

Photonen von der Rolle

Die Nanotechnologie könnte die Photovoltaik revolutionieren, Solarzellen aus Farb- und Kunststoffen den teuren Siliziumgeneratoren bald Konkurrenz machen. Erste Firmen starten in Kürze die Serienproduktion

Text: Sascha Rentzing



Erik Oldekop gibt sich sehr selbstbewusst: „Das Silizium hat es nicht geschafft, Solarstromkosten deutlich zu senken. Mit unserer Technik wird das möglich sein“, sagt der Deutschland-Chef der kalifornischen Firma Nanosolar.

Die Massenproduktion von Modulen der ‚dritten Generation‘ ist für die US-Amerikaner der Schlüssel zur preiswerten Solarenergie. Anders als Siliziummodule bestehen diese aus nur millionstel Meter dünnen, Licht sammelnden Schichten. Physikalisch sind sie mit diesen Maßen der Nanotechnologie zuzuschreiben.

Sage und schreibe 430 Megawatt (MW) Fertigungskapazitäten für Zellen und Module will Nanosolar in den nächsten Jahren aufbauen. Die Zellenfabrik soll in den USA entstehen; als Standort für die Modulfertigung hat das Unternehmen das brandenburgische Luckenwalde ins Auge gefasst. Bereits in Kürze soll die Fertigung starten. „Wir sind in der Umsetzung schon sehr weit fortgeschritten. Unsere Module werden momentan getestet und wir werden sie noch

in diesem Jahr am Markt anbieten“, erklärt Oldekop die Pläne.

Die Zuversicht der kalifornischen Nano-Spezialisten hat Gründe: Im Pilotwerk in Palo Alto, Kalifornien, stellt die Firma bereits erfolgreich Solarzellen her. Wie beim Zeitungsdruck wird eine aus winzigen Halbleiterpartikeln aus Kupfer-Indium-Gallium-Selenid (CIGS) bestehende Tinte im Rolle-zu-Rolle-Verfahren auf Folie aufgetragen. Damit kann im Produktionsprozess auf Vakuummaschinen und Raumproduktionsbedingungen verzichtet werden. Bei deutlich erhöhtem Durchsatz sinken so die Investitionskosten. Und auch der Wirkungsgrad des Nanomoduls soll beachtlich sein. „Wir liegen deutlich über den Wirkungsgraden anderer, kommerziell erhältlicher Dünnschichtmodule“, sagt Oldekop.

Investoren sind von der Technik offenbar angetan. Bei einer Finanzierungsrunde im Sommer konnte die Firma 75 Millionen US-Dollar (rund 61 Millionen Euro) einsammeln. Ihr stehen damit insgesamt über 100 Millionen US-Dollar (81 Millionen Euro) Eigenkapital für den Produktionsaufbau zur Verfügung. Zu den Kapitalgebern zählen etwa der Schweizer Rückversicherer Swiss Re und die Private-Equity Gesellschaft Grazia Equity GmbH.

Zwei starke Materialien kombiniert Nanosolar ist nicht das einzige Unternehmen, das nach Jahren der Forschung an der Kommerzialisierung von Solarmodulen auf Basis nanostrukturierter Materialien arbeitet. Mehrere Firmen wollen die Technik auf größere Produktionsmengen hochskalieren. Dazu zählen etwa das US-amerikanische Unternehmen Konarka Technologies, die G24 Innovations, eine im britischen Cardiff ansässige Firma, oder die australische Dyesol. Selbst der weltgrößte Produzent von Siliziumzellen, Sharp, entwickelt am Konzernsitz Katsuragi in Japan bereits Nanozellen. Über die Absichten der Japaner ist indes nicht viel bekannt.

Im Kern verfolgen die Firmen drei Konzepte. Ein Ansatz beruht auf Halbleiterpartikeln wie sie Nanosolar einsetzt. Diese so genannten Quantenpunkte haben die Eigenschaft, bei Eintreffen von Lichtteilchen sehr schnell Elektronen abzugeben. Sie wandeln Photonen also effizient in Strom um. Der zweite Ansatz setzt auf organische Solarzellen. Bei dieser Technik gehen halbleitende Kunststoffteilchen, so genannte konjugierte Polymere, auf Photonenfang. Moleküle aus reinem Kohlenstoff, die Fullerene, nehmen die durch die Lichtteilchen angeregten Ladungsträger auf und transportieren sie zu den Elektroden der Zelle. Die dritte und

wohl bekannteste Nanotechnik nutzt Farbstoffmoleküle zur Sonnenlichternte. Diese verhalten sich wie das Chlorophyll in einer Pflanze bei der Photosynthese: Trifft Licht auf den Farbstoff, werden dessen Elektronen angeregt. Die werden dann über den Halbleiter Titandioxid weitergeleitet. Den Transport der parallel gebildeten positiven Ladungsträger, der Elektronenlöcher, übernimmt ein spezieller Elektrolyt.

Gemeinsam ist den Nanotechniken folgendes Prinzip: Licht absorbierendes Material nimmt Sonnenphotonen auf. Dadurch werden Elektronen freigesetzt und es entstehen Elektronenlöcher, die dann zu den Zellenkontakten weitergeleitet werden. Dort können sie als nutzbarer Strom abgegriffen werden. Zur effizienten Nutzung des Sonnenlichts wirken bei allen Ansätzen Materialien mit zwei besonderen Stärken zusammen: Eines ist ein hervorragender Photonenfänger, das andere ein prima Ladungstransporteur.

Großes Manko: Kurzlebigkeit

Zum Vergleich: Bei einer Siliziumzelle übernimmt das Silizium alle Funktionen – Lichtsammlung, Ladungstrennung und -transport. Genau betrachtet ist diese Art der Solarstromerzeugung weniger effektiv und sehr materialintensiv. Denn als Halbleiter ist das Silizium ein schlechter Lichtabsorber. Daher werden für Solarzellen hundert

erer Flexibilität an Orten eingesetzt werden, wo klassische Solarzellen allein schon wegen ihres Formats und Gewichts nicht in Frage kommen.

Von einem bevorstehenden Durchbruch der ultradünnen Solar-

kungsgrade im unteren einstelligen Bereich. Allerdings nährte die Technische Universität Ilmenau die Hoffnung auf weitere Effizienzverbesserungen: Das dortige Institut für Physik erreichte Ende 2005 für Plastikzellen auf Folienbasis einen Wirkungsgrad von fünf Prozent (neue

zellen zu sprechen, wäre allerdings verfrüht. Denn den Kostenvorteilen stehen beträchtliche Nachteile gegenüber. Ein wesentliches Problem ist die Kurzlebigkeit der Zellen. Keine der bisher erprobten Techniken kommt, wie Silizium, auf eine Lebensdauer von 20 Jahren.

Das Phänomen der schnellen Alterung ist schon häufig beschrieben worden: Die in den Farbstoffzellen verwendeten Elektrolyte sind so aggressiv wie flüchtig und machen es deshalb schwierig, dauerhafte Stabilität zu erreichen. Das oft als Elektronenloch-Transporteur eingesetzte Iodid etwa frisst die Zellenversiegelung im Laufe der Zeit regelrecht auf und entfleucht dann.

Auch bei Polymerzellen ist die optimale Versiegelung noch nicht gefunden. Schwierigkeit hier: Kommen die organischen Solarsubstanzen mit Wasser und/oder Sauerstoff in Berührung, werden sie abgebaut. Bisher waren die Entwickler froh, wenn sie die Plastiklichtfänger für einige Monate stabilisieren konnten.

Weiter gearbeitet werden muss außerdem an der Effizienz der Nanozellen. Zwar konnte beispielsweise Sharp für die glasversiegelte Farbstoffvariante einen Wirkungsgrad von 11,1 Prozent nachweisen, was bereits nahe an das Silizium heranreicht (14 Prozent), die serielle Fertigung lässt indes zunächst niedrigere Werte erwarten. Organische Zellen schaffen derzeit nur Wir-

energie 12/2005). Bis dato waren maximal drei bis vier Prozent nachgewiesen worden.

Trotz dieser Probleme gehen die Firmen die industrielle Fertigung selbstbewusst an. Nanosolar etwa versichert, ein Produkt auf den Markt zu bringen, das sich nicht nur günstig herstellen lässt und gute Wirkungsgrade aufweist, sondern auch lange hält. „Der Produktionsprozess ist verdammt schwer. Aber wir erreichen eine sehr hohe Langzeitstabilität“, sagt Deutschland-Chef Oldekop.

Nach 15 Forschungsjahren kommt die Grätzelzelle

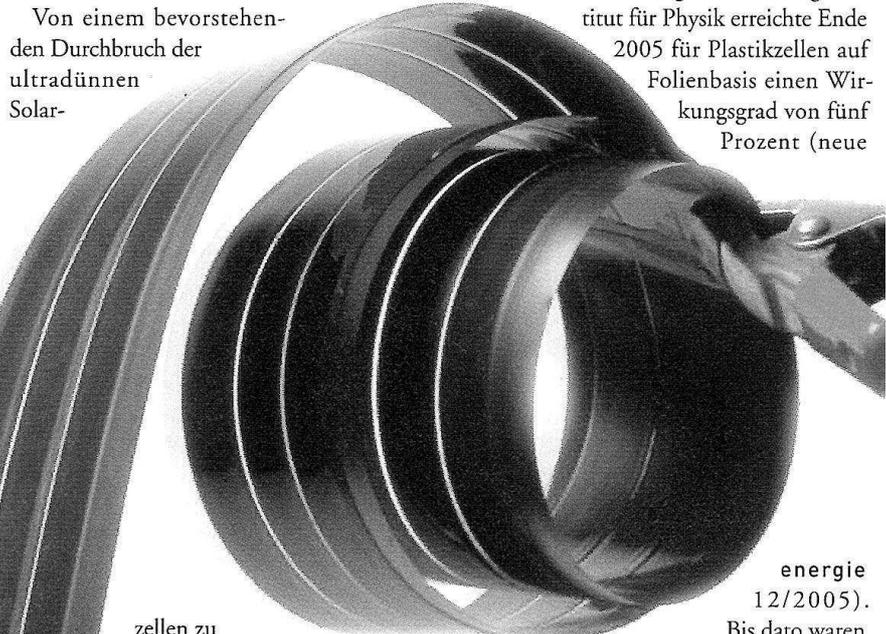
Große Ziele hat auch das walisische Unternehmen G24 Innovations. Der Solar-Newcomer setzt auf Farbstoffzellen und plant, in Cardiff eine Fertigung mit einer Kapazität von 200 MW aufzubauen. Die ersten 20 MW sollen nach Firmenangaben in den nächsten Monaten eingerichtet werden. Anwendungsgebiete für sein Produkt sieht G24 zunächst im mobilen Elektrobereich, dann aber auch in der Photovoltaik.

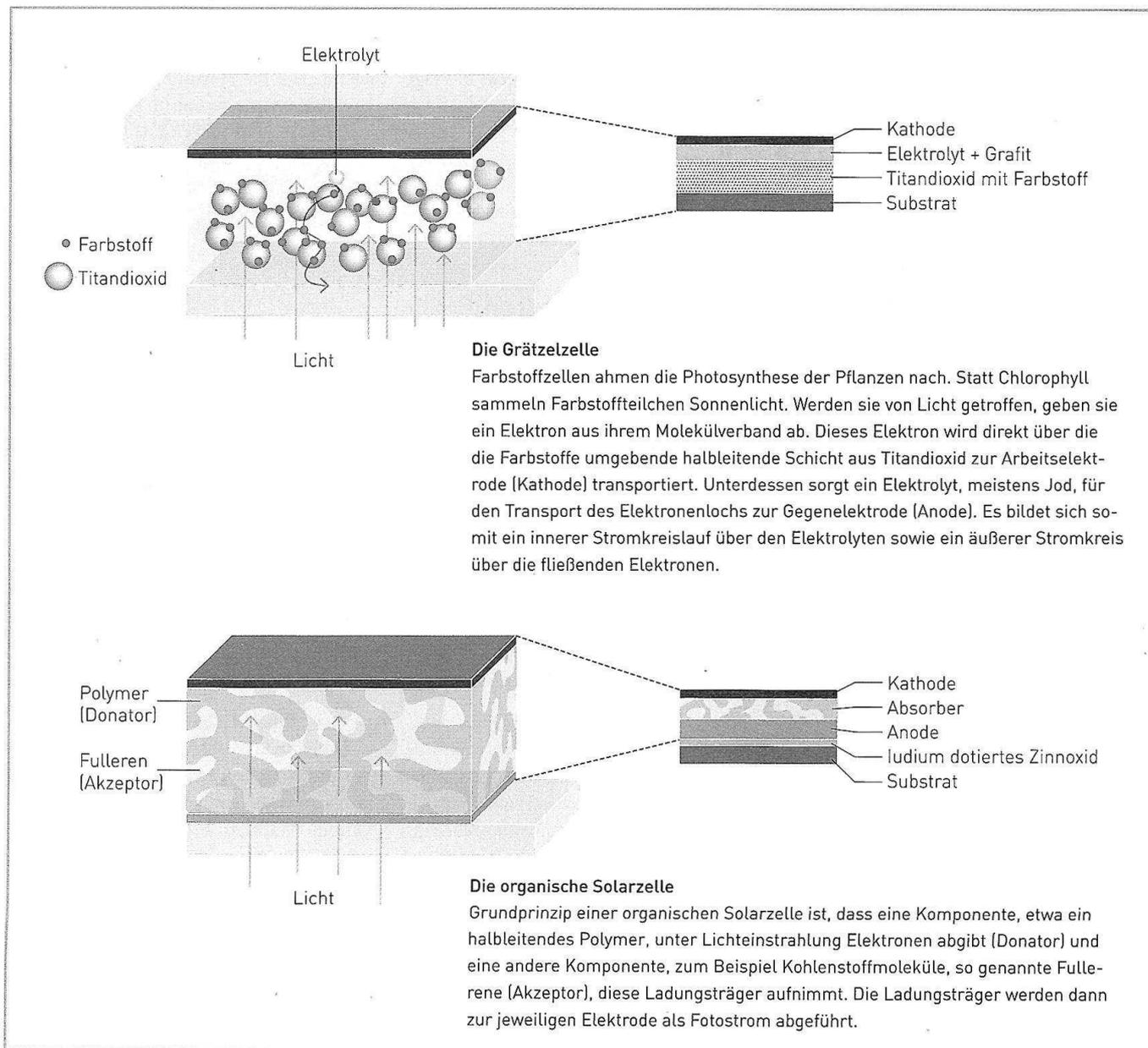
Der Produktionsstart dieser Art Nanotechnik kann fast schon als historisches Ereignis bezeichnet werden: 15 Jahre intensive Forschung liegen hinter der Farbstoffzelle; viel Zeit verging, um gute Nanoabsorber sowie geeignete, gut beherrschbare Elektrolyte zu finden und deren Zusammenspiel zu optimieren. Michael Grätzel, der heute am Eidgenössischen Polytechnikum Lausanne (Schweiz) lehrt, hatte seinerzeit die Idee für den die Photosynthese nachahmenden

Foto: Konarka

Mikrometer dicke Schichten benötigt, um Licht komplett in elektrische Energie umzuwandeln.

Die Vorteile der neuen Solargeneratoren gegenüber der Siliziumtechnik liegen damit auf der Hand: Sie benötigen weniger Material und lassen sich mithin deutlich günstiger herstellen. Außerdem sind die Nanoabsorber sehr empfindlich gegenüber diffusem Licht. Das prädestiniert sie für Orte, die häufiger verschattet sind. Und schließlich können die schlanken Lichtsammler aufgrund ih-





Stromgenerator und baute den Prototypen. Später lizenzierte Konarka die Technik und entwickelte das Fertigungsprinzip in einer eigenen Pilotanlage. Auf Grundlage einer Lizenzvereinbarung mit dem US-amerikanischen Nanospezialisten wird G24 nun mit der Herstellung beginnen. Vom Prinzip her wird diese so ablaufen: Eine dünne Lage Titandioxid wird auf Folie aufgetragen. Anschließend wird die molekulare Struktur der Folie unter Einsatz von Nanotechnik weiter manipuliert.

Die Firmen erwarten den Produktionsstart mit Spannung. Denn die Hochskalierung dürfte schwierig werden. So ist der eingesetzte Elektrolyt flüssig und daher schwer zu handhaben. Ob die Zellqualität stimmt und der angepeilte Wirkungsgrad von 7 Prozent erreicht wird, lässt sich deshalb erst sagen, wenn die ersten Serienprodukte vorliegen.

Konarka selbst beschäftigt sich nicht nur mit Farbstoffzellen. 2004 übernahm das Unternehmen die Nanosolar-Forschung von Siemens und verfügt seitdem auch über das dort entwickelte Wissen über organische Zellen. Im firmeneigenen Labor erzielt das Unternehmen mit Lichtfängern auf der Basis von Kunststoffen und Fullerenen einen Wirkungsgrad von mehr als fünf Prozent. Derzeit arbeitet Konarka gemeinsam mit der Leonard Kurz GmbH, Entwickler und Hersteller von Prägefolien und der zugehörigen Anwendungstechnik, an Verfahren zur großtechnischen Fertigung für diese Zelltechnik. Die Idee: Die Halbleiterschicht, das Polymer-Fulleren-Komposit, wird schlicht zwischen zwei Plastikfolien eingeschlossen. Um hohe Durchsätze zu ermöglichen, soll dies per Rolle-zu-Rolle-Verfahren erfolgen.

Kommen die Partner zu den erhofften Ergebnissen, könnten laut Konarka Polymerzellen bereits von 2008 an im großen Stil produziert werden. Ob das Unternehmen die von ihm entwickelte Nanotechnik aber in Zukunft selbst in Masse herstellen oder – wie im Fall G24 – ausschließlich Lizenzen verkaufen beziehungsweise Kooperationspartnern die Hochskalierung überlassen wird, ist derzeit nicht entschieden.

Viele neue Nanoansätze in der Laborphase

Unterdessen wird weiter rege geforscht. Die Wissenschaftler sind von den großen Potenzialen der Nanotechnik überzeugt und glauben, dass Effizienzsteigerungen und längere Lebenszeiten realisierbar sind. Gesucht wird nach neuen, das Sonnenlicht besser ausnutzenden Absorbern, Materialien, die energie-

tisch besser aufeinander abgestimmt sind und Zellaufbauten, die den Ladungsträgern ihren Weg zu den Elektroden erleichtern. Theoretisch sind unendlich viele Stoffe, Stoffpaare und Konstruktionen denkbar. Die große Herausforderung lautet schlicht, die besten zu finden. Das Polytechnikum Lausanne etwa befasst sich intensiv mit der Frage, wie die Effizienz der Grätzel-Zelle verbessert werden kann. Ansatz ist, Farbstoffe durch winzige aus Halbleitermaterial bestehende Quantenpunkte zu ersetzen. „Auf diese Weise kann man gleich mehrere Elektronen mit einem Photon ernten. Normalerweise wird in Solarzellen pro Lichtteilchen nur ein Elektron freigesetzt“, sagt der Zellenerfinder Michael Grätzel. Theoretisch ließe sich der Wirkungsgrad seiner Zellkonstruktion durch Austausch der Lichtfangenden Moleküle also verdoppeln.

Aus dem gleichen Grund, der Aussicht auf eine bessere Nutzung des Sonnenlichts, arbeiten das renommierte US-amerikanische National Renewable Energy Labora-

tory (NREL) sowie die Universität Oldenburg mit Quantenpunkten. Das Konzept beider Institute beruht auf dem der rein organischen Solarzellen aus Polymer und Fullerenen. Letztgenannte Moleküle ersetzen die Wissenschaftler jedoch durch Nanopartikel aus Blei- beziehungsweise Cadmium-Selenid, also anorganisches Material. In Oldenburg werden aus den Polymeren und Quantenpunkten derzeit Komposite unterschiedlicher Mischungsverhältnisse hergestellt, die mit elektrischen und optischen Untersuchungsmethoden charakterisiert werden. Das viel versprechendste Komposit soll dann näher betrachtet werden.

Spannend ist schließlich auch ein Ansatz der Technischen Universität Darmstadt. Die Hessen versuchen unter anderem Zellen herzustellen, in denen Farbstoffmoleküle in hauchdünnen Siliziumschichten eingelagert sind. Die Idee ist, die guten Transporteigenschaften des Siliziums mit den guten Absorptionseigenschaften der Farbpigmente zu kombinieren. Zellen dieser Zusammen-

setzung zu produzieren, ist nicht leicht, denn die Farbstoffe sind extrem hitzeempfindlich und können beim Wachsen der Komposite leicht zerstört werden. Doch die Darmstädter haben einen (Niedertemperatur-)Weg gefunden: „Modellexperimente geben erste Hinweise auf den Energietransfer zwischen Pigmentschicht und Halbleiter“, erklärt Wolfram Jägermann, Leiter des Fachgebiets Oberflächenforschung des Fachbereichs Material- und Geowissenschaft. Ein weiterer Schritt sei nun, bessere, geschlossene Zellschichten zu produzieren. Danach wolle man sich daran machen, die angestrebte Effizienzsteigerung der Farbstoff-Silizium-Mixtur gegenüber reinen Halbleitermaterialien zu erreichen. „Hierfür“, so Jägermann, „sind aber viele weitere Optimierungsschritte erforderlich.“

Die vielen Anstrengungen zeigen ein ganz deutlich. Die Nano-Technik wird kommen, und dies mit unterschiedlichsten Varianten. Nanosolar wird mit seinen CIGS-Zellen in Kürze den Anfang machen. ◀