und Thailand in Betrieb. Dabei kommt das so genannte Rezirkulationskonzept zur Anwendung, das heißt, dass das Solarfeld in einen Vorwärmer/Verdampfer-Bereich und einen Überhitzer-Bereich aufgeteilt wird. Beim Rezirkulationskonzept verdampft nicht die gesamte eingespeiste Wassermenge, sondern es wird ein Wasser-Dampf-Gemisch in einen Druckbehälter geleitet und dort aufgrund der Schwerkraft separiert. Dieses Konzept ist sehr robust, verursacht allerdings höhere Kosten durch den erforderlichen Druckbehälter, die Rezirkulationspumpe und Verluste in der Rezirkulationsleitung.

Um das Solarfeld noch effizienter betreiben und Komponenten und Kosten einsparen zu können, entwickelt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in dem Projekt **DUKE** ein innovatives Durchlaufkonzept. Dabei wird Wasser in jedem Kollektorloop vorgewärmt, komplett verdampft und überhitzt. Das Projekt zielt vor allem darauf ab, Regelkonzepte zu demonstrieren, die eine konstante Austrittstemperatur des Dampfes gewährleisten.

Für eine Analyse des Konzepts unter realen Bedingungen wurde die DISS (Direct Solar Steam) Versuchsanlage auf der Plataforma Solar de Almería in Spanien um drei neue Kollektoren auf nun 1000 Meter Kollektorlänge erweitert und für den Betrieb bei hohen Dampfparametern von bis zu 500 °C und 110 bar ausgelegt. Die Leistung des Teststrangs konnte so um über 40 Prozent auf ca. drei Megawatt

thermisch gesteigert werden. Mit Hilfe der neuen Anlage können die im Projekt entworfenen theoretischen Lösungsansätze nun direkt in einem anlagentechnisch relevanten Maßstab getestet werden.

Die offizielle Einweihung der Anlage fand im Juni 2013 statt. Im November konnte bereits die Stabilisierung der Temperatur unter typischen Bedingungen durch einen innovativen Regelansatz demonstriert werden. Weitere Regelkonzepte werden nun für einen kommerziellen Einsatz weiter ausgearbeitet, verbessert und getestet. Das BMU/BMWi fördert DUKE mit rund 2 Millionen Euro.

## Solarturmkraftwerke

### Druckbeaufschlagter Receiver aus Keramik

Bei Turmkonzepten, die Luft als Wärmeträgermedium einsetzen, sind deutsche Unternehmen und Forschungseinrichtungen derzeit führend. Eine zentrale Baugruppe dieser Technologie ist der Receiver, in welchem die Sonnenstrahlung in Wärme umgewandelt wird.

Um hohe Kraftwerkswirkungsgrade und damit niedrige Stromgestehungskosten zu erreichen, sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. Zum einen können durch eine Einkopplung der Wärme in einen Gasturbinen- oder Gas- und Dampfturbinenprozess höhere Wirkungsgrade im Kraftwerksblock erzielt werden. Hohe Turbineneintrittstemperaturen können zu einer Wirkungsgradsteigerung beitragen. Kann man die hohen Temperaturen direkt in das Wärmeträgermedium für den Turbinenprozess einkoppeln, werden Kosten für einen Wärmeübertrager und Wärmeverluste vermindert. In verschiedenen Forschungsvorhaben wurden in den vergangenen Jahren der volumetrische Druckreceiver und eine vorgeschaltete Stufe, der Rohrreceiver, entwickelt. Um die Kostenvorteile von metallischen Rohrreivern und die Vorteile der keramischen Receiver zu nutzen, wird eine Kombination der metallischen und keramischen Receiver angestrebt.

Im Rahmen des Verbundprojektes **CERREC** soll ein druckbeaufschlagter Receiver aus dem keramischen Werkstoff Siliciumcarbid (SiC) entwickelt und ein Plattenmodul hergestellt und charakterisiert werden. SiC besitzt für den Einsatz in Solarreivern materialtechnische Vorteile wie hohe Wärmeleitfähigkeit und hohe Temperaturstabilität. Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist, dass (weiter auf S. 67)



## Glasklare Standards

Die Präzision des Solarfelds und die optischen Eigenschaften der Kollektorkomponenten spielen für die Leistungsfähigkeit eines Solarkraftwerks eine entscheidende Rolle. Weicht zum Beispiel die Form der Spiegel vom Optimum ab, führt das zu Defiziten bei der Konzentration der Sonnenstrahlung. Verluste von nur einem Prozent können bereits die Wirtschaftlichkeit des Kraftwerks gefährden. Im Test- und Qualifizierungszentrum für konzentrierende Solartechnik QUARZ des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) werden standardisierte Messmethoden zur Qualitätskontrolle entwickelt und detaillierte Analysen der Wirkungsgrade von Kollektoren angefertigt. Der Leiter des QUARZ-Labors am DLR-Institut für Solarforschung in Köln, Dr. Björn Schirricke, schildert die unabhängige Qualitätsbeurteilung der Hightech-Bauteile von Solarkraftwerken.

**Welche Standardisierungsvorgaben gibt es bereits und wo sehen Sie den größten Entwicklungsbedarf?**

**Schirricke:** Wir sind zum Beispiel bei der Standardisierung und Qualifizierung des solaren Reflexionsgrads und der Formgenauigkeit der Spiegel schon sehr weit. Hier haben wir eine Richtlinie publiziert, die wir auf Grundlage unserer Forschungsergebnisse sowie der Diskussion mit internationalen Fachleuten und Industrie erstellt haben.

Bei anderen Qualitätsmerkmalen oder Kraftwerkskomponenten gibt es bislang jedoch noch keine standardisierten Qualitätskriterien, teilweise nicht einmal vergleichende oder bewertende Untersuchungsmethoden der Produkteigenschaften. Die Kraftwerksbetreiber wollen aufgrund dieser Lücke das große technische Risiko nicht eingehen, auch wenn neuen Technologien häufig über ein hohes Kostensenkungspotenzial verfügen.

Tendenziell werden deshalb eher altbewährte Produkte gekauft, anstatt auf innovative Technologien zu setzen. Wenn man hier jedoch ein zuverlässiges Prüfverfahren hat, das bestätigt, dass die neue Komponente ebenso gut oder sogar besser ist, dann hilft man den innovativen Produkten in den Markt einzutreten und schafft damit gleichzeitig Kostensenkungspotenzial für die Betreiber.

**Welche Bedeutung hat die Qualifizierung und Standardisierung von Komponenten für die deutsche Industrie?**

**Schirricke:** Gerade für deutsche Unternehmen, die viel in Forschung und Entwicklung investieren, ist es wichtig, die hohe Qualität ihrer Produkte nachweisen zu können. Wir können messtechnisch zeigen, dass die von deutschen Unternehmen hergestellten Kraftwerkskomponenten eine sehr hohe Qualität haben. Darüber hinaus



profitiert die Technologie insgesamt von den Qualifizierungs- und Standardisierungsmaßnahmen. Denn wenn aus Kostenspargründen nur die günstigsten Komponenten eingekauft werden und die Solarkraftwerke aufgrund dessen schlechter funktionieren, dann schadet dies der gesamten Branche. Wir ermöglichen dem Kraftwerksentwickler den genauen Vergleich und die Abwägung anhand feststehender Parameter. Das ist so, als würde er sich die Stiftung Warentest-Zeitschrift kaufen um die Produkte vergleichen zu können und sich dann die passenden Komponenten für sein Kraftwerk aussuchen. Durch unsere Bewertung der Leistungsmerkmale sieht der Betreiber, wie viel Ertrag er sich von einem Produkt erhoffen kann und ist dadurch in der Lage zu bewerten, welches Produkt sich in der Anschaffung lohnt. Er kann so die für seine Erfordernisse optimalen Komponenten auswählen. Damit tragen wir zur Investitionssicherheit bei.

**Wo sehen Sie weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarf?**

**Schirricke:** Es wäre aus meiner Sicht wichtig, noch weitere Aspekte in die Untersuchung der Komponenten mit einzubeziehen, die wir momentan noch nicht standardmäßig anbieten können. Dies geht vor allem in Richtung Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der Kraftwerkskomponenten. Es gibt einen hohen Bedarf nach Informationen über die Langlebigkeit der Produkte. Dabei wäre eine Übertragung des Labormaßstabs auf reale Bedingungen interessant, um zu messen, wie sich die Produkte unter Betriebsbelastungen verhalten.



Foto des Prüfstandes ElliRec im Quarz-Zentrum®

**Erster Radkranz-Heliostat-Prototyp mit primärer Horizontalachse mit zunächst 8m<sup>2</sup> Spiegelfläche.**

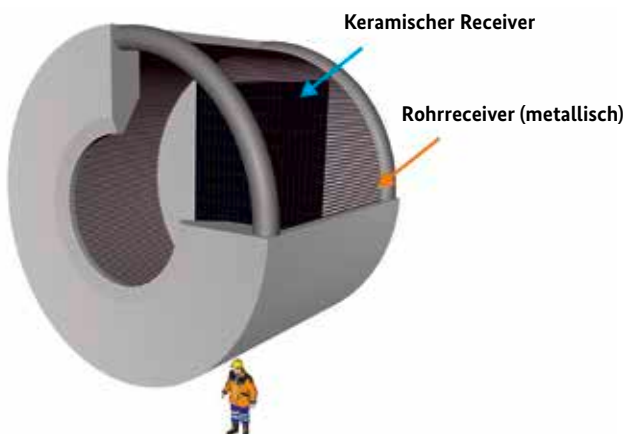
das Material in Plattenform nahtlos zu druckdichten Receivern mit kompakter Geometrie verschweißt werden kann. Eine Materialfreigabe für Drücke bis 16 bar und Temperaturen bis 1200 °C liegt bereits vor.

Vorrangiges Ziel des von der ESK Ceramics GmbH & Co. KG sowie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) durchgeführten Vorhabens ist die Konstruktion und Fertigung eines Plattenreceiver-Prototypen und dessen Charakterisierung im Labor. Dabei wird der Prototyp u. a. auch Temperaturschocktests unterzogen, um die harten Bedingungen in einem Solarkraftwerk zu simulieren. Außerdem wollen die Forscher eine umfassende Preis-Leistungs-Bewertung im Vergleich zu einem Referenzsystem vornehmen.

Ein Rohrreceiver erhitzt die komprimierte Luft eines Gasturbinenprozesses auf 800 °C, der seriell geschaltete keramische Receiver übernimmt die Weitererhitzung auf 1.000 °C. Der keramische Receiver benötigt kein druckbelastetes Glasfenster und kann ohne Sekundärkonzentrator eingesetzt werden. Somit bieten die keramischen Plattenreceiver das Potenzial, die Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit der Kraftwerke zu erhöhen und können die Systemkomplexität deutlich reduzieren. Das Projekt soll die Grundlagen für weiterführende Projekte zu Adaption in solaren Turmsystemen und Tests unter realen Bedingungen schaffen.

Das BMU/BMWi fördert CERREC mit rund 374.000 Euro.

**Anordnung der keramischen Plattenreceivermodule im Receiveraufbau eines Solarturmkraftwerkes.**



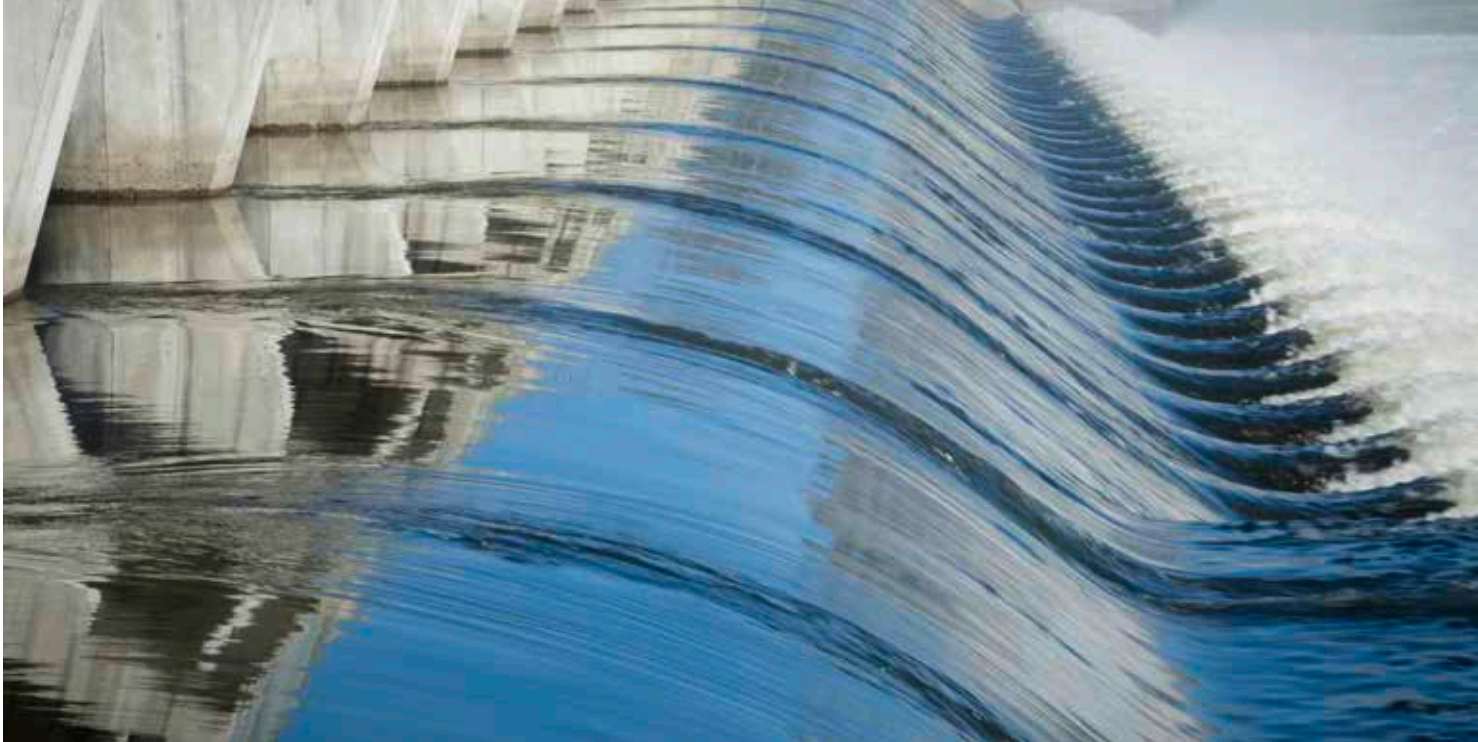
**Entwicklung eines autonomen Leichtbau-Heliostaten**

Bei solarthermischen Turmkraftwerken macht das Heliostatenfeld den größten Anteil an den gesamten Investitionen eines Solarturmkraftwerks aus. Entsprechend wirkt sich eine Kostenreduktion der Heliostate signifikant auf die Stromgestehungskosten aus. Mit autonomen, energieautarken Heliostaten, wie sie im Verbundvorhaben **AutoR** entwickelt werden, lassen sich die hohen Kosten der Verkarbelung sparen. Die dafür notwendige lokale Energieversorgung verlangt aus Kostengründen sparsame Antriebe. Leichtbau und eine Dimensionierung des Heliostaten entsprechend der tatsächlichen Belastung wirken sich ebenfalls vorteilhaft auf den Stromverbrauch aus.

Ziel von AutoR ist eine signifikante Reduzierung der Herstellkosten von Heliostaten durch Optimierung der Bauweise und der Dimensionierung. Im Rahmen des Projektes werden wissenschaftliche Untersuchungen an neuartigen Antriebs- und Steuerungskonzepten sowie deren Umsetzung durchgeführt. Entwickelt werden soll ein autonomer energieautarker Leichtbau-Heliostat mit einem effizienten und zugleich kostengünstigen Radkranz-Antrieb. Die Dimensionierung erfolgt bei realistischer dynamischer Windbelastung, wofür ein entsprechendes Berechnungsverfahren entwickelt wird. Für den effizienten Betrieb ist außerdem eine geeignete Heliostatfeldsteuerung notwendig. Diese ist aktuell nicht verfügbar und soll im Rahmen des Verbundvorhabens unter Einbeziehung der erstellten Heliostat-Versuchsmuster erprobt werden.

In dem Projekt haben sich die TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und das Institut für Telematik der Technischen Universität Hamburg-Harburg zusammengeschlossen. Das BMU/BMWi fördert AutoR mit rund 2,3 Millionen Euro. ■

# Wasserkraft und Meeresenergie



Für die Stromproduktion aus Wasserkraft wird die natürliche Fließbewegung des Wassers – in erster Linie von Flüssen oder Stauseen – genutzt. Die Bewegungsenergie des Wassers wird dabei durch Turbinen oder Laufwasserräder in mechanische Energie umgesetzt, woraus dann mittels Generatoren Strom erzeugt wird. Im Bereich der Meere lassen sich verschiedene Energieformen nutzen: Sowohl der Tidenhub (das periodische Fallen und Steigen des Meeresspiegels) als auch der Energiegehalt von Strömung und Wellen stehen für die Stromerzeugung zur Verfügung.

## Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund der Markt- und Technologieentwicklung

### Marktgeschehen in Deutschland und weltweit

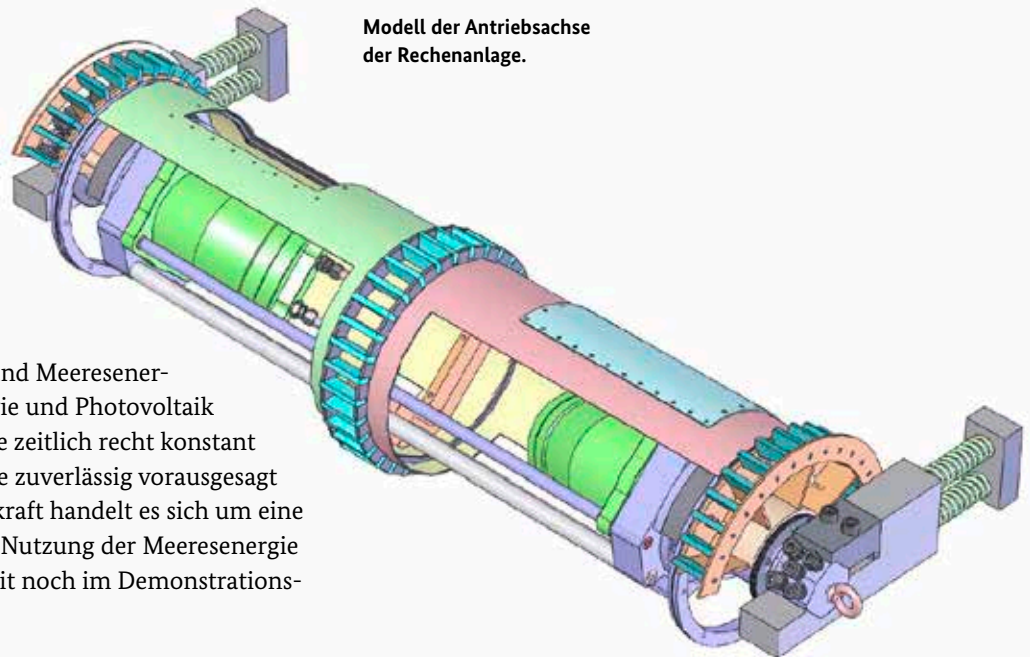
Eine Form von Meeresenergie stellen die Strömungen durch Ebbe und Flut dar. Für die Nutzung dieser Gezeitenströmung sind Turbinen geeignet, die dem Prinzip von Windenergieanlagen ähneln und deutlich unterhalb der Wasseroberfläche an geeigneten Standorten installiert werden. Sie werden jeweils entlang der Hauptströmungsrichtung ausgerichtet, und müssen sowohl vorwärts als auch rückwärts gerichtete Strömungen umsetzen. In den nächsten Jahren ist der Bau von Strömungsenergieparks in geeigneten Regionen wie unter anderem Großbritannien oder Irland vorgesehen. Bisher bestehende Kraftwerke sind jedoch noch zu teuer für den breiten wirtschaftlichen Einsatz, entsprechende Entwicklungen gehen für kleine Unter-

nehmen mit einem hohen Risiko einher. Vor der deutschen Küste selbst kann die Technologie nicht wirtschaftlich eingesetzt werden, da das Potenzial durch Strömungsgeschwindigkeit und Tidenhub relativ gering ist, die Küste wirtschaftlich stark genutzt wird und diverse Naturschutzgebiete ausgewiesen sind. Deutsche Unternehmen können jedoch auf ihr Know-how etwa aus der Wind- und Wasserkraft zurückgreifen, um die im Ausland benötigten Weiterentwicklungen zu ermöglichen. Hierdurch bietet sich die Chance auf Export. Das BMU/BMWi fördert im Bereich Meeresenergie in angemessenem Umfang Forschungsprojekte mit Schwerpunkt auf Meeresströmungsturbinen und Wellenenergiekonvertern.



## Fortschritte in Forschung und Entwicklung

Der Vorteil von Wasserkraft und Meeresenergie gegenüber der Windenergie und Photovoltaik besteht darin, dass die Energie zeitlich recht konstant bereitgestellt beziehungsweise zuverlässig vorausgesagt werden kann. Bei der Wasserkraft handelt es sich um eine bewährte Energiequelle – die Nutzung der Meeresenergie dagegen befindet sich weltweit noch im Demonstrationsstadium.



Modell der Antriebsachse der Rechenanlage.

## Strategie der Forschungsförderung

Die Wasserkraft hat im Jahr 2013 mit einem Anteil von 3,4 Prozent zur Brutto-Stromerzeugung beigetragen. Damit hat sie an der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien einen Anteil von rund 14,5 Prozent. Da die Technik weitgehend ausgereift ist, wird bei der Forschungsförderung des BMU/BMWi der Schwerpunkt auf die ökologische Verträglichkeit der Anlagen gelegt. 2013 wurde ein neues Verbundprojekt bewilligt.

## Auswahl geförderter Projekte

### Fischpopulationen an Großwasserkraftwerken schützen

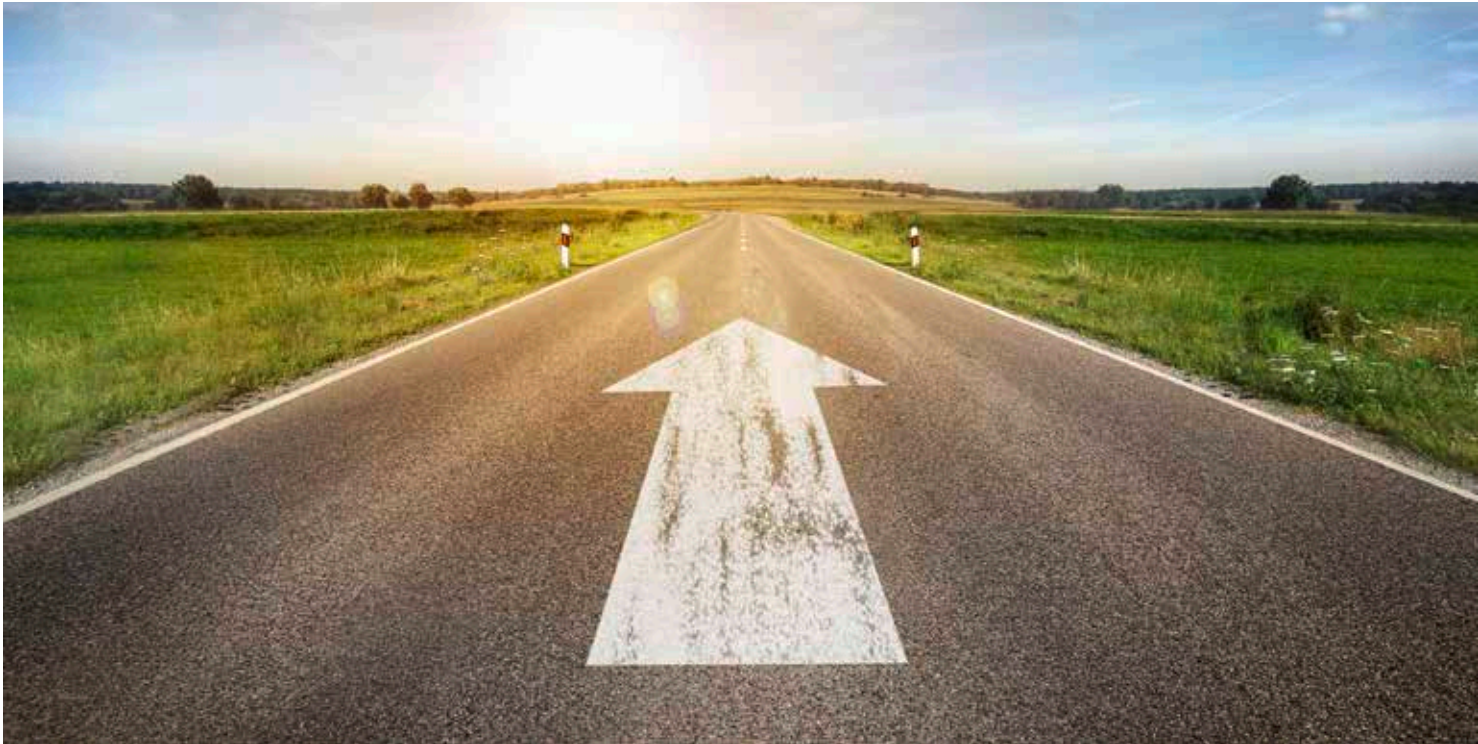
Die Stromerzeugung mit Wasserkraft ist effizient, CO<sub>2</sub>-frei und aus Gründen des Klimaschutzes aus heutiger Sicht unverzichtbar. Allerdings wird dabei der Lebensraum der gesamten Fischpopulation (Ichthyofauna) in den Fließgewässern negativ beeinträchtigt, einerseits durch Querverbauungen, andererseits behindern die Turbinen den Durchgang der Fische während der Abwanderung. Verschärfte ökologische Auflagen sowie langwierige und komplexe Genehmigungsverfahren stehen dem Wunsch nach dem Einsatz von Wasserkraft zur Stromerzeugung immer häufiger im Wege. Im Forschungsvorhaben **Intelligente Rechenanlage** – Entwicklung einer Rechenanlage zum Schutz der Ichthyofauna an Großwasserkraftwerken – soll ein neuer Rechen, der die Fische vor Verletzungen in Turbinen schützt, entwickelt werden. Hierzu soll ein für große Anlagendimensionen einsetzbares System geschaffen werden, das den Schutz sowie die Ableitung der flussabwärts wandernden Fische – um sie aus dem Turbinenstrom heraus auf eine Wanderungsalternative hin umzuleiten – eng verzahnt.

In hydraulisch-technischen Laborversuchen entwickeln die Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus Senftenberg und die IFPS Intelligent Fish Protection System UG diese intelligente Rechenanlage. Bei den biologischen Laborversuchen wird das Verhalten von unterschiedlichen Fischarten beobachtet. Anschließend werden in Freilandversuchen hydraulisch-technische und biologische Untersuchungen durchgeführt. Den herkömmlichen Rechensystemen, bestehend aus Rechen, Rechenreinigungsanlage und Entsorgungsinfrastruktur, soll das neue System kostenmäßig mindestens ebenbürtig sein. Da pro Jahr im Schnitt ca. zehn Rechenanlagen in Deutschland saniert werden, bestehen gute Aussichten für den Einsatz innovativer Techniken durch deutsche Unternehmen und für eine nachhaltige ökologische Verbesserung an Flusskraftwerken.

Im Erfolgsfall verhindert der „Intelligente Rechen“ das Eindringen aller Fische in die Turbinen und fördert sie in das Oberwasser des benachbarten Wehrfeldes, wo sie zusammen mit dem Treibgut durch periodisches Senken der Wehrverschlüsse ins Unterwasser gelangen. Fischschäden dürften damit der Vergangenheit angehören. Darüber hinaus werden Kosten für die Entsorgung von Treibgut vermieden. Das Verdriften der Fische in das nächste Wehrfeld ist das kostengünstigste Verfahren, Fische ins Unterwasser abzuleiten. Untersuchungen an Prototypen von Rollrechen in Kleinstanlagen lassen den Schluss zu, dass sich die Technik auf Großanlagen übertragen lässt, wenn die hydraulischen Verhältnisse und die Integration in bestehende Anlagen geklärt sind. Die gewonnenen Erkenntnisse können unabhängig von ihrem Nutzen für den „Intelligenten Rechen“ für verschiedene Schutzsysteme verwertet werden. Das Verbundvorhaben wird vom BMU/BMWi mit rund 711.000 Euro gefördert. ■



# Übergreifende Fragen der Energieforschung



**Die Energiewende hin zu einer Energieversorgung, die bis 2050 überwiegend auf Erneuerbaren Energien (EE) basieren soll, bedeutet für den gesamten Energiesektor einer der größten Volkswirtschaften der Welt einen grundlegenden Systemwechsel hin zu einem neuen, flexiblen Zusammenspiel aller Akteure auf der Angebots- und Nachfrageseite.**

Dieser Prozess braucht einerseits klare Rahmenbedingungen und andererseits Investitionssignale und Investitionssicherheit, um Fehlentscheidungen und Fehlinvestitionen zu vermeiden. Dabei können aber nicht alle notwendigen Maßnahmen und Herausforderungen auf dem Weg bis 2050 bereits heute vorhergesagt werden. Politik, Wirtschaft und Gesellschaft müssen insofern nicht nur mit einer hochkomplexen Materie, sondern gleichzeitig auch mit den Herausforderungen eines „lernenden Systems“ umgehen.

## **Schwerpunkte der Forschungsförderung vor dem Hintergrund der Markt- und Technologieentwicklung**

Die Forschungsförderung im Bereich der übergreifenden Fragen der Energieforschung lässt sich nicht direkt einem Marktgeschehen zuordnen, sondern trägt in einem umfassenden Sinn zur erfolgreichen Gestaltung der Energiewende als Ganzes bei. Das BMU/BMWi unterstützt dazu Forschungsvorhaben deren Fokus auf der Entwicklung

geeigneter politischer, rechtlicher, ökonomischer, sozialer und ökologischer Rahmenbedingungen liegt sowie auf der Ermittlung möglicher sinnvoller Anpassungen. Untersucht wird das Zusammenspiel aller gesellschaftlichen Kräfte, um die künftige Energieversorgung zu einem Energiesystem mit stetig wachsendem Anteil erneuerbarer Energien weiter zu entwickeln.

## **Strategie der Forschungsförderung**

Mit der „Bekanntmachung zur Förderung von Untersuchungen zu übergreifenden Fragestellungen im Rahmen der Gesamtstrategie zum weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien“ vom 02. August 2013 hat das BMU diese Thematik erneut aufgegriffen und die Forschungsarbeiten im Bereich der übergreifenden Fragestellungen verstetigt.

Schwerpunkte der Bekanntmachung sind im Wesentlichen Fragen der Energiewende als lernendem System, sektorübergreifende Betrachtungen zur Erreichung der Ziele des

**Photovoltaik, Windenergie und Biogas: Mit einer voranschreitenden Systemtransformation lösen sich die Grenzen zwischen den Sektoren Strom und Wärme zunehmend auf.**



Energiekonzepts, Möglichkeiten der Flexibilisierung des Gesamtsystems, sowie Untersuchungen von Herausforderungen beim Ausbau der erneuerbaren Energien im Wärmemarkt. Durch diese Bekanntmachung konnten etwa 40 Projektvorschläge eingeworben werden. 2013 wurden in diesem Bereich 16 Forschungsvorhaben im Umfang von rund 4 Millionen Euro neu bewilligt. Die Untersuchungen sozialer, ökologischer und ökonomischer Rahmenbedingungen im Rahmen der Förderung übergreifender Fragestellungen konnten 2013 mit einem Mittelabfluss von rund 4,6 Millionen Euro den Wert des Vorjahres übersteigen (2012: 3,8 Millionen Euro).

### Auswahl geförderter Projekte

An dieser Stelle werden einige vom BMU/BMWi geförderte Projekte im Bereich übergreifende Fragestellungen vorgestellt, die einen Einblick in die Umsetzung des zugrunde liegenden Konzepts geben. Ein weiteres Leuchtturmprojekt aus diesem Bereich ist außerdem im Kapitel „Highlights“ zu finden (siehe Seite 13).

### Intra- und interkommunale Kooperation als Schlüssel zur Energiewende

Wie können Kommunen die Energiewende vorantreiben und welche Rolle spielt dabei die Zusammenarbeit in und zwischen Städten und Gemeinden? Diesen Fragen widmet sich das Forschungsvorhaben **Intra- und interkommunale Kooperation als Schlüssel zur Energiewende**. In diesem Projekt werden die Potenziale der interkommunalen Kooperation zur Beschleunigung der Energiewende bei gleichzeitiger Förderung einer ganzheitlichen Regionalentwicklung untersucht. Hierbei werden sowohl intrakommunale Kooperationen, also zwischen Kommunen und externen Partnern, als auch interkommunale Zusammenarbeit zwischen zwei oder mehreren Kommunen analysiert.

In einem ersten Schritt haben die Forschungspartner Deutsche Umwelthilfe e. V. und Institut für Stoffstrommanagement (IfaS) der Hochschule Trier unterschiedliche Kooperationsformen in Kommunen und Landkreisen recherchiert und über 100 Kurzsteckbriefe mit den grundlegenden Parametern der jeweiligen Modelle erstellt.

Erste Zwischenergebnisse zeigen, dass die Kooperationsbereitschaft im Rahmen der Energiewende besonders für kleine und mittlere Stadt- und Gemein- (weiter auf S. 73)

## Räumliche Steuerung der erneuerbaren Energieerzeugung verbessern

**Ein wichtiger Aspekt für eine kosten- und energietechnisch optimierte Energieversorgung ist die Frage der räumlichen Verteilung von Erzeugungsanlagen. Energieerzeugung an „guten“ Standorten kann zwar die Energieausbeute erhöhen, aber auch zu Ungleichgewichten der räumlichen Beanspruchung und der Lastverteilung führen.**

Führt bereits die Integration fluktuierender Energieerzeugung zu einem beträchtlichen Netzausbaubedarf im Verteil- sowie im Übertragungsnetz, so erhöht gerade eine Kumulation der Erzeugung an verbrauchsfernen Standorten den Netzausbau zur Verteilung der Strommengen in die Verbrauchsgebiete. Es ist deshalb wichtig zu prüfen, mit welchen Mitteln das Gesamtsystem im Hinblick auf eine möglichst gleichmäßige Lastverteilung energietechnisch optimiert werden kann. Dabei müssen neben wirtschaftlichen Interessen zugleich die Raum- und Umweltverträglichkeit sowie die Interessen der Bevölkerung gewahrt werden.

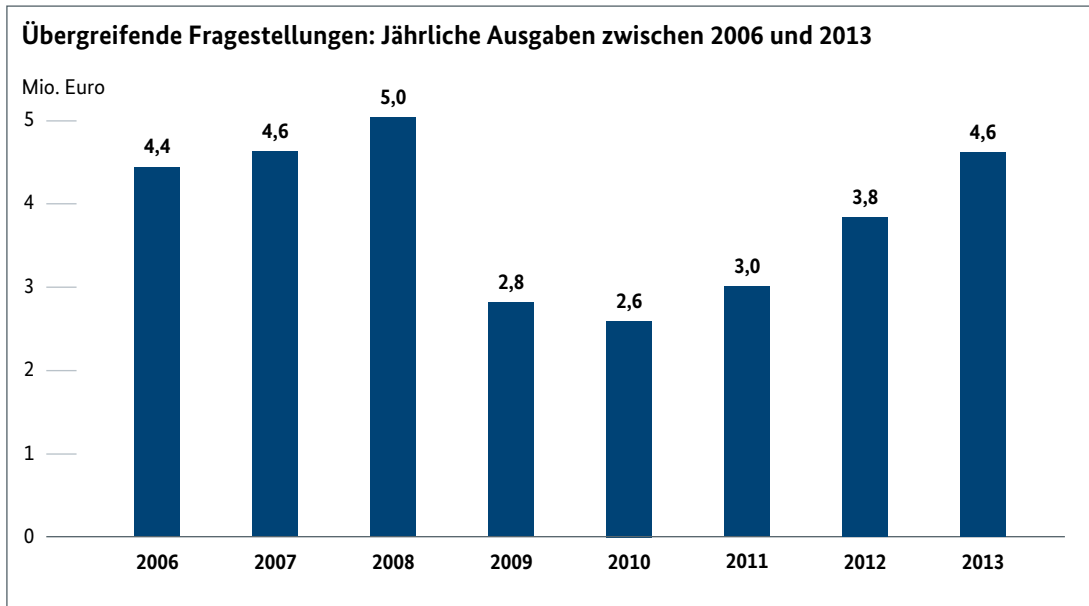
Doch mit welchen Instrumenten kann die räumliche Steuerung effektiv erreicht werden? Von Bedeutung sind hier zum einen die in Rechtsgrundlagen verankerten formellen und informellen Steuerungsanreize. Daneben stehen raumwirksam steuernde Pläne und Programme des Raumordnungs- und Baurechts. Zudem existieren einschlägige Fachkonzepte (z. B. Energiekonzepte) in den Bundesländern, die im Hinblick auf ihre Steuerungsinhalte und -wirkungen zu beurteilen sind. Besonders interessant ist dabei die Frage, welche Ausbauziele Länder und Regionen jeweils verfolgen und inwieweit diese gegenwärtig zu einer Abschwächung oder Verschärfung von Ungleichgewichten in Bezug auf die Ausbauposition des Bundes führen.

Einen wichtigen Beitrag zu diesen Fragestellungen leistet unter anderem das Projekt **IRSEE** – Instrumente für eine verbesserte räumliche Steuerung der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien. Hier untersuchen das Institut für nachhaltige Energie- und Ressourcennutzung (INER) und die Stiftung Umweltenergierecht, wie die regionale Verteilung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in einem föderalen System sowohl auf den einzelnen administrativen Ebenen als auch ebenenübergreifend beeinflusst werden kann. Eine zentrale Herausforderung betrifft die räumliche Verteilung der erneuerbaren Energien und deren Koordination mit dem Elektrizitätsversorgungssystem, insbesondere der bestehenden Leitungsinfrastruktur. Das Projekt arbeitet bestehende rechtliche Defizite sowie Ansatzpunkte für ihre Überwindung heraus. Analysiert werden standortsteuernde Wirkungen der Gesetze aus dem (Umwelt-) Energierecht und dem Raumordnungs- und Planungsrecht. Des Weiteren soll ein Vorgehen entwickelt werden, um die Ausbauplandaten der Bundesländer regelmäßig auf Bundesebene zusammenzufassen und transparent darzustellen. Die für eine effektive Steuerung notwendigen, bislang zerstreuten Daten, sollen zusammengeführt werden. So soll ein Beitrag zur Verbesserung der Datenlage für die Netzentwicklungsplanung geleistet werden. Damit werden die Voraussetzungen geschaffen, um die regionale Verteilung der Stromerzeugung aus regenerativen Erzeugungsanlagen an die Erfordernisse einer stabilen und effizienten Stromversorgung anzupassen.

**Die räumliche Verteilung von Erzeugungsanlagen ist ein wichtiger Aspekt für eine kosten- und energietechnisch optimierte Energieversorgung.**







dewerke zunehmend zu einer Frage der eigenen Geschäftsgrundlage werden könnte und nicht allein eine Wahlmöglichkeit. Die Bereitschaft zur Kooperation folgt hierbei eher vorhandenem Kostendruck als der Überzeugung, durch das gezielte Vorantreiben der Energiewende die eigene wie die regionale Wertschöpfung zu stärken und eine ökologisch sinnvolle Energieerzeugung für die Kunden in der Region bereitstellen zu können.

Nach Auswertung der bestehenden Kooperationsmodelle werden 20 Modelle ausgewählt und detaillierter analysiert. Darauf aufbauend erarbeiten die Forscher Empfehlungen für eine effizientere, ökologisch wie ökonomisch nachhaltig ausgerichtete Energiewende. Die Empfehlungen werden aus sechs „Muster-Kooperationsmodellen“ hergeleitet und hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf ähnliche Kooperationsfälle verifiziert. Die Ergebnisse der Studie sollen im Herbst 2015 in Form eines Forschungsberichts und einer Handlungsanleitung für kommunale Praktiker veröffentlicht werden und können einen wichtigen Impuls für den politischen und wirtschaftlichen Gestaltungsprozess der Energiewende auf Ebene der Kommunen liefern.

Das Projekt wird vom BMU/BMWi mit rund 1,2 Millionen Euro gefördert.

### Konkurrenzen und Synergien zwischen Wärme und Strom

Im Zuge der Energiewende gewinnen dezentrale Versorgungsstrukturen zunehmend an Gewicht, verbunden mit neuen technischen und ökonomischen Zielsetzungen. Mit einer voranschreitenden Systemtransformation lösen sich dabei die Grenzen zwischen den Sektoren Strom, Wärme und Mobilität zunehmend auf. Damit ergibt sich auf regionaler Ebene die Notwendigkeit, die Lastverläufe für Wärme und Strom sowie die Erzeugungszeitreihen erneuerbarer

Energien unter Einsatz von thermischen Speichern und in Hinblick auf die regionale Netzbelastung aufeinander abzustimmen. Eine überwiegende oder vollständige erneuerbare Energieversorgung von Regionen sollte infolgedessen für die Sektoren Wärme, Strom und Mobilität gemeinsam entwickelt werden.

In dem Projekt **Synergien** untersucht das Institut dezentrale Energietechnologien gGmbH (IdE) Chancen und Herausforderungen bei der Umsetzung der Energiewende in den Regionen mit dem Fokus auf Konkurrenzen und Synergien zwischen den Sektoren Strom und Wärme. Für die Masterplanregionen Landkreis Osnabrück und Landkreis Marburg-Biedenkopf werden exemplarisch die Wechselwirkungen zwischen Wärme und Strom analysiert und geeignete Szenarien entwickelt, in denen Konkurrenz- und Synergiesituationen erfasst werden. Der Ist-Zustand und die verschiedenen Varianten zur Kombination von Strom und Wärme werden im Modell abgebildet. Die entwickelten Szenarien werden anschließend technisch, wirtschaftlich und ökologisch bewertet, um regionale Wertschöpfungseffekte zu ermitteln. Für unterschiedliche Nutzungspfade wird analysiert, welche Technologiepfade vorteilhaft sind und welche Synergien sich durch unterschiedliche Technologie-Kombinationen erreichen lassen.

Durch die Nutzung konkreter Daten aus den untersuchten Masterplanregionen werden realitätsnahe Modelle erzeugt, die belastbare Grundlagen für Planungsvorhaben in den Regionen liefern sollen. Gleichzeitig bieten diese Modelle aber auch wichtige Hinweise für die Verbesserung der Systemstruktur einer dezentralen Versorgung durch erneuerbare Energien auf regionaler Ebene. Auf Basis dieser Ansätze erfolgt eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Regionen. Das BMU/BMWi fördert das Projekt Synergien mit rund 530.000 Euro. ■



# Internationale Zusammenarbeit

Die Entwicklung hin zu einer nachhaltigeren Energieproduktion setzt nicht nur in Deutschland und Europa technologische Innovationen voraus. Ziel ist vielmehr, erneuerbare Energien auch weltweit voranzubringen und ihr Potenzial für den Klima- und Umweltschutz zu realisieren. Durch internationale Kooperationen können deutsche Unternehmen und Forschungseinrichtungen mit ihrer langjährigen Erfahrung im Bereich der erneuerbaren Energien wesentlich zu Erkenntnisprozessen im Ausland beitragen und ihre Exportchancen verbessern. Außerdem erhalten sie umgekehrt Einblick in technologische Fortschritte und Marktentwicklungen anderer Länder. Das BMU/BMWi ist in die internationale Zusammenarbeit eng eingebunden und beteiligt sich an verschiedenen Initiativen, teilweise vertreten durch den Projektträger Jülich (PtJ).

## SET-Plan

Mit dem European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan) verfolgt die Europäische Union eine Förderstrategie, die kohlenstoffemissionsarme Energietechnologien in naher Zukunft erschwinglich und wettbewerbsfähig machen soll. Der 2008 verabschiedete Plan soll einen gemeinsamen Rahmen schaffen, um Entwicklungen im Bereich der Energietechnologien sowohl auf nationaler als auch auf EU-Ebene zusammenzuführen. Damit soll unter industrieller Führung die Entwicklung von Energietechnologien beschleunigt werden, um die für 2020 vereinbarten Klimaziele, insbesondere die Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um 20 Prozent bis 2020, erreichen zu können.

Zur Umsetzung des SET-Plans wurden unter anderem technologiespezifische European Industrial Initiatives (EII) etabliert, in denen Industrie, Forschung, Mitgliedsstaaten und europäische Kommission zusammenkommen. Das BMU/BMWi, vertreten durch den Projektträger Jülich, unterstützt die EII-Initiativen zu Windenergie und Solarenergie (Photovoltaik und solarthermische Kraftwerke) sowie die Europäische Technologieplattform Windenergie.

## Solar Electricity Industrial Initiative

Die Solar Electricity Industrial Initiative (SEII) befasst sich mit Forschung und Entwicklung zu Photovoltaik (PV) sowie zu solarthermischen Kraftwerken. Sie verfolgt das Ziel, die wirtschaftliche Forschung und Innovation innerhalb der EU-Mitgliedsstaaten sowie der europäischen

Industrie und Wissenschaft zu koordinieren und somit Entwicklung und Einsatz der Solartechnologie zu beschleunigen. Alle drei Jahre wird ein Implementierungsplan veröffentlicht, der die mittelfristigen Aktionsfelder und Prioritäten nennt. Übergreifendes Ziel ist es, Photovoltaik als saubere, wettbewerbsfähige und nachhaltige Energietechnologie mit einem Anteil von 12 Prozent an der europäischen Stromerzeugung bis 2020 zu etablieren. Der aktuelle Plan umfasst den Zeitraum 2013 bis 2015 und legt den Fokus auf den Wandel des PV-Sektors und damit einhergehende Herausforderungen für die europäische PV-Industrie. Die konkreten Ziele des Plans sind in folgende drei Hauptkategorien unterteilt: Wirkungsgradsteigerung und Kostenreduktion, Qualitätssicherung, Langzeitbeständigkeit und Nachhaltigkeit sowie Integration in das Elektrizitätsnetz. Innerhalb dieser Schwerpunkte werden konkrete Einzelziele für die unterschiedlichen Technologien und Themen genannt.

## Europäische Windenergie-Initiative

Die Europäische Windenergie-Initiative EWI hat ein Budget von sechs Milliarden Euro, das zur Hälfte von der Industrie gestellt wird. Sie verfolgt folgende Ziele: Europas technologische Führung auf dem Gebiet der Windenergie gewährleisten, die Onshore-Windenergienutzung bis 2020 zu einer voll wettbewerbsfähigen Energiequelle entwickeln (Offshore bis 2030) sowie bis 2020 einen Anteil der Windenergie von 20 Prozent an der europäischen Stromversorgung erreichen. Bei der Umsetzung der Initiative wird die Europäische Kommission von der Europäischen Technologieplattform Windenergie (TP Wind) beraten – einem Netzwerk von Experten und Entscheidungsträgern. Sie spielt bei der Umsetzung des SET-Plan-Prozesses eine entscheidende Rolle. PtJ arbeitet im Auftrag des BMU/BMWi im Advisory Board der TP-Wind mit. Die Technologieplattform wird von der Europäischen Kommission gefördert und von der Europäischen Windenergie-Agentur geleitet.

## ERA-NET

Ziel der ERA-NETs (European Research Area-Networks) ist es, die Zusammenarbeit zwischen nationalen und regionalen Forschungsförderinstitutionen zu fördern und zu koordinieren. Nationale Förderprogramme sollen so besser aufeinander abgestimmt und in transnationalen Kooperationsprojekten gemeinsam umgesetzt werden. Geschaffen werden soll eine engere inhaltliche Verzahnung zwischen nationalen

und europäischen Förderschwerpunkten, um die wissenschaftliche Kompetenz Europas zu bündeln und Synergien freizusetzen. Adressaten sind Ministerien und Forschungsförderorganisationen, die nationale und regionale Programme themenbezogen gemeinsam gestalten.

Mit dem ERA-NET Plus wurde das ERA-NET-Programm im 7. EU-Forschungsrahmenprogramm weiterentwickelt: Die Europäische Kommission unterstützt durch zusätzliche Mittel bereits bestehende ERA-NETs bei der Ausschreibung themenspezifischer transnationaler Programme: die Förderorganisationen erhalten neben den Mitteln für die Administration der Programme auch zusätzliche Mittel für die Projektförderung selbst.

### Geothermal ERA-NET

In der Geothermie hat im Mai 2012 ein ERA-NET mit neun Teilnehmerstaaten begonnen. Im Auftrag des BMU/BMWi beteiligt sich PtJ als Mitglied an diesen Aktivitäten und leitet das Arbeitspaket „Entwicklung gemeinsamer Aktivitäten (Development of Joint Activities)“. Ziel des Projektes ist die verstärkte Kooperation zwischen europäischen Behörden und Ministerien für eine effektive Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Das ERA-NET umfasst sowohl technische wie auch nicht-technische Themen, welche die geothermische Energiegewinnung betreffen.

Während der vierjährigen Laufzeit ist auch eine Kooperation mit dem EERA Joint Programm zu geothermischer Energie geplant, das durch Forschung und Entwicklung die Ausbauziele für erneuerbare Energien in 2020 und darüber hinaus in den EU-Mitglieds- und assoziierten Staaten unterstützt. Eines der Ziele des Geothermal ERA-NET ist die Vorbereitung des Aufbaus einer europäischen Geothermie-Datenbank, über die Informationen zu rechtlichen und regulatorischen Aspekten, politischen Zielsetzungen, Maßnahmen, Institutionen sowie Forschungsprojekten ausgetauscht werden können.

### Solar ERA-Net

Um die gemeinsamen Ziele der oben genannten SEII-Initiative zu erreichen, hat die Europäische Kommission Ende 2012 das Solar ERA-Net bewilligt. Das Projekt soll bis 2016 im Rahmen des 7. Forschungsrahmenprogramms laufen. Für das BMU/BMWi ist PtJ zusammen mit rund 20 Vertre-

tern europäischer Ländern und Regionen Mitglied des Solar-ERA-NET und leitet das Arbeitspaket Entwicklung gemeinsamer Aktivitäten (Joint Calls and other Joint Activities). Eine erste gemeinsame Förderbekanntmachung zu Photovoltaik sowie zu solarthermischen Kraftwerken wurde im März 2013 veröffentlicht, ausgestattet mit einem Förder volumen von insgesamt rund 12 Millionen Euro. Bei mehr als der Hälfte der 60 eingereichten Projektvorschläge sind deutsche Unternehmen oder Forschungseinrichtungen beteiligt. Nach zwei Auswahlrunden sind insgesamt neun Projekte zur Förderung vorgesehen, davon vier mit Partnern, die vom BMU/BMWi gefördert werden. Die ersten Projekte starten im Frühjahr 2014.

### Internationale Energieagentur

Ein Schwerpunkt der internationalen Forschungskooperation der Bundesregierung im Bereich der erneuerbaren Energien liegt auf Arbeiten im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA), der wesentlichen Kooperationsplattform zur Erforschung, Entwicklung, Markteinführung und Anwendung von Energietechnologien weltweit. Ihre 28 Mitgliedsstaaten arbeiten über Kooperationsvereinbarungen zu einzelnen Technologien, den Implementing Agreements (IA), in Projekten zusammen. Die Bundesregierung unterstützt die Arbeiten durch direkte und aktive Mitarbeit von Experten aus Ministerium oder Projektträger, durch Finanzierung von Jahresbeiträgen für die deutsche Teilnahme an den Tasks oder durch die Förderung von beteiligten Forschern im Rahmen von Projekten. Im Bereich Erneuerbare Energien engagiert sie sich in folgenden Implementing Agreements:

- ▶ IEA Wind (Implementing Agreement for Co-Operation in the Research, Development and Deployment of Wind Energy Systems)
- ▶ PVPS (Photovoltaic Power System Programme)
- ▶ GIA (Geothermal Implementing Agreement)
- ▶ SHC (Solar Heating and Cooling)
- ▶ Solar PACES (Solar Power and Chemical Energy Systems)
- ▶ OES (Ocean Energy Systems)
- ▶ RETD (Renewable Energy Technology Deployment) ■

# Fünf Jahre Förderprogramm Energetische Biomassenutzung

Bereits seit fünf Jahren fördert das Bundesumweltministerium im Bereich Bioenergie das Programm Förderung von Forschung und Entwicklung zur klimaeffizienten Optimierung der energetischen Biomassenutzung. 2011 wurde es im Kontext der zukünftigen Herausforderungen einer flexiblen Energieversorgung, einer nachhaltigen Rohstoff- und Ressourcennutzung sowie der Klimaschutzziele und der Rahmenseetzungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) neu ausgerichtet. Im Programm werden insbesondere Pilot- und Demonstrationsvorhaben sowie Studien zur Erprobung und Validierung von zukunftsweisenden Bioenergie-technologien, Anlagenkonzepten und Strategieentwicklungen für eine nachhaltige und effiziente Erzeugung der Bioenergieträger Strom und Wärme gefördert.

Im Fokus stehen Ansätze und Projekte mit hoher Effizienz oder hohen Kohlendioxid-Reduktionswirkungen, zur Substitution fossiler Energieträger, hohen Verstromungswirkungsgraden bei gleichzeitiger Wärmenutzung, zur Erhöhung der Brennstoff- und Substratflexibilität oder auch zur Regelbarkeit für eine bedarfsgerechte Stromerzeugung. Im Vordergrund steht dabei weiterhin die Erschließung von land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen sowie biogenen Rest- und Abfallstoffen gemäß der Biomasseverordnung.

Das Programm ist von 2009 bis 2015 mit einem Mittelvolumen von 48 Millionen Euro ausgestattet. Bisher wurden 90 Verbundprojekte mit insgesamt rund 41,6 Millionen Euro gefördert. Im Jahr 2013 haben 13 neue Verbünde, insbesondere als Pilot- und Demonstrationsvorhaben, mit einem Volumen von rund 5,9 Millionen Euro begonnen. Bisher wurden insgesamt 14 Vorhaben erfolgreich abgeschlossen. Für die wissenschaftliche Begleitung, Vernetzung und Öffentlichkeitsarbeit zum Förderprogramm ist die Programmbegleitung verantwortlich, welche am Deutschen Biomasseforschungszentrum (DBFZ) angesiedelt ist.

Konkret wird beispielsweise in Biogasanlagen untersucht, wie vorhandene Reststoffe systematisch und effizient verfügbar gemacht werden können. Darüber hinaus beschäftigen sich fünf der neu gestarteten Projekte mit den innovativen Möglichkeiten der Flexibilisierung von Biogasanlagen durch die Steuerung bedarfsgerechter Biogasproduktion. Aber auch die bedarfsangepasste energetische Nutzung von Biomasse in der Vergasung und der Verbrennung stellen einen Schwerpunkt der diesjährigen Bewilligungsrunde dar. Ganz speziell untersucht man hier den Einsatz torrefizierter Brennstoffe und Stroh in dezentralen Anlagen und in Kraft-Wärme-Kopplung. Bei der Optimierung der energetischen Nutzung von fester





Biomasse liegt das Augenmerk auf der Feinstaubminderung von Abscheidern für kleinere Biomassefeuerungen.

Als beispielhaftes Highlight-Projekt, ist die Entwicklung einer innovativen Demonstrationsanlage zur Herstellung von hochwertigen Brennstoffen aus Bioabfällen durch hydrothermale Carbonisierung (HTC) hervorzuheben, die durch die Hallesche Wasser und Stadtwirtschaft GmbH (HWS) gemeinsam mit dem DBFZ im Sommer 2013 eingeweiht wurde. Entwickelt und hergestellt wurde die Anlage durch die Firma Artec Biotechnologie GmbH aus Bad Königshofen. Der Einsatz von HTC-Kohle, die mit ihren Brennstoffeigenschaften weitgehend jenen von Braunkohle entspricht, besitzt ein bedeutendes Potenzial zur Minderung klimaschädlicher Emissionen. Künftig sollen nun jährlich 2.500 Tonnen biogene Reststoffe aus der Region Halle (Saale) wirtschaftlich in Biobrennstoff umgewandelt werden. Gefördert wurde die Errichtung der Anlage mit 514.000 Euro aus dem Förderprogramm Energetische Biomassenutzung.

Weitere Höhepunkte waren zum einen die Erprobung und Entwicklung einer mobilen Biogas-Versuchsanlage einschließlich Sensorik und Software zur Prozesskontrolle, durch das Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik e. V. zusammen mit dem TEB Ingenieurbüro, der CORDES + WINTERBERG GbR und der elbe bioenergie GmbH. Mit der Anlage können Biogasprozesse unter realen Bedingungen getestet und deren Effizienz und Betriebssicherheit gesteigert werden. Perspektivisch soll die mobile Anlage auch externen Biogasanlagenbetreibern, Ausbildungs- bzw. Forschungseinrichtungen und anderen Interessenten zugänglich gemacht werden.

Durch das Forschungsprojekt „Biodiversität und Energieholz“ der Naturstiftung David konnte anhand konkreter Pflegemaßnahmen in Naturschutzgebieten aufgezeigt werden, wie die Nutzung erneuerbarer Energien und der Schutz der Natur verknüpft werden können. Die Ergebnisse wurden auf der Abschlussveranstaltung im September 2013 mit rund 70 Fachleuten aus Politik, Forschung und Verwaltung im Thüringer Landtag diskutiert.

Unter dem Motto „Wege zur effizienten Bioenergie“ feierte das Förderprogramm, mit mehr als 200 Teilnehmern, im November sein fünfjähriges Jubiläum im Rahmen einer Statuskonferenz in Leipzig. Hier stellten Wissenschaftler und Anwender ausgewählte Ergebnisse zur Effizienz und zur Nachhaltigkeit von Bioenergie vor und diskutierten diese intensiv. Fokussiert auf die Nutzung von Reststoffen

unter Anwendung ökonomisch und ökologisch sinnvoller Verfahren thematisierten die Vorträge sowohl die Emissionsminderung in Kleinfeuerungsanlagen als auch die Flexibilisierung und Verfahrensoptimierungen von Biogasanlagen. Darüber hinaus wurden die Fortschritte bei Verbrennungs- und Vergasungstechnologien sowie bei der flexiblen Bioenergiebereitstellung vorgestellt.

2013 präsentierte das Förderprogramm im Rahmen seiner Schriftenreihe vier neue Veröffentlichungen zur Bioenergieforschung. In zwei Abschlusspublikationen werden innovative Ansätze der Projekte zur Verwertung von biogenen Festbrennstoffen und alternative Verfahren zur Herstellung von Biokraftstoffen aus Reststoffen vorgestellt. Mit der Publikation „Grünlandenergie“ geben die Projektpartner des Vorhabens „Grünlandenergie Havelland“ basierend auf ihren Forschungsergebnissen Praxishinweise für die Entwicklung von gras- und schilfbasierten Nutzungskonzepten zur Energiegewinnung. Zudem erschien das Methodenhandbuch zur stoffstromorientierten Bilanzierung der Klimagaseffekte als Ergebnis der Arbeitsgruppen von Teilnehmern des BMU-Förderprogramms in aktualisierter Auflage. Einige der Publikationen stehen online zur Verfügung: <http://www.energetische-biomassenutzung.de/de/downloads/veroeffentlichungen.html> ■





# Forschungsförderung anderer Ministerien mit Bezug zu erneuerbaren Energien

## Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

Durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) werden im Bereich der erneuerbaren Energien Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe sowie von Rest- und Koppelprodukten der land- und forstwirtschaftlichen Produktion in Deutschland gefördert. Dabei werden Forschungsvorhaben zur Erzeugung, Konversion und Nutzung von Biomasse für energetische Zwecke unterstützt.

Der überwiegende Teil der Förderung der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe durch das BMEL erfolgt über das bereits seit 1993 bestehende Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe, es stehen aber auch Mittel aus dem Sondervermögen Energie- und Klimafonds (EKF) bereit, um zusätzliche Forschungsvorhaben zu realisieren. Ziele der Förderung sind eine nachhaltige Rohstoff- und Energiebereitstellung, eine Entlastung der Umwelt durch den Schutz wertvoller Ressourcen, besonders umweltverträgliche Produkte und die Verminderung von Kohlendioxid-Emissionen sowie die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Land- und Forstwirtschaft. Aus dem Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe werden neben der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe auch Maßnahmen im Bereich der stofflichen Nutzung sowie der Öffentlichkeitsarbeit gefördert.

Durch den Bundeshaushalt wurden im Jahr 2013 für die Umsetzung des Förderprogramms Nachwachsende Rohstoffe 60 Millionen Euro zur Verfügung gestellt (2012: 59 Millionen Euro). Der Mittelansatz der Förderung im Jahr 2013 entfällt wie im Vorjahr zu rund 47 Prozent auf Vorhaben der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, zu rund 38 Prozent auf die stoffliche Nutzung und zu rund 15 Prozent auf Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit.

Zusätzliche Förderschwerpunkte im Bereich Bioenergie konnten mit der Bereitstellung von Mitteln aus dem Energie- und Klimafonds (EKF) eingerichtet werden. Im Jahr 2013 standen aus dem EKF 10,7 Millionen Euro zur Verfügung.

Die im Jahre 2013 im Bereich energetische Nutzung von Biomasse verausgabten Fördermittel verteilten sich auf den Bereich Züchtung und Anbau von Energiepflanzen mit

42 Prozent (Vorjahr: 39,9 Prozent), den Bereich flüssige Bioenergieträger mit 25,2 Prozent (Vorjahr: 28,2 Prozent), den Bereich gasförmige Bioenergieträger mit 17,2 Prozent (Vorjahr: 15 Prozent), den Bereich Umweltwirkungen und sonstige Bioenergieprojekte 11,7 Prozent (Vorjahr: 8,7 Prozent) sowie den Bereich feste Bioenergieträger mit 3,4 Prozent (Vorjahr: 8,3 Prozent). Flankierend zu den genannten Bereichen werden Forschungsthemen zu ökonomischen und ökologischen Fragestellungen der Biomassenutzung unterstützt, wobei unter anderem Marktentwicklungen, volkswirtschaftliche Auswirkungen, Umwelt- und Klimawirkungen sowie Zertifizierungssysteme zur Gewährleistung ökologischer, sozialer und ökonomischer Nachhaltigkeit untersucht bzw. entwickelt werden. Seit 2012 werden im Bereich der energetischen Nutzung drei Vorhaben zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in Form von Nachwuchsgruppen unterstützt.

## Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Der Schwerpunkt der Projektförderung des BMBF im Bereich erneuerbare Energien ist auf grundlegende Fragestellungen ausgerichtet. Grundlagenwissen und -forschung stellen einen entscheidenden Beitrag zur Steigerung der Innovationsfähigkeit der Energiebranche in Deutschland dar. Über das Jahr 2013 wurden knapp 673 Vorhaben mit rund 152 Mio. Euro im Zuge der Projektförderung vom BMBF gefördert.

Ein besonderer Schwerpunkt wird auch weiterhin auf die Bewältigung der Aufgaben im Zusammenhang mit der Energiewende gelegt. So wurde 2013 unter Federführung des BMBF die Dialogplattform „Forschungsforum Energiewende“ ins Leben gerufen, die den Agendaprozess innerhalb der Energieforschung maßgeblich beeinflussen soll. Unter Einbindung aller führenden Wissenschafts- und Forschungsinstitutionen sollen Handlungsoptionen aufgezeigt, Handlungsempfehlungen ausgesprochen und die Umsetzung in der Forschung angestoßen werden. Ebenfalls in Zusammenhang mit der Energiewende stehen die neuen Förderinitiativen „Zukunftsfähige Stromnetze“ und „Materialforschung für die Energiewende“, die 2014 und 2015 in die Förderphase übergehen werden. Die Förderinitiative „Transformation des Energiesystems“ trat Anfang 2013 in die Förderphase ein. Über 90 Vorhaben mit einem Gesamtfördervolumen von rund 30 Mio. Euro wurden bis Ende 2013 darin bewilligt. Im Feld der Photovoltaikforschung



wurde Mitte 2013 die Förderinitiative „FuE für Photovoltaik“ mit dem Ziel einer gesteigerten Wettbewerbsfähigkeit der deutschen PV-Industrie gestartet. 50 Mio. Euro werden von BMBF und BMU/BMWi gemeinsam zur Verfügung gestellt. Mit dem Ziel öffentlich-private Partnerschaften stärker zu unterstützen, wurden 2013 im Rahmen der Förderinitiative „Forschungscampus“ außerdem zwei neue Verbundvorhaben, die die Themenfelder Elektrische Netze, Elektromobilität und Energie in der Stadt adressieren, vom BMBF gefördert.

Im Jahr 2013 wurde zudem die ressortübergreifende „Speicherinitiative“ fortgeführt, um Technologiesprünge zu fördern, Kosten zu senken und die Marktreife von Speichern zu ermöglichen. Im Rahmen dieser Maßnahme förderte das BMBF 2013 fast 80 Vorhaben mit knapp 20 Mio. Euro. Ferner wurde der Wettbewerb „Energieeffiziente Stadt“ fortgesetzt. Für den Zeitraum bis 2017 sind über 40 Einzelprojekte mit insgesamt 28 Mio. Euro bewilligt worden.

Die Fördermaßnahme „Bioenergie 2021“ setzt bereits seit 2008 wichtige Impulse im Bereich der nachhaltigen Bioenergienutzung. Für den Zeitraum von 2008 bis 2014 stellt das BMBF rund 70 Mio. Euro für zahlreiche Verbundvorhaben zur Verfügung. In der aktuellen Förderinitiative „BioProfi (Bioenergie – Prozessorientierte Forschung und Innovation)“ sind bis Ende 2013 knapp 60 Projekte mit über 35 Mio. Euro bewilligt worden. Ziel der Initiative ist die technologische Weiterentwicklung von bestehenden Verfahren, insbesondere im Hinblick auf Ressourcen-

effizienz und Nachhaltigkeit von Biomasse (Bioenergie der zweiten Generation). Vor dem Hintergrund einer möglichen Entlastung des Stromnetzes steht außerdem die Methanisierung im Fokus der Forschungsbemühungen.

Ferner wurden 2013 die „Innovationsallianz Photovoltaik“, das „Spitzencluster Solarvalley Mitteldeutschland“ und die Förderinitiative „Organische Elektronik (OPV)“ fortgeführt. Letztere war Ende 2012 mit der Förderung von Nachwuchsgruppen gestartet und unterstützt die deutsche Solarindustrie im Transformationsprozess und der Entwicklung von wettbewerbsfähigen Solartechnologien von Morgen.

Neben konkreten Fördermaßnahmen im Rahmen der Projektförderung setzt sich das BMBF zudem für eine verbesserte Transparenz der deutschlandweiten Energieforschung und der Allokation von Forschungsgeldern ein. Aus diesem Grund wurde 2013 die Landkarte der Energieforschung entwickelt, die Daten der institutionellen Forschungseinrichtungen sowie der Fachhochschulen und Universitäten anschaulich aufbereitet und so Kompetenzzentren einzelner Forschungsschwerpunkte für die Öffentlichkeit sichtbar macht.

### Institutionelle Förderung

Im Rahmen der institutionellen Förderung wurden 2013 aus Mitteln des BMBF für die Fraunhofer-Gesellschaft 91,5 Millionen Euro (Soll) und für die Helmholtz-Gemeinschaft 49,6 Millionen Euro (Soll) zur Verfügung gestellt. ■

# Wichtige Links

**[www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

**[www.bmel.de](http://www.bmel.de)**

Bundesministerium für Ernährung und  
Landwirtschaft

**[www.bmub.bund.de](http://www.bmub.bund.de)**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit

**[www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)**

Bundesministerium für Bildung und Forschung

**[www.bmwi.de/go/energieforschung](http://www.bmwi.de/go/energieforschung)**

Energieforschung des BMWi

**[www.ptj.de/erneuerbare\\_energien](http://www.ptj.de/erneuerbare_energien)**

Geschäftsbereich Erneuerbare Energien des  
Projektträgers Jülich

**[www.forschungsjahrbuch.erneuerbare-energien.de](http://www.forschungsjahrbuch.erneuerbare-energien.de)**

Datenbank aller vom BMWi geförderten Vorhaben  
im Bereich Erneuerbare Energien

**[www.foerderinfo.bund.de](http://www.foerderinfo.bund.de)**

Förderberatung Forschung und Innovation  
des Bundes

**[www.foerderdatenbank.de](http://www.foerderdatenbank.de)**

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

**[www.foederkatalog.de](http://www.foederkatalog.de)**

Datenbank des Bundes über die von der  
Bundesregierung geförderten Projekte

**[forschung-energiespeicher.info](http://forschung-energiespeicher.info)**

Förderinitiative Energiespeicher von  
BMU/BMWi und BMBF

**[www.innovationsallianz-photovoltaik.de](http://www.innovationsallianz-photovoltaik.de)**

Von BMU/BMWi und BMBF geförderte  
Innovationsallianz Photovoltaik

**[www.eneff-waerme.info](http://www.eneff-waerme.info)**

Forschung für Energieeffizienz

**[www.rave-offshore.de](http://www.rave-offshore.de)**

RAVE-Forschungsinitiative

**[www.dsttp.org](http://www.dsttp.org)**

Deutsche Solarthermie-Technologieplattform

**[www.bine.info](http://www.bine.info)**

BINE Informationsdienst zu Energieeffizienz  
und Erneuerbare Energien

**[www.horizont2020.de](http://www.horizont2020.de)**

Rahmenprogramm der EU für Forschung  
und Innovation

**[www.windplatform.eu](http://www.windplatform.eu)**

Europäische Windenergieinitiative (EWI)

**[www.eupvplatform.org](http://www.eupvplatform.org)**

Solar Electricity Industrial Initiative (SEII)

**[www.solar-era.net](http://www.solar-era.net)**

Solar ERA-Net im Rahmen der Solar Electricity  
Industrial Initiative

**[www.iea.org](http://www.iea.org)**

Internationale Energieagentur (IEA)

# Statistischer Überblick

| Neu bewilligte Projekte       |            |                |              |            |                |              |
|-------------------------------|------------|----------------|--------------|------------|----------------|--------------|
|                               | 2012*      |                |              | 2013*      |                |              |
|                               | Anzahl     | 1.000 EUR      | Anteil in %  | Anzahl     | 1.000 EUR      | Anteil in %  |
| Photovoltaik                  | 85         | 68.342         | 23,6         | 43         | 36.197         | 22,7         |
| Wind                          | 84         | 93.157         | 32,2         | 46         | 37.340         | 23,4         |
| Geothermie                    | 37         | 21.418         | 7,4          | 14         | 20.615         | 12,9         |
| Niedertemperatur-Solarthermie | 29         | 9.981          | 3,4          | 23         | 9.945          | 6,2          |
| Solarthermische Kraftwerke    | 32         | 20.723         | 7,2          | 18         | 8.661          | 5,4          |
| SystEEm                       | 80         | 65.571         | 22,6         | 73         | 38.519         | 24,1         |
| Sonstiges                     | 23         | 10.513         | 3,6          | 26         | 8.476          | 5,3          |
| <b>Summe</b>                  | <b>370</b> | <b>289.705</b> | <b>100,0</b> | <b>243</b> | <b>159.753</b> | <b>100,0</b> |

|                               | Laufende Projekte 2013 |                | Abgeschlossene Projekte 2013 |                |
|-------------------------------|------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
|                               | Anzahl                 | 1.000 EUR      | Anzahl                       | 1.000 EUR      |
| Photovoltaik                  | 240                    | 210.060        | 64                           | 55.077         |
| Wind                          | 213                    | 214.307        | 26                           | 19.240         |
| Geothermie                    | 122                    | 90.641         | 27                           | 16.202         |
| Niedertemperatur-Solarthermie | 88                     | 38.527         | 21                           | 8.662          |
| Solarthermische Kraftwerke    | 70                     | 43.836         | 14                           | 5.449          |
| SystEEm                       | 201                    | 157.276        | 28                           | 22.665         |
| Sonstiges                     | 63                     | 42.677         | 13                           | 23.545         |
| <b>Summe</b>                  | <b>997</b>             | <b>797.324</b> | <b>193</b>                   | <b>150.840</b> |

|                               | Mittelabfluss (1.000 EUR) |                |                |                | Durchschnitt<br>2010–2013 | Durchschnittlicher<br>Anteil in % |
|-------------------------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|-----------------------------------|
|                               | 2010                      | 2011*          | 2012*          | 2013*          |                           |                                   |
| Photovoltaik                  | 39.087                    | 38.827         | 51.667         | 48.725         | 44.577                    | 30,2                              |
| Wind                          | 36.774                    | 44.013         | 38.451         | 52.634         | 42.968                    | 29,1                              |
| Geothermie                    | 9.889                     | 11.599         | 20.816         | 17.104         | 14.852                    | 10,1                              |
| Niedertemperatur-Solarthermie | 8.371                     | 6.451          | 7.965          | 8.399          | 7.797                     | 5,3                               |
| Solarthermische Kraftwerke    | 5.841                     | 6.058          | 7.574          | 8.459          | 6.983                     | 4,7                               |
| SystEEm                       | 11.332                    | 12.819         | 15.061         | 34.974         | 18.547                    | 12,6                              |
| Sonstiges                     | 8.908                     | 9.631          | 12.940         | 15.745         | 11.806                    | 8,2                               |
| <b>Summe</b>                  | <b>120.202</b>            | <b>129.398</b> | <b>154.474</b> | <b>186.040</b> | <b>147.529</b>            | <b>100,0</b>                      |

\* inkl. Mittel aus dem Energie- und Klimafonds



