

Sascha Rentzing, Dortmund

Die perfekte Solarzelle

**Kommt bald die Solarwende?
Neue Photovoltaikmodule arbeiten effektiver als gängige
oder benötigen weniger teures Silizium**

Auch wenn wir immer noch mit den Folgen der Rezession zu kämpfen haben, gibt es mittel- bis langfristig größere Probleme: Der Verbrauch von Öl, Gas und Kohle steigt weiter und damit nimmt auch die Erderwärmung zu. Würden alle fossilen Energieressourcen verbrannt, dürfte der Temperaturanstieg, so schätzt der Klimarat der Vereinten Nationen, Teile der Erde unbewohnbar machen. Sogar die Internationale Energieagentur, die bisher als enger Verbündeter der konventionellen Energiewirtschaft gilt, fordert daher in ihrem aktuellen World Energy Outlook eine „globale Energierevolution“.

Die Solarindustrie will dabei eine Vorreiterrolle einnehmen. Sonnenkraftwerke mit 350 GW Gesamtleistung sollen, so die Vorstellung des Europäischen Photovoltaikindustrie-Verbandes EPIA, bis 2020 jährlich gut 420 Terawattstunden bzw. 12% des in Europa benötigten Stromes liefern. Kein bescheidendes Ziel, steuern Solaranlagen doch EU-weit wie global aktuell nicht mal 1% zur Stromversorgung bei – und das auch nur, weil Regierungen die teure Technik fördern. In Deutschland kostet der Solarstrom aktuell noch mehr als 0,30 Euro pro kWh. Diesen Preis bestimmt das EEG, um der Branche einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen. In absehbarer Zeit wird das nicht mehr erforderlich sein, denn dank Größenkostenvorteilen durch den Ausbau der Massenproduktion sowie technischer Innovationen fallen die Kosten. „Spätestens 2013 wird Solarstrom vom eigenen Hausdach das Preisniveau konventioneller Verbrauchstromtarife erreichen“, sagt Carsten Körnig, Geschäftsführer des Bundesverbandes Solarwirtschaft. In Deutschland läge diese Latte bei etwa 0,20 Euro pro kWh.

Deutliche Kostenersparnisse lässt zum Beispiel eine neue Solarzelle erwarten, die die Firma Stiebel Eltron, Holzminden, in Kürze produzieren will. Sie soll einen Wirkungs-

grad von mehr als 20% erreichen; derzeit kommen Standardzellen auf 15 bis 17,5%. Damit beteiligt sich der niedersächsische Mittelständler an einem Wettlauf, bei dem Weltkonzerne schon vorgelegt haben: Sanyo und die US-Firma SunPower produzieren bereits Zellen mit mehr als 20% Wirkungsgrad und kommen damit dem Labor-Weltrekord von 24,7%, gehalten von der University of New South Wales in Sydney, recht nah.

Wettlauf um Wirkungsgrad

Da die Sonne kostenlos vom Himmel strahlt, könnte einem Solaranlagenbetreiber der Wirkungsgrad seiner Module gleich sein. Doch der Wirkungsgrad beeinflusst die Wirtschaftlichkeit stärker als jeder andere Faktor bei der Herstellung: Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad senkt, so die Faustregel, die Kosten um 5%, da pro Watt weniger Material benötigt wird. Allerdings lässt sich nicht alles, was im Labor mit hohem Wirkungsgrad glänzt, in der Massenfertigung mit vertretbarem Aufwand realisieren. Auch hinter den „Rise“-Zellen (Rear Interdigitated Single Evaporation), die Stiebel Eltron herstellen will, standen zunächst Fragezeichen.

Bei der von dem Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) entwickelten Technologie befinden sich alle Stromanschlüsse auf der Rückseite, sodass die Front nicht von Kontakten verschattet wird. Dadurch wird die Zelle effizienter, aber auch schwieriger produzierbar. Bei ihr muss der Emitter – die vordere Zone im Halbleiter, die Elektronen aus der Zelle zu den Kontakten leitet – mit samt der negativen Elektrode zur Rückseite wandern. Problematisch dabei ist, dass nun die elektrischen Anschlüsse beider Pole ineinander verschachtelt werden müssen, um Kurzschlüsse zu vermeiden.

Das ISFH hat jedoch nach eigenen Angaben einen industrietauglichen Herstellungspro-



Abb. 1: Halbleitercheck: Je besser die Qualität der Siliziumscheiben ist, desto effizienter werden die Zellen. Deshalb werden die Wafer vor der Fertigung genau inspiziert. Foto: Suntech Power



Abb. 2: Millimeterarbeit: Solarzellen sind Hightech-Produkte, die mit modernsten Maschinen hergestellt werden. Foto: aleo solar

zess gefunden: „Wir benutzen Laser zum berührungslosen Strukturieren der Rückseite. Beide Kontakte werden durch Aufdampfen in einem einzigen Metallisierungsschritt hergestellt“, erklärt Jan Schmidt, Gruppenleiter Photovoltaik-Materialien am ISFH. Dieses Verfahren bringt neben einer höheren Effizienz einen weiteren Vorteil: Dank Lasereinsatz kommen die Rise-Zellen mit dünneren und damit preiswerteren Silizium-Wafern aus. „Wafer“ nennt man die aus Siliziumblöcken gesägten Scheiben, die zu Zellen weiterverarbeitet werden.

Lichtbündelnde Module

Noch effizienter als Hochleistungszellen aus kristallinem Silizium sind lichtbündelnde Systeme. Dabei konzentrieren integrierte Spiegel oder Linsen Licht auf eine winzige Zelle. Die effizientesten unter ihnen erreichen Wirkungsgrade von bis zu 40%. „An guten Standorten können Konzentratorsysteme schon heute kostengünstiger Strom erzeugen als herkömmliche Flachmodule“, sagt Andreas Bett, Leiter der Abteilung Solarzellen am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg. Allerdings müssen Konzentratormodule exakt der Sonne nachgeführt werden, was die Kosten erhöht und bei Dachanlagen kaum möglich ist.

Auch an dem unteren Ende der Preisspanne, bei der Dünnschicht-Technik, herrscht reger Wettbewerb. Das größte Wirkungsgradpotenzial wird sogenannten CIS-Zellen zugesprochen. Die Abkürzung steht für halbleitende Verbindungen aus Kupfer, Indium, Gallium, Schwefel oder Selen. Das National Renewable Energy Laboratory der USA erreichte damit eine Effizienz von 20,3%. Allerdings sind industriell gefertigte Zellen hiervon noch weit entfernt, und bei den Produktionskosten haben sie sich noch nicht von der konventionellen Konkurrenz abgesetzt. „Für CIS existieren einfach noch zu kleine Produktionseinheiten. Erst wenn die Massenproduktion läuft, werden die Kosten sinken“, sagt Michael Powalla vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung in Stuttgart.

Dünnschichtmodule auf Basis von Cadmium-Tellurid (CdTe) spielen auf dem Markt dagegen bereits eine bedeutende Rolle. Sie erreichen zwar nicht so hohe Effizienzen wie CIS, sind aber deutlich günstiger. Der US-Hersteller First Solar fertigt die Technik für 0,80 Dol-

lar pro Watt – um die Hälfte günstiger als die CIS-Produzenten. Langfristig sehen die Experten aber alle drei Dünnschichttechnologien – dazu zählen neben CIS- und CdTe auch Dünnschichtsiliziumzellen – auf Augenhöhe: bei Effizienzen weit jenseits der 10% und bei Kosten von weniger als 0,50 Dollar pro Watt.

Gedruckte Solarzellen

Nanostrukturierte Solarzellen könnten in Zukunft ebenfalls eine Option für die Photovoltaik sein. Forscher und Ingenieure verfolgen hier zwei Pfade. Bei organischen Solarzellen wandeln Kunststoffmoleküle Licht in Strom um. In Lösung gebracht, können diese wie beim Zeitungsdruck im Durchlaufverfahren auf Folie aufgetragen werden. Bei der anderen Nanovariante, den Farbstoffzellen, erzeugt ein Gemisch aus Titandioxidpartikeln und Farbstoffmolekülen – meist winzigen Bällchen einer Rutheniumverbindung – ähnlich wie bei der Photosynthese Energie. Die hauchdünnen Lichtsammler versprechen Produktionskosten, die weit unter denen konventioneller Solarmodule liegen. Ihre Schwäche besteht jedoch darin, dass sie schnell an Leistung verlieren, weil der ladungsträgerleitende Flüssigkeitsfilm bei intensiver Sonnenbestrahlung eintrocknet. Um die Massenfertigung zu rechtfertigen, müssen länger haltbare Flüssigkeiten gefunden werden – Forscher weltweit suchen derzeit danach.

Trotz des großen Entwicklungspotenziales von Dünnschicht und dgl. glaubt Stefan Glunz, Leiter der Abteilung Entwicklung von Siliziumsolarzellen am Fraunhofer-ISE, an die Zukunft der Silizium-Wafer-Technologie, da ihre Langzeitstabilität außer Frage stehe und sich ihre Effizienz bereits mit geringem Aufwand verbessern lasse. Wirkungsgradsteigerungen von einem Prozent seien etwa zu erreichen, indem bessere Antireflexionsschichten mehr Strahlung nutzbar machen und neue Passivierschichten Ladungsträgerverlusten durch die sogenannte Rekombination entgegenwirken. Rekombination bezeichnet den Vorgang in der Solarzelle, bei dem sich negative Elektronen wieder mit positiven Elektronenlöchern vereinen, aus denen sie zuvor von dem Licht herausgeschlagen wurden. Diese Ladungsträger gehen dabei für die Solarstromerzeugung verloren.

Auch neue Methoden zur Herstellung von Zellenkontakten helfen weiter. Heute wer-



Abb. 3: Glänzende Technik: Neueste Module sehen nicht nur schick aus, sie sind auch hocheffizient – manches Panel erreicht fast schon 20% Wirkungsgrad. Foto: BMU



Abb. 4: Qualitätsprüfung: Ein Mitarbeiter der Berliner Firma Inventux nimmt die Oberfläche eines Modules aus Dünnschichtsilizium in Augenschein. Foto: Inventux

den Frontkontakte meist durch Siebdruck von Metallpasten produziert. Die so hergestellten breiten Kontaktfinger behindern den Lichteinfall und haben hohe Widerstände. Zudem treten bei dem Druck große Kräfte auf, denen nur dickere Zellen trotzen können. Das Fraunhofer-ISE entwickelt deshalb Metallisierungsprozesse, die ohne Siebdruck auskommen. „Wir setzen dabei auf die chemische Abscheidung von Metallen oder das kontaktlose Drucken von Metallaerosolen“, sagt Glunz.

Wunderstoff in der Produktion

Weitere Effizienzgewinne verspricht mit Bor angereichertes monokristallines Silizium. Es hat bessere elektrische Eigenschaften als alle anderen derzeit verwendeten Siliziumtypen. So überleben die Ladungsträger darin länger, was bei Rückkontaktzellen, in denen

Elektronen und Elektronenlöcher weite Strecken zurücklegen müssen, unabdingbar ist. Fraunhofer ISE und ISFH suchen derzeit nach Wegen, um den schwer handhabbaren Halbleiter in industrielle Prozesse einzubinden.

Eine Alternative dazu könnten sogenannte „Emitter-Wrap-Through“-Zellen (EWT) sein. Diese Rückkontaktzellen sind weniger effizient, aber günstiger herzustellen, denn sie bestehen aus unreinerem multikristallinem Silizium. Um die Ladungsträger trotz der strukturellen Defekte des Materials an der Rekombination zu hindern, wird der Emitter durch viele lasergebohrte Löcher von der Front- auf die Rückseite geführt. Forscher sehen die wirtschaftlich erreichbare Effizienz von EWT-Zellen bei mehr als 17% – die bisherigen Low-Cost-Zellen dringen also in Regionen vor, die bisher monokristallinen Zellen vorbehalten waren.



Abb. 5: Mobile Module: Solarsysteme der Firma Concentrix folgen dem Verlauf der Sonne und erzeugen daher besonders viel Strom.
Foto: Concentrix