

# Forschen für eine nachhaltige Energieversorgung

Eine der wichtigsten Fragen des 21. Jahrhunderts lautet: Wie lässt sich die Welt langfristig und nachhaltig mit Energie versorgen? Einfache Antworten fehlen indes. Viele Hindernisse sind technologischer Art: Es muss noch besser gelingen, Energie aus Wind, Wasser und Sonnenlicht zu gewinnen und zu speichern. Gerade aber die grundlagenorientierte Energieforschung kann neue und überraschende Perspektiven eröffnen und uns von fossilen Brennstoffen unabhängiger machen.

Bereits 1905 beschrieb Albert Einstein mit der berühmten Formel  $E=mc^2$  die Möglichkeit, Masse in Energie umzuwandeln – die in den Atomkernen gespeicherte Energie war damit prinzipiell zugänglich geworden. Doch er hat wohl kaum damit gerechnet, dass die Menschheit binnen nur 50 Jahren beginnen würde, die Kernenergie tatsächlich zu nutzen. Noch weniger ließ sich damals vorhersehen, dass heute, gerade einmal weitere 50 Jahre später, die kontrollierte Kernfusion in Reichweite liegt – und damit die Gewinnung potenziell unbegrenzter Mengen an sauberer Energie. Die Verwirklichung von Fusionskraftwerken ist eine völlig neue Herausforderung: Bei Temperaturen von mehreren hundert Millionen Grad Celsius werden Wasserstoffisotope zu Heliumkernen verschmolzen, was den verwendeten Materialien und technischen Apparaturen enorm viel abverlangt.

Das internationale ITER-Projekt in Frankreich will zu diesem Zweck einen »Tokamak«-Reaktor einsetzen. In Deutschland verwirklicht man derzeit den technisch verwandten »Stellarator«. Bei einer Reihe weiterer Vorhaben soll der Brennstoff etwa mittels Laserstrahlen gezündet werden. Gelingt es den Forschern, die damit verbundenen Belastungen für Mate-

rial und Technik zu meistern, könnten die ersten kommerziellen Fusionskraftwerke 2050 ans Netz gehen.

Ein großes Potenzial für die Energieversorgung der Zukunft schlummert in physikalischen Vorgängen, bei denen Elektronen von einem Molekül oder einem Atom zum nächsten wandern – angefangen bei der Photosynthese in Pflanzen bis hin zur Entladung von Batterien. Entscheidend ist nun, dass wir die grundlegenden Mechanismen dieses Elektronentransfers im Mikrokosmos durchschauen. Je besser wir beispielsweise verstehen, wie die Photosynthese in den winzigen Biokraftwerken der Pflanzenzellen abläuft, desto eher versetzt uns das in die Lage, sie mit einfachen technischen Systemen nachzubilden<sup>1,2</sup>.

## REVOLUTION DER ENERGIEVERSORGUNG

Forscher könnten so den alten Traum verwirklichen, mit Hilfe eines solar angetriebenen, katalytischen Verfahrens Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten (derzeit wird Wasserstoff meist aus Erdgas gewonnen, was große Mengen fossilen Brennstoffs verschlingt). Das würde unsere Energieversorgung revolutionieren, denn die im Wasserstoff gespeicherte Energie lässt sich auf vielen Wegen in andere Energieformen umwandeln.

Um unsere Versorgungsnetze sowie die Turbinen- und Kraftwerkstechnik entsprechend umzurüsten und auszubauen, müssen wir molekularen Wasserstoff auch effizient speichern und transportieren können. Während Wasserstoff heute unter hohem Druck oder in flüssiger Form gelagert wird, suchen Wissenschaftler intensiv nach chemischen Verbindungen mit höheren Speicherdichten<sup>3</sup>. Diese würden beispielsweise dem Fahrzeugbau zugutekom-

men, denn dann ließe sich Elektrizität aus wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen gewinnen.

Auch Methan, Hauptbestandteil von Erdgas, könnte den Weg zur saubereren Energieversorgung ebnen. Das Gas ist nicht nur einfacher zu handhaben als Wasserstoff, es lässt sich auch auf vielfältige Weise produzieren. Zu den effizientesten Verfahren gehört die Fermentation von Biomasse. Die biochemischen Abläufe<sup>4,5</sup> müssen wir aber noch genauer kennen lernen, um ihre technische Anwendung zu optimieren. So können eines Tages vielleicht sogar genetisch modifizierte Organismen Methan produzieren.

Die Verarbeitung von Biomasse ist indes nur ein indirekter Weg, die Energie der Sonne zu nutzen. Photovoltaiksysteme wandeln Sonnenlicht hingegen direkt in Elektrizität um. Sie basieren bislang zumeist auf Siliziumsolarzellen, doch neue Polymere versprechen kosteneffizientere und flexiblere Lösungen. So scheinen selbst Beschichtungen denkbar, die man nur auf einen Untergrund aufzusprühen braucht, um Strom aus Sonnenlicht zu erzeugen. Um die Effizienz und Lebensdauer solcher Materialien zu verbessern, ist ebenfalls Grundlagenforschung nötig. Sie wird uns einerseits bei der Synthese neuer Moleküle voranbringen und andererseits neue Methoden liefern, mit deren Hilfe sich Nanomaterialien wie die zufällig entdeckten Fullerene gezielt herstellen lassen<sup>6,7</sup>.

Weiter optimierbar ist auch ein Alltagsbauteil – die Solarzelle. Ihre transparenten Elektroden enthalten meist Indium, einen seltenen und teuren Rohstoff. Andere Materialien wie Graphen (einlagige Schichten aus Kohlenstoffatomen) könnten sich zu einer preiswerten Alternative entwickeln, sobald es gelingt, sie in großen Mengen herzustellen<sup>8</sup>. Von neuar-

Einzelne Lagen aus Graphit sind wegen ihrer überraschenden Eigenschaften bei den Materialwissenschaftlern besonders beliebt. Am Max-Planck-Institut für Polymerforschung wurden Verfahren entwickelt, wie solche »Graphene« preiswert und in großem Maßstab

hergestellt werden können. Transparente und leitfähige Graphenfilme fungieren etwa als Fensterelektroden in Solarzellen, als Leuchtdioden oder LCD-Displays – und könnten herkömmliche Elektroden ersetzen (Pang, S. et al., *Adv. Mater.* 21, 3488, 2009).



- Um bisherige Energiequellen besser auszuschöpfen und neue zu erschließen, versuchen Wissenschaftler die fundamentalen Prozesse bei der Umwandlung von Energie genauer zu verstehen.
- Diese Grundlagenforschung hilft uns, von fossilen Brennstoffen unabhängiger zu werden und regenerative Energien effizienter zu nutzen.
- Die Energieversorgung der Zukunft lässt sich nur durch das Zusammenwirken der Wissenschaft mit Wirtschaft und Gesellschaft sichern.

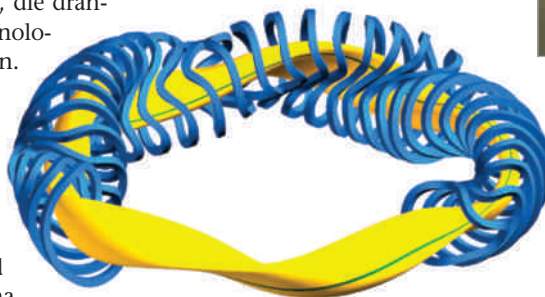
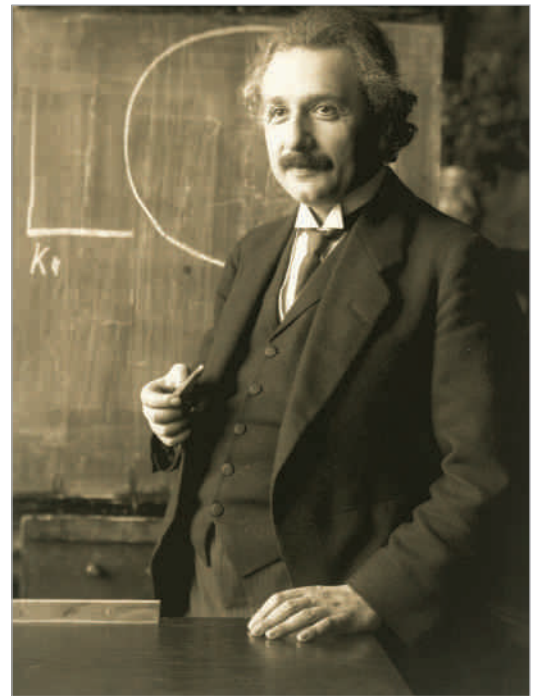
tigen Elektroden werden etwa auch Brennstoffzellenantriebe und die Batterien mobiler Computer und Handys profitieren.

Die Materialwissenschaft hat noch mehr zu bieten: Die mechanischen Eigenschaften neuer Hochleistungspolymere und Stahllegierungen, kombiniert mit ihrem geringen Gewicht, könnten den Treibstoffverbrauch senken, Hochtemperaturkeramiken wiederum die Betriebstemperatur und damit den Wirkungsgrad von Motoren und Turbinen erhöhen<sup>9</sup>. Auch neue thermoelektrische Materialien versprechen Einsparungen, indem sie etwa die Temperaturdifferenzen in Automotoren zur Energiegewinnung nutzen<sup>10</sup>.

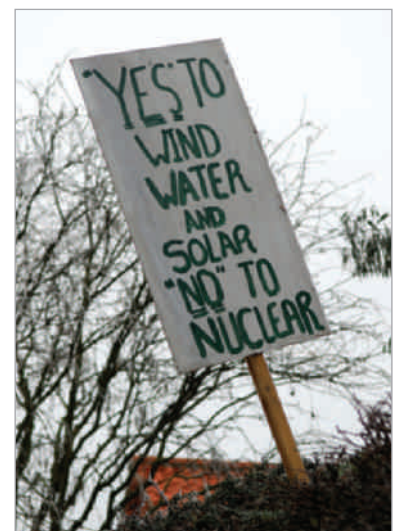
Dennoch genügt es nicht, die drängenden Fragen allein aus technologischer Sicht zu beantworten. Die seit Jahrzehnten geführte Debatte über die Kernenergie zeigt dies. Technologien wie die Fusion treffen womöglich auf ähnliche Vorbehalte. Selbst innovative Technologien der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung, welche die klimatischen Folgen des Verbrennens fossiler Rohstoffe mildern, könnten umstritten sein.

Bei Entscheidungen über unsere Energieversorgung, die auch in Zukunft einen breiten Raum in Politik und Öffentlichkeit einnehmen wird, müssen daher auch Erkenntnisse aus den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften berücksichtigt werden. Zudem sollten wir Neuerungen möglichst schrittweise einführen, damit die Gesellschaft die technische Entwicklung nach und nach mitvollziehen kann. Die Forschung von heute legt das Fundament für eine langfristige und nachhaltige Energieversorgung von morgen. Nicht nur die weltweite wirtschaftliche Entwicklung, sondern auch der Erhalt unserer natürlichen Lebensgrundlagen ist darauf dringend angewiesen. Nur wenn auch Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen eng zusammenarbeiten, werden wir die Herausforderung auf diesem Weg bewältigen.

- rechts | Albert Einstein lieferte wichtige Erkenntnisse zur Energieerzeugung und -umwandlung.
- unten | Schematische Darstellung eines von Magnetspulen (blau) umgebenen Plasmas (gelb) in einem Stellarator-Fusionsreaktor



- unten links | Heute bestehen Solarzellen aus Silizium. Zukünftige Zellen könnten dünn und biegsam sein.
- unten rechts | Manche Arten der Energiegewinnung sind in der Öffentlichkeit weniger umstritten als andere.



» Es müssen auch Erkenntnisse aus den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften berücksichtigt werden

Einstein: Ferdinand Schmutzer, public domain; Computergraphik Mitte: Max-Planck-Institut für Plasmaphysik; unten links: fotolia / Pinosub; unten rechts: iStockphoto / Ian Francis