

Wir erforschen:

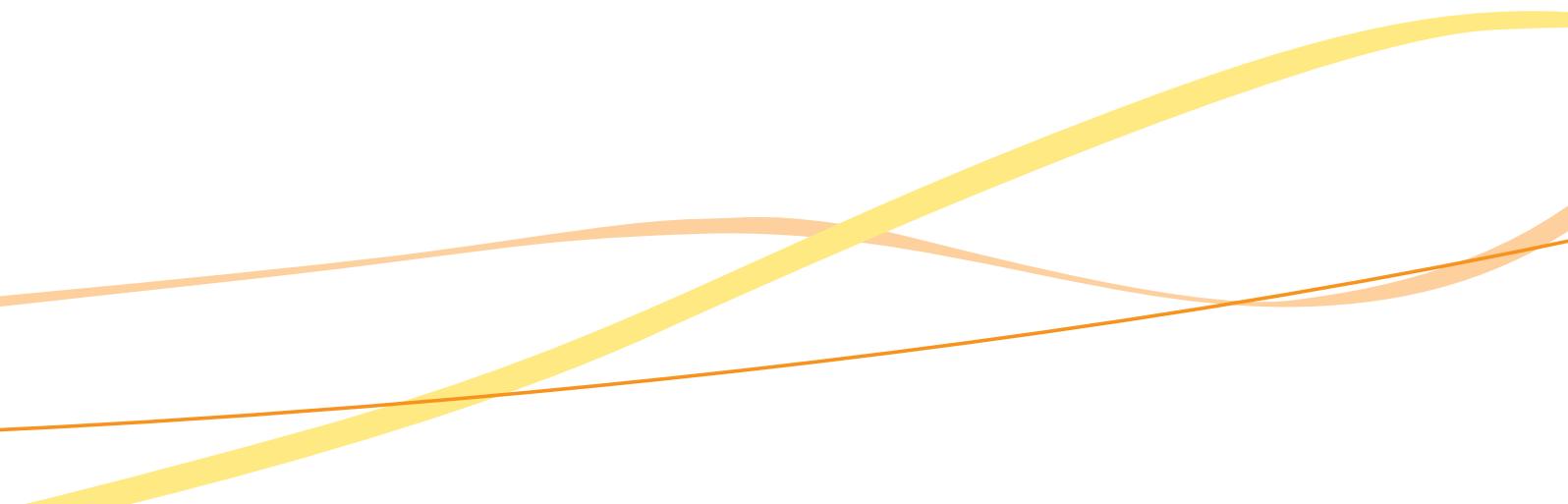
# Energie





Wir erforschen:  
**Energie**







## Grußwort

Die Innovationsprozesse haben in den vergangenen Jahren deutlich an Dynamik gewonnen. Einen wesentlichen Beitrag dazu leistet die „Hightech-Strategie für Deutschland“. Mit ihr wurde in der vergangenen Legislaturperiode erstmals ein nationales Gesamtkonzept vorgelegt, das zu einer neuen Qualität der Zusammenarbeit von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik geführt hat. Mit der Weiterentwicklung der Hightech-Strategie werden bewährte Maßnahmen fortgeführt, aber auch neue Akzente gesetzt. Die „Hightech-Strategie 2020“ konzentriert sich auf fünf große Bedarfssfelder: Klima und Energie, Gesundheit und Ernährung, Mobilität, Sicherheit, Kommunikation. Das Ziel: Deutschland durch gezielte Impulse für neue Technologien, Innovationen und durch die Bündelung der Kräfte von Wissenschaft und Wirtschaft zum Vorreiter bei der Lösung der drängenden globalen Fragen zu machen.

Die Mitglieder der Allianz der Wissenschaftsorganisationen übernehmen bei der erfolgreichen Umsetzung der Hightech-Strategie eine zentrale Aufgabe. Damit die Wissenschaft ihrer zentralen Rolle in Forschung und Entwicklung sowie im Innovationsprozess und beim Technologietransfer in Deutschland nachkommen kann, haben Bund und Länder mit der Fortführung des Paktes

für Forschung und Innovation, der Exzellenzinitiative und des Hochschulpaktes die größte Investition in Forschung, Wissenschaft, Innovation und Bildung auf den Weg gebracht, die es in Deutschland je gegeben hat.

Die Wissenschaftsorganisationen greifen erfolgreich Zukunftsthemen auf und dringen in neue Forschungsgebiete vor. Die vorliegende Broschürenreihe zeigt, wie gut die deutsche Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben aufgestellt ist. Jede Broschüre widmet sich jeweils einem der in der Hightech-Strategie identifizierten Schwerpunktthemen. Anhand ausgewählter Beispiele wird die Arbeit in den deutschen Forschungseinrichtungen anschaulich vorgestellt. Mit ihren verständlichen Darstellungen von Spitzenforschung unterstützen diese Publikationen den breiten gesellschaftlichen Dialog über die drängenden Fragen unserer Zeit.

A handwritten signature in blue ink that reads "Annette Schavan".

Prof. Dr. Annette Schavan, MdB  
Bundesministerin für Bildung und Forschung





Sehr geehrte Damen und Herren,

Menschen brauchen Energie. Ein einfacher Satz, mit schwerwiegenden Folgen. Denn täglich nimmt die Zahl der Menschen auf der Welt zu, und jeder von ihnen verbraucht wachsende Mengen an Energie. Daraus ergeben sich Herausforderungen, denen wir uns stellen müssen.

Die modernen Industriegesellschaften verdanken ihren Aufstieg zu einem Großteil der Nutzung fossiler Energieträger. Öl, Kohle und Gas treiben Wirtschaft und Verkehr an und sorgen für warme Wohnungen und Büros. Aber die Rohstoffe gehen zur Neige, und gleichzeitig steigt der Energiebedarf der Schwellen- und Entwicklungsländer massiv an. Mit dem wachsenden Energieverbrauch nehmen auch die Umweltbelastungen zu.

Beim Verbrennen kohlenstoffhaltiger Energieträger entsteht CO<sub>2</sub>. Die Konferenz in Kopenhagen im Dezember 2009 hat gezeigt, dass die Regierungen der Welt bereit sind, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß als Hauptgrund der Erderwärmung anzuerkennen, und der Klimawandel gilt heute als eine der größten Herausforderungen der Menschheit. Damit ist klar, dass die Nutzung fossiler Energieträger zurückgehen muss. Da auch künftige Generationen eine zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung brauchen, müssen wir schon jetzt mit der Energiewende beginnen. Aber welche Alternativen sollen wir ansteuern?

Die Kernenergie behält nach allgemeiner Einschätzung ihren Stellenwert als Brückentechnologie, die für eine gewisse Zeit eine entlastende Rolle bei der Energieversorgung ausfüllen wird. Fusionskraftwerke wiederum sind trotz erheblicher Anstrengungen und bemerkenswerter Fortschritte noch nicht so weit entwickelt, dass man sie als feste Größe in der zukünftigen Energieversorgung berücksichtigen kann.

Regenerative Energien werden in Zukunft einen weit höheren Stellenwert bekommen als bisher. Sie basieren auf vergleichsweise einfach zu handhabenden Technologien, die aber im Detail noch erheblichen Entwicklungsbedarf aufweisen. So stellen sie wegen der fluktuierenden Einspeisung ganz neue Anforderungen an Stromnetze und Speichertechnologien. Die Energiewirtschaft hat mit ihren

Entwürfen für große Solarkraftwerke in der Sahara und für eine länderübergreifende Vernetzung von Windkraftanlagen in Europa gezeigt, dass sie nicht nur Verantwortung für die Zukunft tragen will, sondern in Konzepten der regenerativen Energie auch bedeutende ökonomische Chancen sieht.

Eine nicht zu unterschätzende Rolle für die künftige Energieversorgung spielen die Effizienztechnologien. Mit jeder Kilowattstunde, die beim Betrieb elektrischer Geräte eingespart wird, mit jedem Liter Öl, der wegen guter Dämmung nicht zum Heizen verbrannt werden muss, mit jedem Liter Treibstoff, den wir weniger für Transporte aufwenden, ersparen wir der Erdatmosphäre CO<sub>2</sub> – und damit uns und unseren nachfolgenden Generationen eine weiter steigende Last des Klimawandels. Unsere Technologien effizienter zu machen und zugleich unser eigenes Verhalten zu einem wertschätzenden Umgang mit Energie hin zu verändern sind wichtige Zielvorgaben für uns alle.

Der Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung ist eine zentrale Aufgabe für Forschung, Wirtschaft und Politik. Die deutschen Wissenschaftsorganisationen stellen sich der Herausforderung und entwickeln ein breites Spektrum von kurz-, mittel- und langfristigen Antworten auf diese existenzielle Frage der Menschheit.

Mit der vorliegenden Publikation wollen wir anhand einiger ausgewählter Beispiele einen Eindruck von der Kompetenz und Vielfalt vermitteln, mit der die Forscherinnen und Forscher in unserem Land an der Lösung der Energieprobleme arbeiten. Wir brauchen dieses Engagement, und die Wissenschaft braucht und verdient dazu unser aller Unterstützung.

Ihr

Hans-Jörg Bullinger  
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

<b>1 Kraftwerke für fossile Energieträger</b>	
Strom und Wärme aus klassischen Quellen	6
<b>2 Nukleare Sicherheitstechnik</b>	
Sichere Brücke in die Zukunft	10
<b>3 Fusionsenergie</b>	
Quelle für den Energiehunger der Zukunft	13
<b>4 Effizienztechnologien</b>	
Mehr leisten mit weniger Verlust	16
<b>5 Energieeffiziente Gebäude</b>	
Komfort mit Nachhaltigkeit	22
<b>6 Energienetze und Speichertechnik</b>	
Jederzeit sichere Versorgung	26
<b>7 Nachhaltige Mobilität</b>	
Sanft und sauber in Bewegung	32
<b>8 Regenerative Energien</b>	
Nachhaltig und unerschöpflich	36
Kontakt	46
Impressum	48





## Strom und Wärme aus klassischen Quellen

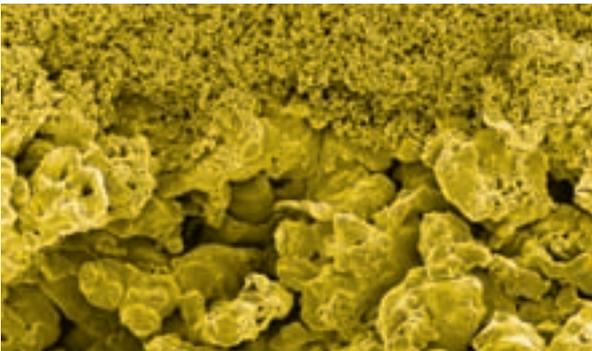
Rund 60 Prozent des Stroms in Deutschland wird aus fossilen Energieträgern erzeugt, überwiegend aus Kohle; auch weltweit dominieren Kohle und Erdgas die Stromerzeugung. Heute liegt ihr Anteil an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen sowohl global als auch für Deutschland bei über 40 Prozent. Aufgrund der großen weltweiten Kohlevorkommen wird diese Art der Stromerzeugung, bei der im Durchschnitt aller Kraftwerke fast zwei Drittel der eingesetzten Energie mit dem Kühlwasser verloren gehen, auch in Zukunft eine große Bedeutung haben. Daher kommt Forschung und Entwicklung zur Steigerung der Wirkungsgrade gerade bei diesen Technologien eine besondere Bedeutung zu.



Eine optimierte Turbintechnik hilft dabei, Strom in Kraftwerken möglichst effizient zu erzeugen.

Bei konventionellen Dampfkraftwerken bietet die Steigerung der Dampfparameter Druck und Temperatur die größten Potenziale. Der Wirkungsgrad neuer Steinkohlekraftwerke könnte damit von 46 auf 50 Prozent steigen. Erforderlich sind hierfür neue Hochtemperaturwerkstoffe für den Dampferzeuger und die Dampfturbinen. Neue Ansätze sind der indirekt kohlebefeuerte Kombiprozess (Externally-Fired Combined Cycle, EFCC) sowie ein Kraftwerksprozess mit binären Arbeitsmitteln wie z. B. Mehrfachdampfprozesse mit Kalium und Wasser.

Die Kombination von Gas- mit Dampfturbinen (GuD)-Kraftwerken bietet ein signifikantes Potenzial zur Steigerung des elektrischen Wirkungsgrads: Knapp 60 Prozent sind möglich. Hierbei wird mit den heißen Abgasen der Gasturbine z. B. Wasserdampf erzeugt, der über eine Dampfturbine in Strom umgewandelt wird. Oder die Abgase werden zur Erhitzung der Verbrennungsluft in einem Kohlekraftwerk verwendet. Erhöhungen der Eintrittstemperatur in die Gasturbine durch neue Materialien, etwa Schaufeln aus Einkristallen oder Keramiken, oder neue Verfahren zur Kühlung



#### CO<sub>2</sub>-Abspaltung Membrantechnik gegen klimaschädliches Gas

Kraftwerke für fossile Brennstoffe tragen mit ihrem Kohlendioxid-Ausstoß entscheidend zur Klimaerwärmung bei. Die Emissionen könnten verringert werden, indem das CO<sub>2</sub> aus dem Gasstrom der Kraftwerke abgetrennt und beispielsweise unterirdisch gespeichert wird. Bisherige Abtrennungsverfahren verbrauchen aber viel Energie und reduzieren so den Wirkungsgrad der Kraftwerke. Filter aus neuartigen Membran-Werkstoffen könnten eine bessere Lösung sein. Mit der Forschungsallianz »Mem-Brain« verfolgt die Helmholtz-Gemeinschaft gemeinsam mit Partnern das Ziel, Membransysteme zu entwickeln, mit denen sich Gase effizient und energiesparend trennen lassen. Die Membrantechnologie spielt daher eine wichtige Rolle bei einer klimaschonenden Energieerzeugung.

Prof. Dr. Detlev Stöver  
Forschungszentrum Jülich in der Helmholtz-Gemeinschaft  
Institut für Energie- und Klimaforschung  
[www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de)  
[d.stoever@fz-juelich.de](mailto:d.stoever@fz-juelich.de)



#### Methanhydrat als Rohstoff Gastausch mit Vorteil

Methan, der Hauptbestandteil von Erdgas, gilt als umweltfreundlichste fossile Energiequelle, da Gaskraftwerke wenig Schadstoffe emittieren und leicht steuerbar sind. Methanhydrat lagert in immensen Mengen am Meeresboden. Es könnte Methangas zur Energiegewinnung liefern, während im Gegenzug das klimaschädliche CO<sub>2</sub> als Gashydrat dort zu speichern wäre. In dem Projekt SUGAR (Submarine Gashydrat-Lagerstätten: Erkundung, Abbau und Transport) wollen Wissenschaftler mit Unterstützung der Bundesministerien für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und für Bildung und Forschung (BMBF) zusammen mit 30 Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft neue Technologien entwickeln, um dieses Potenzial zu erschließen.

Prof. Dr. Klaus Wallmann  
Leibniz-Institut für Meereswissenschaften  
an der Universität Kiel  
[www.ifm-geomar.de](http://www.ifm-geomar.de)  
[kwallmann@ifm-geomar.de](mailto:kwallmann@ifm-geomar.de)



Neue Kraftwerktechnologien erleichtern es, Kohlendioxid abzutrennen und zu entsorgen.

der Schaufeln können den Wirkungsgrad langfristig sogar auf 65 Prozent steigern. Das Kombikraftwerk mit integrierter Kohlevergasung (Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC) ist die am weitesten entwickelte Kohlekraftwerkstechnologie. Hier wird Kohle bei hohen Temperaturen und Drücken in ein Synthesegas umgewandelt, das dann in einem GuD-Kombiprozess zur Stromerzeugung eingesetzt werden kann. In Kombination mit einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle, deren Abwärme zur Kohlevergasung eingesetzt wird, sind Wirkungsgrade von über 60 Prozent denkbar.

Sollen auch im Jahr 2050 noch fossile Energieträger zur Stromerzeugung eingesetzt werden – und dies wird nach heutigen Einschätzungen unvermeidbar sein – reichen die beschriebenen Wirkungsgraderhöhungen bei den Kraftwerken nicht, um die Klimaschutzziele zu erreichen; eine Abscheidung und Lagerung von CO<sub>2</sub> ist erforderlich. Zur Abscheidung stehen drei Ansätze zur Verfügung: die CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus dem Rauchgasstrom (Post-Combustion), die CO<sub>2</sub>-Aufkonzentration im Rauchgas durch eine Verbrennung mit Sauerstoff mit einer anschließenden CO<sub>2</sub>-Abtrennung (Oxyfuel) und



### CO<sub>2</sub>-Speicherung

#### Depot für klimarelevantes CO<sub>2</sub>

Die Option zur Reduzierung von klimarelevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre gewinnt an Bedeutung. Die Forschung entwickelt neue Technologien zur Überwachung und Vorhersage der Speicherung des Gases in porösen Gesteinen im tiefen Untergrund nahe Ketzin in Brandenburg. Dort lagern in etwas mehr als 600 Metern Tiefe poröse Sandsteinschichten in einer geologischen Aufwölbungsstruktur. Diese Speichergesteine werden von nahezu undurchlässigen Anhydrit- und Tonsteinschichten überdeckt. Hier gewonnene Messdaten ermöglichen die Evaluierung von Vorhersagemodellen, mit deren Hilfe die unterirdische Ausbreitung des CO<sub>2</sub> abgeschätzt und die Sicherheit des Reservoirs beurteilt werden kann. Der Aufbau des geologischen CO<sub>2</sub>-Speichers kann damit als exemplarisch für künftige Demonstrationsprojekte angesehen werden.

Dr. Michael Kühn  
Helmholtz-Zentrum Potsdam –  
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ  
[www.gfz-potsdam.de](http://www.gfz-potsdam.de)  
[michael.kuehn@gfz-potsdam.de](mailto:michael.kuehn@gfz-potsdam.de)



### Abgasreinigung

#### Bioreaktor bindet CO<sub>2</sub>

Kohlendioxid ist ein klimaschädliches Gas. Es wird bei Verbrennungsvorgängen freigesetzt, und deshalb sollte man es sinnvollerweise gleich am Ort der Entstehung wieder einfangen, z. B. im Kraftwerk. Ein möglicher Weg ist das Recycling des Gases durch Photosynthese, denn Pflanzen und Algen brauchen CO<sub>2</sub>, um daraus mithilfe von Sonnenlicht organische Substanz aufzubauen. Zusammen mit der Subitec GmbH entwickelten Fraunhofer-Forscher daher einen anpassungsfähigen, preisgünstig herzustellenden Photobioreaktor. Die darin lebenden Algen fischen das CO<sub>2</sub> aus dem Rauchgas eines Erdgaskraftwerks und verwerten es: Sie erzeugen dabei Vitamine, Fettsäuren, pharmazeutische Wirkstoffe und vor allem Biomasse.

Prof. Dr. Walter Trösch  
Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und  
Bioverfahrenstechnik IGB  
[www.igb.fraunhofer.de](http://www.igb.fraunhofer.de)  
[walter.troesch@igb.fraunhofer.de](mailto:walter.troesch@igb.fraunhofer.de)



Hochtemperaturwerkstoffe ermöglichen leistungsfähigere Kraftwerke.

die CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus dem reformierten Synthesegas einer Vergasungsanlage (Pre-Combustion). Alle bedingen einen erheblichen zusätzlichen Aufwand, der den Kraftwerkswirkungsgrad um 10 bis 15 Prozentpunkte senken würde; intensive Forschung könnte diesen Verlust langfristig halbieren.

Alle drei Verfahren werden frühestens in zehn Jahren für einen großtechnischen Einsatz zur Verfügung stehen. Bis dahin müssen auch Lagerstätten für das abgeschiedene CO<sub>2</sub> gefunden sein. Hierfür kommen in

Deutschland hauptsächlich tiefe, Salzwasser führende Sandsteinschichten und erschöpfte Erdgasfelder infrage, die potenziell auch für die Speicherung von Wasserstoff oder thermischer Energie geeignet sind. Die Kapazität dieser Lagerstätten dürfte in Deutschland für etwa zwei Kraftwerksgenerationen, also etwa 80 Jahre, reichen. Ideal wäre eine weitere Nutzung des CO<sub>2</sub>, jedoch werden gegenwärtig nur 0,3 Prozent der weltweit emittierten Kohlendioxidmenge genutzt, in Deutschland sogar nur 0,1 Prozent. Hier sollten noch gute Ideen entwickelt werden.



Materialforschung  
**Neue Werkstoffe erhöhen den Wirkungsgrad**

Mit metallischen Werkstoffen, die Oberflächentemperaturen von über 1200 °C bei hoher mechanischer Belastung in der Luftatmosphäre widerstehen können, ließen sich Leistung und Wirkungsgrad von Kraftwerksturbinen erheblich steigern. Eine Forschergruppe aus Darmstadt, Bayreuth, Bochum, Braunschweig und Siegen sucht, gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), mit metallphysikalischen Prinzipien nach Legierungen, die das Anforderungsprofil aus guter Beständigkeit gegen Oxidation, hinreichender Zähigkeit und Verformbarkeit sowie hohem Kriechwiderstand erfüllen. Derzeit liegt der Fokus der Forscher auf den zwei Legierungssystemen Mo-Si-B bzw. Co-Re, deren Schmelzpunkte mehr als 250 °C über denen der heute eingesetzten Nickelbasis-Superlegierungen liegen.

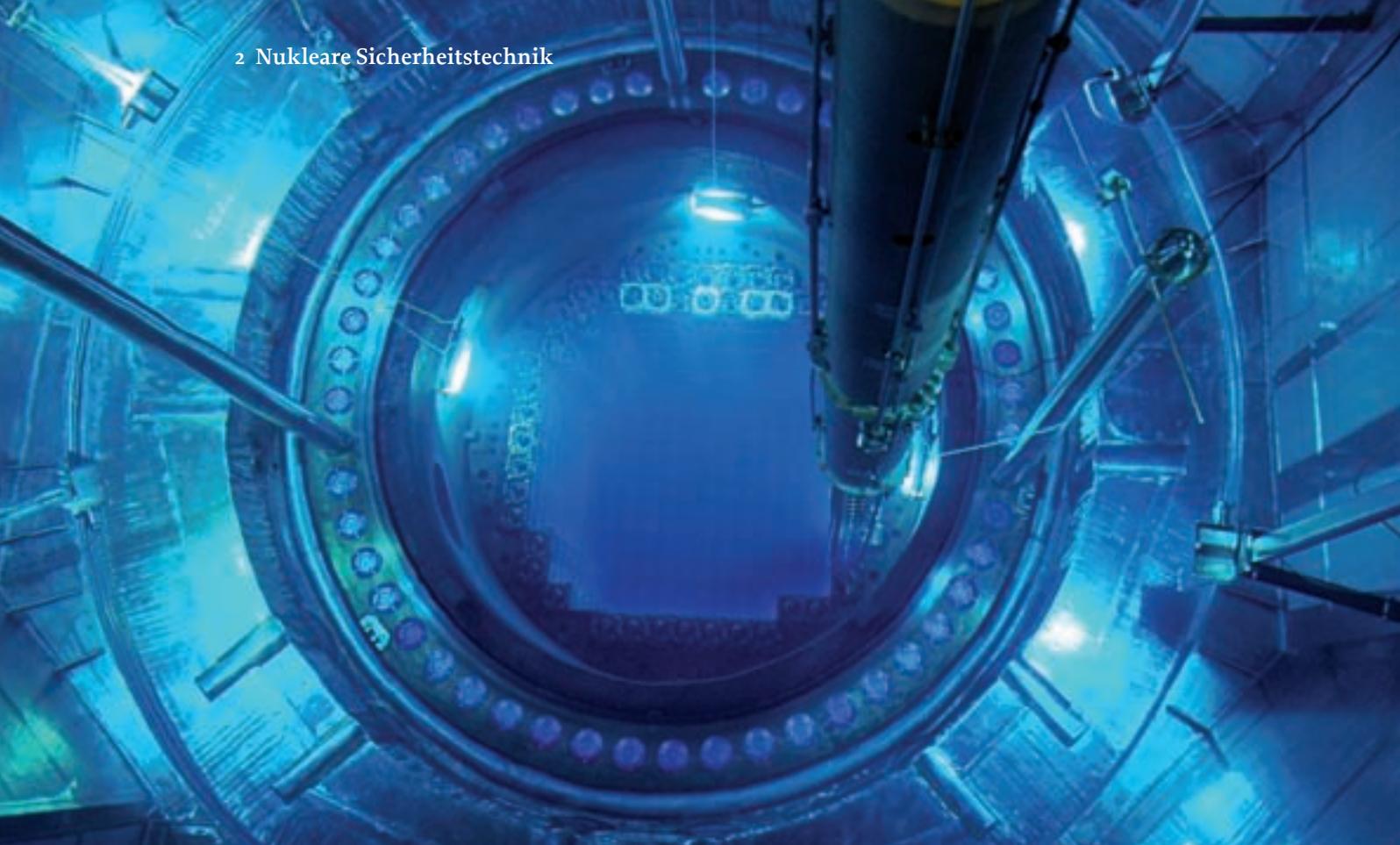
Prof. Dr.-Ing. Martin Heilmaier  
 Technische Universität Darmstadt,  
 Fachbereich Material- und Geowissenschaften  
[www1.tu-darmstadt.de/fb/matgeo](http://www1.tu-darmstadt.de/fb/matgeo)  
[m.heilmaier@phm.tu-darmstadt.de](mailto:m.heilmaier@phm.tu-darmstadt.de)



Materialforschung  
**Ein Stoff, den Hitze kaltlässt**

Je heißer, desto besser – das gilt zumindest für die Effizienz von Kraftwerksturbinen und Verbrennungsmotoren. Mit Beschichtungen aus leichten und sehr stabilen Keramiken, die Forscher des Stuttgarter Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung und des Fraunhofer-Instituts für Silicatforschung ISC entwickelt haben, lassen sich die Temperatur und damit der Wirkungsgrad von Verbrennungsprozessen deutlich erhöhen. Das Material aus Silicium, Bor, Stickstoff und Kohlenstoff trotzt mehr als 1400 °C, während die besten Keramiken bislang nur 1200 °C vertragen. Möglich wird dieser Temperatursprung, weil die Stuttgarter Forscher ihrer Keramik erstmals eine ungeordnete, netzartige Struktur gaben und damit einen völlig neuen Ansatz verfolgten.

Prof. Dr. Martin Jansen  
 Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart  
[www.fkf.mpg.de](http://www.fkf.mpg.de)  
[m.jansen@fkf.mpg.de](mailto:m.jansen@fkf.mpg.de)



## Sichere Brücke in die Zukunft

Die Kernenergie stellt in vielen Ländern weiterhin einen wichtigen Teil der Stromversorgung dar, da sie von vielen als klimaschonendes, preisgünstiges und versorgungssicheres Element der Energieversorgung mit attraktiven Vorteilen gesehen wird. Die anspruchsvolle Technik macht Erhalt und Ausbau der wissenschaftlichen Kompetenz auf diesem Feld unentbehrlich.



Abklingbecken eines Kernkraftwerks.

Europa gilt als weltweit bedeutendste Region der Kernenergieerzeugung. 195 Kernkraftwerke liefern hier rund 31 Prozent des Jahresstrombedarfs; der Anteil der Kernenergie am Primärenergieverbrauch in Deutschland lag im Jahr 2009 bei etwa 11 Prozent. Ökologie, Ökonomie und Sicherheit sind wichtige Kriterien für den langfristigen Betrieb heutiger Anlagen. Fortgeschrittene Leichtwasserreaktoren der »Generation III« auf Basis der existierenden kommerziellen Kernkraftwerke sind heute marktreif und bilden die Grundlage für die Neubauten der kommenden Jahre. Die Ent-

wicklung nuklearer Systeme der vierten Generation, die ab der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts benötigt werden könnten, steht aktuell im Fokus internationaler Forschungsaktivitäten. Ziel der Entwicklungen ist hier vor allem neben einer noch weiter erhöhten Sicherheit eine bessere Brennstoffausnutzung sowie die Abfallminimierung.

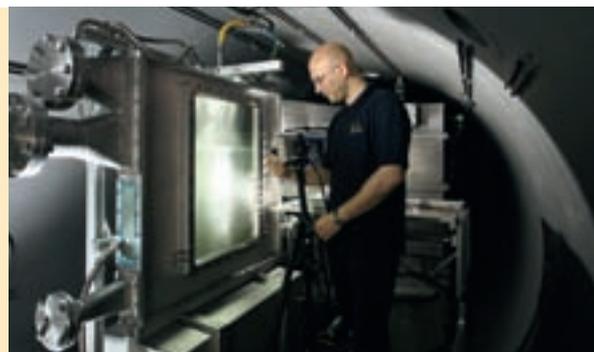
Um heute und zukünftig den hohen Sicherheitsstandard der Kernkraftwerke, die sichere Behandlung und Entsorgung der radioaktiven Abfälle und den Strahlen-



#### Entsorgungstechnik **Sicherheit für lange Zeit**

Bei der Nutzung der Kernenergie fallen radioaktive Abfälle an, die für die sichere Entsorgung in eine langzeitstabile Form gebracht werden müssen. Hochradioaktive flüssige Abfälle sollen in einer Glasmatrix immobilisiert werden – eine technische Herausforderung. Wissenschaftlern und Ingenieuren des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) gelang es, ein Verglasungsverfahren zur technischen Reife zu bringen, das auf einem flüssiggespeisten keramischen Schmelzofen beruht. Mit dieser Technologie konnten jetzt rund 60 m<sup>3</sup> hochradioaktive Flüssigabfälle in eine stabile Form gebracht werden. Im Forschungszentrum Jülich werden weitere Materialien und Verfahren entwickelt, um auch morgen die sichere Entsorgung der radioaktiven Abfälle zu gewährleisten.

**Dr. Walter Tromm**  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
in der Helmholtz-Gemeinschaft  
[www.kit.edu](http://www.kit.edu)  
[walter.tromm@kit.edu](mailto:walter.tromm@kit.edu)



#### Reaktorsicherheit **Rechner simulieren den Störfall**

In der Reaktorsicherheitsforschung spielen Mehrphasen-Strömungen eine wichtige Rolle, u. a. um das Verhalten komplexer Wasser-Dampf-Gemischströmungen in Störfallszenarien vorhersagen zu können. Die theoretischen Modelle für die grundlegenden Phänomene hierzu werden an der TOPFLOW-Anlage des Helmholtz-Zentrums Dresden Rossendorf (HZDR) validiert. Hier können Strömungen bei kernreaktornahen Drücken und Temperaturen mittels innovativer bildgebender Messtechnik untersucht werden. Um z. B. einen postulierten Störfall mit Kühlmittelverlust zu beschreiben und die Effektivität von Sicherheitssystemen zu bewerten, werden hochauflösende CFD-Codes eingesetzt. Die hierzu entwickelten Modelle werden anhand von Einzeleffektversuchen sowie Großexperimenten, die u. a. in Deutschland durchgeführt werden, überprüft.

**Dr. Walter Tromm, Dr. Uwe Hampel**  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) in der Helmholtz-Gemeinschaft  
und Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR)  
[www.kit.edu](http://www.kit.edu), [www.hzdr.de](http://www.hzdr.de)  
[walter.tromm@kit.edu](mailto:walter.tromm@kit.edu), [u.hampel@hzdr.de](mailto:u.hampel@hzdr.de)



Behälter zur sicheren Aufbewahrung radioaktiver Reststoffe.

schutz der Bevölkerung zu gewährleisten, ist hervorragendes wissenschaftlich-technisches Wissen zwingend erforderlich.

In der nuklearen Sicherheitsforschung bearbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Sinne der gesellschaftlichen Vorsorgeforschung drei Forschungsfelder: Sicherheit der Kernreaktoren, Sicherheit der nuklearen Entsorgung und Strahlenschutz. Für die Sicherheit der Kernreaktoren werden besonders intensiv Prozesse und Phänomene bei auslegungskonformen und auslegungsüberschreitenden Störfällen

untersucht. Dabei geht es nicht nur darum, den möglichen Ablauf zu beschreiben, sondern Maßnahmen zu entwickeln, die den Störfall frühzeitig beenden oder zumindest auf die Anlage beschränken. Zur sicheren nuklearen Entsorgung werden Forschungsarbeiten zur Immobilisierung hochradioaktiver Abfälle, zur Reduzierung der Radiotoxizität und zur Langzeitsicherheit von nuklearen Endlagern durchgeführt. Die Strahlenschutzforschung befasst sich mit Radionukliden in der Umwelt, ihrem Transport in Nahrungsketten zum und im Menschen sowie mit Strahlenexpositionen durch Anwendung von Radionukliden in der Medizin.



Zukunftskonzepte

### Messtechnik für Flüssigmetallströmungen

Strömungen flüssiger Metalle sind in der Kerntechnik von zunehmendem Interesse, sei es als Kühlmittel für neue Reaktorkonzepte, wie in dem natriumgekühlten schnellen Reaktor, oder für Anlagen zur Transmutation. Letztere könnten langlebige radioaktive Elemente in kurzlebige umwandeln und so das Problem der Endlagerung von hochradioaktivem Abfall angehen. Um diese Anlagen sicher betreiben zu können, sind Ausmessung und Überwachung der Metallströmungen von zentraler Bedeutung. Am Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR) sowie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entstanden dafür neue Lösungen, die kontaktlose Messungen bei hohen Temperaturen ermöglichen. Die gleichen Messtechniken sind auch in der Gießereitechnik, z. B. beim Stahlguss, oder in der Siliziumkristallzüchtung einsetzbar.

**Dr. Gunter Gerbeth**  
Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR)  
[www.hzdr.de](http://www.hzdr.de)  
[g.gerbeth@hzdr.de](mailto:g.gerbeth@hzdr.de)



Entsorgungstechnik

### Dekontamination von Nukleargraphit

Weltweit gibt es über 250 000 Tonnen radioaktiven Graphit aus stillgelegten Kernreaktoren. Das Projekt Nukleargraphit des Forschungszentrums Jülich hat die Aufgabe, auf wissenschaftlicher Grundlage Konzepte zur sicheren Endlagerung und Wiedergewinnung von Reaktorgraphit zu erarbeiten. Im Vordergrund stehen dabei Grundlagenforschung und anwendungsorientierte Methoden zur Dekontaminierung des Graphits. So konnten Graphitproben weitgehend von Spalt- und Aktivierungsprodukten befreit werden. Dies ist möglich durch den Einsatz von chemischen Reagenzien, die mit den betreffenden Radionukliden flüchtige oder lösliche Verbindungen bilden, ohne die Graphitmatrix anzugreifen.

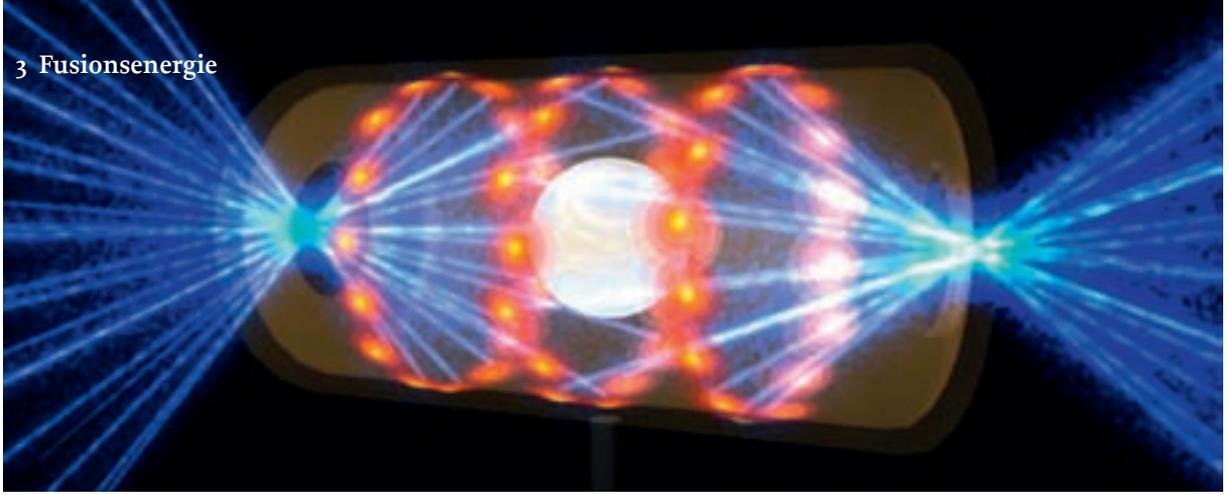
**Prof. Dr. Dirk Bosbach**  
Forschungszentrum Jülich in der Helmholtz-Gemeinschaft,  
Institut für Energie- und Klimaforschung  
[www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de)  
[d.bosbach@fz-juelich.de](mailto:d.bosbach@fz-juelich.de)



## Quelle für den Energiehunger der Zukunft

Die Idee der Kernfusion orientiert sich an der Sonne. Ziel ist es, das Prinzip der Energieerzeugung der Sonne auch auf der Erde kontrolliert zu nutzen. Dazu müssen mit hohem technischen Aufwand extreme physikalische Bedingungen geschaffen werden. Die Vision ist, einen Fusionsreaktor zu realisieren, der sicher, wirtschaftlich und umweltfreundlich eine kontinuierliche Energieleistung zur Erzeugung von Strom abliefern kann. Der dazu nötige erhebliche Forschungsaufwand kann nur in internationalen Kooperationen erbracht werden.

### 3 Fusionsenergie

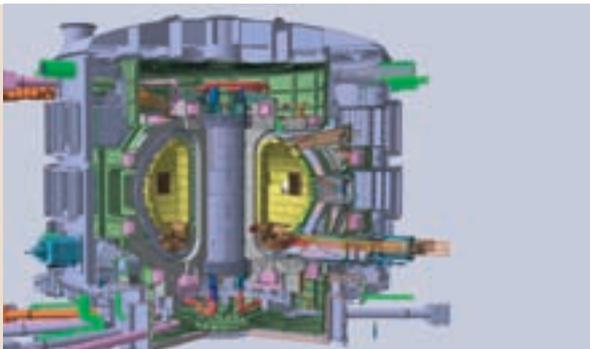


Fusionskraftwerke ahmen die Energieerzeugung der Sonne nach.

Ausgangspunkt der Kernfusion ist ein Deuterium-Tritium-Gemisch bei einem Druck, der etwa  $1/250\,000$  des Atmosphärendrucks an der Erdoberfläche entspricht; der  $1000\text{ m}^3$  große Vakuumbehälter im Reaktor enthält also nur wenige Gramm davon. Eine Startheizung strahlt für einige Sekunden eine Leistung von 50 bis 100 Megawatt in die Brennkammer ein, wodurch das Brennstoffgemisch auf ca. 100 Millionen °C aufgeheizt wird und in den Plasmazustand übergeht. Um Berührungen mit der Wand des Vakuumbehälters zu vermeiden, wird das heiße Plasma durch ein spiralförmiges Magnetfeld eingeschlossen. Durch die Fusions-

reaktionen im Plasma werden hochenergetische Heliumkerne und Neutronen freigesetzt. Die elektrisch neutralen Neutronen werden in ihrer Bewegung durch das Magnetfeld nicht beeinflusst. Sie werden in der Hülle des Reaktors abgebremst, die dabei entstehende Wärme wird über ein Kühlmittel in einen konventionellen Kreislauf eingespeist. Die Stromproduktion erfolgt dann wie in einem konventionellen Kraftwerk durch eine Turbine mit nachgeschaltetem Generator.

Im Vergleich zu anderen Energiequellen bietet die Kernfusion eine riesige Energieausbeute: So wird



Forschungsreaktor ITER  
**Ein Schritt zum Leistungskraftwerk**

Das aktuell größte Projekt der Fusionsforschung ist der in Cadarache errichtete Experimentalreaktor ITER, eine Anlage vom Typ Tokamak. Er soll erstmals ein Energieüberschuss-Plasma erzeugen und 500 Megawatt Fusionsleistung freisetzen – das Zehnfache der eingesetzten Heizleistung. Unter anderem soll ITER wesentliche Komponenten von Fusionsreaktoren im Betrieb testen. Eine zentrale Aufgabe ist hierbei, Konzepte für das »Blanket« zu entwickeln, das das Plasma als äußere Hülle umschließt und drei Aufgaben erfüllt: Es wandelt die Neutronenenergie aus der Fusionsreaktion in nutzbare Wärme um, erbrütet den Brennstoff Tritium aus Lithium durch das Einfangen von Neutronen und schirmt die supraleitenden Magnete gegen Neutronen- und Gammastrahlung ab.

**Dr. Dirk Radloff**  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
in der Helmholtz-Gemeinschaft; Programm FUSION  
[www.kit.edu](http://www.kit.edu)  
[dirk.radloff@kit.edu](mailto:dirk.radloff@kit.edu)



Tokamak und Stellarator  
**Der richtige Typ für die Teilchenfusion**

Manchmal erweist sich eine aufwendigere Lösung am Ende als einfacher – vielleicht auch beim Fusionskraftwerk. Daher erforschen Physiker des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik neben dem derzeit am weitesten entwickelten Typ des Tokamak – wie die Anlage ASDEX Upgrade in Garching – auch den Stellarator. Dessen Konstruktion ist zwar anspruchsvoller als die des Tokamak, weil er ausschließlich mit einem ausgeklügelten Spulensystem das Magnetfeld erzeugt, um das Plasma einzuschließen. Der Stellarator lässt sich jedoch einfacher kontinuierlich betreiben. Nach umfassenden Vorarbeiten entsteht in Greifswald zurzeit der Stellarator Wendelstein 7-X, mit dem die Forscher testen werden, ob der Anlagentyp seine Vorteile auch in der Praxis ausspielen kann.

**Prof. Dr. Günther Hasinger**  
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching und Greifswald,  
assoziiertes Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft  
[www.ipp.mpg.de](http://www.ipp.mpg.de)  
[günther.hasinger@ipp.mpg.de](mailto:günther.hasinger@ipp.mpg.de)



Die Technologie eines Fusionskraftwerks ist sehr anspruchsvoll.

bei der Fusion von einem Gramm Deuterium-Tritium-Gemisch eine Energiemenge von 2600 kWh frei; das entspricht der Verbrennung von 10 Tonnen Kohle. Die in der Erdkruste und den Ozeanen verfügbaren Brennstoffreserven reichen aus, um den weltweiten Stromverbrauch für Millionen von Jahren zu decken. Im Gegensatz zu den fossilen Brennstoffen Öl, Erdgas und Kohle sind die Rohstoffe Wasser und Lithium (aus dem das Tritium erbrütet wird) geografisch gleichmäßig verteilt, sodass Verteilungskämpfe um Energiequellen ausgeschlossen sind. Zudem verfügt ein Fusionskraftwerk über günstige Sicherheitseigenschaften: Auch

bei einem totalen Kühlmittelausfall würde das System nicht bersten. Außerdem emittiert ein Fusionskraftwerk selbst keine klimaschädlichen Gase.

In experimentellem Maßstab ist die Kernfusion auf der Erde längst gelungen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler arbeiten nun weltweit auf Fusionskraftwerke hin. Die deutsche Fusionsforschung ist dabei Teil eines europäisch koordinierten und geförderten Programms (EURATOM).



Fusionsenergie

### Auf dem Weg zum internationalen Fusionsreaktor

Der Erfolg des Fusionsreaktors ITER und späterer Kraftwerke hängt stark von Material und Konstruktion der Innenwände der Brennkammer ab. Jülicher Wissenschaftler sind Experten für die sogenannte Plasma-Wand-Wechselwirkung, bei der sich das mehr als 100 Millionen °C heiße Fusionsplasma und die Reaktorwand gegenseitig beeinflussen. Das Plasma muss für das Gelingen der Kernverschmelzung von Magnetfeldern eingeschlossen sein, die aber die Fusionsasche durchlassen müssen. Dazu wird das Randschichtplasma auf bestimmte Wandbereiche, die Divertoren, gelenkt. In Jülich wurden die Divertoren mitentwickelt und getestet, die Wärmeflüsse von mehr als 20 Millionen Watt pro Quadratmeter standhalten müssen. Sie bestehen aus massivem Wolfram und Graphit.

**Dr. Ralph P. Schorn**  
Forschungszentrum Jülich in der Helmholtz-Gemeinschaft,  
Institut für Energie- und Klimaforschung  
[www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de)  
[r.p.schorn@fz-juelich.de](mailto:r.p.schorn@fz-juelich.de)

Proliferationsschutz bei Kernfusion

### Die sicherheitspolitische Dimension der Kernfusion

Die Kernfusion als neue Energiequelle ist vielversprechend. Dennoch lässt sich, wie auch bei herkömmlichen Nukleartechnologien, das Risiko des militärischen Missbrauchs nicht ausschließen. In Kooperation mit der Technischen Universität Darmstadt wird dieses Proliferationsrisiko interdisziplinär erforscht: Physiker errechnen mittels Computersimulation Menge und Qualität des waffenfähigen Materials, das ein kommerzieller Fusionsreaktor produzieren könnte. Politikwissenschaftler prüfen, welche Steuerungsmechanismen einen militärischen Missbrauch verhindern könnten. Das Forschungsprojekt erarbeitet Impulse für eine Regulierung der Fusionstechnologie, die sowohl technischen als auch friedenspolitischen Anforderungen genügt.

**Prof. Dr. Klaus Dieter Wolf**  
Hessische Stiftung Friedens- und Konfliktforschung,  
Technische Universität Darmstadt  
[www.hsfk.de](http://www.hsfk.de), [www.tu-darmstadt.de](http://www.tu-darmstadt.de)  
[wolf@hsfk.de](mailto:wolf@hsfk.de)

## Mehr leisten mit weniger Verlust

Bei der Umwandlung von der Endenergie, etwa Elektrizität oder Benzin, in Nutzenergie wie Licht und Bewegung geht etwa ein Drittel verloren. Und häufig wird die Nutzenergie gar nicht wirklich benötigt, z. B. im Stand-by-Betrieb von Fernsehern oder Stereoanlagen oder bei der Beleuchtung ungenutzter Räume. Oft ließe sich ein Bedarf auch durch andere Techniken ohne Energieverbrauch befriedigen, etwa indem man Tageslicht statt Kunstlicht verwendete. Einiges hat sich hier in den letzten Jahren bereits getan, doch durch Forschung und Entwicklung können noch viele preiswerte Energieeffizienzpotenziale erschlossen werden.

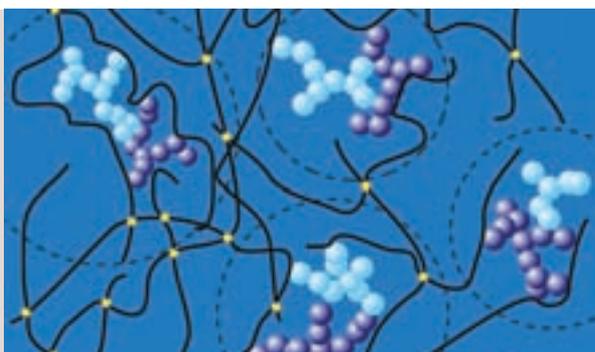


Leuchtdioden erzeugen Licht beliebiger Farbe sehr effizient.

Ein typisches Beispiel für Energieverschwendung ist die alte Glühbirne, die mit einem Wirkungsgrad von nur etwa 5 Prozent Strom in Licht umwandelt. Bei den Kompaktleuchtstofflampen beträgt der Wirkungsgrad schon etwa 20 Prozent, doch ist sie nicht für alle Anwendungen gleichermaßen geeignet. Demnächst werden die bisherigen Beleuchtungsmittel durch Leuchtdioden (LED) als Punktbeleuchtung abgelöst, die mit hoher energetischer Effizienz, langer Lebensdauer, hoher Schaltfestigkeit sowie mit brillantem Licht und sehr flexiblen Bauformen überzeugen. Ähnlich energie-

effizient sind dimmbare stabförmige Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten. In einigen Jahren werden dann flächenhaft leuchtende organische Leuchtdioden (OLED) auf den Markt kommen.

Ähnliche Steigerungen der elektrischen Wirkungsgrade sind bei kleinen Elektromotoren möglich geworden. Während die üblichen Motoren mit kleiner Leistung (ca. 100 Watt), wie sie z. B. in Heizungs-Umwälzpumpen, Kühl- und Gefrierschränken, vor allem aber in Gewerbe und Industrie zu Einsatz kommen, einen



Materialforschung

### Energieeffizienz durch neue Elastomere

Im Projekt NanoElastomer im Rahmen der BMBF-Leitinnovation »NanoMobil« suchten Wissenschaftler des Dresdener Leibniz-Instituts für Polymerforschung nach Möglichkeiten, die Eigenschaften von Reifen und anderen technischen Elastomerprodukten im Automobilbereich mittels **neuer Ansätze der Nanowerkstofftechnologie** in puncto Sicherheit, Komfort und Nachhaltigkeit zu verbessern. Sie identifizierten dazu **neue Füllstoffe** mit Strukturen unter 100 Nanometern und prüften deren Wechselwirkungen mit der Gummimatrix und untereinander. Neben ökologischen Vorteilen, die sich etwa aus einer längeren Lebensdauer oder einem geringeren Rollwiderstand der Reifen ergeben, zeigten sich auch bessere Haft- und Bremseigenschaften auf nassen und winterlichen Fahrbahnen.

Prof. Dr. Gert Heinrich  
Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.  
www.ipfdd.de  
gheinrich@ipfdd.de



Energieeffizienz und Verhalten

### Die soziale Dimension des Rebound-Effekts

Der individuelle Energieverbrauch ist zu einem Großteil vom Verhalten abhängig. Ziel eines Verbundprojekts unter Leitung des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung und mit Beteiligung des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung (RWI) ist es, den tatsächlichen Effekt von technologischen Effizienzsteigerungen beim Erreichen energie- und klimapolitischer Vorgaben zu untersuchen. Bei der Analyse werden Verhaltensänderungen, etwa der Rebound-Effekt, berücksichtigt, der verhindert, dass Effizienzsteigerungen vollständig in Energieeinsparungen umgesetzt werden. So wird etwa mit einem Benzin sparenden neuen PKW mehr gefahren, weil die höhere Effizienz das Fahren verbilligt. Die Analyse berücksichtigt **sozioökonomische Merkmale** wie Einkommen und Bildung zur Bestimmung des Rebound-Effekts.

Dr. Tim Mennel  
Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) GmbH,  
Mannheim  
www.zew.de, mennel@zew.de

#### 4 Effizienztechnologien



Elektronik braucht Strom, kann aber beim Energiesparen sehr hilfreich sein.

Wirkungsgrad von etwa 40 Prozent haben, erreichen die neuen, elektronisch angesteuerten Permanentmagnetmotoren eine doppelt so hohe Effizienz. Wird zudem zur Einstellung des gewünschten Volumenstroms statt eines Drosselventils Leistungselektronik zur elektronischen Drehzahlregelung eingesetzt, können die Verluste zusätzlich meist noch einmal halbiert werden.

Die Elektronik ist eine der Schlüsseltechnologien für eine effiziente Energienutzung, kann aber gleichzeitig ihrerseits Energie verschwenden. Bis vor wenigen

Jahren benötigten viele elektronische Geräte auch im – scheinbar – ausgeschalteten Zustand und im Bereitschaftsmodus durchaus 100 Kilowattstunden pro Jahr mehr als heute. Eine etwas abgeänderte Verschaltung der Komponenten sowie der Einsatz von effizienteren Mikroprozessoren, Speicherelementen und Betriebsmanagementsystemen von der Art, wie sie auch in Handys und Laptops eingesetzt werden, haben diese Reduktion erreicht.

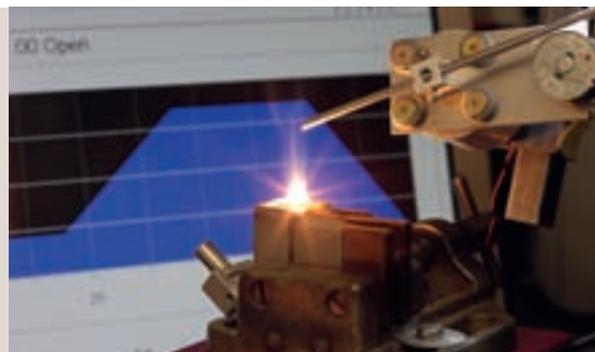
In Verbindung mit mathematischen Algorithmen lassen sich industrielle Anlagen und Prozesse viel besser kon-



#### Biogas Mehr Strom aus Stroh

In Biomasse steckt mehr Energie, als sich beim Verbrennen nutzen lässt. Forscher des Max-Planck-Instituts für Dynamik komplexer technischer Systeme haben ein besonders effizientes System zur Erzeugung von Strom aus Biomasse entwickelt. Aus Holzpellets oder Stroh gewinnen sie zunächst energiereiche Gase wie Wasserstoff und betreiben damit Brennstoffzellen. Die Forscher haben ihr Verfahren so optimiert, dass sie auch aus verschiedenen Arten von Biomasse ein nutzbares Brenngas erhalten. Da sie mit dem Gas sogar zwei Brennstoffzellentypen betreiben können, kann der elektrische Wirkungsgrad des optimierten Systems theoretisch bis auf 50 Prozent steigen; eine herkömmliche Biogasanlage mit einem Gas-Ottomotor als Generator bringt es üblicherweise auf 35 Prozent.

Prof. Dr.-Ing. Kai Sundmacher  
Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg  
[www.mpi-magdeburg.mpg.de](http://www.mpi-magdeburg.mpg.de)  
[sundmacher@mpi-magdeburg.mpg.de](mailto:sundmacher@mpi-magdeburg.mpg.de)



#### Brennstoffzellen Effiziente Stromerzeugung

Brennstoffzellen wandeln chemische Energie direkt in elektrische Energie um. In Deutschland werden sowohl Hochtemperatur-Brennstoffzellen entwickelt, die Wasserstoff oder Erdgas verwenden, als auch Niedertemperatur-Brennstoffzellen, die Wasserstoff oder Methanol umsetzen. Für den stationären Einsatz sind vor allem Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) geeignet, die bei Temperaturen von 600 °C und höher betrieben werden. Ziel der Forschung ist eine lange Lebensdauer – 10 000 Stunden für Fahrzeuge und 100 000 Stunden für die stationäre Stromerzeugung – bei hoher Leistung und geringen Kosten. Dafür wird an neuen Werkstoffen und Stackkonzepten gearbeitet. Simulationsmodelle helfen, Systemwirkungsgrade von über 60 Prozent zu erreichen.

Dr. Robert Steinberger-Wilckens  
Forschungszentrum Jülich in der Helmholtz-Gemeinschaft,  
Institut für Energie- und Klimaforschung  
[www.fz-juelich.de/ief/ief-pbz/pbzhome](http://www.fz-juelich.de/ief/ief-pbz/pbzhome)  
[r.steinberger@fz-juelich.de](mailto:r.steinberger@fz-juelich.de)



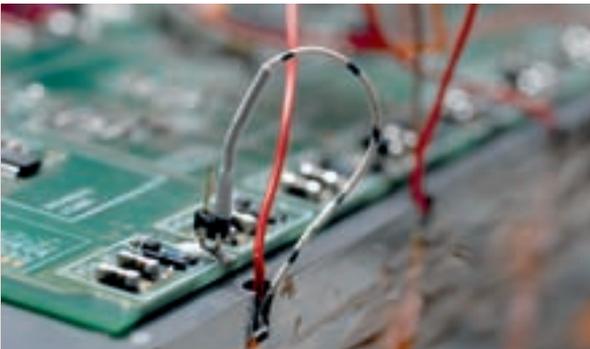
Das urbane Leben verbraucht große Mengen an Energie. Viel davon kann durch Effizienztechnologien eingespart werden.

struieren und designen. Und in Verbindung mit Sensoren, die die aktuellen Anlagenzustände erfassen und an den Leitrechner übertragen, lassen sich die Prozesse deutlich dichter am Optimum fahren und Fehlproduktionen verhindern – was direkt und indirekt Energie einspart.

Manchmal ist trotz aller Anstrengung unvermeidbar, dass Wärme und Material verloren geht; sie können aber oft weiter verwendet werden. Ist dies im eigenen Betrieb nicht möglich, bietet sich die Weiterleitung an Betriebe in der Nachbarschaft an, etwa in Öko-Indus-

trieparks. Reicht das Temperaturniveau für die Nutzung nicht aus, kann es mittels Wärmepumpen angehoben werden. Ist auch dann kein Bedarf vorhanden, kommt die Umwandlung der Abwärme in Strom infrage, z. B. über thermoelektrische Verfahren. Hier sind aber noch Forschungsarbeiten notwendig, um den Wirkungsgrad zu erhöhen und die Kosten zu senken. Ähnlich sieht es bei Absorptionsprozessen aus, bei denen mithilfe von Abwärme Kälte erzeugt werden kann.

Neben diesen in nahezu jedem Betrieb anwendbaren Querschnittstechniken bieten Weiterentwicklungen



#### Leistungselektronik **Elektronik hilft beim Sparen**

Elektronische Systeme spielen bei der effizienten Nutzung von Energie eine große Rolle. Ob in Haushaltsgeräten, Unterhaltungselektronik, Rechnern, in Industrieanlagen, Stromversorgungsnetzen oder Elektrofahrzeugen: Effiziente Leistungselektronik zur Steuerung der Energieflüsse minimiert die Verluste und beschränkt das System auf den unbedingt nötigen Stromverbrauch. In der Metropolregion Nürnberg nahm im Juni 2010 der Innovationscluster »Elektronik für nachhaltige Energienutzung« seine Arbeit auf. Damit soll die Zusammenarbeit von Unternehmen und Forschungseinrichtungen bei den Themen Leistungselektronik und Energietechnik intensiviert werden; Ziel ist die Entwicklung von Geräten und Systemen, die sich durch mehr Sicherheit und weniger Energieverbrauch auszeichnen.

**Prof. Dr. rer. nat. Lothar Frey**  
Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB  
[www.iisb.fraunhofer.de](http://www.iisb.fraunhofer.de)  
[lothar.frey@iisb.fraunhofer.de](mailto:lothar.frey@iisb.fraunhofer.de)



#### Materialforschung **Temperaturbeständige Leichtbau-Materialien**

In der Automobil- und Luftfahrtindustrie sowie im Turbinenbau kann man von Leichtbau-Legierungen auf der Basis von Titan und Aluminium profitieren und beispielsweise Gewicht bzw. Kraftstoff einsparen. Leichtere Turbolader-Rotoren, Turbinenschaukeln und andere Bauteile haben zudem den Vorteil, große Rotationsgeschwindigkeiten effizienter zu erzielen. Bisher waren die hohen Temperaturen, denen diese Bauteile standhalten müssen, für den Einsatz von Leichtbau-Legierungen ein Problem. In einem neuen Verfahren werden die Oberflächen besonders von kompliziert geformten Bauteilen mit Ionenstrahlen, also geladenen Teilchen, gezielt verändert. Damit entstehen neue Anwendungsfelder für Leichtbau-Legierungen im Hochtemperaturbereich.

**Prof. Dr. Andreas Kolitsch**  
Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR)  
[www.hzdr.de](http://www.hzdr.de)  
[a.kolitsch@hzdr.de](mailto:a.kolitsch@hzdr.de)



Um Temperaturverluste zu vermeiden, wird das Stahlband vor der Fertigungsstraße aufgehaspelt.

oder völlig neue Verfahren bei vielen Prozessen noch beachtliche Einsparpotenziale. Das gilt sowohl für branchenspezifische Industrieprozesse etwa bei der Herstellung von Zement, Chlor, Stahl und Papier als auch für Querschnittstechniken wie etwa die Supraleitung. Letztere verspricht zwar große Einsparpotenziale, ermöglicht sie doch den verlustfreien Stromtransport. Es sind aber noch grundlegende physikalische Fragen zu beantworten, bevor supraleitende Materialien für einen breiten Einsatz in Stromnetzen entwickelt werden können.

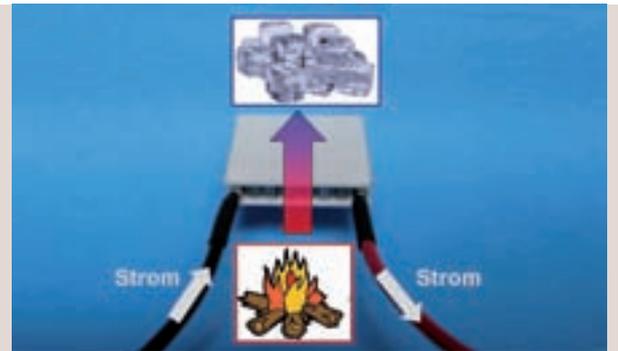
Weitere wichtige Energieeinsparpotenziale bietet die Energiesystemoptimierung. Ziel dabei ist es, Energiequellen, Versorgungsanlagen und Energienutzer so miteinander zu kombinieren, dass ein Optimum aus Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit erzielt wird. In Stadtquartieren oder in Industriegebieten können beispielsweise Abwärmeeinheiten mit Wärmeabnehmern kombiniert oder verschiedene Wärmeanwendungen mit abnehmender Nutzungstemperatur hintereinander in Kaskade geschaltet werden, sodass vorhandene Abwärmepotenziale optimal ausgeschöpft werden.



### Energieeffiziente Produktion **Mehr produzieren mit weniger Verbrauch**

Die Innovationsallianz »Green Carbody Technologies InnoCaT«, eine Initiative produktionstechnischer Ausrüster und Zulieferer der Automobilindustrie, hat es sich zur Aufgabe gemacht, an neuen Technologien, Verfahrensabläufen und Werkzeugen für die Karosseriefertigung zu forschen, welche eine direkte Umsetzung in der industriellen Praxis finden. Koordiniert wird die Allianz, der mehr als 60 Unternehmen angehören, durch das Fraunhofer IWU und die Volkswagen AG. Im Vordergrund steht der ganzheitliche Fertigungsprozess von Fahrzeugkarosserien. Ziel ist es, bis zu 50 Prozent Energie im Produktionsprozess einzusparen, um Ressourcen und Kosten zu verringern sowie die globale Wettbewerbsfähigkeit der Automobilhersteller in Deutschland zu stärken.

**Prof. Dr. Matthias Putz**  
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen  
und Umformtechnik IWU  
[www.iwu.fraunhofer.de](http://www.iwu.fraunhofer.de)  
[matthias.putz@iwu.fraunhofer.de](mailto:matthias.putz@iwu.fraunhofer.de)



### Thermoelektrik **Nanotechnologie macht Strom aus Wärme**

Thermoelektrische Generatoren wandeln Wärme ohne mechanische Zwischenschritte in Strom um. Überall, wo Temperaturunterschiede auftreten, seien es wenige oder viele Hundert Grad, kann man mit Thermogeneratoren emissionsfrei und dezentral Strom erzeugen. Am Schwerpunktprogramm »Nanostrukturierte Thermoelektrika« der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) sind bundesweit 35 Arbeitsgruppen beteiligt. Aufgabe der Forscherinnen und Forscher ist es, neue thermoelektrische Systeme mit nanostrukturierten Materialien zu entwickeln, die langfristig bis zu 200 Prozent effizienter sind als die bisherigen Systeme. Damit würden sich neue Möglichkeiten in der Energietechnik eröffnen, etwa durch direkte Nutzung der Abwärme von Verbrennungsmotoren.

**Prof. Dr. Kornelius Nielsch**  
Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg  
[www.physik.uni-hamburg.de](http://www.physik.uni-hamburg.de)  
[knielsch@physik.uni-hamburg.de](mailto:knielsch@physik.uni-hamburg.de)



**Verbrauchsarme  
»grüne« Elektronik  
wird zu einem  
wichtigen Verkaufs-  
argument.**

Werden Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und zur Nutzung regenerativer Energien, die mit hohen Investitionen verbunden sind, mit kostengünstigen konventionellen Anlagen kombiniert, kann die wirtschaftliche Effektivität von Energieeffizienzmaßnahmen deutlich angehoben werden. Auf diese Weise sind Energiesysteme realisierbar, die wirtschaftlich konkurrenzfähig sind und mehr als 80 Prozent des Wärmebedarfs mit effizienten KWK-Anlagen oder regenerativen Energien decken. Die Kombination von Maßnahmen aufseiten der Energieversorgung mit Maßnahmen an

Gebäuden zur Reduzierung des Wärmebedarfs ist ein weiteres Arbeitsgebiet der Energiesystemoptimierung, das zusätzliche Einsparpotenziale bietet.

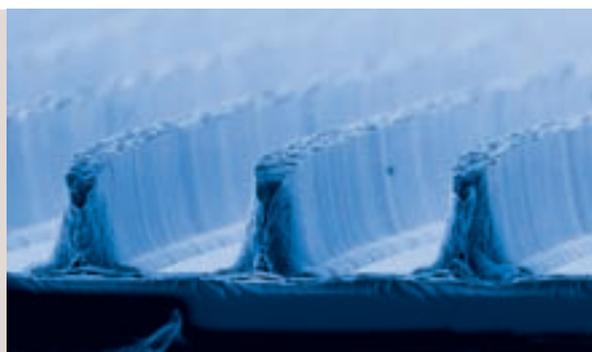
Das Verhalten der Verbraucher darf als Faktor für die nachhaltige Energienutzung generell nicht unterschätzt werden. Hier gilt es, dem Einzelnen sowohl die richtigen Geräte zur Verfügung zu stellen als auch sinnvolle und leicht verwertbare Informationen zu liefern. Davon hängt letztlich die Bereitschaft ab, beim Energieverbrauch selbst Verantwortung zu übernehmen.



#### Organische Leuchtdioden **Kunststoffe mit leuchtender Zukunft**

Bildschirme von Computern und Fernsehern sollen sparsamer werden, und die organische Elektronik könnte dabei helfen. Daher haben Chemiker des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung in Mainz Leuchtstoffe für organische Leuchtdioden entwickelt. Diese sind einfacher herzustellen, brauchen weniger Energie und lassen sich flexibler einsetzen als anorganische LCDs. Die Mainzer Forscher haben unter anderem stabile Substanzen gefunden, die blaues Licht emittieren. Bislang fehlten dafür Stoffe mit ausreichender Lebensdauer, sie sind aber nötig, um Quellen für weißes Licht herzustellen. Möglicherweise lassen sich die blauen Lichtgeber auch zu Folien verarbeiten, die auf Fenster aufgeklebt nachts leuchten und tagsüber Sonnenlicht in Strom umwandeln.

**PD Dr. Martin Baumgarten**  
Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz  
[www.mpip-mainz.mpg.de](http://www.mpip-mainz.mpg.de)  
[baumgart@mpip-mainz.mpg.de](mailto:baumgart@mpip-mainz.mpg.de)



#### Adaptive Oberflächen für Hochtemperaturanwendungen **Strömungsgünstig und selbstreinigend**

Anorganische Werkstoffe und deren Oberflächen verhalten sich wie »tote« Materie: Eine gezielte Veränderung der Eigenschaften bei wechselnden Belastungen ist meist nicht möglich, wodurch erhebliche Verluste im Bauteilbetrieb auftreten können. Im Rahmen eines Schwerpunktprogramms werden deutschlandweit in 13 Verbundprojekten Werkstoffsysteme und Methoden erforscht, die es ermöglichen, Werkstoffoberflächen bei hohen Einsatztemperaturen den Umgebungsbedingungen optimal anzupassen und somit eine Effizienzsteigerung im Einsatz zu erreichen. So wird z. B. die Herstellbarkeit von strömungsgünstigen, selbstreinigenden Oberflächen und deren Widerstandsfähigkeit in einer Gasturbine grundlegend untersucht und in anwendungsorientierten Tests überprüft.

**Prof. Dr.-Ing. Christoph Leyens**  
Technische Universität Dresden,  
Institut für Werkstoffwissenschaft  
[www.tu-dresden.de](http://www.tu-dresden.de)  
[christoph.leyens@tu-dresden.de](mailto:christoph.leyens@tu-dresden.de)



## Komfort mit Nachhaltigkeit

Heute werden in Deutschland rund 35 Prozent der Endenergie für die Gebäudebeheizung verbraucht. Seit vielen Jahren können aber schon Häuser gekauft werden, die keine Heizung mehr benötigen, weil sie so wenig Wärme nach außen lassen, dass die Abwärme der Bewohner und der Haushaltsgeräte in Kombination mit der Nutzung lokaler erneuerbarer Energie als Heizquellen genügen. In wenigen Jahren werden solche »Passivhäuser« der Standard für die Energieversorgung von Wohngebäuden sein.



**Der Energieverbrauch von Gebäuden lässt sich allein durch gute Dämmung enorm verringern.**

Die Herausforderung für die Forschung liegt vor allem darin, die modernen Energiesysteme preiswerter und für den vorhandenen Gebäudebestand nutzbar zu machen, denn 80 Prozent der Gebäude in Deutschland sind älter als 20 bis 30 Jahre. Nur wenn jede anstehende Sanierung verbunden wird mit einer energetischen Aufrüstung nach dem Stand der Technik, können die energie- und klimapolitischen Ziele erreicht werden und die Bewohner auch in Zukunft noch ihre Heizkostenabrechnung bezahlen. Gefragt sind preiswerte, robuste, langlebige und auch architektonisch ansprechende Hochleistungsdämmsysteme sowie

Multifunktionsfassaden mit adaptivem Sonnenschutz, Tageslichtnutzung und Energiegewinnung aufseiten der Bautechnik. Die energieeffiziente Umwandlung von Endenergieträgern in Nutzenergie ist ebenfalls nötig; darunter fallen Wärmepumpen, thermische Solaranlagen und Wärmespeicher, effiziente Systeme zur Wärmerückgewinnung aus Abluft oder Abwasser und im weiteren Sinne auch Systeme zur gekoppelten Bereitstellung von Strom und Nutzwärme (Kraft-Wärme-Kopplung, KWK) im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung. Für Planung und Gebäudebetrieb sind zudem Planungshilfsmittel und Gebäudemanagement-



Verbraucherverhalten

### **Wie Haushalte über ihren Energiemix entscheiden**

Welche Faktoren beeinflussen in privaten Haushalten, womit der Strom- und Wärmebedarf gedeckt wird? Eine wichtige Frage, die Wissenschaftler vom Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) beantworten wollen. Im Projekt seco@home erforschen sie das Verbraucherverhalten beim Energiekonsum in Wohngebäuden. Mit einer innovativen Befragungsmethode, der Conjoint-Analyse, wird ermittelt, wie in den Haushalten solche Präferenzen entstehen, auf welcher Grundlage entschieden wird und welche Barrieren die stärkere Nutzung nachhaltiger Energiequellen verhindern. Die Forscher suchen nach Wegen, den Anteil umweltfreundlicher Energieformen in Privathaushalten zu erhöhen. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

**Dr. Klaus Rennings**  
Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) GmbH,  
Mannheim  
[www.zew.de](http://www.zew.de)  
[rennings@zew.de](mailto:rennings@zew.de)

Forschung und Information

### **Am Puls der Energieforschung**

Ob beim Heizen oder Kühlen von Gebäuden, bei der Herstellung industrieller Güter oder beim Betrieb moderner Kommunikationsnetze: Energie ist Basis und Antrieb unseres heutigen Lebens. BINE Informationsdienst vermittelt praxisrelevante Ergebnisse der Energieforschung – gründlich recherchiert und zielgruppenorientiert aufbereitet. Seine Fachredaktion besteht aus Experten mit ingenieur- und naturwissenschaftlichem Hintergrund und journalistischer Kompetenz. Sie halten den direkten Kontakt zu Forschungsinstituten und Unternehmen, die Effizienztechnologien und erneuerbare Energien zur Anwendungsreife entwickeln. BINE Informationsdienst wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

**Dipl.-Biol. Jutta Perl-Mai**  
BINE Informationsdienst – FIZ Karlsruhe  
[www.bine.info](http://www.bine.info)  
[jutta.perl-mai@fiz-karlsruhe.de](mailto:jutta.perl-mai@fiz-karlsruhe.de)



Die richtige Fassadentechnik zahlt sich durch weniger Energieverlust schnell aus.

systeme wichtig, die es erlauben, solche Effizienztechnologien einzuplanen und einzusetzen.

Bei Wohngebäuden spielt die Vermeidung von Wärmeverlusten über die Fassade die wichtigste Rolle. Hochleistungsdämmsysteme wie Vakuum-Superisolierung und vakuumisolierte Verglasungen, aber auch Sonnenschutzsysteme, die ohne Blendwirkungen genügend Tageslicht durchlassen, und Fassaden mit integrierten photovoltaischen oder thermischen Kollektoren sind hierbei wichtige Forschungsaufgaben. Ebenfalls herausfordernd ist die Aufgabe, praxistaugliche Fassaden

mit integrierten Versorgungsleitungen und Heizflächen zu entwickeln, die bei Altbausanierungen vor die bestehenden Fassaden gehängt werden und den Bewohnern viel Schmutz und Lärm oder gar einen Umzug ersparen und daher vielfach erst eine Sanierung ermöglichen. Für Fälle, in denen eine Sanierung auf Passivhaus-Standard nicht möglich ist, müssen Heizsysteme weiterentwickelt werden: Mit Erdgas betriebene Wärmepumpen können mittelfristig Brennkessel ersetzen; Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung, z. B. mittels Brennstoffzellen, wird Strom quasi als Abfallprodukt der Heizwärmeerzeugung liefern.



### Plus-Energie-Schulen Vom Energieverschwender zum Minikraftwerk

Plus-Energie-Schulen sind die Schulform der Zukunft. Sie erzeugen über das Jahr betrachtet mehr Primärenergie, als sie für die Bewirtschaftung benötigen. Um dies zu erreichen, müssen bei Schulsanierungen zunächst die Verluste durch Transmission und Lüftung drastisch reduziert werden. Dies wird durch einen hohen Wärmeschutz der Hüllflächenbauteile erreicht. Im zweiten Schritt ist die noch benötigte Restenergie mit geringen Verlusten zu erzeugen – möglichst mit erneuerbaren Energien. Ein Plus-Energie-Gebäude wird erreicht, wenn der noch benötigte Restenergieanteil durch das Gebäude selbst erzeugt wird, indem z. B. aus Sonnenenergie mittels Photovoltaik Strom für die eigene Nutzung oder zur Einspeisung ins öffentliche Netz erzeugt wird.

**Dipl.-Ing. Hans Erhorn**  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP  
[www.ibp.fraunhofer.de](http://www.ibp.fraunhofer.de)  
[hans.erhorn@ibp.fraunhofer.de](mailto:hans.erhorn@ibp.fraunhofer.de)



### Monitoringsysteme Gute Zeiten für Stromsparer

Steigen die Energiepreise, haben Effizienztechnologien Konjunktur. Fraunhofer-Forscher entwickelten ein Monitoringsystem, mit dessen Hilfe die Stromverbraucher in einem Haushalt überwacht werden. Der Stromkonsum der einzelnen Geräte wird kontinuierlich dokumentiert. Steigt er auf unübliche Weise an, etwa wenn die Waschmaschine verkalkt ist oder die Kühlschranktür nicht schließt, informiert das System den Nutzer und empfiehlt Gegenmaßnahmen.

**Dipl.-Ing. Peter Heusinger**  
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS  
[www.iis.fraunhofer.de](http://www.iis.fraunhofer.de)  
[peter.heusinger@iis.fraunhofer.de](mailto:peter.heusinger@iis.fraunhofer.de)



Die Nutzung der Sonne als Energiequelle sollte bei Gebäuden heute selbstverständlich sein.

Phasenwechselmaterialien können trotz niedrigen Gewichts große Mengen Wärme speichern, die beim Wechsel von der flüssigen in die feste Phase wieder frei wird. So lässt sich ohne Klimaanlage die Hitze von Sommertagen in die kühlen Nachtstunden verschieben. Wo dies nicht reicht, kann Kälte aus solarer Wärme oder der Abwärme der KWK-Anlagen oder mittels umschaltbarer Erdgaswärmepumpen erzeugt werden. Oder sie wird aus dem kühlen Untergrund in den Baukörper geleitet und die Abwärme kann im Winter mithilfe einer Wärmepumpe von dort wieder fürs Heizen genutzt werden. Auch überschüssige solare

Wärme kann in saisonalen Wärmespeichern für den Winter konserviert werden. Voraussetzung für einen energetisch sinnvollen Betrieb sind große Heiz- bzw. Kühlflächen, damit die Heiz- bzw. Kühlmedien nur eine niedrige Temperaturdifferenz aufweisen müssen (LowEx-Systeme).

Um die komplexen zukünftigen Systeme auch ohne Überforderung und bei Abwesenheit der Bewohner energetisch optimal zu betreiben, müssen Gebäudeteilsysteme zu Smart-Home-Systemen weiterentwickelt werden.



#### Latentwärmespeicher **Intelligente Baumaterialien sparen Energie**

Ob man sich in einer Wohnung wohlfühlt, hängt zum Großteil von der Umgebungstemperatur ab. Kein Wunder, dass für die Temperierung von Wohn- und Bürohäusern immense Mengen an Energie verbraucht werden. Moderne Baustoffe helfen beim Sparen: Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien können, in Baustoffen untergebracht, erhebliche Mengen an Wärme speichern. So lässt sich die überschüssige Wärme des Tages wegspeichern und in der Nacht wieder freisetzen, ohne dass die Heizung eingeschaltet werden muss. Die Latentspeicher sind eine gemeinsame Entwicklung von Fraunhofer-Forschern und der BASF SE.

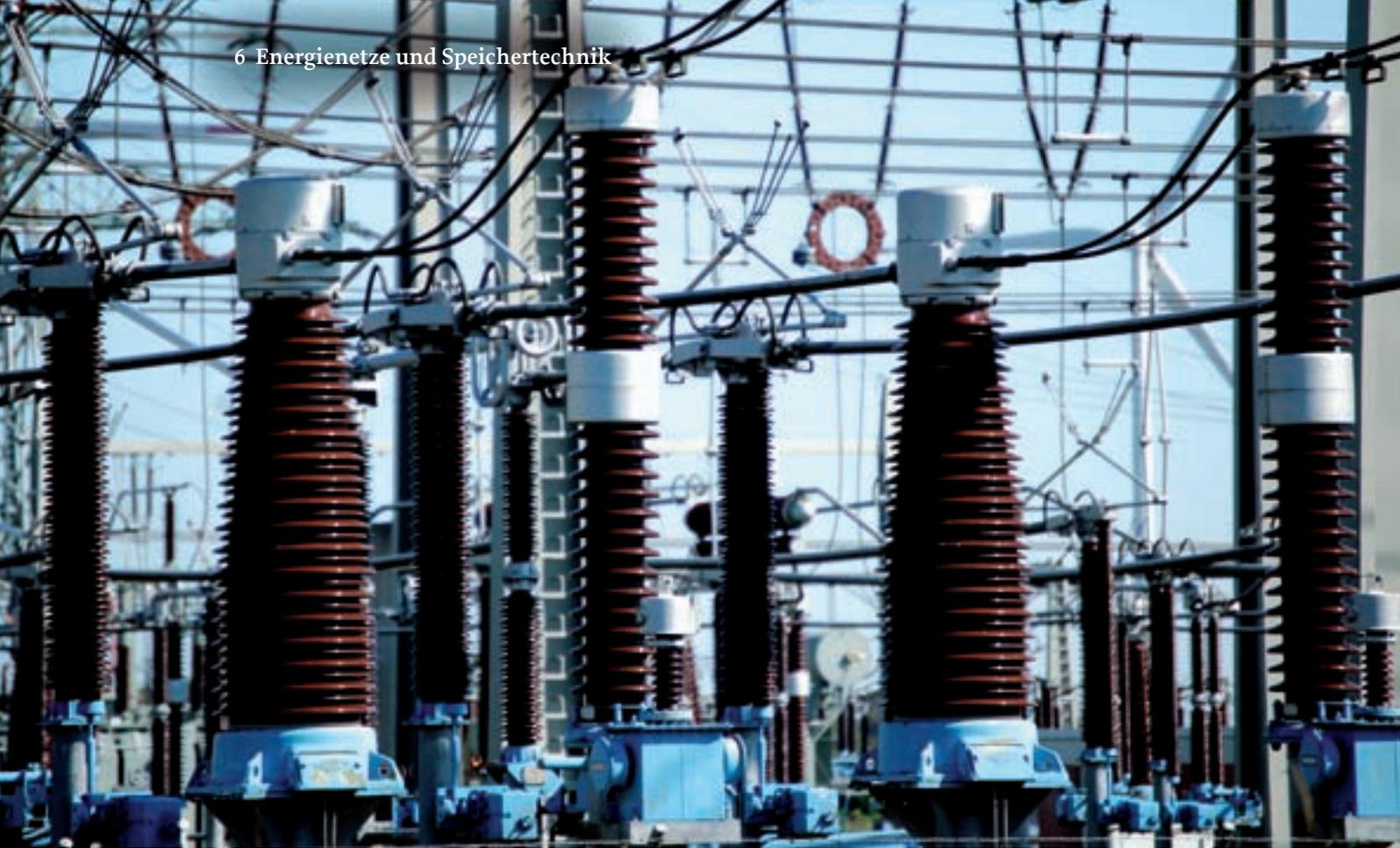
**Dr.-Ing. Peter Schossig**  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)  
[peter.schossig@ise.fraunhofer.de](mailto:peter.schossig@ise.fraunhofer.de)



#### Energieeffizienz bei Mieträumen **Anreiz zur Sparsamkeit**

Etwa ein Drittel des jährlichen Energieverbrauchs in Deutschland geht auf die privaten Haushalte zurück, zum größten Teil auf die Erzeugung von Raumwärme. Die Politik stellt zur Erhöhung der Gebäudeenergieeffizienz finanzielle Förderungen bereit, die insbesondere für Haushalte interessant sind, die ihr Wohneigentum bewohnen. Bei vermietetem Wohnraum fließt die Energiekosteneinsparung indessen allein dem Mieter zu, der Vermieter hat keinen finanziellen Anreiz für eine energetische Wohnraummodernisierung. Die Auflösung dieses »Investor-Nutzer-Dilemmas« ist Gegenstand eines Forschungsprojekts, bei dem untersucht wird, inwiefern es möglich ist, dass auch der Vermieter einen finanziellen Anreiz zur Erhöhung der Gebäudeenergieeffizienz erhält.

**Prof. Dr. Manuel Frondel**  
Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Essen  
[www.rwi-essen.de](http://www.rwi-essen.de)  
[frondel@rwi-essen.de](mailto:frondel@rwi-essen.de)



## Jederzeit sichere Versorgung

Je mehr fluktuierende erneuerbare Energie genutzt wird, umso wichtiger werden Energienetze, regelbare Erzeuger und Verbraucher sowie Speichertechnologien. Die unterschiedliche regionale Verteilung der Standorte für die Stromerzeugung aus Wind und Sonne auf der einen Seite und der Verbrauchsschwerpunkte auf der anderen Seite erfordern neue Stromtransportleitungen. Der zeitliche Unterschied zwischen Stromproduktion und -konsum erfordert zudem höhere Kapazitäten bei der Energiespeicherung.



**Energienetzen kommt in Zukunft eine besonders große Bedeutung zu.**

Beim Stromtransport kann zukünftig die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) als Kabel- oder Freileitungstechnologie eine wichtige Rolle spielen. Während die Technik weltweit kommerziell im Einsatz ist und in Richtung höherer Spannungen und weiterer Strecken entwickelt wird, fehlt es noch an gesamt-systemischen Analysen großer hybrider Netzstrukturen aus Gleich- und Wechselstromnetzen. Schon heute ist es dagegen möglich, durch ein Monitoring der Betriebszustände der Freileitungen deren Übertragungskapazität vorübergehend zu erhöhen; weite-

re Optimierungen der physikalisch-mathematischen Modellierung und deren Integration in eine ganzheitliche Netzsteuerung sind aktuelle Forschungsthemen.

Für eine optimale Netzbetriebsführung sind Steuerungs- und Kompensationseinrichtungen notwendig. »Flexible alternating current transmission systems (FACTS)« sind hierbei geeignete Mittel, um die Stabilität und die Versorgungsqualität in elektrischen Energieversorgungsnetzen zu verbessern. Damit lässt sich die Übertragungskapazität um bis zu 40 Prozent steigern.



#### Nutzung und Speicherung von Erdgas **Ein Pulver gegen Energieverschwendung**

Erdgas abzufackeln ist künftig vielleicht nicht mehr nötig. Denn Chemiker der Max-Planck-Institute für Kohlenforschung sowie für Kolloid- und Grenzflächenforschung wandeln Methan, den Hauptbestandteil von Erdgas, mit einem neuen Katalysator einfach und effizient in leicht transportier- und speicherbares Methanol um. Das lohnt sich vor allem dort, wo andere chemische Verfahren oder gar eine Pipeline unrentabel sind. Derzeit wird bei der Ölförderung weltweit jährlich mehr Erdgas verbrannt, als Deutschland verbraucht. Mit dem Verfahren lassen sich auch bislang unrentable Erdgasquellen erschließen. Die Ressourcen reichen nach dem derzeitigen Stand noch für 130 Jahre – doch momentan lohnt sich die Förderung nur aus Reserven, die allenfalls noch 60 Jahre sprudeln werden.

**Prof. Dr. Ferdi Schüth**  
Max-Planck-Institut für Kohlenforschung,  
Mülheim an der Ruhr  
[www.mpi-muelheim.mpg.de](http://www.mpi-muelheim.mpg.de)  
[schueth@mpi-muelheim.mpg.de](mailto:schueth@mpi-muelheim.mpg.de)



#### Speichertechnik **Neue Reserven für Stromnetze**

Regenerative Energien sind umweltfreundlich, aber Wind und Sonne stehen nur unregelmäßig zur Verfügung. Steigt deren Anteil am gesamten Stromverbrauch, müssen die Stromnetze entsprechend angepasst werden. Dazu gehören höhere Speicherkapazitäten. Fraunhofer-Forscher richten für dieses Anwendungsfeld ihr Augenmerk vor allem auf zwei interessante Speichertechnologien: Redox-Flow-Batterien und Druckluftspeicher. Beide Verfahren erlauben es, Energie langfristig und in großer Menge zu speichern und sind daher besonders geeignet, die Schwankungen regenerativer Energien im Stromnetz auszugleichen.

**Dr.-Ing. Christian Dötsch**  
Fraunhofer-Institut für Umwelt-,  
Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT  
[www.umsicht.fraunhofer.de](http://www.umsicht.fraunhofer.de)  
[christian.doetsch@umsicht.fraunhofer.de](mailto:christian.doetsch@umsicht.fraunhofer.de)

Elektronische Stromzähler versorgen die Leitstellen mit wichtigen Informationen.



Die zukünftigen Herausforderungen durch eine zunehmend dezentrale und fluktuierende Energieerzeugung machen auch die Einbeziehung des Mittel- und Niederspannungsnetzes in die aktive Netzsteuerung erforderlich. Bei diesen »Active Grids« wird der aktuelle Zustand der Netze in Echtzeit erfasst und durch aktive Fernsteuerung beeinflusst. »Smart Metering« stellt hierbei einen wichtigen Baustein auf der unteren Spannungsebene dar. Wird auch die Steuerung der Verbraucher in den Haushalten mit einbezogen (»Smart Home«), ebenso wie dezentrale steuerbare Energie-

erzeuger wie Blockheizkraftwerke und später Brennstoffzellen, hilft das »Smart Grid«, die Netze trotz großer Anteile fluktuierenden Stroms aus Sonne und Wind stabil zu halten. Bis dahin sind von den Forschern noch einige herausfordernde Aufgaben zu lösen und neue Geschäftsmodelle zu entwickeln.

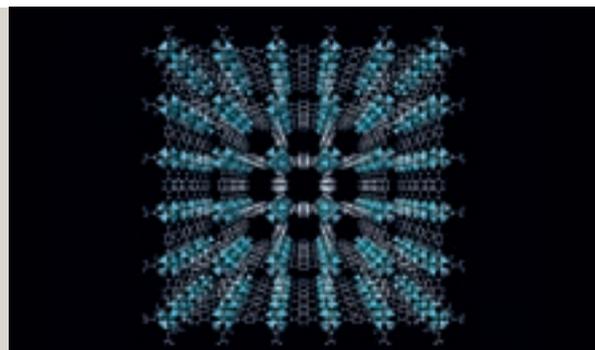
Zusätzlich erforderlich werden aber auch mehr Speicher, wenn immer mehr fluktuierender Strom bei immer weniger regelbaren Kraftwerken die Stromversorgung sicherstellen soll. Große Strommengen sind



### Nanostrukturierte Elektroden Neuer Schub für Batterien

Manchmal vollzieht sich Fortschritt im Kleinen – im Fall von Lithiumakkus buchstäblich: Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung trimmen die Batterien mit der Nanotechnik für Elektroautos. So ermöglichen sie mit nanostrukturierten Elektroden gleichzeitig ein hohes Speichervermögen sowie ein rasches Be- und Entladen. Schneller laden lassen sich die Batterien auch, wenn die Forscher nanoskopische Siliciumdioxid-Partikel – im Prinzip winzige Sandkörner – in den Elektrolyten mischen. Durch den Elektrolyten wandern in der Batterie Ionen zwischen den Polen hin und her. Das Siliciumdioxid trennt negative und positive Ionen und erhöht so die Leitfähigkeit. Außerdem macht es Batterien stabiler und weniger leicht entflammbar.

Prof. Dr. Joachim Maier  
Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart  
www.fkf.mpg.de  
s.weiglein@fkf.mpg.de



### Wasserstofftechnologie Das Raumwunder im Tank

Wasserstoff ist ein Energieträger der Zukunft, jedoch ist die effiziente Speicherung noch ungelöst. Damit ein Auto mit einer Brennstoffzelle 500 Kilometer weit fahren kann, wird derzeit Wasserstoff aufwendig in einem Gastank unter 700 Atmosphären Druck gespeichert. Durch Speicherung in einem Festkörper kann der Druck und damit die Kosten drastisch gesenkt werden. Daher erforschen Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Metallforschung metall-organische Gerüststrukturen (MOFs), die extrem porös sind und pro Gramm eine innere Oberfläche von 4000 m<sup>2</sup> – mehr als ein halbes Fußballfeld – besitzen. Diese neuen Materialien bieten Wasserstoff bereits viel Platz, aber derzeit müssen noch die Eigenschaften für einen Wasserstofftank im Auto optimiert werden.

Dr. Michael Hirscher  
Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart  
www.mf.mpg.de  
hirscher@mf.mpg.de

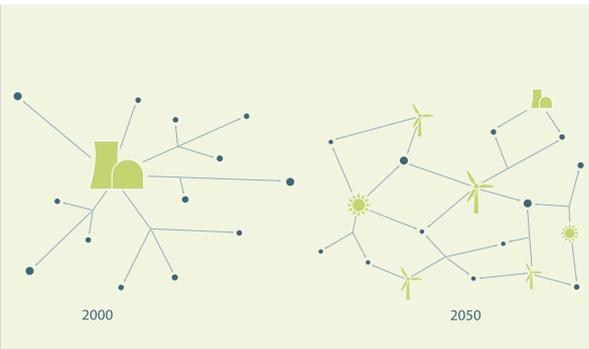


**Eine gute Möglichkeit, Energie vorzuhalten: ein Wasserspeicher-Kraftwerk.**

bisher fast nur in Pumpspeicher-Kraftwerken speicherbar, die den Höhenunterschied zwischen zwei Wasserbecken zur Energiespeicherung nutzen. Ihre Potenziale sind in Europa geografisch begrenzt und kaum noch ausbaubar. Im Flachland können Druckluftspeicher-Kraftwerke (CAES) eingesetzt werden, bei denen Luft komprimiert und in Kavernen gespeichert wird, um sie bei Bedarf mittels Turbinen zu entspannen. Die gegenwärtigen Wirkungsgrade liegen bei 40 bis 50 Prozent, die Ausspeicherleistungen von 100 bis 300 Megawatt können ein bis zwei Stunden genutzt werden. Neuere

Forschungen zielen darauf ab, die bei der Kompression frei werdende Wärme ebenfalls zu speichern und bei der Entspannung zu nutzen (adiabate CAES); der Wirkungsgrad kann damit auf über 70 Prozent angehoben werden.

Zur Langzeitspeicherung in Verbindung mit fluktuierenden erneuerbaren Energien, z. B. zur Überbrückung von wochenlangen Windflauten und zum Ausgleich saisonaler Unterschiede, könnte Wasserstoff genutzt werden, indem er nach seiner Erzeugung vor einer



### Stromnetzwerke Von selbst robust gegen Störungen

Unsere Stromnetze werden sich in den kommenden Jahrzehnten stark verändern. An die Stelle weniger großer Kraftwerke treten viele kleine Versorger, die Strom aus regenerativen Energien erzeugen. Wie muss ein Netzwerk aussehen, das dezentral und zugleich robust gegenüber Störungen und Lieferschwankungen ist? Solchen Fragen gehen Max-Planck-Wissenschaftler in Göttingen nach. Dabei lassen sie sich von Methoden inspirieren, die sonst beispielsweise das Zusammenspiel von Nervenzell-Netzwerken im Gehirn beschreiben. Ziel ist es, zu verstehen, wie sich die Dynamik in Stromnetzwerken selbst organisieren kann. Dieses Wissen lässt sich dann nutzen, um die Netzwerke so zu planen und zu betreiben, dass nur noch wenig Kontrolle von außen nötig ist.

**Prof. Dr. Marc Timme**  
Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation, Göttingen  
[www.nld.ds.mpg.de](http://www.nld.ds.mpg.de)  
[timme@nld.ds.mpg.de](mailto:timme@nld.ds.mpg.de)



### Energieerzeugung Neue Membranen für Brennstoffzellen

Die Brennstoffzelle wird als die umweltfreundliche Energiequelle der Zukunft angesehen, sei es als Stromquelle für das Elektroauto oder als Strom- und Wärmelieferant für den Haushalt. Herzstück ist die Protonen leitende Membran, die über einen weiten Temperaturbereich und bei relativen Feuchten von weniger als 90 Prozent ausreichend leitfähig sein muss. Betriebstemperaturen von mehr als 100 °C vereinfachen das Wassermanagement, die Kühlung und verringern den Katalysatoreinsatz. Die Membranarbeitsgruppe am Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V. (IPF) entwickelt in Kooperation mit der Universität Stuttgart (ICVT) entsprechende Membranen auf der Basis vollaromatischer Polymere. Damit wird der Weg für eine breite Anwendung der Brennstoffzelle geebnet.

**Dr. Jochen Meier-Haack**  
Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.  
[www.ipfdd.de](http://www.ipfdd.de)  
[mhaack@ipfd.de](mailto:mhaack@ipfd.de)



Die Erforschung neuer Lithium-Ionen-Batterien soll die mögliche Energiedichte der Stromspeicher weiter erhöhen.

Rückverstromung in Gas- und Dampfturbinenanlagen z. B. in unterirdischen Gesteins- oder Salzformationen gelagert wird. Allerdings wird der Gesamtwirkungsgrad kaum besser als 40 Prozent werden. Auch andere chemische Speicher kämen für diese Aufgabe infrage; deren Eignung muss auf Ebene des Gesamtsystems analysiert werden.

Etwa 75 Prozent Wirkungsgrad könnten Redox-Flow-Batterien erreichen, bei denen die Energie verlustfrei chemisch gespeichert werden kann. Diese Technologie

eignet sich vorrangig für größere Speicherkapazitäten, so z. B. an Netzknoten, da die Energiespeicherung getrennt von der Umwandlung in flüssigen Elektrolyten erfolgt, die in konventionellen Tanks gelagert werden. Lithium-Ionen-Batterien sind die zurzeit aussichtsreichste Batterietechnologie. Sie wird in Zukunft in Bereichen wie Elektromobilität, kleineren dezentralen Netzspeichern sowie der Nutzbarmachung regenerativer Energien ihre Position ausbauen. Bedingung dafür sind jedoch – neben sicherheitstechnischen Aspekten – sinkende speicherspezifische Kosten. Sie sind mit



### Versorgungskonzept **Netz für Strom aus regenerativen Quellen**

Es ist möglich: Deutschland könnte grundsätzlich seinen gesamten Strombedarf über regenerative Quellen decken. Zu diesem Ergebnis kommen die Kasseler Forscher um Dr. Kurt Rohrig in ihren Berechnungen für das Pilotprojekt »Regeneratives Kombikraftwerk«. Dabei verbinden sie die unterschiedlichen Charakteristiken von Solar-, Wasser-, Wind- und Biogaskraftwerken mit einem Speicherkraftwerk. Es ist den Wissenschaftlern gelungen, die verschiedenen Stromquellen exakt zu steuern und zu koordinieren, um den Bedarf präzise und zuverlässig zu decken. Auf diese Weise wird eine gleichmäßige und sichere Versorgung mit Energie allein auf der Basis von regenerativen Energiequellen gewährleistet. Für sein Konzept erhielt Dr. Rohrig den Deutschen Klimaschutzpreis 2009.

**Dr. Kurt Rohrig**  
Fraunhofer-Institut für Windenergie und  
Energiesystemtechnik IWES  
[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)  
[kurt.rohrig@iwes.fraunhofer.de](mailto:kurt.rohrig@iwes.fraunhofer.de)



### Energiespeicher **Mit Wasserstoff in die Zukunft**

Rostocker Forscher erkunden die Wasserstoffspeicherung z. B. für Brennstoffzellen. 5 Milligramm des im Leibniz-Institut für Katalyse (LIKAT) entwickelten Rutheniumkatalysators erzeugen aus 233 Millilitern Ameisensäure 125 Liter gasförmigen Wasserstoff. Die LIKAT-Forscher untersuchen auch die Möglichkeit, das dabei frei werdende Kohlendioxid mit Wasserstoff aus erneuerbaren Rohstoffen wieder zu Ameisensäure umzusetzen. So schließt sich der Kreis: Ameisensäure kann CO<sub>2</sub>-neutral Wasserstoff speichern und ist dabei ungiftig und einfach zu handhaben. Schon in absehbarer Zeit ist die katalytische Erzeugung von Wasserstoff für Brennstoffzellen in Laptops realisierbar. Auf lange Frist könnten sogar Autos mit diesem Prinzip der Stromerzeugung fahren.

**Prof. Dr. Matthias Beller**  
Leibniz-Institut für Katalyse (LIKAT)  
[www.catalysis.de](http://www.catalysis.de)  
[matthias.beller@catalysis.de](mailto:matthias.beller@catalysis.de)



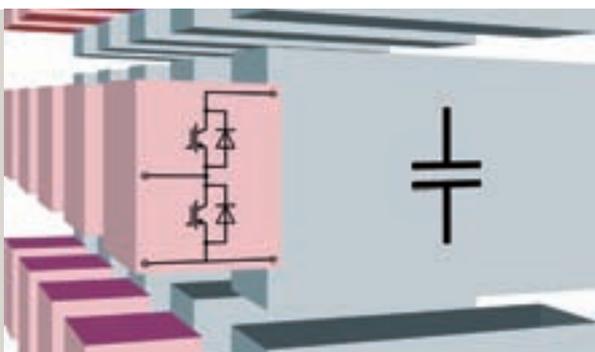
**Bessere Energienetze sorgen auch in Zukunft für Sicherheit und Komfort.**

500 bis 1000 Euro pro Kilowattstunde im Vergleich zu anderen Batteriespeichern noch sehr hoch.

Oft wird es aber preiswerter sein, die Stromnachfrage in Zeiten zu verschieben, in denen genügend Strom zur Verfügung steht. Dies ist überall dort relativ einfach möglich, wo im industriellen Maßstab energieintensive Prozesse zeitlich verschiebbar sind. Dies können z. B. große Grundwasserpumpen oder zentrale Tiefkühl-lagerhäuser sein. Selbst im privaten Sektor kann in gewissem Umfang die Last angepasst werden. Zum

Beispiel können Gefrierschränke oder Anwendungen, die meist nicht zeitkritisch sind, in Hochlastzeiten kurz ausgeschaltet bzw. verschoben werden; die Steuerung kann über Preissignale erfolgen oder über eine zentrale Leittechnik.

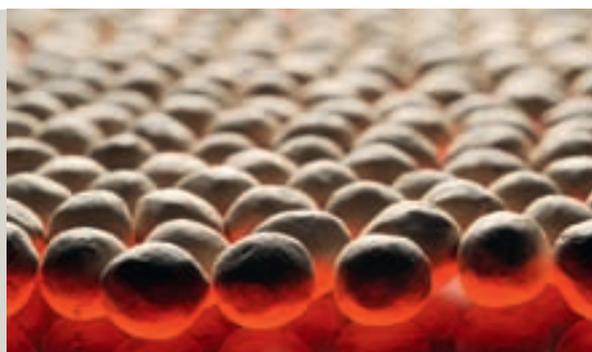
Selbst die Verschiebung der Kühle der Nacht in die Nachmittagszeit kann den Einsatz von Klimaanlage reduzieren. Hier wird an Phasenwechselmaterialien geforscht, die eine hohe Speicherfähigkeit aufweisen.



#### Energieelektronik **Schaltzellen für das Stromnetz der Zukunft**

Regenerative Energiequellen spielen eine immer wichtigere Rolle. Anlagen und Bauteile zur Stromübertragung müssen an den künftigen Energiemix angepasst werden, damit die elektrische Energie möglichst verlustarm und sicher beim Verbraucher ankommt. Ein Beispiel ist die Hochspannung-Gleichstrom-Übertragung von Offshore-Windparks an der Küste. Fraunhofer-Forscher entwickeln hierfür Hochleistungsschalter, Schaltungstopologien und Systeme, die sich durch höchsten Wirkungsgrad und Zuverlässigkeit, optimierten Havarieschutz, kompaktes Design, Skalierbarkeit und Wirtschaftlichkeit auszeichnen. Durch Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an die speziellen Einsatzbedingungen werden mit der Technologie weitere Anwendungsfelder wie Bahnnetze oder große Industrieanlagen erschlossen.

**Dipl.-Ing. Markus Billmann**  
Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB  
[www.iisb.fraunhofer.de](http://www.iisb.fraunhofer.de)  
[markus.billmann@iisb.fraunhofer.de](mailto:markus.billmann@iisb.fraunhofer.de)



#### Wärmespeicherung **Eine heiße Sache**

In industriellen Prozessen und in solarthermischen Anlagen steht oft wertvolle Hochtemperaturwärme zur Verfügung, die gerade nicht benötigt wird. Was liegt näher, als vielseitig einsetzbare thermische Energiespeicher zu entwickeln, um diese Wärme zwischenspeichern und bedarfsgerecht bereitzustellen? So können zyklische Industrieprozesse mit weniger Energieeinsatz betrieben werden, solarthermische Kraftwerke auch nach Sonnenuntergang Strom oder Prozesswärme liefern oder konventionelle Kraft-Wärme-Anlagen zeitlich flexibel eingesetzt werden. Gemeinsam mit Industriepartnern entwickelt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) neuartige kostengünstige Hochtemperaturfeststoff- und Latentwärmespeicher und thermochemische Speicher für den Bereich von 100 bis 1000 °C.

**Dr. Rainer Tamme**  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Mitglied in der Helmholtz-Gemeinschaft, Institut für Technische Thermodynamik  
[www.dlr.de](http://www.dlr.de)  
[rainer.tamme@dlr.de](mailto:rainer.tamme@dlr.de)



## Sanft und sauber in Bewegung

Das starke Schwanken der Ölpreise beflügelte in den letzten Jahren die Diskussion über Elektromobilität. Politische Ziele, wie die Reduktion der Abhängigkeit vom Öl, effizientere Energiewandlung, deutliche CO<sub>2</sub>-Reduktion und geringere lokale Emissionen im Verkehr, sind neben industriepolitischen Zielen, etwa der Bedeutung des Automobilssektors in Deutschland, wichtige Argumente für die Elektromobilität. Im Koalitionsvertrag werden deshalb die Ziele genannt, »Deutschland zum Leitmarkt für die Elektromobilität bis 2020« zu entwickeln und »1 Million Elektrofahrzeuge bis 2020« auf die Straße zu bringen.



**Ausreichend Strom im Auto zu speichern ist technisch sehr anspruchsvoll.**

Vor einer umfassenden Markteinführung der Elektroautos sind allerdings noch einige Herausforderungen zu lösen, besonders bei der Entwicklung wichtiger Schlüsseltechnologien. Hier ist zuerst die Lithium-Ionen-Batterie zu nennen, die hinsichtlich Kosten, Energiedichte, Gewicht, zyklischer und kalendarischer Lebensdauer und Ladegeschwindigkeit deutlich verbessert werden muss, um im Vergleich mit konventionellen Fahrzeugen überzeugen zu können. Wichtig ist zudem, effiziente Produktionsanlagen von Fahrzeugbatterien zu entwickeln, um die Kosten zu senken und

die notwendigen Stückzahlen bereitstellen zu können. Da ca. 70 Prozent der Wertschöpfung bei der Batterie in der Batteriezelle liegen, ist die Zellproduktion in Deutschland ein wichtiges Thema; derzeit liegt die heimische Industrie in diesem Bereich gegenüber anderen internationalen Wettbewerbern noch deutlich zurück. Aber auch Batteriemodule und -systeme sind wichtige Forschungsthemen.



#### Batterietechnik **Mehr Strom für unterwegs**

In modernen Elektrofahrzeugen werden Lithium-Ionen-Batterien als Energiespeicher bereits verwendet. Die Einführung dieses Batterietyps als preisgünstiges Massenprodukt setzt jedoch weitere signifikante Steigerungen der Leistungsfähigkeit für verbesserte Reichweiten voraus. In einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) werden daher Werkstoffe mit neuem Design für verbesserte Lithium-Ionen-Batterien untersucht und optimiert. Mehr als dreißig Forschungsgruppen an Universitäten und außeruniversitären Einrichtungen arbeiten am gemeinsamen Ziel, die Batterien auf eine zukunftsgerichte neue Leistungs- und Sicherheitsstufe zu heben.

**Prof. Dr. Hans Jürgen Seifert**  
TU Bergakademie Freiberg, Institut für Werkstoffwissenschaft  
<http://tu-freiberg.de/fakult5/iww>  
[seifert@ww.tu-freiberg.de](mailto:seifert@ww.tu-freiberg.de)



#### Verkehrssystemtechnik **AutoTram soll Lücken schließen**

Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) leistet einen großen Beitrag zur Bewältigung der Mobilitätsbedürfnisse der Menschen. Strecken mit hoher Nachfrage werden vor allem mit schienengebundenen Systemen bedient, die aber hohe Investitionen erfordern und in der Streckenführung wenig flexibel sind. Busse dagegen stoßen schnell an Kapazitätsgrenzen. Das Konzept AutoTram verbindet die Vorteile beider Systeme und beinhaltet zudem hocheffiziente elektrische Antriebsmotoren in Kombination mit Hochleistungsbatterien und Superkondensatoren. Damit ist eine schadstoffarme Fortbewegung gewährleistet. Die AutoTram wird im Rahmen des Programms »Unternehmen Region« – gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung – in Dresden eingesetzt.

**Dr. Jan Schubert**  
Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI  
[www.autotram.net](http://www.autotram.net)  
[jan.schubert@ivi.fraunhofer.de](mailto:jan.schubert@ivi.fraunhofer.de)



**Elektroautos stehen in den Fahrleistungen anderen Fahrzeugen nicht nach.**

Längerfristig muss – auch wegen der Rohstofffrage, u. a. bei Lithium, Kobalt und Mangan – ein Recycling von Fahrzeugbatterien entwickelt und eingeführt werden. Zudem sollten wegen der höheren Energiedichte Batterien der nächsten Generation, wie die Lithium-Schwefel-, Metall-Luft- oder Redox-Flow-Batterien, von der Grundlagenforschung in die Anwendung gebracht werden.

Die Entwicklung und kostengünstige Produktion von Elektromotoren, die in der Leistungsklasse von Fahr-

zeugen liegen, sowie der Leistungselektronik sind weitere Entwicklungsziele. Zur Verbesserung der Effizienz muss die Thematik des Wärme- und Kälte-managements in Elektrofahrzeugen angegangen werden. Ansatzpunkte hierfür können in der Vorkonditionierung oder der Entwicklung neuer Fahrzeugkonzepte mit Themenschwerpunkten wie Isolierung und Fahr-raumgestaltung sein. Generell muss betont werden, dass auf Elektrofahrzeuge optimierte Gesamtfahrzeug-konzepte heute noch weitgehend fehlen und dass hier ein großes Entwicklungspotenzial liegt.



**Systemforschung Elektromobilität  
Ein System für Mobilität**

Um die Wettbewerbsfähigkeit im Automobilbau und bei Energieerzeugung und -speicherung zu erhalten und die internationale Entwicklung maßgeblich mitzugestalten, muss Elektromobilität in Deutschland systematisch vorangetrieben werden. Mit der »Systemforschung Elektromobilität« will Fraunhofer den Wandel zu einer nachhaltigen »All-electric Economy« unterstützen. Die Besonderheit dieses Ansatzes ist es, alle Wertschöpfungsstufen der Elektromobilität aufeinander abgestimmt zu erforschen – von der Energieerzeugung über den Transport und die Verteilung der Energie durch die Stromnetze, die Schnittstellen zwischen Stromnetz und Fahrzeug, die Energiespeicherung bis hin zu neuen Fahrzeugkonzepten mit einer neuen Infrastruktur sowie Nutzungs- und Abrechnungskonzepten.

**Prof. Dr.- Ing. Holger Hanselka**  
Hauptkoordinator Systemforschung Elektromobilität  
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF  
www.lbf.fraunhofer.de  
holger.hanselka@lbf.fraunhofer.de



**Akzeptanzforschung  
Nutzerfreundliche Elektromobilität**

Der Elektromobilität wird eine tragende Säule im Stadtverkehr der Zukunft zugeschrieben. Sie kann einen Beitrag zur Verminderung der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern leisten. Für die erfolgreiche Etablierung der Elektromobilität ist neben den technischen Voraussetzungen auch die Nutzerakzeptanz von zentraler Bedeutung. Von Interesse ist z. B., wie die Fahrer mit dem Ladeprozess und der beschränkten Reichweite der Fahrzeuge umgehen. Forscher der TU Berlin untersuchen die gegenwärtigen und zukünftigen Anforderungen der Elektrofahrzeug-Nutzer und erstellen in Kooperation mit der TU Dortmund einen Infrastrukturplan für Ladestandorte, in den auch die Ergebnisse der Nutzeranalyse einfließen. Somit sollen die Voraussetzungen für eine möglichst breite Anwendung des Elektroantriebs geschaffen werden.

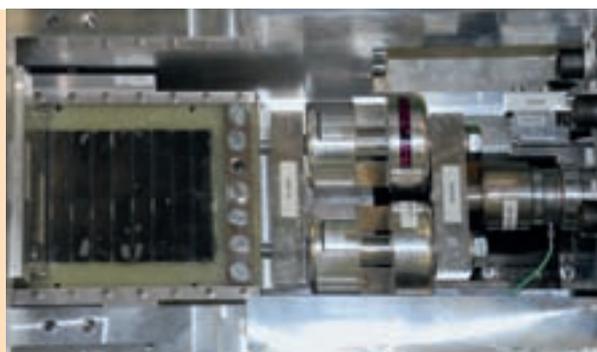
**Prof. Dr.-Ing. Christine Ahrend**  
Technische Universität Berlin,  
Institut für Land- und Seeverkehr  
www.ils.tu-berlin.de  
christine.ahrend@tu-berlin.de



**Neue Mobilitätskonzepte müssen den Nutzern schmackhaft gemacht werden.**

Auch die Fahrzeuganbindung bietet eine Reihe an Verbesserungen. Hierzu zählt die Entwicklung von kostengünstigen Strombelastungssystemen für zu Hause oder im halböffentlichen Bereich. Auch die Entwicklung von wirklichen Schnellladesystemen mit über 100 Kilowatt Leistung sollte angegangen werden. Um die Anbindung an das Stromnetz sowie eine bessere Integration von fluktuierenden erneuerbaren und dezentralen Energieerzeugungseinheiten zu ermöglichen, sind informationstechnische Lösungen zu entwickeln. »Smart Grids« bieten eine entsprechende Plattform für Elektrofahrzeuge.

Als wichtiger Punkt muss bei den Herausforderungen auch angesprochen werden, dass neue Mobilitätskonzepte zu entwickeln sind. Sie sollten auf die Möglichkeiten und Grenzen der Elektrofahrzeuge eingehen, ebenso wie auf die Nutzerakzeptanz und auf die Wege, darauf Einfluss zu nehmen. Zu nennen sind hier beispielsweise Carsharing oder Car-to-Go-Konzepte oder die Anbindung von Elektrofahrzeugen an den öffentlichen Verkehr.



Freikolben-Lineargenerator  
**Range Extender für den Fall der Fälle**

Trotz der zu erwartenden Steigerung der Energie- und Leistungsdichte von Batterien wird die Reichweite batterieelektrischer Fahrzeuge begrenzt bleiben. Hilfsmotoren, sogenannte Range Extender, können sie vergrößern, bedürfen aber noch einiger Forschung. Denn ein Range Extender muss leicht, kompakt und gut in das Fahrzeug integrierbar sein. Außerdem darf er nicht stören, wenn er einsetzt. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt mit dem Freikolben-Lineargenerator einen Range Extender, der genau diese Anforderungen erfüllt. Mehr noch: Die Variabilität von Verdichtung und Hub führt zu einem hohen Wirkungsgrad bei geringen Emissionen und erlaubt den Betrieb mit verschiedenen Kraftstoffen. Seine extrem flache Bauweise erleichtert überdies die optimale Positionierung im Fahrzeug.

**Dr.-Ing. Christian Piehler**  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Mitglied in der Helmholtz-Gemeinschaft, Programmdirektion Verkehr, Köln  
[www.dlr.de](http://www.dlr.de)  
[christian.piehler@dlr.de](mailto:christian.piehler@dlr.de)



Nachhaltige Mobilität  
**Forschung über Mobilitätsfolgen**

Nachhaltigkeit im Verkehrssektor umfasst verschiedene Dimensionen. Neben den Emissionen und den verwendeten Energieträgern und Antriebstechniken spielen gesellschaftliche Kosten aufgrund von Staus, Unfällen, Umweltschäden, Lärm und Klimawandel eine Rolle. Auch empirische Befunde zu Erreichbarkeit und sozialer Teilhabe, zu den Konsequenzen regionaler Entwicklungen wie z. B. der Suburbanisierung und Zersiedlung sowie zur Finanzierung des Verkehrs müssen betrachtet werden. Zum anderen geht es darum, verschiedene ordnungs- und preispolitische Maßnahmen wie z. B. Mautgebühren und Emissionshandel sowie die Rolle von technischen Innovationen und technischen Normen, etwa Emissionsstandards, zu analysieren.

**Prof. Dr. Claudia Kemfert**  
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung,  
Abteilung Energie, Verkehr und Umwelt  
[www.divv.de](http://www.divv.de)  
[ckemfert@divv.de](mailto:ckemfert@divv.de)



## Nachhaltig und unerschöpflich

Regenerative Energien haben gegenüber den anderen Quellen der Energieversorgung einige bestechende Vorteile: Sie sind potenziell unerschöpflich, denn der Wind wird auch in Jahrtausenden noch wehen, das Wasser wird fließen, und die Sonne wird nach menschlichen Maßstäben immer scheinen. Zum anderen sind die eingesetzten Technologien relativ einfach und stehen daher grundsätzlich jedem zur Verfügung. Zudem setzt die Nutzung dieser Energiequellen per saldo kaum zusätzliches CO<sub>2</sub> frei. Dennoch: Im Detail besteht noch großer Forschungsbedarf.



Solarzellenforscher erreichen immer höhere Wirkungsgrade der Module.

## Solarenergie

Die Sonne steht als Energiequelle fast unbegrenzt zur Verfügung. Die Menschheit benötigt heute insgesamt 15 Terawatt Leistung, aber die kontinuierliche Sonneneinstrahlung entspricht 120 000 Terawatt. Wir können also mit einem kleinen Teil davon einen großen Teil unseres Energiebedarfs decken. Sonnenenergie kann in Gebäuden durch bauliche Maßnahmen genutzt werden oder mit Solarkollektoren und Photovoltaikmodulen. Die Photovoltaik (PV) erlebt seit einigen Jahren – gefördert durch Markteinführungsprogramme – einen

Boom. Die weltweit installierte Spitzenleistung ist auf über 30 Gigawatt angewachsen. Um die Solarenergie entwickelte sich eine tragfähige Industrie, die Arbeitsplätze schafft und deren Produktionskosten drastisch sinken. Schon Mitte des Jahrzehnts dürfte Solarstrom in Deutschland billiger sein als Haushaltsstrom.

Weit über 80 Prozent der hergestellten Solarzellenleistung basieren auf kristallinem Silizium. Wirkungsgrad, Preis-Leistungs-Verhältnis, Langzeitstabilität



### Solarzellenforschung **Hochleistungszellen und Konzentratortechnologie**

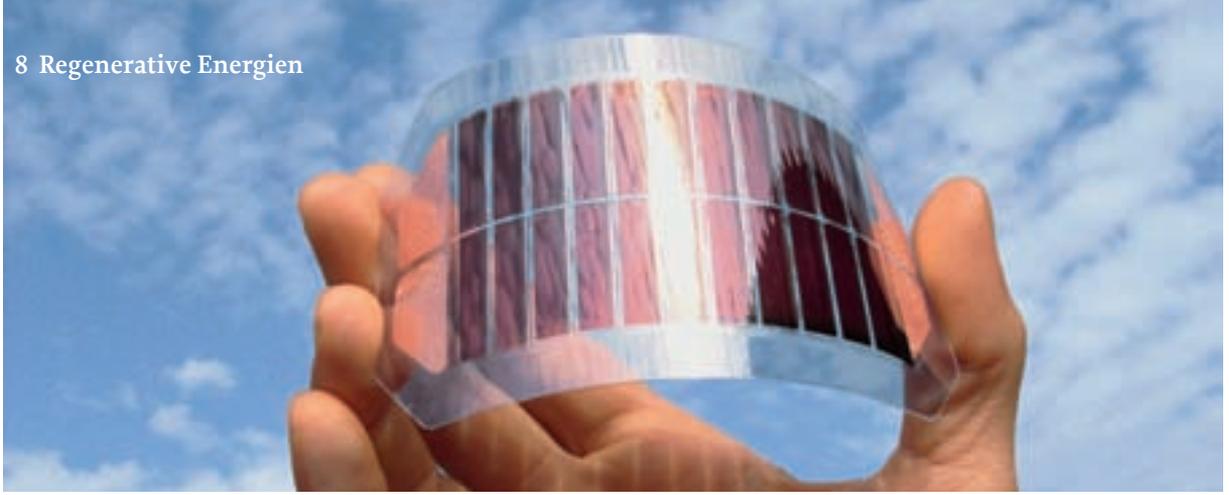
Für die marktdominierende Siliziumtechnologie optimieren Forscher am Fraunhofer ISE kontinuierlich Zellkonzepte, Produktionsprozesse und Modultechnologien. Sie halten mit 20,4 Prozent den Weltrekord im Wirkungsgrad konventioneller Solarzellen auf der Basis multikristallinen Siliziums. Mit 41,1 Prozent erzielten sie zudem einen Rekordwirkungsgrad mit einem neuen Solarzellenkonzept: Dabei werden drei Solarzellen hintereinander geschaltet, sodass das Sonnenspektrum besonders effizient konvertiert werden kann. Die wenige Quadratmillimeter großen Mehrfachsolarezellen sitzen im Fokus einer Linse, die das Sonnenlicht bis zu 500-fach konzentriert. Das Material sparende Bauprinzip wird von der Concentrix Solar GmbH in Form der FLATCON®-Module vermarktet.

**Prof. Dr. Eicke R. Weber**  
Sprecher Fraunhofer-Allianz Energie  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)  
[eicke.weber@ise.fraunhofer.de](mailto:eicke.weber@ise.fraunhofer.de)

### Solarthermische Kraftwerke **Konzentrierte Sonnenkraft**

Konzentrierende Solarsysteme funktionieren im Prinzip wie Brenngläser: Sie bündeln Sonnenstrahlung, um Wärme zu erzeugen. Dabei werden 150 °C bis über 3000 °C erreicht. Bei solchen Temperaturen lässt sich solarthermische Energie verschiedenartig einsetzen: zur Stromproduktion, zur unmittelbaren Anwendung in technischen Prozessen oder zur Erzeugung von Brennstoffen. Solarthermische Kraftwerke können Strom auch nach Sonnenuntergang kostengünstig erzeugen, da Wärme effizienter als mechanische oder elektrische Energie gespeichert werden kann. Zur Optimierung der Solarsysteme kooperiert das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit weiteren Partnern. Ziel ist es, durch Erhöhung der Prozesstemperaturen von heute etwa 400 °C auf über 1000 °C die Effizienz weiter zu erhöhen und so die Kosten zu senken.

**Prof. Dr. Robert Pitz-Paal**  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Mitglied in der Helmholtz-Gemeinschaft, Institut für Technische Thermodynamik  
[www.dlr.de/tt](http://www.dlr.de/tt)  
[robert.pitz-paal@dlr.de](mailto:robert.pitz-paal@dlr.de)

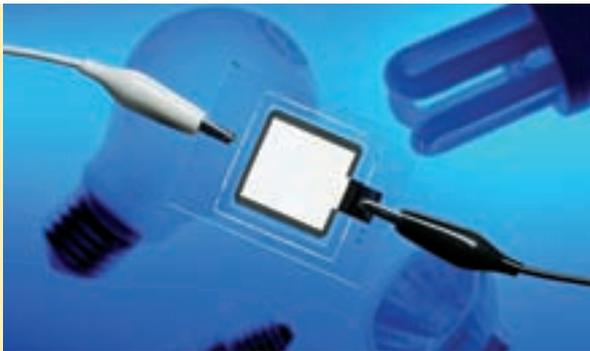


**Organische Solarzellen sind preiswert und universell einsetzbar.**

und Kostenreduktionspotenziale sprechen dafür, dass solche Solarzellen in der terrestrischen Photovoltaik marktbeherrschend bleiben werden. Einen wachsenden Marktanteil haben PV-Dünnschichtmodule. Gängige Materialien dafür sind amorphes und mikrokristallines Silizium (a-Si,  $\mu\text{-Si}$ ), Cadmiumtellurid (CdTe) oder Kupfer-Indium-(Gallium-)Schwefel-Selen-Verbindungen, die sogenannten CI(G)S-Solarzellen. Höchsteffiziente Mehrfachsolarzellen aus III-V-Halbleitern produzieren seit vielen Jahren im Weltraum Strom; sie werden als konzentrierende PV-Systeme (CPV) zunehmend auch terrestrisch eingesetzt. Farbstoff- und organische

Solarzellen haben sich ebenfalls beachtlich weiterentwickelt; sie weisen sehr niedrige Herstellungskosten sowie vielfältige Einsatzgebiete auf. Analog zu den PV-Modulen konnten Leistung und Produktionskosten der Wechselrichter – ein zentrales Element von PV-Modulen – deutlich verbessert werden.

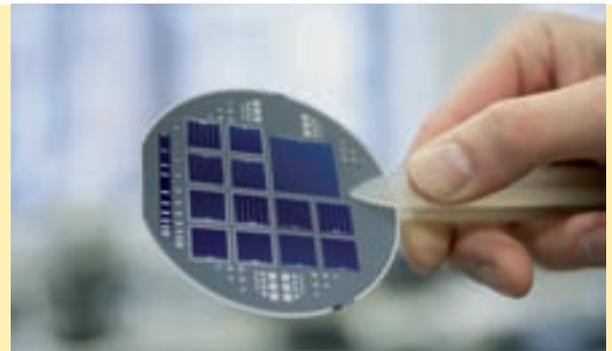
Solarthermische Systeme finden Einsatz in der Gebäudetechnik, in der Industrie oder als Freilandanlagen. Die solar erzeugte Wärme kann direkt genutzt, mittels thermischer Kältemaschinen in Kälte oder über Wärmekraftmaschinen in Strom verwandelt werden.



Organische Solarzellen  
**Preiswerter Sonnenstrom**

Organische Halbleiter bestehen aus Kohlenwasserstoffen – Verbindungen, die wir beispielsweise als Pigmente in Lacken seit Langem verwenden. Als ultradünne Schicht aufgebracht, erlauben sie den Bau flexibler Solarzellen zu vergleichsweise sehr geringen Kosten. Darüber hinaus können diese Zellen auch transparent und in attraktiven Farben ausgelegt werden und sind damit z. B. für die optisch attraktive Integration in Fassaden ideal geeignet. Die aktuelle Forschung strebt insbesondere eine Erhöhung von Wirkungsgrad und Lebensdauer an, die momentan noch nicht ausreichen. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat dazu ein Schwerpunktprogramm eingerichtet, in dem mehr als 30 Arbeitsgruppen diese interdisziplinäre Thematik gemeinsam angehen.

**Prof. Dr. Karl Leo**  
Technische Universität Dresden,  
Institut für Angewandte Photophysik  
[www.iapp.de](http://www.iapp.de)  
[karl.leo@iapp.de](mailto:karl.leo@iapp.de)



Solarzellen  
**Silizium auf Glas – hauchdünn**

Silizium-Solarzellen – produziert aus Einkristallen (Wafern) – beherrschen derzeit den Markt. Um die hohen Materialkosten zu senken, wollen Forscher des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie Silizium in hauchdünnen Schichten auf Glas aufbringen. Doch das ist nicht so leicht. Der Halbleiter wächst polykristallin, das heißt in vielen kleinen Kristallen. Dabei gehen an jeder Kristallgrenze Ladungsträger verloren. Mithilfe der Elektronenstrahl-Verdampfung wollen die Forscher diesen Nachteil umgehen. Sie scheiden das Silizium amorph, also nicht-kristallin ab und lassen es bei 600 °C ausglühen. Dabei entstehen geordnete Kristalle, die nun einige Mikrometer groß sind.

**Prof. Dr. Bernd Rech**  
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie,  
Institut für Silizium-Photovoltaik  
[www.helmholtz-berlin.de](http://www.helmholtz-berlin.de)  
[bernd.rech@helmholtz-berlin.de](mailto:bernd.rech@helmholtz-berlin.de)

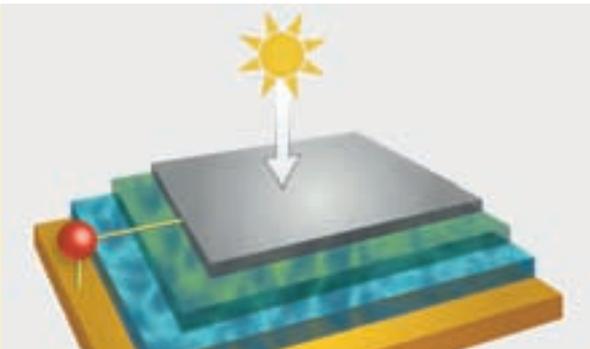


**Standorte mit hoher Sonneneinstrahlung sind ideal für Solar-kraftwerke.**

Solarthermische Kollektoren und Systeme mit Flach- und Vakuumröhrenkollektoren arbeiten z. B. in Brauchwasser- und Solarheizungsanlagen, in Kühl- und Klimaanlagen und in seewasserfesten Entsalzungsanlagen. Auch fassadenintegrierte Kollektoren und Fensterkollektoren werden eingesetzt. Mit linear konzentrierenden Kollektoren können Betriebstemperaturen bis über 400 °C erreicht werden. Sowohl Solarturmkraftwerke als auch Rinnen- und Fresnelkollektoren werden für die solarthermische Stromversorgung von Großkraftwerken eingesetzt, ebenso wie zur Erzeugung von

Prozesswärme, Prozessdampf und Antriebswärme für Absorptionskältemaschinen.

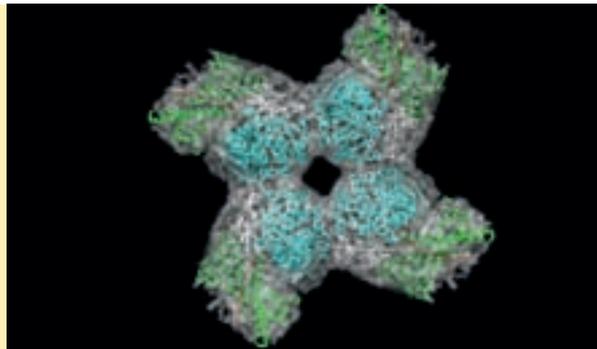
Solarthermische Kraftwerke haben in Ländern mit hoher Direktstrahlung ein riesiges Potenzial, Solarstrom für den Tagesspitzenbedarf und auch für die Grundlast günstig zu erzeugen. Sie erzeugen Wasserdampf, der wie in einem konventionellen Kraftwerk die Turbine antreibt. Deswegen können Solarfelder auch einfach in Hybrid-Kraftwerke integriert werden. Über Hybridisierung oder über die thermische Speicherung liefern diese Kraftwerke auch nachts Strom.



#### Solarzellenforschung **Ein Fenster für die Sonnenenergie**

Graphen könnte einen drohenden Engpass bei der Produktion von Solarzellen beseitigen. Max-Planck-Chemiker stellen die Schichten aus einzelnen oder wenigen Atomlagen Kohlenstoff in einem einfachen und zuverlässigen Verfahren her. Daher lassen sie sich künftig als Fensterelektroden für Solarzellen verwenden und könnten somit Indium-Zinn-Oxid ersetzen, das langsam knapp wird. Fensterelektroden bedecken das Silicium und müssen Sonnenlicht durchdringen lassen, damit es in dem Halbleiter freie elektrische Ladung produziert. Diese führen die Elektroden als Strom ab. Graphenelektroden würden Solarzellen sogar noch effizienter machen: Anders als Indium-Zinn-Oxid lassen sie auch infrarotes Sonnenlicht passieren, das etwa die Hälfte der Sonneneinstrahlung ausmacht.

**Prof. Dr. Klaus Müllen**  
Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz  
[www.mpip-mainz.mpg.de](http://www.mpip-mainz.mpg.de)  
[muellen@mpip-mainz.mpg.de](mailto:muellen@mpip-mainz.mpg.de)



#### Photosynthese **Im Kraftwerk der Natur**

Das kann bislang nur die Natur: Mit der Energie des Sonnenlichts erzeugen Pflanzen oder photosynthetische Bakterien unmittelbar chemische Energieträger wie Zucker oder Wasserstoff. Doch besonders effizient arbeitet der raffinierte Apparat der Photosynthese nicht. Um das zu ändern, untersuchen Max-Planck-Forscher den Prozess und alle beteiligten Komponenten bis ins kleinste Detail. So haben Forscher des Max-Planck-Instituts für Biochemie aufgeklärt, wie Pflanzen das Enzym Rubisco herstellen. Rubisco bindet Kohlendioxid und leitet die Umwandlung in Zucker und Sauerstoff ein, wenn auch nicht sehr wirkungsvoll. Da die Forscher nun seinen Herstellungsprozess kennen, können sie gezielt in ihn eingreifen, um effizientere Varianten zu erzeugen.

**Prof. Dr. Franz-Ulrich Hartl**  
Max-Planck-Institut für Biochemie, Martinsried  
[www.biochem.mpg.de](http://www.biochem.mpg.de)  
[obermayr@biochem.mpg.de](mailto:obermayr@biochem.mpg.de)

## 8 Regenerative Energien



Windkraft gehört zu den wichtigsten regenerativen Energiequellen.

### Windkraft

Windenergie ist ein bedeutender Wirtschaftsfaktor geworden und wird auch in Zukunft einen erheblichen Anteil an erneuerbaren Energien im Energiemix zur Verfügung stellen. Von den Kraftwerksleistungen, die im Jahr 2009 in der EU neu errichtet wurden, entfallen 39 Prozent auf Windenergieanlagen. Somit sind in diesem Jahr mehr als 10 000 Megawatt Windkraft neu ans Netz gegangen.

Der Markt ist von einem hohen Innovationstempo gekennzeichnet. An Land haben sich derzeit Anlagentypen der Leistungsklasse 750 Kilowatt bis 3 Megawatt durchgesetzt. Die Tendenz geht dabei zu größeren Rotordurchmessern bei gleichbleibender Leistung, um auch an Schwachwind-Standorten ausreichenden Ertrag zu erhalten. Die einsetzende Massenproduktion wird die Preise für favorisierte Modelle weiter absenken.



#### Offshore-Windparks Zuverlässigkeit auf See

Die Forschungsinitiative RAVE begleitet Bau und Betrieb von »alpha ventus«, einem Testfeld für Offshore-Windenergieanlagen, mit dem eine breite Basis an Erfahrungen und Erkenntnissen in dieser Technologie geschaffen werden soll. Die Anlagen sind für RAVE mit umfangreicher zusätzlicher Messtechnik ausgestattet, um alle beteiligten Projektpartner mit detaillierten Daten versorgen zu können. RAVE wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert und vom Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES koordiniert. Betreut werden dabei die momentan 15 Verbundprojekte von Anlagenherstellern und vielen an der Initiative beteiligten Forschungsinstituten.

**Dr. Bernhard Lange**  
Fraunhofer-Institut für Windenergie und  
Energiesystemtechnik IWES  
[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)  
[info@rave-offshore.de](mailto:info@rave-offshore.de)



#### Windenergieforschung Kräftiger Wind aus Berlin

Die Windenergie der Zukunft braucht kräftigen Wind aus der Forschung. Die Wissenschaftler der Technischen Universität Berlin arbeiten an neuen aerodynamischen Konzepten für sehr große und sehr kleine Windenergieanlagen. Zur Umsetzung sind viele technische Probleme zu lösen, von den robusten Tragstrukturen für Offshore-Anlagen über die automatisierte Herstellung und Prüfung, den sicheren Transport und eine umweltschonende Montage bis hin zur Distanzüberwachung und einem störungsfreien Betrieb über viele Jahre. Diese ehrgeizigen Ziele werden gemeinsam mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung und Industriepartnern im neuen Kompetenzzentrum Windenergie Berlin WIB in wissenschaftliche und technologische Projekte umgesetzt.

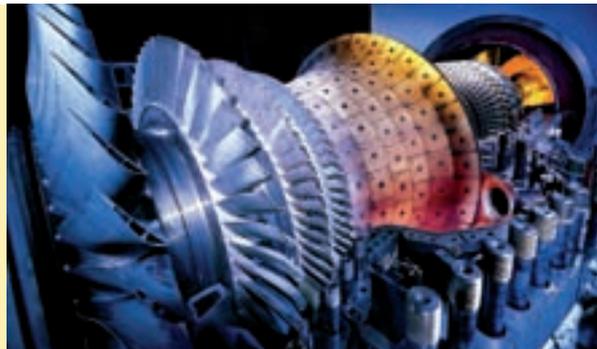
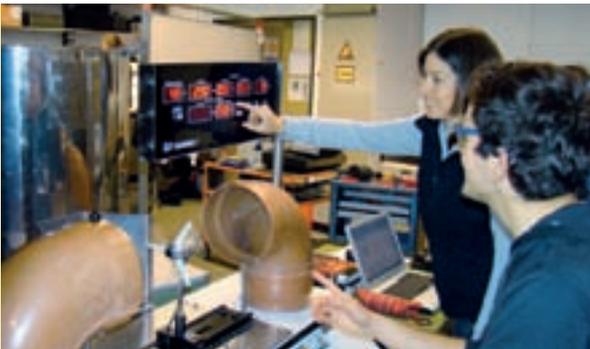
**Prof. Dr. Yuri Petryna**  
Technische Universität Berlin,  
Kompetenzzentrum Windenergie Berlin WIB  
[www.wib.tu-berlin.de](http://www.wib.tu-berlin.de)  
[yuriy.petryna@tu-berlin.de](mailto:yuriy.petryna@tu-berlin.de)



**Offshore-Windkraftanlagen sind besonders leistungsfähig, aber die Wartung ist aufwendiger.**

Aufgrund höherer durchschnittlicher Windgeschwindigkeiten versprechen Offshore-Windenergieanlagen eine bessere Energieausbeute. Allerdings wirken an diesen Standorten auch höhere dynamische Beanspruchungen auf die Anlagen ein: Die kombinierte Belastung durch Anlagenbetrieb, Wind und Wellen wirken ebenso wie umweltbedingte Faktoren auf die Strukturen ein und beschleunigen Alterung und Verschleiß.

Eine hohe Zuverlässigkeit für Offshore-Anlagen sicherzustellen ist daher eine große Herausforderung für die technische Forschung und Entwicklung. Sie ist die Voraussetzung für eine hohe Systemverfügbarkeit, wenig Instandhaltungsaufwand und geringe Ausfallzeiten. Auf diese Weise lässt sich der Betrieb der Anlagen wirtschaftlicher gestalten. Erhebliches Forschungspotenzial besteht auch bei der Rotorblattprofilierung, bei der Wirkung des Winds auf das Windrad und bei der Wechselwirkung zwischen mehreren Windrädern nebeneinander.



#### Postgraduate Programme Renewable Energy **Weiterbildung in Sachen Erneuerbare Energie**

Erneuerbare Energien sind ein zukunftssträchtiges Forschungs- und Arbeitsfeld. Bereits seit 1987 wird beim DAAD der Studiengang »Postgraduate Programme Renewable Energy (PPRE)« angeboten. Bachelor-Absolventen, die schon Berufserfahrung im Feld »Energie« besitzen, studieren in dem drei Semester dauernden Studiengang Theorie und Anwendung von erneuerbaren Energien, überprüfen ihre Fähigkeiten im Labor oder bei Outdoor-Experimenten, besuchen Unternehmen und bilden sich in Industrie oder Forschungseinrichtungen weiter. Absolventen finden oft eine Beschäftigung in der Industrie, bei Beratungsunternehmen, Nichtregierungsorganisationen oder in Forschungseinrichtungen auf der ganzen Welt.

**Anke Stahl**  
Deutscher Akademischer Austauschdienst  
[www.daad.de](http://www.daad.de)  
[stahl@daad.de](mailto:stahl@daad.de)

#### Forschungsstipendien **Humboldt unterstützt Materialwissenschaftler aus Schwellenländern**

Materialforschung ist ein Innovationsmotor – auch und gerade für die Entwicklung neuer Energiequellen. Ab 2010 bietet die Alexander von Humboldt-Stiftung jährlich 30 Humboldt-Forschungsstipendien an für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die im Bereich der Werkstoffwissenschaften forschen, insbesondere in Anwendungsbereichen mit gesellschaftlicher Relevanz, wie etwa Umweltschutz und umweltfreundlicher Energieversorgung. Die Stipendien sollen die Kooperation mit Forschern aus wichtigen Schwellenländern unterstützen. Jährlich ermöglicht die Humboldt-Stiftung über 2000 Wissenschaftlern aus aller Welt einen Forschungsaufenthalt in Deutschland. Die Stiftung pflegt ein Netzwerk von weltweit mehr als 24 000 Humboldtianern aller Fachgebiete in über 130 Ländern.

**Dr. Johannes Belz**  
Alexander von Humboldt-Stiftung  
[www.humboldt-foundation.de](http://www.humboldt-foundation.de)  
[johannes.belz@avh.de](mailto:johannes.belz@avh.de)

## 8 Regenerative Energien



Energie aus Biomasse setzt nur so viel CO<sub>2</sub> frei, wie die Pflanzen zuvor der Atmosphäre entnommen haben.

### Biomasse

Die Nutzung fossiler Energieträger und die aktuelle Reduktion der Photosynthese-Kapazität, etwa durch großflächige Entwaldungen, führen zu einem Anwachsen des atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehalts – was wiederum den Klimawandel nach sich zieht. Der Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung, in der kein zusätzliches CO<sub>2</sub> freigesetzt wird, ist deshalb eine der zentralen Herausforderungen für das 21. Jahrhundert. Die Nutzung regenerativer Biomasse, die einen hohen Anteil Wasser enthält, spielt zur Gewinnung von Bio-

energie – etwa in Form von Biomethan oder Kraftstoffen – eine herausragende Rolle. Im Gegensatz zur Verbrennung, bei der die Biomasse vorher getrocknet werden muss, kommt man bei der Gewinnung von Biogas aus der wässrigen Phase ohne externe Energiequelle aus. Daher lässt sich in dem Prozess prinzipiell eine große Menge nutzbarer Energie gewinnen.

Die Biomasse dabei möglichst effizient umzuwandeln ist das Ziel aktueller Forschung. Dazu eignen sich vor



Reduktion von CO<sub>2</sub>

#### Mit Biogas und Biokohle in die Kohlenstoffsenske

Das Potenzial der Biogaserzeugung ist bei Weitem nicht ausgeschöpft. Besonders organische Reststoffe gilt es effizienter zu nutzen. Am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB) entwickelt eine Forschergruppe ein energieeffizientes Hybridverfahren, das die Biomassevergärung zu Methan mit einer thermochemischen Karbonisierung der Gärrückstände zu Biokohle kombiniert. Kerntechnologie dabei ist das am ATB entwickelte Aufstromverfahren. Genutzt werden nur Reststoffe, vor allem faserreiche wie Stroh, Gras oder Festmist. Die Biokohle soll nicht verbrannt werden, sondern als Bodenverbesserungsmittel Einsatz finden. Sie kann zudem Kohlenstoff langfristig im Boden binden – ein Beitrag, um CO<sub>2</sub> dauerhaft aus der Atmosphäre zu entfernen.

**Dr. Jan Mumme**  
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB)  
[www.atb-potsdam.de](http://www.atb-potsdam.de)  
[jmumme@atb-potsdam.de](mailto:jmumme@atb-potsdam.de)



Biotreibstoff

#### Holz im Tank

Treibstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind eine prima Idee – wenn die Landwirtschaft dann auch noch genügend Lebensmittel produzieren kann. Chemiker des Max-Planck-Instituts für Kohlenforschung helfen, diese Konkurrenz zu entschärfen. Sie haben eine praktikable Methode entwickelt, Abfälle aus der Land- und Forstwirtschaft in Biosprit umzuwandeln. Zunächst lösen die Forscher Stroh oder Holzreste in einer ionischen Flüssigkeit und weichen so die Cellulose, den auch für Mikroorganismen schwer verdaulichen Hauptbestandteil von Pflanzen, auf. Die langen Zuckerketten spalten sie nun mit einem einfach zu handhabenden Katalysator in kürzere Schnipsel. Diese lassen sich mit etablierten Methoden in Zucker zerlegen, die zu Ethanol vergoren werden.

**Prof. Dr. Ferdi Schüth**  
Max-Planck-Institut für Kohlenforschung,  
Mülheim an der Ruhr  
[www.mpi-muelheim.mpg.de](http://www.mpi-muelheim.mpg.de)  
[schueth@mpi-muelheim.mpg.de](mailto:schueth@mpi-muelheim.mpg.de)



Wälder sind natürliche CO<sub>2</sub>-Speicher.

allein weitgehend ligninfreie Restbiomassen, die kostengünstig und ohne großen Transportaufwand gewonnen werden können. In vielen Regionen ist es bereits nicht mehr gestattet, Abfallbiomassen auszubringen; die alternative Entsorgung durch Trocknen und Verbrennen führt zu deutlich höheren Kosten. Der Fokus der technischen Entwicklungsarbeit liegt auf dezentralen, substratspezifischen Anlagen, mit denen die Biomasse nahe dem Entstehungsort energetisch verwertet wird. So entfällt der energiezehrende Transport, und die Energieausbeute ist insgesamt höher.

Zahlreiche Forscher arbeiten daran, auch ligninhaltige Biomasse wie Holzabfälle und Stroh in nutzbare Energie bzw. transportable flüssige Energieträger zu verwandeln, um die landwirtschaftlich nutzbaren Flächen optimal zu bewirtschaften und Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion zu vermeiden. Zum selben Zweck werden mit klassischen und biotechnologischen Methoden zudem Pflanzen gezüchtet, die Kohlendioxid effizienter in Biomasse binden. So wird es möglich, in kürzerer Zeit auf einer gegebenen Fläche mehr Biomasse zu produzieren.



Biokraftstoffe

### Nachhaltige Mobilität durch Biomasse

Aus Biomasse gewonnene Kraftstoffe eröffnen für den Einsatz in mobilen Anwendungen ein erhebliches Potenzial, neben einer Reduktion der klimawirksamen Kohlendioxid-Emissionen auch die motorischen Schadstoff-Emissionen wie Ruß oder Stickoxide deutlich zu verringern. Wissenschaftler im Exzellenzcluster »Maßgeschneiderte Kraftstoffe aus Biomasse« erforschen die Herstellung sowie die motorische Verbrennung neuartiger Biokraftstoffe. Das langfristige Ziel ist die Optimierung der gesamten Prozesskette von der Biomasse bis hin zum Verbrennungsmotor, möglichst ohne dabei mit der Nahrungsmittelkette zu konkurrieren. Auf diese Weise soll ein wichtiger Beitrag für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft geleistet werden.

**Prof. Stefan Pischinger**  
Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen,  
RWTH Aachen University, JARA Energy  
[www.fuelcenter.rwth-aachen.de](http://www.fuelcenter.rwth-aachen.de), [www.jara.org](http://www.jara.org)  
[office@vka.rwth-aachen.de](mailto:office@vka.rwth-aachen.de)

Biomasse als erneuerbarer Kohlenstoffträger

### Synthetische Chemieprodukte und Kraftstoffe aus Biomasse

Im bioliq®-Verfahren wird trockene Biomasse zu hochwertigen, flüssigen Synthetikraftstoffen und chemischen Grundprodukten veredelt. Strom und Wärme entstehen als Nebenprodukte und dienen zur Deckung des Prozessenergiebedarfs. Damit wird ein hohes CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial erreicht. Die Technologie ist auf die großen Mengen der Restbiomasse aus Land- und Forstwirtschaft ausgerichtet. Die Biomasse wird erst durch Schnellpyrolyse in ein energiereiches Zwischenprodukt, bioliqSynCrude, und dann zu Synthesegas umgewandelt, aus dem über chemische Synthesen die gewünschten Endprodukte erzeugt werden. Im Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wird eine Pilotanlage über die gesamte Prozesskette vom Strohballen bis zur Zapfsäule errichtet und betrieben.

**Dr. habil. Nicolaus Dahmen**  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
in der Helmholtz-Gemeinschaft  
[www.kit.edu](http://www.kit.edu)  
[nicolaus.dahmen@kit.edu](mailto:nicolaus.dahmen@kit.edu)



Seit vielen Jahrhunderten nutzt der Mensch die Wasserkraft zur Energieerzeugung.

## Wasserkraft

Der Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung beträgt weltweit rund 15 Prozent. Damit stellt sie mit Abstand den bedeutendsten regenerativen Energieträger bei der Stromerzeugung dar. Wasserkraftwerke gibt es in sehr verschiedenen Größen, vom dezentralen Kleinkraftwerk mit einigen Dutzend Kilowatt Leistung bis hin zu Kraftwerken größter Dimensionen, die mehrere Tausend Megawatt an Strom produzieren können. Nicht zu vergessen ist die Rolle der Wasserkraft als Energiespeicher in Form der Pumpspeicher-

kraftwerke, die dabei helfen, Stromspitzen zu bedienen. Die Potenziale der Wasserkraft in Europa sind zu einem großen Teil genutzt, eine Steigerung der Erträge kann aber durch Modernisierung der teilweise sehr alten Technik erreicht werden. Zusätzliche Möglichkeiten ergeben sich durch die Erschließung bisher wenig genutzter Optionen wie etwa Meeresströmungen, Gezeiten oder Wellen. Profitieren wird die Wasserkraft zukünftig auch von weiter optimierten Turbinen, Generatoren und Transformatoren.



### Nachhaltige Entwicklung im Energiebereich Investition in die Zukunft

Im Projekt »Finanzierungslösungen für Innovation und Nachhaltige Entwicklung im Energiebereich« analysieren Wissenschaftler die Rolle des Finanzsektors innerhalb des soziotechnischen Systems, das Verhältnis zwischen privaten und öffentlichen Akteuren und innovative Finanzierungslösungen anhand der Energiewirtschaft auf deutscher und europäischer Ebene sowie im außereuropäischen Kontext. Im Rahmen dieser Fallstudien wird am Beispiel der Solarenergie auf negative Auswirkungen und Herausforderungen durch die Finanz- und Wirtschaftskrise sowie die Reaktionen privater und öffentlicher Akteure eingegangen. Regionen mit unterschiedlich entwickelten Finanz- und Energiemärkten werden verglichen; die Übertragbarkeit wird am Beispiel der Biomassenutzung überprüft.

**Prof. Dr. Robert Kappel**  
Leibniz-Institut für Globale und Regionale Studien  
[www.giga-hamburg.de](http://www.giga-hamburg.de)  
[kappel@giga-hamburg.de](mailto:kappel@giga-hamburg.de)

### Wasserkraft Technik für neue Energiequellen

Die Wasserkraft gehört zu den ältesten Energiequellen der Menschen. Die Technik vor allem für große klassische Wasserkraftwerke gilt als relativ ausgereift; interessante Optionen ergeben sich beispielsweise bei der optimalen Steuerung von Speicherkraftwerken, bei der Vernetzung vieler Kleinkraftwerke und beim Erschließen neuer Energiequellen wie Gezeiten, Meeresströmungen und Wellen. Der Institutsteil Kassel des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES betreibt unter anderem Forschung zu Klein-Wasserkraftanlagen und Meeresenergieanlagen. Im Vordergrund stehen dabei Arbeiten zur Regelungstechnik, Modellbildung und Simulation sowie die Mitwirkung an entsprechenden Entwicklungs- und Pilotvorhaben.

**Dipl.-Phys. Jochen Bard**  
Fraunhofer-Institut für Windenergie und  
Energiesystemtechnik IWES  
[www.ives.fraunhofer.de](http://www.ives.fraunhofer.de)  
[jochen.bard@ives.fraunhofer.de](mailto:jochen.bard@ives.fraunhofer.de)

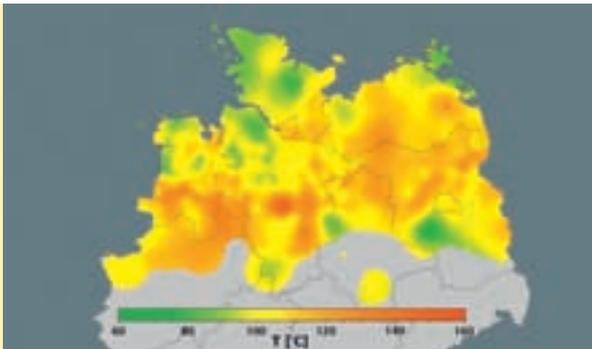


Die Geothermie könnte viel stärker als Energiequelle genutzt werden als bisher.

## Geothermie

Erdwärme (Geothermie) aus mehreren Tausend Metern Tiefe bietet eine konstante, planbare Energieversorgung. Das heiße Wasser kann für Heizzwecke, als Prozesswärme und zur Stromerzeugung genutzt werden. Da die Temperaturen oft nicht für einen normalen Wasserdampfturbinenprozess ausreichen, kommen Organic-Rankine-Cycle(ORC)- oder Kalinaprozesse zum Einsatz. Diese Technologien sind inzwischen kommerziell erhältlich, dennoch besteht hier noch Entwicklungsbedarf zur Erhöhung der Effizienz.

Da die natürlichen Thermalwasservorkommen begrenzt sind, muss oft Wasser von der Erdoberfläche durch ein Bohrloch in die Tiefe gepumpt und durch ein zweites erwärmt wieder nach oben geleitet werden. Die erforderlichen Spalten und Klüfte im Erdinnern müssen häufig künstlich erzeugt werden, indem Wasser bei sehr hohem Druck eingepresst wird. Bohrungen sind sehr teuer; eine verlässliche Prognose der Wärmeverteilung im Untergrund, das Spannungsregime und eine Strukturanalyse des Untergrunds sind daher Schlüsselemente einer teilweise noch zu entwickelnden Explorationstechnologie.



### Daten für die Planung Wärme aus der Tiefe

Für Planung und Design großer Geothermieanlagen ist die fundierte Kenntnis des Untergrunds eine entscheidende Erfolgsprämisse. Primärdaten zu Temperaturen, Durchlässigkeiten und vielen weiteren Gesteinseigenschaften sind zusammenzutragen und zu bewerten. Datenbankprojekte wie das Geothermische Informationssystem GeotIS sorgen für Basiskenntnisse, die man braucht, um die Forschung gezielt einzusetzen und geothermische Anlagen technisch und finanziell sicher zu planen. Mit Modellierungsrechnungen, mit der wissenschaftlichen Beteiligung an Großexperimenten und der Durchführung und Interpretation von Spezialmessungen bringen Forschungseinrichtungen die Nutzung der tiefen Geothermie voran und legen Grundsteine für eine umweltfreundliche Zukunftenergie.

**Dr. Rüdiger Schulz**  
Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik  
[www.liag-hannover.de](http://www.liag-hannover.de)  
[ruediger.schulz@liag-hannover.de](mailto:ruediger.schulz@liag-hannover.de)

### Geothermie-Forschung Forschungslabor für Erdwärme

Erdwärme steht unabhängig von Jahreszeit und Klima jederzeit an jedem Ort zur Verfügung und ist praktisch unerschöpflich. Neben der Wärmeversorgung wird sie deshalb auch in Deutschland für die Grundlastversorgung mit Strom immer interessanter. Das Deutsche GeoForschungsZentrum GFZ untersucht neue Verfahren, um nicht nur Wärme, sondern auch Strom aus Geothermie auch in unseren Breiten wettbewerbsfähig zu machen. Das In-situ-Forschungslabor des GFZ stellt weltweit die einzige Einrichtung zur Untersuchung sedimentärer geothermischer Lagerstätten unter natürlichen Bedingungen dar. Hier werden wissenschaftliche Experimente durchgeführt, neue Bohrlochmessverfahren eingesetzt und technische Systemkomponenten im Betrieb getestet und weiterentwickelt.

**Dr. Ernst Huenges**  
Helmholtz-Zentrum Potsdam –  
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ  
[www.gfz-potsdam.de](http://www.gfz-potsdam.de)  
[huenges@gfz-potsdam.de](mailto:huenges@gfz-potsdam.de)

## Allianz der Wissenschaftsorganisationen

**Die Allianz der Wissenschaftsorganisationen ist ein Zusammenschluss wichtiger deutscher Forschungsorganisationen. Die Federführung wechselt unter den beteiligten Partnern. Zu der Allianz gehören:**

### **Alexander von Humboldt-Stiftung**

Jean-Paul-Straße 12  
53173 Bonn  
Telefon +49 228 833-0  
Fax +49 228 833-199  
info@avh.de  
www.humboldt-foundation.de  
Präsident: Prof. Dr. Helmut Schwarz

Die Alexander von Humboldt-Stiftung fördert Wissenschaftskooperationen zwischen exzellenten ausländischen und deutschen Forscherinnen und Forschern.

### **Deutscher Akademischer Austauschdienst e.V.**

Kennedyallee 50  
53175 Bonn  
Telefon +49 228 882-0  
Fax +49 228 882-444  
postmaster@daad.de  
www.daad.de  
Präsidentin:  
Prof. Dr.-Ing. Dr. Sabine Kunst

Der Deutsche Akademische Austauschdienst (DAAD) ist weltweit die größte Organisation für den internationalen Akademikeraustausch. Er fördert die Internationalität der deutschen Hochschulen, stärkt die deutsche Sprache im Ausland, unterstützt Entwicklungsländer beim Aufbau leistungsfähiger Hochschulen und berät die Entscheider in der Kultur-, Bildungs- und Entwicklungspolitik.

### **Deutsche Forschungsgemeinschaft e.V.**

Kennedyallee 40  
53175 Bonn  
Telefon +49 228 885-1  
Fax +49 228 885-2777  
postmaster@dfg.de  
www.dfg.de  
Präsident: Prof. Dr.-Ing. Matthias Kleiner

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) ist die Selbstverwaltungsorganisation der Wissenschaft in Deutschland. Sie dient der Wissenschaft in allen ihren Zweigen durch die finanzielle Unterstützung von Forschungsaufgaben und durch die Förderung der Zusammenarbeit unter den Forscherinnen und Forschern.

### **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**

Hansastraße 27 c  
80686 München  
info@zv.fraunhofer.de  
www.fraunhofer.de  
Präsident: Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Ihre Forschungsfelder orientieren sich an den Bedürfnissen der Menschen: Gesundheit, Sicherheit, Kommunikation, Mobilität, Energie und Umwelt.

**Helmholtz-Gemeinschaft  
Deutscher Forschungszentren e.V.**

Ahrstraße 45  
53175 Bonn  
Telefon +49 228 30818-0  
Fax +49 228 30818-30  
org@helmholtz.de  
www.helmholtz.de  
Präsident: Professor Dr. Jürgen Mlynek

Die Helmholtz-Gemeinschaft leistet wichtige Beiträge zur Lösung großer und drängender Fragen von Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft. Dazu dienen wissenschaftliche Spitzenleistungen in den sechs Forschungsbereichen Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit, Schlüsseltechnologien, Struktur der Materie sowie Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr.

**Hochschulrektorenkonferenz**

Ahrstraße 39  
53175 Bonn  
Telefon +49 228 887-0  
Fax +49 228 887-110  
post@hrk.de  
www.hrk.de  
Präsidentin:  
Prof. Dr. Margret Wintermantel

Die Hochschulrektorenkonferenz ist der freiwillige Zusammenschluss der staatlichen und staatlich anerkannten Universitäten und Hochschulen in Deutschland. Sie ist die Stimme der Hochschulen gegenüber Politik und Öffentlichkeit und das Forum für den gemeinsamen Meinungsbildungsprozess der Hochschulen.

**Wissenschaftsgemeinschaft  
Gottfried Wilhelm Leibniz e.V.**

Eduard-Pflüger-Straße 55  
53113 Bonn  
Telefon +49 228 30815-0  
Fax +49 228 30815-255  
info@leibniz-gemeinschaft.de  
www.wgl.de  
Präsident: Prof. Dr. Karl Ulrich Mayer

In der Leibniz-Gemeinschaft haben sich 86 Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen, die wissenschaftliche Fragestellungen von gesamtgesellschaftlicher Bedeutung bearbeiten. Sie stellen Infrastruktur für Wissenschaft und Forschung bereit und erbringen forschungsbasierte Dienstleistungen – Vermittlung, Beratung, Transfer – für Öffentlichkeit, Politik, Wissenschaft und Wirtschaft.

**Max-Planck-Gesellschaft zur  
Förderung der Wissenschaften e.V.**

Hofgartenstraße 8  
80539 München  
Telefon +49 89 2108-0  
presse@gv.mpg.de  
www.mpg.de  
Präsident: Prof. Dr. Peter Gruss

Die Max-Planck-Gesellschaft betreibt Grundlagenforschung in den Natur-, Bio-, Geistes- und Sozialwissenschaften im Dienste der Allgemeinheit. Ihre Institute greifen insbesondere neue, besonders innovative Forschungsrichtungen auf, die an den Universitäten in Deutschland noch keinen oder keinen angemessenen Platz gefunden haben.

**Deutsche Akademie der  
Naturforscher Leopoldina –  
Nationale Akademie der  
Wissenschaften**

Emil-Abderhalden-Straße 37  
06108 Halle (Saale)  
Telefon +49 345 47239-0  
Fax +49 345 47239-19  
leopoldina@leopoldina.org  
www.leopoldina-halle.de  
Präsident: Prof. Dr. Jörg Hacker

Die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina ist die älteste naturwissenschaftlich-medizinische Gelehrten-gesellschaft in Deutschland. Zu Mitgliedern werden hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus aller Welt gewählt.

**Wissenschaftsrat**

Brohler Straße 11  
50968 Köln  
Telefon +49 221 3776-0  
Fax +49 221 388440  
post@wissenschaftsrat.de  
www.wissenschaftsrat.de  
Vorsitzender:  
Prof. Dr. Peter Strohschneider

Der Wissenschaftsrat berät die Bundesregierung und die Regierungen der Länder in Fragen der inhaltlichen und strukturellen Entwicklung der Hochschulen, der Wissenschaft und der Forschung.

## Herausgeber

Allianz der Wissenschaftsorganisationen

## Broschüren Reihe

Wir erforschen: Energie

Wir erforschen: Gesundheit

Wir erforschen: Kommunikation

Wir erforschen: Sicherheit

Wir erforschen: Mobilität

## Redaktion der Broschüre

### »Wir erforschen: Energie«

Dr. Martin Thum

Christa Schraivogel (Bild)

Fraunhofer-Gesellschaft

Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Hansastraße 27c

80686 München

martin.thum@zv.fraunhofer.de

## Autoren der Broschüre

### »Wir erforschen: Energie«

- Dr. Harald Bradke,  
Fraunhofer-Institut für System- und  
Innovationsforschung ISI, Karlsruhe
- Dr.-Ing. Christian Doetsch,  
Fraunhofer-Institut für Umwelt-,  
Sicherheits- und Energietechnik  
UMSICHT
- Dr. Holger Huhn,  
Fraunhofer-Institut für Windenergie  
und Energiesystemtechnik IWES,  
Bremerhaven
- Dr. Dirk Radloff,  
Karlsruher Institut für  
Technologie (KIT)
- Dr. Thomas Schlegl,  
Fraunhofer-Institut für Solare  
Energiesysteme ISE, Freiburg
- Dr.-Ing. Ursula Schließmann,  
Fraunhofer-Institut für Grenzflächen-  
und Bioverfahrenstechnik IGB,  
Stuttgart
- Dr. Walter Tromm,  
Karlsruher Institut für  
Technologie (KIT)

## Bildnachweis

- Paul Langrock/Zenit/laif: Cover
- alpha ventus: 40 unten links,  
40 unten rechts, 41 oben
- Ansgar Pudenz: 25 unten links
- Associated Press: 28 oben
- BASF: 30 oben
- BMU: 23 unten rechts
- Caro: 22 oben
- Claude Boucher: 27 oben
- Concentrix: 37 unten links
- DAAD: 41 unten links
- Dean Calma/IAEA: 15 unten rechts
- ddp: 6, 21 oben
- digitalstock: 23 unten links
- dpa: 7 oben, 8 oben, 10 oben,  
11 oben, 12 oben, 13, 33 oben,  
35 oben, 42 unten rechts
- Google Earth: 35 unten rechts
- istock: 27 unten links
- LLNL: 14 oben
- MEV: 24 unten links, 42 oben,  
43 oben
- Novalad: 38 unten links
- panthermedia: 19 oben, 26 oben,  
40 oben, 44 oben, 44 unten links,  
44 unten rechts
- pixelio: 25 unten rechts
- Rainer Weisflog: 29 oben
- RWE: 32 oben, 34 unten rechts
- RWTH Aachen: 43 unten links
- Siemens: 41 unten rechts
- Surup/ATP: 42 unten links
- ThyssenKrupp: 20 oben
- TU Bergakademie Freiberg:  
33 unten links
- TU Darmstadt: 9 unten links
- TU Dresden: 21 unten rechts
- Universität Hamburg: 20 unten rechts
- VISUM: 23 oben

Alle übrigen Abbildungen:

© Fraunhofer-Gesellschaft, Helmholtz-  
Gemeinschaft, Leibniz-Gemeinschaft,  
Max-Planck-Gesellschaft

Bei Abdruck ist die Einwilligung der  
Redaktion erforderlich.

## Gesamtredaktion

- Dr. Christina Beck,  
Max-Planck-Gesellschaft
- Thomas Gazlig,  
Helmholtz-Gemeinschaft
- Peter Hergersberg,  
Max-Planck-Gesellschaft
- Andrea Kulas,  
Fraunhofer-Gesellschaft
- Thomas Köster,  
Deutsche Forschungsgemeinschaft
- Franz Miller, Fraunhofer-Gesellschaft
- Dr.-Ing. Christian Piehler,  
Helmholtz-Gemeinschaft
- Cornelia Pretzer,  
Deutsche Forschungsgemeinschaft
- Dr. Georg Rosenfeld,  
Fraunhofer-Gesellschaft
- Christa Schraivogel,  
Fraunhofer-Gesellschaft
- Dr. Eva-Maria Streier,  
Deutsche Forschungsgemeinschaft
- Dr. Martin Thum,  
Fraunhofer-Gesellschaft
- Janine Tychsen,  
Helmholtz-Gemeinschaft
- Josef Zens, Leibniz-Gemeinschaft
- Dr. Detlef Zukunft,  
Helmholtz-Gemeinschaft

## Gestaltung, Satz und Lithografie

Vierthaler & Braun, München

## Druck

J. Gotteswinter GmbH, München

November 2010

Allianz der  
Wissenschaftsorganisationen

