

Günstiger Sonnenstoff in Sicht

Die Abhängigkeit der Photovoltaik von teurem, chemisch erzeugtem Solarsilizium könnte bald vorbei sein. Erste Firmen wollen in Kürze mit der Produktion direkt gereinigten metallurgischen Siliziums beginnen. Ob das neue Material gut genug ist, muss sich aber erst noch zeigen.

Text: Sascha Rentzing

An Flexibilität und Risikobereitschaft mangelt es den Managern der Solarvalue AG nicht: 2005 wurde die Firma mit dem Ziel gegründet, Solarzellen und -Module zu produzieren. Leider erwies sich die Siliziumbeschaffung als großes Problem und so drohte dem Berliner Newcomer das rasche Aus. Doch statt aufzugeben, änderte die Geschäftsführung das Konzept: Man nahm sich vor, eine über alle Wertschöpfungsstufen integrierte Produktion von Solaranlagen aufzubauen. Erster Schritt in diese Richtung sollte die Errichtung eines eigenen Siliziumwerks sein. Obwohl äußerst ambitioniert könnte der Managementplan diesmal aufgehen: „Im slowenischen Ruše bauen wir derzeit eine ehemalige Kalziumkarbid-Fabrik in eine Produktionsstätte für Silizium um. Schon im nächsten Jahr sollen dort 4.400 Tonnen hergestellt werden“, sagt Investor-Relations-Manager Maximilian Fischer.

Als der wirtschaftlich ins Trudeln geratene Metallverarbeiter TDR das Werk im vergangenen Herbst zum Kauf anbot, schlug Solarvalue zu. Nur umrechnet eine Million Euro mussten die Berliner dafür auf den Tisch legen. Weitere 25 Millionen Euro sollen in die Umrüstung investiert werden. „Gemessen an dem, was der Bau einer Siliziumproduktion üblicherweise kostet, sind das Peanuts“, so Fischer. „Wir haben das Glück, einen Großteil des bestehenden Equipments weiter nutzen zu können.“

Schafft Solarvalue die 4.400 Tonnen, würde das Unternehmen zu einem der führenden Siliziumanbieter aufsteigen: Bis 2008 sollen weltweit Fertigungskapazitäten für Solarsilizium von rund 40.000 Jahrestonnen entstehen (neue energie 11/2006), Solarvalue hätte dann daran einen Anteil von rund zehn Prozent.

Bemerkenswert ist aber nicht nur das hohe Tempo, mit dem die Firma an die Weltspitze strebt, sondern auch der Weg, wie der Sonnenstoff in Ruše produziert werden soll: Vorgesehen ist, Rohsilizium, auch metallurgisches Silizium genannt, direkt zu reinigen. Beim bisher vorherrschenden Siemens-Prozess wird der Rohstoff in ein gasförmiges Zwischenprodukt, Trichlorsilan, überführt, gereinigt und anschließend in Abscheidereaktoren zersetzt. Dabei wächst auf beheizten Stäben hochreines Silizium. Diese Chlorsilan-Route ist sehr energie- und kapitalintensiv, das Endprodukt konsequenterweise teuer. Das Solarvalue-Verfahren kommt ohne aufwändige Destillationschritte aus: Durch die Einschmelzung von hochreinem Quarz und Kohlenstoff sollen die beim metallurgischen Silizium üblichen Spuren anderer Elemente auf ein Minimum reduziert werden. Anschließend sollen mehrere Erhitzungsrunden in einem Induktionsofen genügen, um die restlichen Verunreinigungen zu entfernen. Weil der apparative Aufwand bei dieser Produktionsweise gering ist und vergleichsweise wenig Ener-

gie verbraucht wird, lassen sich laut Solarvalue deutlich Kosten sparen: „Wir können das Kilogramm für unter 20 Euro herstellen, klassisches Silizium liegt bei 25 bis 30 Euro“, erklärt Fischer.

14.000 Tonnen in 2010

Die Berliner könnten die ersten sein, die den neuen Sonnenstoff industriell fertigen, ganz sicher werden sie aber nicht die einzigen bleiben: Fünf weitere Unternehmen haben angekündigt, entsprechende Fabriken errichten zu wollen, darunter Elkem Solar AS, ein Geschäftsteil des norwegischen Orkla-Konzerns, oder die Scheuten Solarworld Solizium GmbH, ein neu gegründetes Joint-Venture des niederländischen Photovoltaik-Herstellers Scheuten Solar Systems BV und der Bonner Solarworld AG. Schon 2008 wollen die Firmen Kapazitäten von über 10.000, 2009 bereits von über 14.000 Jahrestonnen aufgebaut haben. Bei insgesamt 56.000 Tonnen Solarsilizium, die in diesem Jahr weltweit produziert werden sollen, würde es das direkt gereinigte Rohsilizium damit auf einen Marktanteil von 25 Prozent bringen.

Ob die großen Pläne der Newcomer umgesetzt werden, ist aber keineswegs sicher. Die entscheidende Frage lautet: Kann der neue Stoff auch in industriellem Maßstab zu einer Qualität hergestellt werden, die ausreicht, um den hohen Anforderungen der Solarindustrie gerecht zu werden? Um gute ►



Der erste Schritt: Im Lichtbogenofen wird Quarz mithilfe von Kohle reduziert – Ergebnis ist metallurgisches Silizium.



Erneute Schmelze: Durch wiederholtes Erhitzen in Induktionsöfen und anschließendes „gerichtetes Erstarren“ kann Rohsilizium gereinigt werden.

Reinigen statt Destillieren

Silizium kommt auf der Erde zwar sehr häufig vor, allerdings nicht in reiner Form, sondern in Verbindung mit Sauerstoff – als Siliziumdioxid oder Quarz. Im so genannten Lichtbogenofen wird der Sauerstoff mithilfe von Kohle vom Silizium getrennt, ein Prozess, der bei Temperaturen von rund 2.000 Grad Celsius abläuft. Das Produkt ist Rohsilizium mit einem Reinheitsgrad von 98 bis 99 Prozent. Für metallurgische Zwecke, sprich: die Herstellung metallischer Vor-, Zwischen- und Endprodukte, ist es ausreichend sauber; Rohsilizium findet Verwendung etwa als Legierungsbestandteil für Weißblech und Stähle. Die Solarindustrie kann mit diesem Stoff nichts anfangen; für die Verwendung in Solarzellen ist eine Reinheit von 99,99 Prozent vonnöten.

Bisher erfolgte die Weiterverarbeitung zum „solar grade Silizium“ nahezu ausschließlich per Siemensverfahren. Bei diesem Prozess, der ursprünglich für die Halbleiterindustrie entwickelt wurde, lagert sich in einem über 1.000 Grad Celsius heißen Reaktor flüssiges Trichlorsilan wie Zuckerwatte an Stäben ab, die allmählich zu dicken Säulen heranwachsen. Vorteil: Das so gewonnene Produkt hat eine Reinheit von fast hundert Prozent – eine optimale Voraussetzung, um hocheffiziente Solarzellen zu produzieren. Nachteil: Die chemische Aufbereitung des Siliziums ist sehr energie- und kostenintensiv.

Mit der direkten Aufbereitung metallurgischen Siliziums lässt sich der teure Siemensprozess vermeiden. Simpel ist die Gewinnung von Solarsilizium aber auch nach diesem Verfahren nicht: Mehrere Reinigungsschritte sind notwendig, um das Material von Verunreinigungen wie Schwermetallen, Phosphor und Bor zu befreien. Vor allem die beiden letztgenannten Elemente sind große Wirkungsgradkiller. Um sie loszuwerden, wird das me-

tallurgische Silizium in Induktionsöfen erneut eingeschmolzen und mit speziellen Schlacken wie Glasverbindungen versetzt. Die Schlacken binden die Verunreinigungen und können anschließend von der Siliziumschmelze getrennt werden. Auf diesen Prozess setzen etwa Solarvalue oder Elkem. Phosphor und Bor können aber auch auf anderem Weg entfernt werden. Bei JFE wird Phosphor mit Elektronenstrahlkanonen zu Leibe gerückt. Der Strahl wird direkt auf das feste Silizium gerichtet, das aufgrund der Hitze schmilzt. Per Vakuum, das über der Schmelze angelegt wird, kann der Dreck abgesaugt werden. Auf ähnliche Weise lässt sich Bor beseitigen: Das Silizium wird mit einer Plasmaflamme geschmolzen, dabei geht das leicht flüchtige Bor in das Vakuum über.

Metalle lassen sich dagegen gut durch die so genannte gerichtete Erstarrung entfernen. Dafür wird das Silizium erneut in einem Induktionsofen eingeschmolzen. Bei Abkühlung aus dem flüssigen Zustand ordnen sich dessen Atome in einem regelmäßigen Gitternetz an. Wenn man diesen Erstarrungsprozess sorgfältig steuert, wird ein Großteil des Drecks beim Übergang zwischen Flüssig- und Festphase gesammelt und aus dem erkaltenden Siliziumblock nach oben herausgedrückt. Der obere Teil wird anschließend abgetragen und verworfen. Je nach dem, wie gut das Ausgangsmaterial ist – entscheidend hierbei ist die Sauberkeit der eingesetzten Quarze und des Kohlenstoffs – und welche Reinheit angestrebt wird, kann das Silizium erneut aufgeschmolzen werden, um verbleibende Verunreinigungen auszufällen. Die Qualität von Silizium, das in Siemensreaktoren produziert wurde, wird der neue Stoff aber auch bei intensiver direkter Reinigung nicht erreichen.

Zellen zu fertigen, muss das Silizium einen Reinheitsgrad von mindestens 99,9999 Prozent haben. In Siemens-Reaktoren lässt sich dieser Wert locker erreichen. Dort kann das metallurgische Material, das mit einer Reinheit von 98 bis maximal 99,5 Prozent am Markt angeboten wird, auf fast hundert Prozent veredelt werden. Der Beweis, dass die Hersteller auch mit in Masse hergestelltem, direkt gereinigtem Silizium die 99,9999 Prozent schaffen, steht noch aus. Ware aus kommerzieller Produktion wurde bisher nicht vorgelegt und bei Informationen über Prozesse und Methoden halten sich die Firmen sehr bedeckt. „Wir wüssten auch gern, was da vor sich geht. Aber jeder kocht sein eigenes Süppchen“, beschreibt Hubert Aulich, Vorstand des Erfurter Ingot- und Waferherstellers PV Silicon AG, die Situation.

Der Solarexperte ist skeptisch, dass die Unternehmen so bald brauchbares Material vorlegen werden. Wie schwierig es ist, metallurgisches Silizium auf Solarqualität zu trimmen, weiß er aus eigener Erfahrung. Bei Siemens hat Aulich in den Achtzigerjahren selbst lange an geeigneten Produktionsme-

thoden gearbeitet. „Statt das Silizium immer wieder zu reinigen, haben wir damals sehr saubere Ausgangsstoffe, gute Quarze und Ruße, verwendet. Dieser Weg erwies sich als sehr viel versprechend.“ Doch bevor der Durchbruch gelang, wurde das Projekt eingestellt. Die geringe Nachfrage rechtfertigte den Arbeitsaufwand nicht. „Wenn heute jemand behauptet, er könne in einem Jahr eine funktionierende Fabrik aufbauen, die guten Output liefert, kann ich das schwer glauben“, so Aulich.

Erste ermutigende Ergebnisse gibt es aber gleichwohl. So hat die Universität Konstanz Proben metallurgischen Siliziums von Elkem getestet und diese für den Einsatz in der Photovoltaik als brauchbar befunden. Auch bei Solarvalue ist man zuversichtlich, hinreichend sauberes Material für gute Zellen zu produzieren: „Wir haben unseren Produktions-Prozess und die Zielspezifikationen von einem Experten begutachten lassen. Es wurde uns bestätigt, dass sie sich für Solarzellen mit einer Effizienz von 15 Prozent eignen“, sagt John Mott, Vorstand für operatives Geschäft.

Deutliche Senkungen der PV-Kosten möglich

Wünschenswert wäre ein schneller Durchbruch des neuen Stoffs in jedem Fall. Nach dem Willen der PV-Branche soll Solarstrom in Deutschland bereits 2015 wettbewerbsfähig sein (siehe Seite 46). Dafür muss sich der Preis pro Kilowattstunde binnen der nächsten acht Jahre auf mindestens 25 Eurocent halbieren. Dies wird der Solarindustrie bedeutend leichter fallen, wenn genug und vor allem günstiges Silizium zur Verfügung steht. Das ist seit Jahren nicht der Fall. Wegen der großen Nachfrage nach dem Sonnenstoff wurde dieser knapp und extrem teuer. Kostete das Kilogramm 2004 noch 20 bis 30 Euro, sind es mittlerweile 50 bis 60 Euro. Dieser Preisanstieg war schließlich auch ein wesentlicher Grund dafür, dass Solarsysteme und mithin Solarstrom von Anfang 2004 bis zum Sommer 2006 kontinuierlich teurer geworden sind (neue energie 9/2006). Und obwohl die großen Chemiekonzerne ihre Silizium-Produktionskapazitäten deutlich ausbauen wollen, rechnen die Experten auch in na-



her Zukunft nicht mit deutlich sinkenden Preisen für den Zellengrundstoff: „Solarsilizium wird weiterhin stark nachgefragt werden. Preisnachlässe wird es daher vermutlich nicht geben“, sagt Patrick Hummel, Analyst der UBS Deutschland.

Gelänge es, größere Mengen direkt gereinigten Rohsiliziums auf den Markt zu bringen, wäre ein Erreichen der Wettbewerbsfähigkeit im Jahr 2015 realistischer. Zudem könnten Solarvalue, Elkem Solar & Co. den Stoff aufgrund niedrigerer Produktionskosten günstiger anbieten. Das würde die etablierten Player unter zusätzlichen Druck setzen, ihre Preise anzupassen.

Eines dürfte aber ebenso klar sein: Selbst bei erfolgreicher Produktion wird das neue das etablierte Material in absehbarer Zeit nicht vollständig ersetzen können. Ein Weg zu niedrigeren Solarstromkosten führt auch über Wirkungsgradsteigerungen. Im Durchschnitt erreichen Solarzellen heute 15 Prozent, denkbar sind 22 Prozent (neue energie 3/2007). Nahezu alle Zelltypen, die diesem Wert nahe kommen, basieren auf monokristallinem Silizium mit fast hundertprozentiger Reinheit. So zum Beispiel die Rückseitenkontakt-Zelle der Sunpower Corporation mit über 20 Prozent Wirkungsgrad. Sie besteht aus sehr aufwändig herzustellendem so genannten „Float-Zone-Silizium“, das sonst nur in der Halbleiterindustrie eingesetzt wird. Selbst die größten Befürworter des direkten Gewinnungsverfahrens räumen ein, so hochwertiges Material zunächst nicht erzeugen zu können. Mit multikristallinem Solarsilizium, aus dem der

überwiegende Teil der Zellen gefertigt wird, dürfte das metallurgische Material allerdings mithalten können. Für Zellhersteller, die auf die multikristalline Technik setzen und ihre Produktionskapazitäten in diesem Bereich ausbauen wollen, könnte der neue, potenziell leicht gewinnbare und günstige Stoff daher eine sehr gute Alternative beziehungsweise Ergänzung sein. Die Q-Cells AG etwa hat das große Potenzial des neuen Stoffs sehr früh erkannt. Der Zellengigant aus Sachsen-Anhalt hat daher jüngst mit Elkem Solar einen Vertrag abgeschlossen, der Lieferungen von sage und schreibe 66.800 Tonnen metallurgischem Silizium bis zum Jahr 2018 vorsieht.

Großes Interesse der PV-Industrie
Abgemacht ist, dass Q-Cells 2008 bereits 800 Tonnen, 2009 dann 2.800 Tonnen und jeweils 2.400 in den Jahren 2010 bis 2018 erhält. Darüber hinaus besteht die Option, eine zusätzliche Menge von bis zu 1.600 Tonnen 2010 und zwischen 2.500 und 5.000 Tonnen in den folgenden Jahren der Vertragslaufzeit zu beziehen – sofern Elkem Solar seine Produktionskapazitäten weiter ausbaut. Was Q-Cells der Stoff kostet, erklärt das Unternehmen indes nur vage: Die Preise basierten auf Marktpreisen.

Nach Informationen von Q-Cells-Sprecher Stefan Dietrich sollen die Massen an metallurgischem Silizium das Unternehmen in die Lage versetzen, bereits 2010 Solarzellen mit einer Leistung von über 1.000 Megawatt zu produzieren. Frei von Risiko ist der Deal mit den Norwegern aus genann-

Ambitionierte Neueinsteiger: 10.000 Tonnen metallurgisches Silizium bis 2010

	2007	2008	2009	2010
Elkem Solar, Norwegen	-	5.000	(5.000)	(5.000)
JFE, Japan	(100-1000)	(100-1000)	(100-1000)	(100-1000)
Scheuten Solarworld Solizium, Niederlande/Deutschland	-	-	1.000	(100-1000)
Solarvalue, Deutschland	850	4.400	(7.400)	(7.400)
Dow Corning, USA	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
GT Equipment, USA	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
SUMME	1.850	10.400	14.400	14.400

Quelle: Eigene Recherchen; alle Angaben in Tonnen

ten Gründen nicht: Ware aus kommerzieller Produktion kann Elkem Solar noch nicht vorweisen. Sollte den Skandinavieren der Start der Massenproduktion misslingen, könnte Q-Cells Probleme bekommen, seine ehrgeizigen Pläne zu realisieren. Zwar hat die Firma bereits in den letzten zwei Jahren Lieferverträge mit Herstellern herkömmlichen Siliziums wie Wacker abgeschlossen, ob sich mit den vereinbarten Mengen jedoch das selbst gesteckte Gigawatt-Ziel in der Zellenproduktion erreichen lässt, erscheint fraglich.

Doch in Bezug auf Elkem gibt sich der Zellenhersteller zuversichtlich: „Wir haben das Material auf Herz und Nieren getestet und können bestätigen, dass damit vergleichbare Wirkungsgrade und Erträge erreicht werden können wie mit multikristallem Silizium“, so Dietrich.

Auch die Bonner Solarworld AG will künftig verstärkt auf metallurgisches Silizium setzen. Anders als Q-Cells plant der rheinische PV-Konzern den Stoff allerdings selbst herzustellen. So gründete Solarworld im letzten Jahr ein Joint Venture mit dem holländischen PV-Hersteller Scheuten Solar, die Solizium GmbH, das im Jahr 2010 die kommerzielle Produktion aufnehmen und 1.000 Tonnen des neuen Materials liefern soll. Diesen Output wollen sich die Partner dann teilen.

Nach den Worten von Solizium-Geschäftsführer Peter Woditsch arbeiten die Firmen derzeit an einem Verfahren, „das die Prozesse so intelligent verknüpft, dass es wirtschaftlich Sinn macht“. Wie Solarvalue

will auch Solizium mit sehr sauberen Ausgangsmaterialien arbeiten, um Reinigungsschritte zu vermeiden. „Wir rechnen Ende 2008 mit Ergebnissen aus der Pilotierung“, so Woditsch.

Den Großteil seines Siliziums wird Solarworld künftig allerdings aus anderen Quellen beziehen. Gemeinsam mit dem Chemiekonzern Degussa betreibt das Unternehmen in Rheinfelden eine Siliziumproduktionsstätte, in der vom kommenden Jahr an jährlich 850 Tonnen Silizium hergestellt werden sollen. Ferner bestehen Lieferverträge mit Wacker & Co.

Auch wenn derzeit unsicher ist, ob metallurgisches Silizium den Reinheitsanforderungen der PV-Industrie gerecht wird, ist das Interesse der Solarhersteller also immens. Dass eine Q-Cells AG das Risiko eingeht und Verträge über die umfassende Lieferung eines Stoffs abschließt, dessen Tauglichkeit noch nicht hundertprozentig nachgewiesen ist, zeigt aber auch: Die Firmen sind nicht mehr bereit, die hohen Preise der Chemiekonzerne zu zahlen und nutzen jede Gelegenheit, Kosten zu senken. Es ist kein Geheimnis: Die Chemiekonzerne haben die Wafer- und Zellenhersteller im Wissen, dass diese das Silizium dringend brauchen, zuletzt kräftig zur Kasse gebeten. Auch bei Solarvalue liegen bereits „verschiedenste Anfragen aus aller Welt vor“. Dennoch bleibt die Firma bescheiden: „Die Chance, dass die kommerzielle Produktion glückt, liegt bei 65 Prozent“, sagt Investor Relations-Manager Fischer. Das ist immerhin mehr als das berühmte halb volle Glas. ◀