



Hauchdünne Herausforderung

Dünnschichtmodule haben ein enormes Potenzial. Doch ihr Rückstand gegenüber konventionellen Sonnenfängern ist beträchtlich. Auf Forscher und Unternehmen wartet noch viel Arbeit bei der technologischen Entwicklung und industriellen Umsetzung.

Text: Sascha Rentzing, Fotos: Georg Schreiber

Für Bernd Rech ist klar, was im Bereich der Photovoltaik-Forschung in den kommenden Jahren zu tun ist: „Bei den Dünnschicht-Technologien kommt auf uns noch ganz viel Arbeit zu.“ Dass der promovierte Physiker, der sich am Institut für Photovoltaik des Forschungszentrums Jülich mit so genannten amorphen (nichtkristallinen) Siliziumzellen beschäftigt, auf die ultraschlanken Sonnenfänger setzt, hat einen guten Grund. Denn Dünnschicht-Module, da sind sich Wissenschaftler heute weitgehend einig, können zumindest theoretisch in einigen Jahren um die Hälfte billiger hergestellt werden als „herkömmliche“ kristalline Siliziummodule. Damit könnten sie der Photovoltaik einen gehörigen Schub in Richtung Wettbewerbsfähigkeit mit den konventionellen Energieträgern verleihen.

Enormes Potenzial zur Kostensenkung

Derzeit spielen Dünnschichtmodule allerdings nur eine untergeordnete Rolle: Ihr Anteil im weltweiten PV-Markt beträgt gerade einmal rund sieben Prozent.

Dass wird nach Einschätzung des Jülicher Forschers nicht ewig so bleiben.

Rech sieht einige Vorteile für die heutige Nischen-Technologie: „Bei der Dünnschicht-Variante werden Halbleiter eingesetzt, die mindestens hundert Mal dünner sind als kristalline Siliziumscheiben.“ Darin lägen „enorme Einsparmöglichkeiten“ beim Material.

Auch bei der Produktion der Module wird entsprechend weniger Energie benötigt: Der Halbleiter, Kern der Zelle, in dem Licht zu Strom umgewandelt wird, und weitere für die Herstellung notwendige Materialien werden bei niedrigen Prozesstemperaturen auf einen billigen Träger wie Glas, Plastik oder Stahl großflächig aufgebracht. Dort werden die Zellen dann direkt zu einem Modul verschaltet.

Bei kristallinen Siliziumzellen sind dagegen bedeutend höhere Prozesstemperaturen vonnöten, und die Verlotung zu einem Modul lässt sich anders als bei den dünnen Zellen nur außerhalb des Fertigungsprozesses realisieren.

Doch so viel versprechend die neue Generation von Stromerzeugern auch ist – noch ist ihr Rückstand bei der technologischen Entwicklung und industriellen Umsetzung gegenüber konventionellen Zellen beträchtlich. „Keine Dünnschicht-Technologie hat es bis heute nur annähernd

geschafft, der Silizium-Wafertechnologie bei den Kosten ebenbürtig zu sein“, stellt Stefan Reber klar. Er ist der Koordinator für kristalline Silizium-Dünnschichtzellen im Fraunhofer Institut für Solare Energieforschung (ISE).

Damit sich die Dünnschicht-Technologie im Markt durchsetzen kann, gilt es aus seiner Sicht vor allem, die Leistung der Module etwa durch Verbesserung der Wirkungsgrade oder Verringerung der Degradation, also des Rückgangs der elektrischen Ausgangsleistung eines Moduls, zu erhöhen. Außerdem werden von den Unternehmen Reber zufolge hohe Investitionen für Pilotanlagen, den Schritt in die industrielle Fertigung oder die Entwicklung neuer Herstellungsprozesse geschultert werden müssen.

Die Bundesregierung wünscht die Weiterentwicklung der Dünnschicht-Technologie ausdrücklich. Aus diesem Grund kündigt sie in ihrem im Juni veröffentlichten Förderkonzept „Photovoltaik Forschung 2004 – 2008“ erstmals an, die Clusterforschung, also die gemeinsame Grundlagenforschung von Unternehmen, Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, in Zukunft verstärkt fördern zu wollen. ▶



FEINARBEIT: Bei der Würth Solar GmbH im württembergischen Marbach wird letzte Hand an ein Dünnschichtmodul angelegt.

UNTER KONTROLLE: Die mit Kupfer-Indium-Diselenid beschichteten Platten werden während der Produktion bei Würth Solar mehrfach auf ihre Qualität gecheckt.



Industrie und Forschung kooperieren

Ein solches Team bilden die RWE Schott Solar GmbH (RSS) und das Forschungszentrum Jülich bereits seit mehr als zehn Jahren. Gefüttert mit Erkenntnissen aus dem Labor stellt das Unternehmen am Standort Putzbrunn bei München Sonnenfänger auf der Grundlage von amorphem Silizium (a-Si:H) her. Dieser Typus dominiert in der Dünnschicht-Technologie. In 2002 betrug sein Volumen im weltweiten PV-Markt einer Erhebung der Schweizer Sarasin-Bank zufolge 6,4 Prozent. Die beiden anderen auf dem Markt erhältlichen Varianten auf der Basis von Verbindungshalbleitern aus Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) sowie Cadmium-Tellurid (CdTe) folgten mit einem Anteil von gerade einmal 0,9 Prozent abgeschlagen auf den Plätzen.

Die Besonderheit der RSS-Module ist, dass sie aus so genannten Tandemzellen aufgebaut sind. Wie der Name schon sagt, besteht dieses Produkt aus zwei übereinander gelagerten amorphen Siliziumschichten: einer Bottom- und einer Top-Zelle. „Damit wird eine Leistungsstabilisierung auf hohem Niveau erreicht“, erklärt Unternehmenssprecher Lars Waldmann die Vorzüge des Solar-Doppeldeckers gegenüber einschichtigen a-Si:H-Modulen.

2,5 Megawatt (MW) werden in Putzbrunn nach seinen Angaben in diesem Jahr vom Band laufen. Bei den Produktions-

kosten je Watt liege man derzeit etwas unter kristallinen Siliziummodulen. Dieser Kostenvorteil wird jedoch durch die erhöhten Montage- und Installationskosten – für die gleiche Leistung wird mehr Fläche benötigt – und den höheren Planungsaufwand aufgezehrt.

Dass die dünnen Kraftmeier immer noch nicht rentabler sind als ihre dicken Konkurrenten, ist wohl einer der wesentlichen Gründe, weshalb dieser Modultyp nach wie vor nur ein Nischenprodukt ist. Dünnschicht-Zellen kommen derzeit fast nur bei der gebäudeintegrierten Photovoltaik zum Einsatz, wo es in erster Linie auf Flexibilität und Ästhetik ankommt.

Noch immer ein Nischenprodukt

Verbesserungsbedarf sieht RWE Schott Solar vor allem beim Wirkungsgrad: Mehr als sechs Prozent in der industriellen Fertigung sind trotz Tandemtechnik momentan nicht drin. Zum Vergleich: kristalline Siliziummodule erzielen durchschnittlich 14 bis 16 Prozent.

Um an solche Werte heranzukommen und die Produktionskosten weiter zu senken, verfolgen RSS und das Forschungszentrum Jülich derzeit mehrere Ansätze. Einer der viel versprechendsten ist ein Modul aus mikromorphen Siliziumstrukturen. Dabei wird die Bottomzelle aus amorphem Silizium durch eine Absorberschicht aus

mikrokristallinem Silizium ersetzt. Vorteil des mikromorphen Stromgenerators: Während a-Si:H-Zellen nur kurzwelliges Licht einfangen können, hat das neue Material seine Stärken vor allem im langwelligeren Bereich. So kann das ganze Sonnenspektrum genutzt werden.

Freilich hat die höhere Absorptionsfähigkeit dieser Tandemzelle positive Auswirkungen auf den Wirkungsgrad: Auf einer Fläche von 30 mal 30 Zentimetern wurden im Forschungszentrum Jülich 11,2 Prozent erzielt. Bis zur Umsetzung in ein industrielles Produkt wird es jedoch noch eine Weile dauern. Nach den Worten von Physiker Rech müssen zuvor die Eigenschaften der Zellen, etwa durch die Entwicklung von Lichtfallen, weiter verbessert werden, sodass das Sonnenlicht noch effektiver genutzt werden kann.

Japaner haben die Nase vorn

Auf dem japanischen Photovoltaik-Markt werden Module aus mikromorphen Zellen dagegen bereits angeboten. Bei Kaneka etwa werden in diesem Jahr acht MW vom Band laufen. Auch bei den anderen großen Konzernen im Land der aufgehenden Sonne wie Sanyo, Mitsubishi oder Kyocera sind Forschungen im Gange. Ob und wann dort in industriellem Maßstab gefertigt wird, ist jedoch offen.

Einen anderen Weg bei der Dünnschicht-Technologie gehen der US-ameri-



kanische PV-Hersteller First Solar und die Antec Solar Energy AG aus Arnstadt in Thüringen. Beide Unternehmen stellen Module auf der Basis von Cadmium-Tellurid her. Bei der Antec Solar Energy AG, die 2003 aus einem Zusammenschluss der Antec Solar Energy GmbH und der Frankfurter Beteiligungsgesellschaft Ökologik Ecovest AG hervorging, werden nach Auskunft von Vorstand Udo Bockemühl in diesem Jahr zehn MW vom Band laufen. „Unsere Produktion ist voll ausgelastet. Die Nachfrage ist außergewöhnlich groß.“

Damit erfährt die CdTe-Technologie im Augenblick offensichtlich eine Renaissance. Vor zwei Jahren stand sie kurz vor dem Aus. Zunächst ging die Antec Solar Energy GmbH im August 2002 Pleite: Erst im Juni 2003, also nach zehn Monaten Produktionsstillstand, wurde die bereits seit 2000 bestehende Zehn-MW-Straße wieder in Betrieb genommen.

Nur wenig später haben mit BP-Solar und dem japanischen PV-Hersteller Matsushita gleich zwei Unternehmen ihre Produktionen in dieser Sparte dicht gemacht. Grund dafür war die mangelnde Nachfrage nach CdTe-Modulen, ein Umstand, der wohl auf den Einsatz von Cadmium in diesem Produkt zurückgeht. Es handelt sich dabei um eine Substanz, die im gasförmigen Zustand Umwelt- und Gesundheitsrisiken birgt, als CdTe-Verbindung jedoch unbedenklich ist.

Firmen wollen mehr produzieren

Die Arnstädter sind der CdTe-Technologie treu geblieben, weil sich damit, so Bockemühl, ein „Spitzenverhältnis von Leistung und Kosten“ erreichen lässt. „Unsere Module erzielen einen Wirkungsgrad von acht Prozent und sind in dieser Hinsicht besser als Module auf der Basis von amorphem Silizium, sie nutzen diffuses Licht besser aus als kristalline Siliziummodule, sie haben bei Bewölkung oder Verschattung eine höhere Energieerzeugungsrate und für ihre Herstellung sind bedeutend weniger Prozessschritte notwendig.“

In der Tat ist an einer CdTe-Zelle nicht viel dran. Sie ist aufgebaut wie ein Sandwich. Auf einer Glasscheibe werden nacheinander eine lichtdurchlässige Metallschicht, eine Halbleiterschicht, die zehn Mal so dünn ist wie ein menschliches Haar, und abermals eine Metallschicht aufgebracht. Das Metall ist verantwortlich für den Transport der elektrischen Energie. Eine zweite Glasschicht bildet die Modulrückseite.

Auch First Solar setzt auf diesen einfachen, aber leistungsfähigen Sonnenfänger. In Perrysburg im Bundesstaat Ohio stellt das Unternehmen in diesem Jahr sechs MW CdTe-Module her. Doch dabei wird es nicht bleiben: „In 2005 wird an diesem Standort eine vollautomatisierte 25-MW-Linie in Betrieb genommen werden“, kün-

digd Stephan Hansen, Geschäftsführer der First Solar GmbH in Erfurt, an. Die Module sollen vor allem in den USA und Deutschland abgesetzt werden. „In diesen Ländern steigt die Nachfrage nach Großanlagen. Damit bietet sich dort für uns ein hervorragender Markt.“

Mit Akzeptanzproblemen der Verbraucher mit dem Cadmium rechnet Hansen nicht: „Wir nehmen ausgediente Module zurück und recyceln sie. Bei diesem Prozess werden die eingesetzten Materialien einzeln rausgefiltert und wiederverarbeitet.“

Problemkind CIS-Zelle

Das dürfte vor allem für die Verbraucher interessant sein. Die Wissenschaftler beschäftigen sich dagegen bereits mit anderen Themen. So zum Beispiel mit der Weiterentwicklung von Verfahren zur Herstellung von Kupfer-Indium-Diselenid (CIS)-Modulen.

Nach Informationen von Johann Springer, Dünnschichtzellen-Experte am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) in Stuttgart, werden mit diesem Typ auf einer Fläche von 30 mal 30 Zentimetern im Labor bereits Wirkungsgrade von knapp 13 Prozent erzielt – weit mehr als mit der Cadmium-Tellurid-Variante. Da der Schritt in die industrielle Fertigung jedoch aufwändig und teuer ist, sind bisher nur wenige Unternehmen in die industrielle Fertigung eingestiegen. Schwie- ▶

rigkeiten gibt es nach Springer vor allem bei der Fertigung der CIS-Halbleiterschichten.

Die Würth Solar GmbH aus dem württembergischen Marbach hat den Produktionsprozess nach den Worten von Geschäftsführer Karl-Heinz Groß dennoch weitgehend im Griff. „Wir erreichen mittlerweile Wirkungsgrade von 13 Prozent. Das sind Werte, auf die man sonst nur im Labor kommt.“

Doch hat es lange gedauert, bis die Fertigung bei Würth endlich reibungslos abläuft. Und so kommt es, dass das Unternehmen die Investitionsentscheidung für eine große Linie immer wieder auf die lange Bank geschoben hat. Gerade einmal 1,2 MW der dünnen Stromerzeuger werden die Würth-Produktion in diesem Jahr verlassen – zu wenig, um das Produkt zu einem Preis anbieten zu können, der es für Kunden zu einem Muss macht.

Doch Groß zufolge wird die große Straße in zwei, drei Jahren kommen: Zehn MW sollen von da an in Marbach pro Jahr vom

Band laufen. „Die zehn MW sind für uns die magische Grenze. Wenn wir so viel produzieren, liegen wir mit unserem Produkt preismäßig auf Augenhöhe mit klassischen Siliziummodulen“, ist sich Groß sicher.

Sulfurcell geht in die Offensive

Auch die Berliner Sulfurcell Solartechnik GmbH will den Preis für ihre CIS-Module weiter drastisch drücken. Das Unternehmen wird daher nach den Worten von Geschäftsführer Nikolaus Meyer in 2006 eine Produktion hochziehen, wo pro Jahr sage und schreibe 20 MW gefertigt werden können. „Derzeit stellen wir die Verfahren ein.“

Sulfurcell kann dabei auf Erfahrungen aus seiner Fünf-MW-Pilotproduktion zurückgreifen. Dort stellt das Unternehmen Module auf der Basis von Kupfer-Indium-Disulfid her. Dass bei den Berlinern – anders als bei Würth – bei den Halbleitern kein Selen, sondern Sulfid zum Einsatz kommt, hat einen guten Grund: „So kön-

nen die Zellen schlicht und ergreifend einfacher produziert werden, ohne dass es zu Leistungsverlusten kommt“, sagt Meyer.

Gelingt es Sulfurcell, 2006 erfolgreich in die große Produktion einzusteigen, „werden wir mit der polymorphen Siliziumtechnik um Anwendungsbereiche konkurrieren“, gibt sich der Geschäftsführer selbstbewusst.

Stefan Reber vom Fraunhofer ISE will an einen so schnellen Aufstieg der CIS-Technologie nicht so recht glauben. Nicht, dass er sich das nicht wünschen würde, aber auch die Silizium-Wafer-Technologie entwickle sich weiter. „Die Wafer werden größer, die Siliziumscheiben dünner und die Modulwirkungsgrade höher.“

Denkbar sei sogar, dass am Ende dieser Entwicklung eine Dünnschichtzelle auf der Basis von kristallinem Silizium steht. Ein solches solares Kraftpaket sei zwar allenfalls ganz am Ende des Horizonts erkennbar, doch würde es der „ultimativen“ Zelle wohl am ehesten entsprechen. ◀



FERTIG ZUM VERSAND: In diesem Jahr produziert Würth Solar 1,2 MW – noch zu wenig, um mit Siliziummodulen vergleichbare Preise anzubieten.

DER ZELLE AUF DER SPUR

- ▶ In Deutschland wird seit mehr als zehn Jahren an der „ultimativen“ Dünnschichtzelle geforscht. Dabei kämpfen die Wissenschaftler an verschiedenen Fronten: Während sich etwa das Forschungszentrum Jülich mit der (Weiter-)Entwicklung der amorphen (nicht-kristallinen) Siliziumzelle beschäftigt, forschen das Hahn-Meitner-Institut und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) an Sonnenfängern auf der Basis von Verbindungshalbleitern wie Cadmium-Tellurid (CIS) oder Kupfer-Indium-Diselelid (CdTe). Das Fraunhofer Institut für Solare Energieforschung (ISE) arbeitet an Dünnschichtzellen auf der Basis kristallinen Siliziums.
- ▶ Die kristalline Variante verspricht die leistungsfähigste zu sein. Bis sie in die industrielle Produktion gehen können, braucht es aber noch einige Jahre Forschung. Amorphe Zellen sowie CIS und CdTe-Kraftpakete werden dagegen bereits in großen Linien gefertigt. Zu den deutschen Produzenten, die seit Jahren dabei sind, zählen etwa die RWE Schott Solar GmbH und die Würth Solar GmbH. Das Volumen der Dünnschichtzellen im weltweiten PV-Markt betrug in 2002 gut sieben Prozent.
- ▶ Die Produktion der Dünnschichtmodule läuft bei allen Typen nahezu gleich ab: Der Halbleiter, Kern der Zellen, in dem Licht zu Strom umgewandelt wird, und weitere für die Herstellung notwendigen Materialien werden bei niedrigen Prozesstemperaturen auf einen billigen Träger wie Glas, Plastik oder Stahl großflächig aufgebracht. Dort werden die Zellen dann direkt zu einem Modul verschaltet.
- ▶ Die Wissenschaftler sind zuversichtlich, dass die dünnen Kraftmeier in einigen Jahren um die Hälfte billiger hergestellt werden können als herkömmliche kristalline Siliziummodule. Das liegt vor allem daran, dass die eingesetzten Halbleiter hundert Mal dünner sind als kristalline Siliziumscheiben.
- ▶ Bislang kann noch keine Dünnschicht-Technologie mit Silizium-Wafern konkurrieren. Dazu müssen die Produktionsprozesse stabilisiert und neue Halbleiter-Materialien gefunden werden, mit denen sich das Sonnenlicht noch besser einfangen lässt.