



Strom aus der Druckerei

Forscher und Ingenieure treiben die Kommerzialisierung von Nanosolarzellen mit hohem Einsatz voran. Von 2015 an soll die Technik im großen Stil preiswert Sonnenenergie erzeugen. Noch sind Hindernisse aus dem Weg zu räumen.

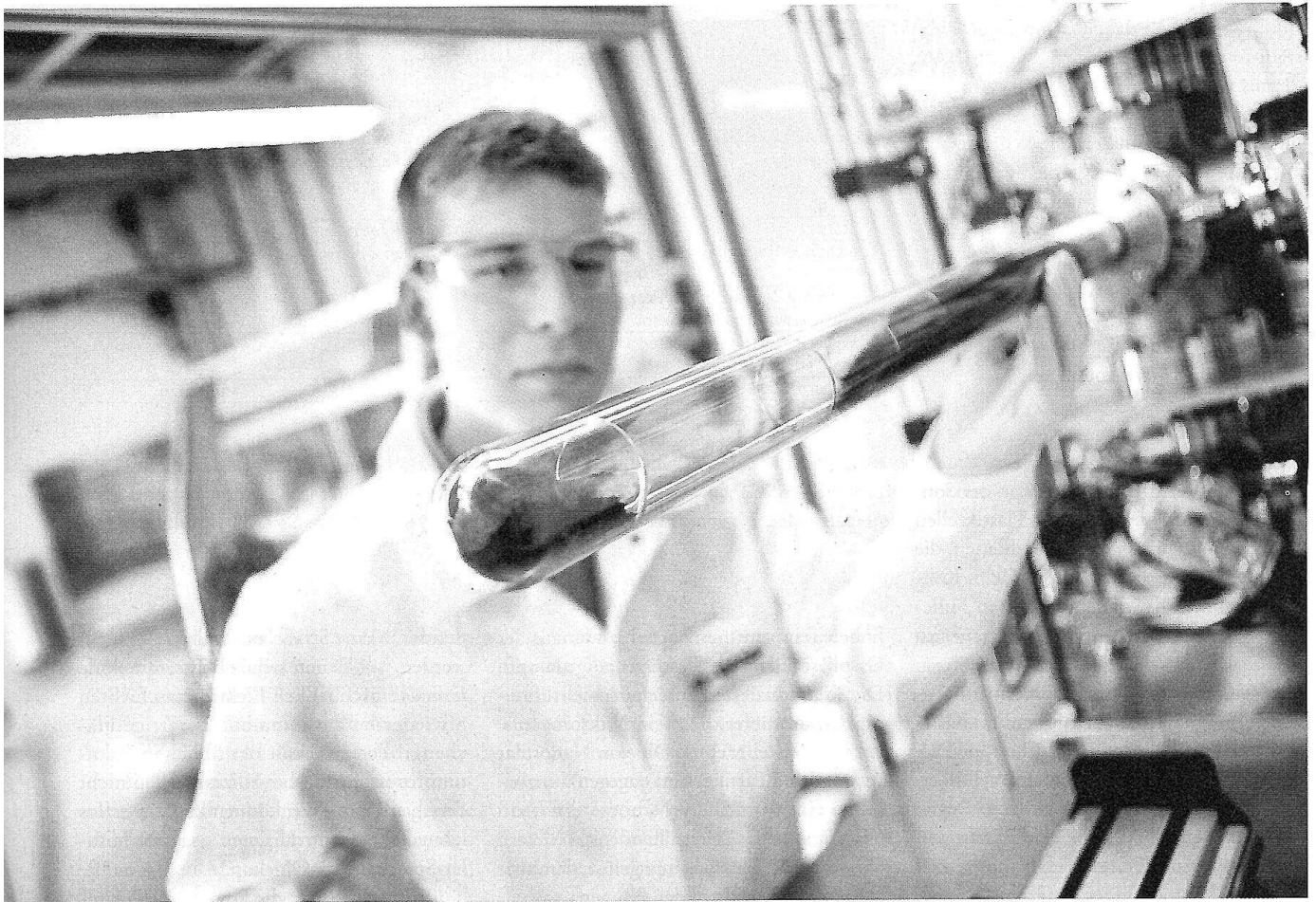
Text: Sascha Rentzing

Die amerikanische Stahlhochburg Pittsburgh wird zum Innovationsmotor in der Nanophotovoltaik: Die in der US-Industriestadt ansässige Firma Plextronics startet die Pilotfertigung von Solarzellen, bei denen statt Silizium Kunststoffmoleküle Strom produzieren. In Lösung gebracht, können diese wie beim Zeitungsdruck im Durchlaufverfahren auf Folie aufgetragen werden. So sollen Material- und Produktionsaufwand sinken. „Wir wollen die Herstellkosten deutlich unter das derzeitige Branchen-

niveau senken“, sagt Plextronics-Chef Andy Hannah. Herkömmliche Siliziummodule liegen in der Fertigung gegenwärtig bei durchschnittlichen Kosten von rund zwei Euro pro Watt.

Entwickelt hat die neuartige Zelle die Carnegie Mellon University in Pittsburgh, aus der Plextronics 2002 als Spin-off hervorgegangen ist. Anders als Silizium- oder Dünnschichtzellen basiert die Technik auf nur milliardenstel Meter dünnen lichtsammlenden Schichten. Physikalisch ist sie mit

diesen Maßen der Nanotechnik zuzuschreiben. Um die Markteinführung zu beschleunigen, kooperiert die Firma mit dem renommierten Interuniversity Microelectronics Centre (IMEC) im belgischen Leuven. Bis 2012 will das Joint Venture einen industrietauglichen Fertigungsprozess für die Technik entwickeln, zugleich Wirkungsgrad und Lebensdauer erhöhen. Denn Effizienz und Haltbarkeit sind bislang das große Manko der Nanophotovoltaik. Die Zelle von Plextronics wandelt im Labor nur 5,9 Pro-



Voll techno? Nein, Spincoating: So nennt man das Überziehen der Farbstoffsolarzelle mit einem Materialfilm, der wenige Nanometer dünn ist (li). Organische Halbleitermaterialien nach der Reinigung in der Gradientensublimationsanlage im BASF-Labor in Ludwigshafen (re).

zent Licht um und verliert schon nach wenigen Wochen an Leistung, da sich die organischen Solarsubstanzen schnell abbauen. Mit diesen Problemen schlagen sich auch die Entwickler anderer Firmen seit geraumer Zeit herum (neue energie 1/2007).

Ziel: Weniger als 0,50 Euro pro Watt

Experten sehen für die Technik dennoch gute Zukunftschancen. „Die Nanotechnologie eröffnet neue Möglichkeiten zur weiteren Reduzierung der Kosten von Photovoltaik und bietet das Potenzial, neue Einsatzgebiete in der Verwendung von Solarenergie zu erschließen“, sagt Eicke Weber, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (Fraunhofer-ISE) in Freiburg. Nicht nur Wissenschaftler seiner Einrichtung arbeiten deshalb eifrig an der Weiterentwicklung der schlanken Stromerzeuger. Allein in

Deutschland wollen die Bundesregierung und Unternehmen im Rahmen der „Technologieinitiative Organische Photovoltaik“ bis 2012 stolze 360 Millionen Euro investieren. Insgesamt 82 Vorhaben stehen auf der Förderliste des Bundesforschungsministeriums. Unterstützt werden besonders Universitäten, welche die Grundlagen der Technik erforschen, sowie Chemie- und Photovoltaik-Unternehmen, die vor allem Herstellprozesse entwickeln. Die Erwartungen sind groß: Laut Technologie-Roadmap der Organic Electronics Association, die als Arbeitsgemeinschaft im Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) die gesamte Wertschöpfungskette der organischen und gedruckten Elektronik umfasst, soll die Technik von 2015 an große Mengen Sonnenstrom erzeugen. Und das konkurrenzfähig zu Netzstrom „Organische Photovoltaik hat das Potenzial, in wenigen Jahren für

Kosten von weniger als 50 Eurocent pro Watt peak Leistung produziert zu werden“, erklärt Christoph Brabec, Technikchef des führenden Nano-Entwicklers Konarka.

Die bisherigen Errungenschaften der Firmen nähren die Hoffnung, dass die Markteinführung bis 2015 gelingen kann. Neben Plextronics stellt G24 Innovations in Wales bereits Nanozellen im Pilotmaßstab her, Konarka will sogar bald die Serienfertigung starten. „Das Ramp-up läuft“, sagt Brabec. 2008 erwarb der Solarspezialist aus Lowell, Massachusetts, das ehemalige Werk des insolventen Kameraherstellers Polaroid. Dort könnte, so Brabec, jährlich bis zu ein Gigawatt (GW) Solarstromleistung von der Rolle laufen (neue energie 11/2008). Dicht dran an der Nano-Weltspitze ist die Dresdner Firma Heliatek, eine Ausgründung der TU Dresden und der Universität Ulm. Mit finanzieller Unterstützung von BASF und

Bosch entwickelt das Start-up einen Herstellprozess für organische Tandemzellen, die aus zwei übereinander liegenden fotoaktiven Schichten bestehen. Das Materialduo nutzt mehr Licht und erhöht so die Stromausbeute – Wirkungsgrade bis zu zehn Prozent seien möglich, sagt Bert Männig, Gruppenleiter Physik. Bis 2011 sollen die ersten Produkte für den mobilen Elektrobereich, etwa für Handys oder Laptops, auf den Markt kommen, „etwas später“ dann großflächige Produkte für netzgekoppelte photovoltaische Anwendungen.

Moleküle statt massivem Silizium

Derzeit konkurrieren vor allem drei Materialkombinationen um den Platz an der Sonne. Plextronics' und Konarkas Plastikzellen bestehen aus leitfähigen Polymerketten, die das Licht in Elektrizität umwandeln. Kohlenstoffmoleküle, die sogenannten Fullere, transportieren die Ladungsträger zu den Elektroden der Zelle, wo sie als Strom abgegriffen werden können. G24 Innovations nutzt dagegen auf Ruthenium basierende Farbstoffmoleküle zur Lichternte. Diese verhalten sich wie das Chlorophyll in einer Pflanze bei der Photosynthese: Regen Lichtteilchen sie an, geben sie Elektronen an halbleitende Titandioxid-Nanopartikel ab. Ein Elektrolyt leitet die Ladungsträger dann an die Elektroden weiter. Der dritte Ansatz, eine Entwicklung der US-Firma Nanosolar, basiert auf Nanokristallen aus Kupfer, Indium, Gallium und Selen (CIGS). Die Technik ist nicht zu verwechseln mit den sogenannten CIGS-Dünnschichtmodulen. Dabei werden die Materialien unter

Die drei Nanotechniken im Überblick

Zelltyp	Polymerzelle	Farbstoffzelle	Nanokristalle
Halbleiter	Polymere	Farbstoffe, Titandioxid	Moleküle aus Kupfer, Indium, Gallium, Selen
Status	Pilotproduktion	Pilotproduktion	Pilotproduktion
bisherige Hersteller	Konarka, Plextronics	G24 Innovations	Nanosolar
erreichte Zelleffizienz in Prozent	6,0	7,0	k.A.
Effizienzpotenzial in Prozent	10	10	9 bis 14,5
avisierte Produktionskosten pro Watt peak in Euro	<0,50	<0,50	0,28
avisierte Marktreife	2015	2015	in Kürze

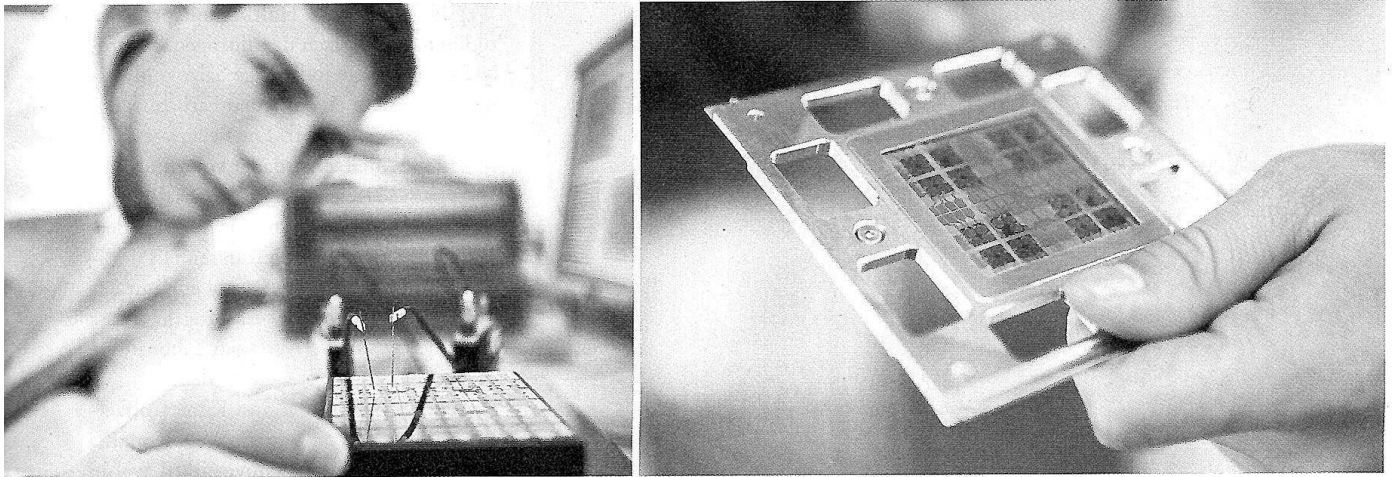
Quelle: Unternehmensangaben, eigene Recherchen

hohen Temperaturen nacheinander aus der Gasphase auf einen Glasträger aufgedampft. Die so produzierte Halbleiterschicht ist einige Mikrometer dick (ein Mikrometer = ein millionstel Meter). Die von Nanosolar verwendeten Partikel sind dagegen nur zwischen einem und 500 Nanometern klein (ein Nanometer = ein milliardenstel Meter). Sie werden in Flüssigkeiten gelöst, damit sie auf Folie gedruckt werden können.

Der entscheidende Vorteil auch polymerer oder farbstoffbasierter Nanomaterialien gegenüber Silizium ist, dass sich aus ihnen Zellen mit Schichtdicken von unter einem Mikrometer in einem Druckverfahren fertigen lassen. Wie in einer Druckerei können Hunderte Meter lange Plastikbän-

der durch eine Straße aus Walzen geschickt werden, aus denen sie als lichtsammelnde Folie – einschließlich Elektronenschichten – wieder herauskommen. Derartige Flächengrößen sind mit der üblichen Vakuumprozessentechnik bei Siliziumzellen nicht denkbar. Und: „Wir können konkurrenzlos kurze Taktzeiten realisieren“, sagt Nanosolar-Sprecher Erik Oldekop.

Offensichtlich ist die kommerzielle Umsetzung der Nanoidee aber schwieriger als gedacht. Eigentlich wollte Nanosolar der Konkurrenz technisch längst entwischt sein. Schon Anfang 2007 hatte die Firma den baldigen Start der Serienfertigung angekündigt und erklärt, sie könne das Watt für revolutionäre 0,28 Eurocent herstel-



Versuchsstadion: Ein Laborant bei BASF misst die Eigenschaften organischer Solarzellen. Mit Hilfe der Messergebnisse werden die Zellen optimiert (li). Die etwa einen Millimeter großen blauen Quadrate sind organische Solarzellen (re).

len. Die Fabriken dafür entstanden kurz darauf: eine Zellenlinie mit 430 Megawatt (MW) Kapazität in San Jose, Kalifornien, und ein Werk in Luckenwalde bei Berlin, wo die Zellen zu Modulen verschaltet werden sollen. Doch bislang produziert Nanosolar nur geringe Mengen, über die genaue Zahl schweigt man sich aus. An fehlenden finanziellen Mittel kann es nicht liegen: Für die Kommerzialisierung ihrer Technik hat die Firma von Investoren bislang rund 400 Millionen Euro eingesammelt.

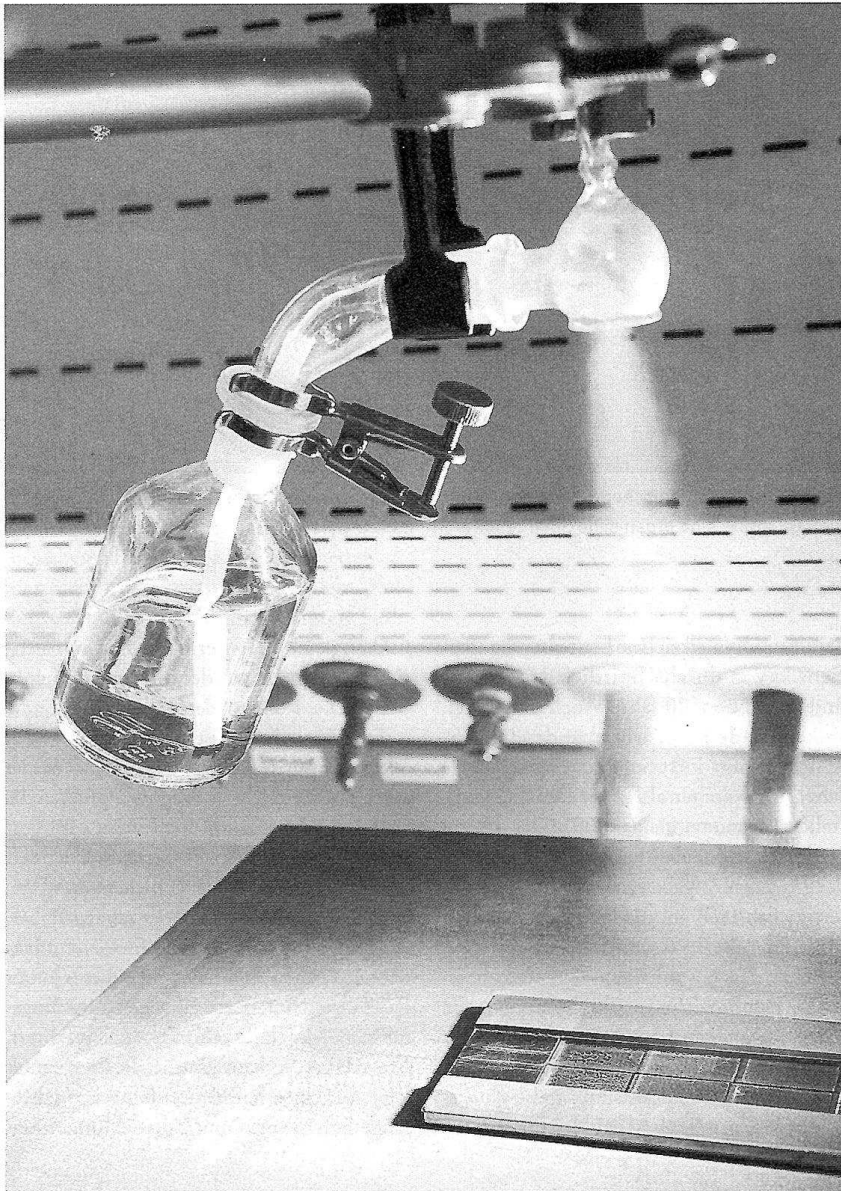
Geldgeber zeigen Zurückhaltung

Während die hoch gehandelten Amerikaner auf der Stelle treten, entwickeln sich die gängigen Photovoltaik-Techniken rasch: Si-

liziumpulver erreichen heute bereits Effizienzen von durchschnittlich 15 Prozent und halten über 20 Jahre. Auch die Kosten sinken: Ende Februar verkündete Dünnschichtprimus First Solar, das Watt inzwischen für weniger als einen Dollar herzustellen (neue energie 2/2009). Der schwäbische Maschinenbauer Centrotherm bietet nach eigenen Angaben inzwischen schlüsselfertige Fabriken an, die kristalline Module für rund 1,30 Euro pro Watt fertigen. Gut denkbar, dass bei anhaltend schnellem Fortschritt Dünnschicht- und kristalline Module schon in wenigen Jahren für deutlich unter einem Euro gefertigt werden – zu Kosten, die auch die Nanoindustrie anstrebt. Konarka & Co. müssen also zügig leistungsstarke

und zugleich preiswerte Produkte präsentieren, wenn sie auf dem netzgekoppelten Markt eine Rolle spielen wollen.

Die Finanzkrise erschwert allerdings das Weiterkommen der jungen Branche. Sie ist stark auf Gelder von Wagniskapitalgesellschaften angewiesen, doch diese sind laut dem US-Marktforscher Cientifica bei den Investitionen deutlich zögerlicher geworden. Cientifica-Chef Tim Harper schätzt daher, dass einige Venture Capital-finanzierte Nanotech-Firmen zum Überleben dieses Jahres Patente verkaufen, etwa für neue, leistungsfähigere Moleküle oder Herstellverfahren. Ein solcher Verkauf könnte die Newcomer weit zurückwerfen, denn oft stecken jahrelange Forschungs- und Entwicklungsarbeit



Nebelwerfer: Mit einer Sprühanlage wird eine Titandioxidlösung als Barrierschicht aufgetragen. Anschließend werden organische Halbleitermaterialien aufgeschleudert und aufgedampft.

dahinter. Auch müssten die Firmen mit weniger Forschungsmitteln rechnen, denn öffentliche Geldgeber würden derzeit Grundlagenforschung zugunsten von marktfähigen Anwendungen hintenanstellen, sagt der Marktforscher. Je teurer die nationalen Rettungspakete für alte Branchen werden, so Harpers Resümee, desto enger werde es gerade für die akademische Forschung und Ausgründungen.

Viel versprechende Innovationen
Trotz erschwelter Bedingungen glaubt die Nanobranche an den Erfolg ihrer Technik. „Wir erreichen unsere Meilensteine“, sagt

Gavin Tulloch vom australischen Entwickler von Fertigungstechnik und Materialien für Farbstoffzellen, Dyesol. Die Firma betreibt mit Industriepartnern in Wales und Korea seit kurzem Testproduktionen und will 2010 erste Kunden aus der Unterhaltungselektronik beliefern. Die größte Schwachstelle der Farbstoffzellen sind bislang ihre flüssigen Elektrolyten, die nur kurz halten und bei Beschädigung der Zelle austreten können. Michael Grätzel, Erfinder der Farbstoffzelle, und sein Forscherteam von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) haben nach über einem Jahrzehnt Forschungsarbeit nun aber offenbar einen

Weg gefunden, das Haltbarkeitsproblem zu lösen. Sie ersetzen den flüssigen Elektrolyten durch feste jodhaltige Salze und verwenden zudem einen neuen Farbstoff, der Licht besser absorbiert. Die neuartige Zelle verspricht eine Lebensdauer von rund fünf Jahren und erreicht im Labor 9,1 Prozent Effizienz – rund zwei Prozent mehr als derzeit etwa G24 Innovations in seiner Pilotlinie erzielt. Da G24 wie Dyesol eng mit der EPFL kooperiert, ist davon auszugehen, dass diese die Innovation bald vom Labor in die Testfertigung transferieren werden.

Auch die Hersteller von Kunststoffzellen wähen sich auf gutem Weg. Konarka erwarb 2008 von der Universität Laval in Quebec, Kanada, die Lizenz für einen neuartigen halbleitenden Kunststoff, das Polycarbazol, und demonstrierte mit Zellen aus diesem Material sechs Prozent Effizienz – keine andere Plastiktechnik generiert derzeit mehr Elektrizität. Bis 2015 will Konarka zehn Prozent Wirkungsgrad erzielen und diesen Wert auf die Rolle-zu-Rolle-Produktion übertragen. In diesen Effizienzbereich will auch Heliatek vordringen. Die Firma verwendet statt in Lösung gebrachter Polymere unlösliche Halbleitermoleküle, die sie im Vakuum beschichtet. Das Verfahren bietet gegenüber dem Drucken den Vorteil, dass es die Halbleiter zu sehr geordneten Dünnschichten prozessiert. Nachteil: Es ist teurer. Heliatek kann so aber komplexe Zellarchitekturen wie seine Tandemzelle realisieren. „Wir haben bereits gezeigt, dass das Verfahren hohe Schichtwachstumsraten bei gleichzeitig hoher Materialeffizienz und sehr gute Schichthomogenitäten auf Substraten ermöglicht“, sagt Physikchef Männig. Während Heliatek industrietaugliche Herstellmethoden entwickelt, forscht Kooperationspartner BASF an neuen, leistungstärkeren Molekülen und günstigeren Materialien. Über seine Fortschritte gibt sich der Konzern zugeknüpft. Keine Auskunft, heißt es aus der zuständigen Abteilung.

Plextronics und IMEC kommunizieren da offener. Sie kommen nach eigener Aussage gut voran. „Plextronics' Materialien versprechen hocheffiziente, reproduzierbare organische Solarzellen“ sagt Jef Poortmans, Solar-Programmdirektor bei IMEC. Bis 2012 wollen die Forscher mit der Firma einen Weg finden, Zellen mit sieben Prozent Wirkungsgrad und fünf Jahren Haltbarkeit in Serie herzustellen. Für die Unterhaltungselektronik, etwa dem Einsatz in Mobiltelefonen, würde das reichen. Um in der Photovoltaik konkurrieren zu können, muss das Joint Venture aber noch deutlich zulegen. ◀