

Die Technik sollte längst keine Rolle mehr spielen. Als in den Neunzigerjahren der Bedarf an Photovoltaikanlagen stieg, galten Solarmodule aus multikristallinem Silizium bereits als Auslaufmodell. Die Zellen waren zu klobig und mit nur durchschnittlich zehn Prozent Wirkungsgrad nicht effizient genug. Dünnere und leistungsstärkere Absorber sollten sie daher bald ersetzen.

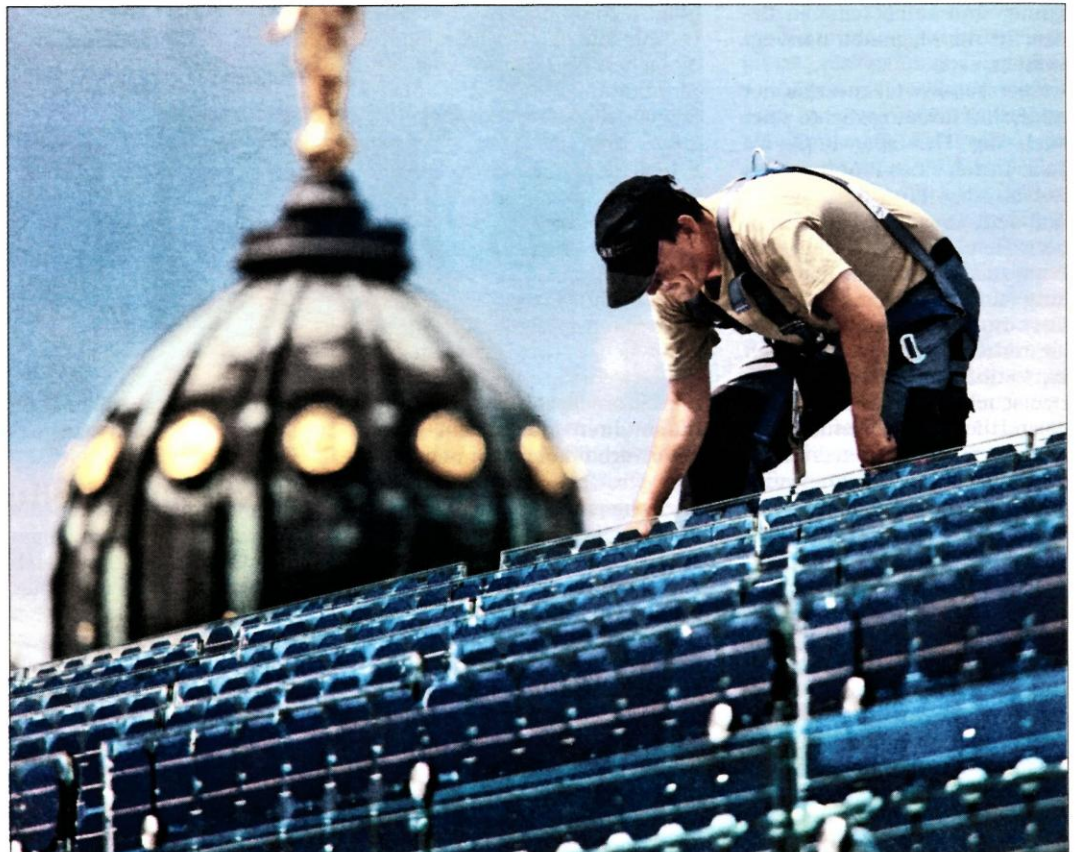
Die US-Regierung investierte in den Neunzigerjahren insgesamt über eine Milliarde Dollar Fördergelder in die Weiterentwicklung von Dünnschicht- und Mehrfachzellen. Während die Dünnschicht wegen ihres geringen Materialbedarfs das Interesse der Forscher weckte, faszinierten die Mehrfachzellen aufgrund ihrer hohen Effizienz. Bis fünf verschiedene Halbleiterschichten wandeln bei dieser Technik fast 40 Prozent des Lichts in Strom um.

In Japan wiederum fokussierten sich die Forscher auf reines monokristallines Silizium. Sogenannte Heterojunction-Zellen (HIT) zum Beispiel, die zur Vermeidung von Ladungsträgerverlusten eigens mit einer Schutzschicht aus amorphem Dünnschichtsilizium ummantelt werden, erreichen Wirkungsgrade von mehr als 20 Prozent.

In Deutschland hingegen arbeiteten die Firmen trotz der Vorbehalte auch weiterhin mit multikristallinem Silizium. „Die hiesige Industrie investierte weniger in revolutionäre Zellentechniken, sondern setzte eher auf die Evolution bestehender Konzepte“, sagt Eicke Weber, Leiter des Fraunhofer-Instituts für solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg. Inzwischen zeigt sich, dass die Unternehmen intuitiv den richtigen Weg einschlugen. Noch immer dominieren multikristalline Zellen die Photovoltaik laut Marktforscher Navigant Consulting mit 47 Prozent Marktanteil vor monokristallinen Zellen mit 38 Prozent. Mit 14 Prozent folgt mit großem Abstand die Dünnschicht. Die Mehrfachzellen tauchen in der Marktstatistik gar nicht auf.

Unterschätzte Technik

Dass an den Multizellen bis heute kein Weg vorbeiführt, ist leicht erklärt: Innovationen entwickeln sich hier rascher als bei konkurrierenden Techniken. „Der durchschnittliche Wirkungsgrad stieg in den vergangenen zehn Jahren um fünf Prozentpunkte auf 15 Prozent“, erklärt Weber. Gleichzeitig sank der Materialbedarf. Mit 0,2 Millimeter Dicke



Berlin in Blau: Kristalline Siliziumzellen sind in Deutschland die führende Photovoltaiktechnik. Auch auf dem Dach des Bundesjustizministeriums entstand ein Sonnenkraftwerk. Im Hintergrund ist die Kuppel des Berliner Doms zu sehen.

FOTO: JUSTIZMINISTERIUM/PAUL LANGROCK

Multikristalline noch interessant

Drastische Förderkürzungen in vielen europäischen Ländern zwingen die Industrie zu raschen Kostensenkungen. Damit rücken **Solarzellen** aus multikristallinem Silizium wieder stärker in den Fokus. Sie sind kostengünstig, und ihr Wirkungsgrad lässt sich mit relativ geringem Aufwand schnell steigern.

sind die Siliziumscheiben, die sogenannten Wafer, inzwischen im Schnitt ein Drittel dünner als noch vor einer Dekade. Außerdem lassen sich multikristalline Standardzellen leichter produzieren als die neuen Zellen. So konnten zügig Produktionslinien aufgebaut und Skaleneffekte durch steigende Produktionsmengen erzielt werden.

Dank der besseren und immer größeren Produktionen fielen die Kosten drastisch. Im Februar 2011 gab die Online-Plattform pvXchange Großhandelspreise von rund 1,70 Euro pro Watt für kristalline Module aus deutscher Produktion an. Seitdem senkten die Hersteller ihre Preise um rund ein Drittel auf etwa einen Euro pro Watt. Und die

Technik kann noch günstiger werden. „Die Effizienz multikristalliner Module lässt sich sicher noch auf 20 Prozent erhöhen“, sagt Weber. Steigt die Effizienz, sinken automatisch der Materialbedarf und die Kosten.

Großes Innovationspotenzial haben sicher auch die Dünnschicht- und die Mehrfachzellen, nur vollziehen sich technische Fortschritte hier langsamer. Dünnschichtzellen auf Basis der Halbleiter Kupfer, Indium und Gallium (CIS) zum Beispiel erreichen zwar bereits Wirkungsgrade von 13 Prozent, konnten ihre kristallinen Konkurrenten beim Preis aber noch nicht unterbieten – laut pvXchange kosten CIS-Module derzeit noch rund 1,50 Euro pro

Watt. „Der Aufbau großer Fertigungskapazitäten ist bei CIS schwieriger als erwartet“, gesteht der Dünnschichtexperte Michael Powalla vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg. Auch die Mehrfachzellen-Produktion ist durch den niedrigen Automatisierungsgrad noch nicht wirtschaftlich.

Das Problem ist, dass die Industrie nicht mehr viel Zeit hat, um die Wettbewerbsfähigkeit zu erreichen. Fast überall in Europa haben Länder mit einer Einspeisevergütung für Solarstrom die Fördertarife radikal gekürzt, weil der starke Zubau an Solaranlagen außer Kontrolle geriet. In Deutschland zum Beispiel ist die Solarstromvergütung dieses

Jahr stark gesunken. „Wer in diesem schwierigen Marktumfeld bestehen will, muss seine Preise weiter massiv senken“, sagt der Analyst Matthias Fawer von der Schweizer Bank Sarasin.

Keine Zeit für Experimente

Nach heutigem Kenntnisstand sind multikristalline Zellen hierfür am ehesten geeignet, denn sie weisen von allen Techniken die steilste Lernkurve auf. Die deutschen Solarmaschinenbauer sind die Technologieführer bei den Multis und kennen die Stellschrauben für weitere Innovationen. Unternehmen wie Bürkle, Centrotherm oder Grenzebach liefern Ausrüstungen für die gesamte kristalline Wertschöpfungskette von der Siliziumherstellung bis zur Modulfertigung. Mit ihren Anlagen und Automationslösungen sorgen sie für rasche Effizienzgewinne und sinkende Fertigungskosten.

Neue Schicht senkt Stromverluste

Eine zukunftssträchtige Technologie, die derzeit Einzug in die Fabriken hält, sind multikristalline Zellen mit Rückseitenpassivierung, die sogenannten Perc-Zellen (Passivated Emitter and Rear Contact). Bei den Standardzellen drängen Elektronen zum Minuspol auf der Vorderseite und die Elektronenlöcher zum Pluspol auf der Rückseite. Hier fließt der Strom über einen Aluminiumkontakt ab, der großflächig auf dem Wafer liegt. Durch das Aluminium ist der elektrische Kontakt zum Pluspol zwar sehr gut, aber der direkte Kontakt zwischen Metall und Halbleiter führt dazu, dass sich negative und positive Ladungsträger an dieser Grenze gegenseitig auslöschen, im Fachjar-

gon: rekombinieren. Die Entwickler nutzen deshalb einen einfachen Trick: Sie ersetzen das Aluminium durch eine neue Schicht, die Stromverluste reduziert. Man bezeichnet diese Schicht als dielektrische Passivierungsschicht, die aus Siliziumnitrid, Siliziumoxid oder Aluminiumoxid bestehen kann. Allerdings haben diese Schichten den Nachteil, dass sie Strom nicht leiten. Deshalb müssen sie zusätzlich an einigen Stellen geöffnet werden, um die metallenen Stromanschlüsse dort hindurchzuführen und mit dem Halbleiter verbinden zu können. Mit der Perc-Technik sind derzeit Wirkungsgrade von 18 Prozent möglich.

Mit sinkenden Material- und Produktionskosten rückt schließlich eine Technik in den Fokus der Hersteller, an die sie sich wegen der vergleichsweise schwierigen Produktion lange nicht heranwagten: die sogenannten Metal-Wrap-Through (MWT)-Zellen. Bei dem vom niederländischen Energieforschungsinstitut ECN entwickelten Ansatz werden die Stromsammelschienen intern auf die Rückseite durchgeführt. Dadurch liegen auf der Vorderseite weniger Leiterbahnen, die Licht von der Zelle fernhalten. Der Wirkungsgrad steigt, und gleichzeitig können die Module mit effizienteren Methoden gefertigt werden.

Mit Bosch Solar, JA Solar, Kyocera und Canadian Solar wollen jetzt vier Firmen die neue Technik serienmäßig herstellen. Kein Wunder, denn sie ermöglicht Module mit 16 Prozent Wirkungsgrad. Damit stößt die multikristalline Technik in Effizienzbereiche vor, die bisher den teureren monokristallinen Modulen vorbehalten waren.

SASCHA RENTZING,
DORTMUND



Begehrtes Versuchsobjekt: In keinem anderen Land haben Wissenschaftler multikristalline Zellen so gut erforscht wie in Deutschland.

FOTO: FRAUNHOFER/THOMAS ERNSTING