



Durchscheinend, leicht und biegsam: Organische Solarzellen wie diese Modelle von „Largecells“ eignen sich dazu, stromerzeugende Fassaden und Fenster zu bauen.

Die neue Kohlekraft

Mit speziellen Kohlenstoff-Molekülen lassen sich **besonders haltbare Solarzellen** konstruieren. Auch bestimmte Farbmoleküle und Kunststoffe wandeln Lichtenergie in Strom um. Zellen aus diesen **preiswerten Nano-Materialien** könnten die teure Siliziumtechnik eines Tages ersetzen.

Von Sascha Rentzing

Solarforscher haben ein wesentliches Ziel: Sie wollen Photovoltaik-Systeme entwickeln, die einfacher produzierbar sind und günstiger Strom erzeugen als die gängigen Silizium-Solarzellen. Der neueste Ansatz sind organische Solarzellen, die mittels lichtaktiver Kohlenstoffe, so genannter Kohlenstoff-Nanoröhren, Sonnenstrahlung in Elektrizität umwandeln.

In organischen Zellen übernehmen bisher meistens Polymere, kettenförmig aneinandergereihte Kunststoffmoleküle, die Funktion derlichtsammelnden Schicht. Sie sind jedoch relativ empfindlich gegenüber Druck und hohen Temperaturen. Und sie wandeln wie Silizium nur den sichtbaren Teil des Sonnenlichts in Strom um. Kohlenstoffzellen gelten als widerstandsfähiger und absorbieren auch im infraroten Spektralbereich. So erzeugen sie mehr Strom.

Wissenschaftler treiben die Entwicklung der neuen Solartechnik daher mit hohem Einsatz voran. „Kohlenstoff hat das Poten-

zial, eine sehr hohe Leistung bei sehr geringen Kosten zu liefern“, sagt der Nanoforscher Benjamin Scott Flavel vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts arbeitet er mit seinem Team an einer Solarzelle, die mit einer haarfeinen, nur knapp 200 Nanometer (0,002 Millimeter) dicken aktiven Schicht aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen und Molekülen aus Kohlenstoffatomen Lichtstrahlung in elektrischen Strom umwandelt (siehe Grafik). Zum Vergleich: Herkömmliche Siliziumzellen sind rund 200 Mikrometer dick, also tausend Mal kompakter. Derzeit konfigurieren die Karlsruher Wissenschaftler den Absorber. „Indem wir die Nanoröhren maßschneidern, können wir die Absorptionswellenlängen der Solarzellen genau bestimmen“, erklärt Flavel.

Ein vom spanischen Institut für angewandte Forschung Imdea koordiniertes

Konsortium wiederum entwickelt seit November 2012 so genannte Polymer-Kohlenstoff-Hybridzellen. Die Nanoröhren haben bei diesem Konzept vor allem die Aufgabe, als negativ-leitende Absorber-Komponente den Transport der generierten Elektronen zu den Elektroden der Zelle zu übernehmen. Die Europäische Union (EU) fördert das Projekt „Pocaontas“ (Polymer-Carbon Nanotubes Active System for Photovoltaics) mit rund 3,45 Millionen Euro über vier Jahre Laufzeit. Wissenschaftlern der kalifornischen Stanford University ist es unterdessen gelungen, eine Solarzelle vollständig aus günstigen Kohlenstoff-Materialien zu bauen. Als lichtaktive Schicht wählten sie wie die KIT-Forscher ein molekulares Sandwich aus Nanoröhren und Fullerenen. Zusätzlich fertigten sie jedoch auch die Elektroden aus Kohlenstoff – die obere aus unsortiert angeordneten Nanoröhren, die untere aus Schichten, in denen die Kohlenstoff-Atome eine bienen-

wabenförmige Struktur bilden, Graphen genannt. Die Elektroden einer Zelle haben die Funktion, die erzeugten Ladungsträger möglichst reibungslos abzutransportieren. Meist kommen dafür Metalle wie Aluminium oder Indium zum Einsatz. Sie verringern die Energie, die zum Austritt aus der Elektrodenoberfläche nötig ist. Allerdings werden sie leicht zerstört, wenn sie mit Sauerstoff und Wasser in Berührung kommen und sind zudem relativ teuer. Das nur atomdicke Graphen und die langen, dünnen Kohlenstoff-Hohlzylinder gehören zu den zugfestesten Materialien auf dem Planeten und sind damit quasi unzerstörbar.

Experten sehen für die Technik große Zukunftschancen. „Die Nanotechnologie eröffnet neue Möglichkeiten zur weiteren Reduzierung der Kosten von Photovoltaik und bietet das Potenzial, neue Einsatzgebiete zu erschließen“, sagt Eicke Weber, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (Ise) in Freiburg. Bisher ist Solarstrom nicht wirtschaftlich, denn die Herstellung gängiger Solartechniken ist aufwendig und die Rohstoffe sind teuer. Silizium zum Beispiel wird mithilfe von Schmelz-, Reinigungs- und Destillationsprozessen bei hohen Temperaturen aus Quarz in so genannten Siemens-Reaktoren hergestellt. Die organische Photovoltaik hingegen erlaubt es, die lichtaktiven Moleküle in Lösung zu bringen und wie beim Zeitungsdruck im Durchlaufverfahren auf Folie aufzutragen oder auf Glas aufzusprühen. So lässt sich die Technik leicht als stromerzeugende Fassaden oder Fenster in Gebäude integrieren.

Die organische Photovoltaik wird deshalb aus vielen Kanälen gefördert. In Deutschland fließen Forschungsgelder des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, des 7. EU-Forschungsrahmenprogramms und der Deutschen Forschungsgemeinschaft in eine Reihe verschiedener Projekte. Die Erwartungen sind groß: Laut Technology-Roadmap der Organic Electronics Association (OE-A), die als Arbeitsgemeinschaft im deutschen Maschinenbauverband VDMA die gesamte Wertschöpfungskette der organischen und gedruckten Elektronik umfasst, sollen organische Zellen ab 2021 große Mengen Sonnenstrom

erzeugen. Und das konkurrenzfähig zu konventionellen Energieerzeugern. „Organische Photovoltaik hat das Potenzial, in wenigen Jahren für Kosten von deutlich weniger als 50 Eurocent pro Watt Leistung hergestellt zu werden“, sagt OE-A-Geschäftsführer Klaus Hecker.

Hohe Erwartungen

Bis zur Kommerzialisierung der Kohlenstoffzellen ist es aber noch ein weiter Weg. Materialwissenschaftler haben errechnet, dass die Technik theoretisch einen Wirkungsgrad von bis zu 13 Prozent erreichen kann. Die Zelle aus dem Labor der Stanford University hingegen wandelt derzeit weniger als ein Prozent des Lichts in Strom um – gute Siliziumzellen erreichen heute 20 Prozent Effizienz. Eine Ursache dafür liegt laut Stanford-Forscherin Zhenan Bao darin, dass der Kohlenstoffabsorber den sichtbaren Teil des Sonnenlichts bisher nicht zu Stromgewinnung nutzen konnte. Ihr Team arbeite derzeit noch mit Ausgangsstoffen von der Stange, die nur leicht verändert worden seien. So sei der verwendete Kohlenstofffilm noch recht rau, was sich negativ auf den Ladungstransport auswirke. Mit optimierten Materialmischungen und Fertigungstechnologien hofft Bao auf eine drastische Steigerung.

Andere organische Zellen sind schon weiter entwickelt. Die unterfränkische Firma Belectric OPV zum Beispiel plant eine Pilotfertigung für stromerzeugende Solarfolien. Das Unternehmen hat vor einem halben Jahr die deutsche Niederlassung des US-amerikanischen Entwicklers von organischen Zellen Konarka übernommen, dessen Technik es nun umsetzen will. Dabei wird eine „Solartinte“ aus lichtabsorbierenden Polymeren auf Folie gedruckt. Konarka erreichte mit der Technik im Labor zehn Prozent Effizienz. Die Dresdner Firma Heliatek, eine Ausgründung der Technischen Universität Dresden und der Universität Ulm, will noch höher hinaus (neue energie 10/2012): Für Ende 2013 hat sie den Start der Serienproduktion von „Dreifachzellen“ geplant, die nach Firmenangaben auf einen für organische Zellen rekordverdächtigen Wirkungsgrad von 15 Prozent kommen können. Sie bestehen aus drei ▶

übereinander liegenden aktiven Schichten, die ein besonders breites Lichtspektrum absorbieren.

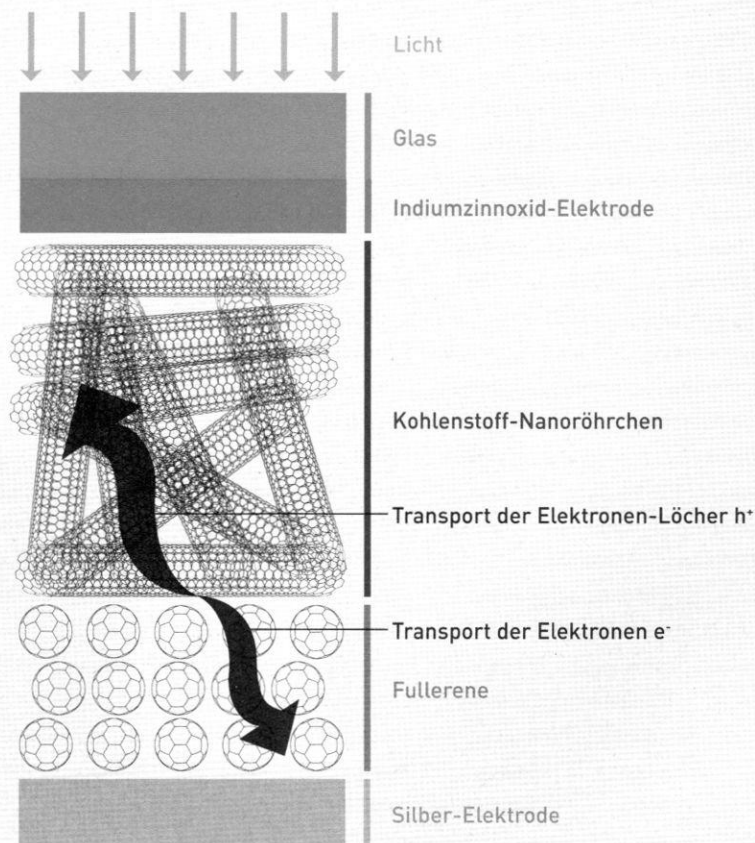
Die Herstellung der Triple-Junction-Zellen ist allerdings alles andere als trivial. Heliatek verwendet statt in Lösung gebrachter Polymere schwer lösliche Moleküle, so genannte Oligomere, die im Vakuum auf Folie aufgebracht werden. „Nur die Vakuumdeposition ermöglicht die Abscheidung beliebig vieler, hauchdünner und zugleich homogener Schichten“, erklärt Technik-Chef Martin Pfeiffer. Der Nachteil: Zur

Verdampfung der oligomeren Absorber sind hohe Temperaturen nötig. Damit steigen die Energiekosten. Heliateks Hauptargument für den bevorstehenden Markteintritt sind deshalb auch nicht die niedrigen Produktionskosten, sondern die Vielseitigkeit seines Produkts. „Unsere Module sind leicht, semitransparent und ästhetisch anspruchsvoll. Damit können sie fast überall eingesetzt werden“, sagt Pfeiffer.

Fortschritte gibt es auch bei den Farbstoffzellen, Verwandte der organischen Zellen, die ebenfalls der Nanophotovoltaik zu-

Solarzelle aus Kohlenstoff

Neueste organische Solarzellen nutzen Kohlenstoff statt Kunststoff als lichtaktives Material. Das Zellenkonzept basiert auf einem 170 Nanometer (0,0017 Millimeter) dicken Absorber aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen und so genannten Fullerenen, kugelförmigen Molekülen aus Kohlenstoffatomen. Trifft Licht auf die Zelle, erzeugt es in den positiv leitenden Nanoröhren und den negativ leitenden Fullerenen Elektronen-Loch-Paare. Das elektrische Feld am Übergang der Materialien trennt die Ladungsträger. Die Nanoröhren transportieren die elektrisch positiven Löcher zur transparenten Frontelektrode aus Indiumzinnoxid (ITO), die Fullerene die negativ geladenen Elektronen zur Silberelektrode auf der Rückseite. Über die metallenen Kontakte kann der Strom abgenommen werden.



Quelle: KIT

geordnet werden. Statt Kohlenstoff oder Polymeren kommen bei dieser Technik Farbstoffmoleküle als Absorber zum Einsatz, die sich wie das Chlorophyll in einer Pflanze bei der Photosynthese verhalten: Licht erzeugt in dem Farbstoff Ladungsträger, die mithilfe einer elektrisch leitenden Flüssigkeit, einem Elektrolyten, zu den Kontakten transportiert werden. Die wallisische Firma G24i Power erreicht mit Farbstoffzellen in der Pilotproduktion nach eigenen Angaben bereits zwölf Prozent Wirkungsgrad. Die breite Markteinführung der Farbstoffzellen scheiterte bisher jedoch an den Elektrolyten, die nur kurz halten und bei Beschädigung der Zelle austreten können. Michael Grätzel, Erfinder der Farbstoffzelle, und sein Team von der Eidgenössischen Technischen Hochschule haben nach über einem Jahrzehnt Forschungsarbeit nun aber offenbar einen Weg gefunden, das Haltbarkeitsproblem zu lösen. „Wir haben eine Festkörperzelle mit 14,1 Prozent Wirkungsgrad entwickelt, die ohne Elektrolyten auskommt“, erklärt Grätzel. Damit könne die Lebensdauer deutlich gesteigert werden. „In Tests hat unsere Solid-State-Zelle 5000 Stunden bei 89 Grad Celsius gehalten – das macht keine andere organische oder Dünnschichtzelle nach“, so Grätzel.

Die entscheidende Frage ist allerdings, ob die neuen Nanotechniken jemals an den marktdominierenden Siliziumzellen vorbeiziehen können. Mit Effizienzen von nur

wenigen Prozent und einer Haltbarkeit von nicht mehr als ein paar Jahren könnten sie allenfalls als Stromlieferanten für Elektrokleingeräte relevant werden, nicht aber für die netzgekoppelte Photovoltaik. Gelingt es den Entwicklern jedoch, die guten Ergebnisse aus den Laboren in die kommerzielle Produktion zu übertragen, dürften organische und Farbstoffzellen aus der Gebäudeintegration künftig nicht mehr wegzudenken sein. Auf lange Sicht machen vor allem die neuartigen kohlenstoffbasierten Zellen Hoffnung: Kohlenstoff ist unbegrenzt verfügbar, robust und kann Licht relativ effizient in Strom umwandeln. ◀

Links zum Thema

**Karlsruher Institut für Technologie:
Zellen aus Kohlenstoff-Nanoröhren**
www.int.kit.edu/flavel

**Institut für Angewandte Forschung
Madrid: Zellen aus Polymeren und
Kohlenstoff-Nanoröhren**

<http://clientes.2mdc.com/pocaontas>

Stanford University: Kohlenstoffzelle
http://baogroup.stanford.edu/index.php?option=com_content&view=article&id=13&Itemid=52

**Eidgenössisch Technische Hochschule
Lausanne: Farbstoffzellen**
<http://ipi.epfl.ch>