

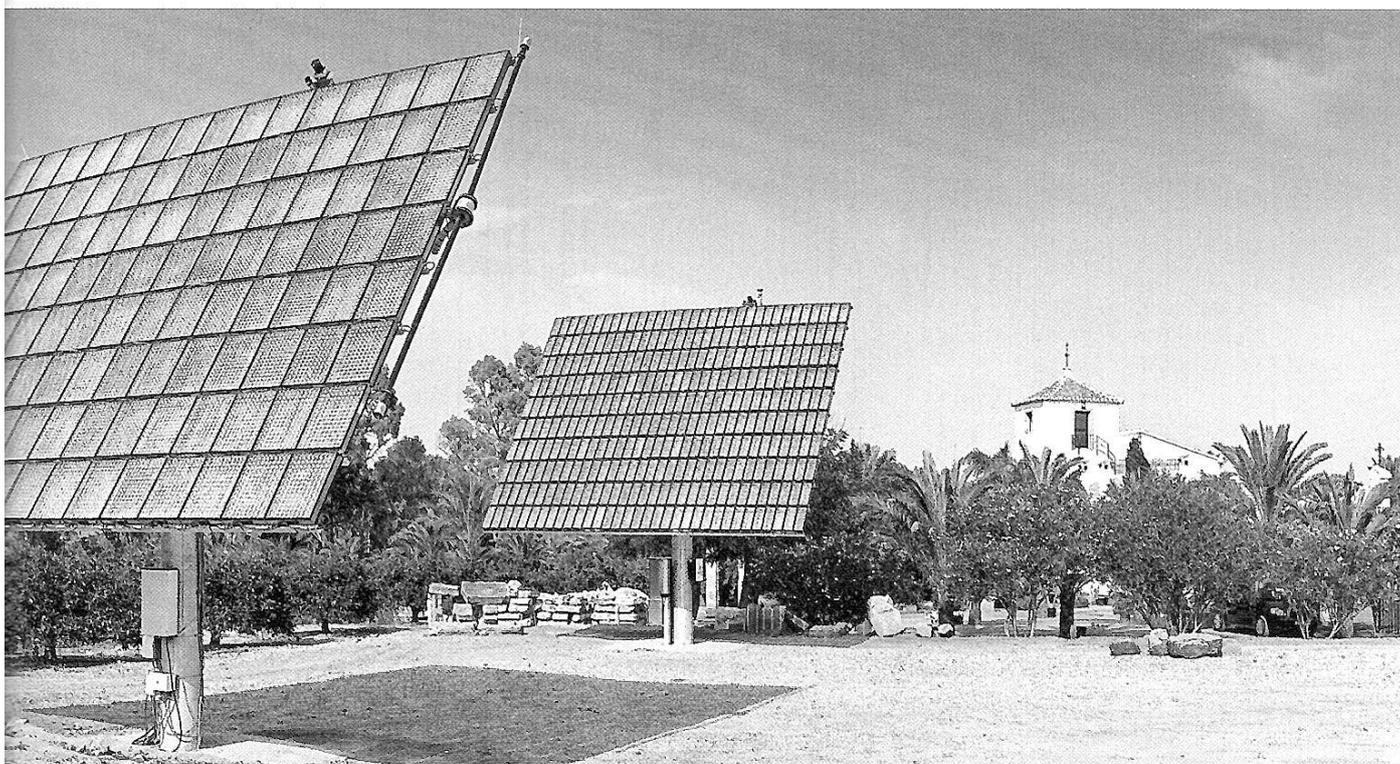
# Hoch konzentriert



Spanische Demo: Auf der iberischen Halbinsel hat die Freiburger Concentrix ihre neuartigen Konzentratoren-Module getestet – mit guten Ergebnissen.

**Weil Solar-Konzentratoren deutliche Kostensenkungen versprechen, wollen Firmen die lichtbündelnden Systeme breit in den Markt einführen: Produktionskapazitäten von über 100 Megawatt sind geplant. Ob die neue Technik tatsächlich die Photovoltaik revolutioniert, muss sich aber erst zeigen.**

Text: Sascha Rentzing



Ohne den Schweizer Thyl Steinemann wäre die Photovoltaik (PV) heute vermutlich um eine interessante Technologie ärmer. Der gelernte Maschinenschlosser baute im Jahr 1978 das erste konzentrierende Solarstromsystem. „Heliofol“, so dessen Name, bestand aus einer preisgünstigen Optik, die das Sonnenlicht auf extrem hitzebeständige Solarzellen bündelte. Diese waren mit fünf Quadratzentimetern kaum größer als ein Daumnagel, leisteten aber bei 120-facher Strahlenverdichtung und zweiachsiger Sonnennachführung das Fünffache gegenüber einer üblichen Solarzelle in Handflächengröße.

Steinemanns Erfindung sorgte für Furore: In den Folgejahren wurde an Instituten rund um den Globus an lichtbündelnden Konzepten gearbeitet. Dennoch blieb der durchschlagende Erfolg der Technik aus:

Gegen die vergleichsweise einfachen, aber immer effizienteren Siliziumzellen konnten sich die komplexen Konzentratoren nicht durchsetzen.

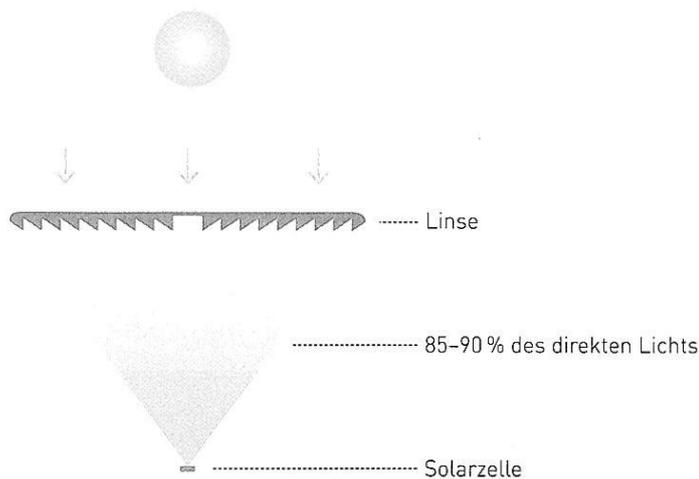
Heute, rund 30 Jahre später, sieht es so aus, als würde den Lichtverstärkern der Durchbruch doch noch gelingen: Viele, namentlich US-amerikanische und spanische Firmen wollen in Kürze mit der Serienfertigung der Technologie beginnen und in den nächsten Jahren Produktionskapazitäten von mehreren hundert Megawatt (MW) aufbauen (siehe Seite 58). Finanziell unterstützt werden sie dabei von Venture Capital-Gesellschaften. Die haben die Lichtbündelnden Systeme augenscheinlich als viel versprechende Zukunftstechnologie ausgemacht und statten die Solarnewcomer nun mit Kapital aus: Branchenkenner sprechen von insgesamt rund 150 Millionen Euro, die pri-

vate und öffentliche Geldgeber in die neue Technologie investieren wollen.

#### Venture Capital als Starthilfe

Auch die Regierungen zeigen großes Interesse an den Systemen. So unterstützt das US-amerikanische Energieministerium (United States Department of Energy, DOE) die drei in diesem PV-Segment national führenden Unternehmen Amonix, Boeing und Soliant Energy in den nächsten drei Jahren mit insgesamt umgerechnet rund 24 Millionen Euro. Das Geld soll den Firmen beim Einstieg in die Serienfertigung und beim Aufbau nennenswerter Produktionskapazitäten helfen. Im Jahr 2010, so die Vorstellung des DOE, sollen es die drei Firmen zusammen bereits auf 100 MW bringen.

Die plötzliche Begeisterung für die fast schon abgeschriebenen Konzentratoren



### Die Sonne auf den Punkt gebracht

Bei der konzentrierenden Photovoltaik spielen neben den Solarzellen auch optische Elemente eine zentrale Rolle. Spiegel oder Linsen konzentrieren Sonnenlicht auf eine kleine aktive Zellenfläche. Bei 500-facher Konzentration etwa produziert eine 0,5 Quadratzentimeter große Zelle genauso viel Strom wie eine 500 Quadratzentimeter große Zelle ohne Konzentration. Durch den verringerten Materialverbrauch bietet sich einerseits ein erhebliches Kostensenkungspotenzial, andererseits ist damit der Weg frei für hochwertige, teure Zellen, die unter Konzentration sehr hohe Wirkungsgrade erreichen. Viele Firmen arbeiten mit Tandem- und Triplezellen, die aus zwei beziehungsweise drei übereinander gestapelten Halbleitermaterialien bestehen. Verwendet werden in der Regel Verbindungshalbleiter aus Elementen der III. und V. Hauptgruppe des Periodensystems wie Galliumindiumphosphid, Galliumarsenid und Germanium. Jeder dieser Halbleiter ist für die Umwandlung eines bestimmten Teils des Farbspektrums verantwortlich. So können – wie beim US-amerikanischen Technologiekonzern Boeing jüngst geschehen – Zellenwirkungsgrade von über 40 Prozent erreicht werden. Was die Markteinführung konzentrierender Systeme indes erschwert: Da diese nur Direktstrahlung „verwerten“, müssen die Module exakt der Sonne nachgeführt werden. Das macht den Einsatz hochpräziser Tracker erforderlich, die viel Geld kosten. Außerdem entstehen bei der Konzentration des Sonnenlichts hohe Temperaturen, die sich negativ auf die Zelleneffizienz auswirken können. Kühlkonzepte müssen her, die ebenfalls Kosten verursachen.

kommt nicht von ungefähr: Trotz Massenproduktion und technischer Verbesserungen sind die Preise für Solarsysteme und mithin für Sonnenstrom in den letzten Jahren nicht nennenswert gesunken. So kostet die Kilowattstunde (kWh) Solarstrom hierzulande mit gut 40 Eurocent immer noch mehr als doppelt so viel wie der Endkundenpreis für den Privatverbraucher. Mit der neuen Technik, so die Hoffnung, lassen sich Kosten und Preise schnell drücken – schneller jedenfalls als mit konventionellen Solarmodulen. „Schon jetzt können Konzentratoren Systeme an Standorten mit hoher direkter Sonneneinstrahlung wie etwa in Spanien

kostengünstiger PV-Strom erzeugen als dies mit herkömmlichen Flachmodulen möglich ist“, sagt Andreas Bett, Leiter der Abteilung Materialien – Solarzellen und Technologie im Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE). Zwar müssten Konzentratoren der Sonne nachgeführt werden, weil Spiegel und/oder Linsen nur direktes, nicht aber – wie klassische Module – diffuses Licht nutzen. Doch die zusätzlichen Bauteile kosteten weniger als das durch Lichtbündelung eingesparte Halbleitermaterial.

In der Tat hat die konzentrierende PV in jüngster Zeit große Fortschritte gemacht (neue energie 8/2005): Heute stehen nicht

nur Top-Optiken – Hightech-Linsen bündeln das Sonnenlicht um über das 1.000-fache – und präzisere, sehr leichte Nachführsysteme, sondern auch viel effizientere Zellen zur Verfügung. So genannte Triplezellen, die aus drei übereinander gestapelten Verbindungshalbleitern bestehen, erreichen Wirkungsgrade von über 40 Prozent. Die ursprünglich für den Weltraum gedachten Stromgeneratoren sind damit doppelt so effizient wie Siliziumzellen. Was sie so stark macht: Jedes der darin enthaltenen Elemente ist auf einen bestimmten Spektralbereich spezialisiert, das Sonnenlicht wird also optimal ausgenutzt. Und die Zellen dürften noch besser werden. Die Boeing-Tochter Spectrolab etwa, die mit 40,7 Prozent Wirkungsgrad den Effizienzrekord hält, arbeitet bereits an Zellen, die bis zu 50 Prozent des Sonnenlichts in Strom umwandeln.

### Erste Projekte in Spanien

Die Marktöffnung in einigen Ländern Südeuropas und Amerikas wird der konzentrierenden PV zusätzlichen Auftrieb verleihen. Die Systeme arbeiten in sonnenreichen Gegenden mit einem hohen Anteil an Direktstrahlung am effizientesten und haben laut Bett gegenüber herkömmlichen, nicht konzentrierenden Systemen einen Kostenvorteil auf die erzeugte kWh von 15 bis 30 Prozent. Durch die Einführung attraktiver Solarstromtarife in Kalifornien sowie Griechenland, Italien und Spanien ist der Weg für die neuen Solarstromerzeuger in diese Regionen nun frei (neue energie 6/2007).

Auch die beiden deutschen Konzentratoren-Bauer Solar Tec und Concentrix Solar wollen in den neuen Märkten Fuß fassen. Für den Wettbewerb sind sie offenbar gut gerüstet. Letzgenanntes Unternehmen etwa, ein im Jahr 2005 gegründetes Spin-off des Fraunhofer ISE, hat mit seinen Flatcon-Trackern bereits reichlich Felderfahrung gesammelt; Demonstrationsanlagen sind in Ägypten, Belgien, Deutschland, Spanien und auf Zypern installiert. Laut Sprecherin Silke Hajunga wird die erste kommerzielle Anlage „in Kürze“ folgen: Vor einem Jahr hat Concentrix den Zuschlag bei einer internationalen Ausschreibung erhalten und wird 500 Kilowatt (kW) für ein Konzentratoren-Kraftwerk mit 2,3 MW Gesamtleistung in der Provinz Castilla-La Mancha in Spanien liefern. Betrieben und ausgewertet wird das Kraftwerk vom spanischen Forschungsinstitut für konzentrierende Photovoltaik (ISFOC). Vorrangiges Ziel dieser Großversuchsanlage ist es herauszufinden, welche der dort eingesetzten Technologien die verlässlichste und kostengünstigste ist. Concentrix ▶

## Technik und Ausbaupläne der Konzentratoren-Firmen

Firma	Konzentration	Zellen-Material	Wirkungsgrad: Zelle, Modul, System	Entwicklungsstand	Ausbauziele	Kostenziele
Amonix (USA)	500	Silizium	26,5%, 18%, k.A.	Serienfertigung	2007: 10 MW Kapazität, 2010: 100 MW Kapazität	1,82 Euro/W Systemkosten bei 100 MW Produktion
Concentrix Solar (D)	400-500	III-V	35%, 27%, 23%	Pilotfertigung, 1 MW Kapazität	2008: Serienfertigung, 25 MW Kapazität	10-20% günstiger als herkömmliche Solaranlagen
Emcore (USA)	500	III-V	39%, k.A., k.A.	Pilotfertigung, eigene III-V-Zellenfertigung mit 50 MW	Zellenwirkungsgrad >40%	k.A.
Entech (USA)	21, 440	Silizium, III-V	Silizium: k.A., 13%, k.A., III-V: k.A., 27%, k.A.	Pilotfertigung	2008: Serienfertigung, Kapazität >20 MW	k.A.
Green and Gold Energy (USA)	1.100	III-V	39%, k.A., k.A.	Serienfertigung	Mehrere 100 MW Kapazität	k.A.
Green Volts (USA)	625	III-V	37%, k.A., k.A.	Prototyp	k.A.	k.A.
Guascor Foton (E)	500	Silizium	26,5%, 18%, k.A.	Serienfertigung, 20 MW Kapazität	mittelfristig: 80 MW Kapazität	k.A.
Isofotón (E)	1.000	III-V	k.A., k.A., k.A.	Pilotfertigung	2007: 5 MW Produktion	2,50 Euro/W Systemkosten bei 10 MW
Prism Solar Technologies (USA)	3-4	Silizium	k.A., k.A., k.A.	Pilotfertigung	2008: Serienfertigung, 1 MW, 2010: 40 MW	1,44 Euro/W Systemkosten
Pyron Solar (USA)	400	III-V	37%, k.A., k.A.	Pilotfertigung	2008: Serienfertigung, 50 MW Kapazität	k.A.
Sharp (J)	700	III-V	36%, k.A., k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Silicon Valley (USA)	2,2	Silizium	16-17,5%, k.A.	Pilotproduktion	2007: 10 MW Kapazität	k.A.
Sol3g (E)	476	III-V	31%, 24%, k.A.	Serienfertigung, 5 MW Kapazität	2008: 10 MW Kapazität, 2009: 30 MW Kapazität	2,12 Euro/W Modulkosten bei 10 MW Produktion, später 1,80 Euro/W
Solar Systems (AUS)	500	III-V	37%, 30%, k.A.	Entwicklung einer 100 MW-Fertigung	2013: 154 MW-Demo-projekt	2013: wie Windstrom
Solar Tec (D)	700	III-V	37%, k.A., k.A.	k.A.	Verkaufsstart für Ende 2007 geplant	k.A.
SolFocus (USA)	500	III-V	35%, k.A., k.A.	Pilotfertigung, 2MW Kapazität	2008: Serienfertigung	k.A.
Soliant Energy (USA)	10	Silizium	k.A., k.A., k.A.	k.A.	2007: Markteinführung	2010: wie Steckdosenstrom
Solúcar Energía (E)	1,5 & 2,2	Silizium	k.A., k.A., k.A.	Pilotfertigung	k.A.	k.A.
Whitfield Solar (GB)	40	Silizium	20%, k.A., 13,8%	Pilotfertigung	2008: Serienfertigung, 2009/10: 10 MW Kapazität	1 Euro/W Systemkosten bei 10 MW Produktion
ZSW Bayern (D)	2-20	Silizium	>18%, k.A., k.A.	Prototyp	Kommerzialisierung	k.A.

Quelle: Unternehmensangaben, eigene Recherchen

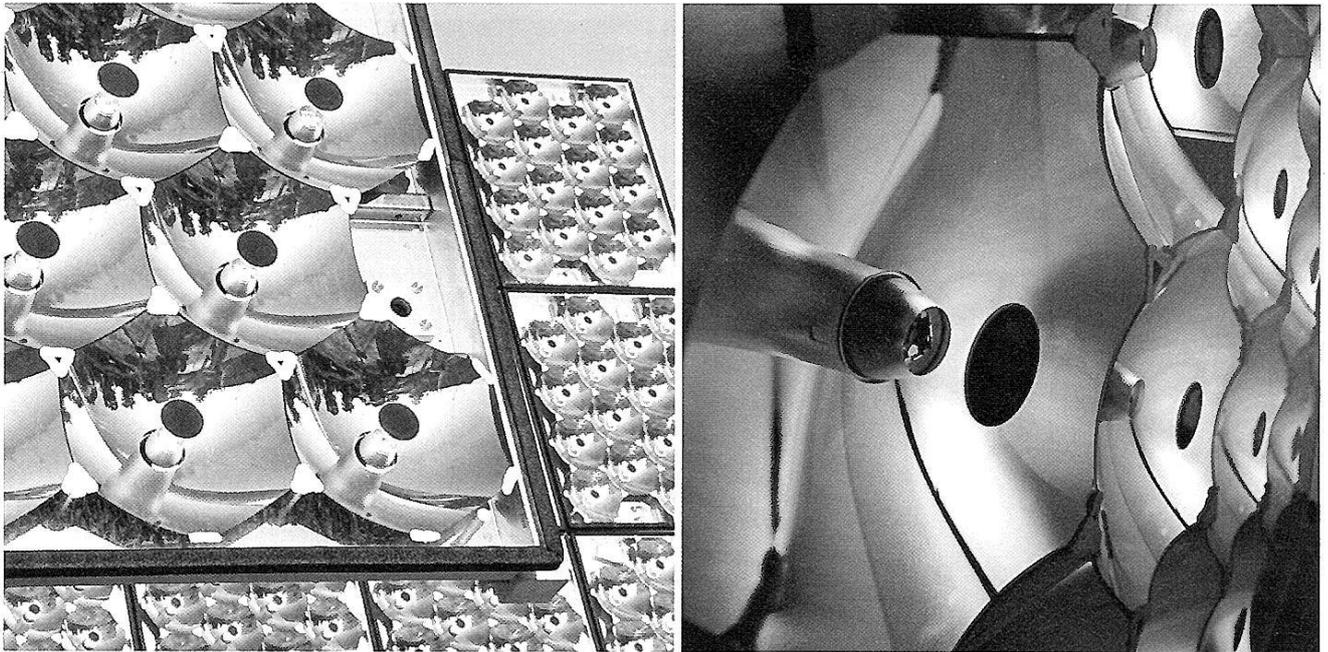
rechnet fest mit einem guten Abschneiden seines Systems. Dessen Funktionsprinzip: Die zweiachsige Nachführung sorgt dafür, dass die Module immer direkt zur Sonne ausgerichtet sind. Über Fresnellinsen, die in die Panels integriert sind, wird das Licht mit 400- bis 500-facher Konzentration auf 0,4 Quadratcentimeter große Stapelzellen des Heilbronner Herstellers Azur Space Solar Power gelenkt. Die wandeln 35 Prozent des Lichts in Strom um.

Noch produziert Concentrix die Systeme in einer Ein-MW-Pilotfertigung. Mit finanzieller Unterstützung des Regenerativinvestors Good Energies (neue energie 8/2007) wollen die Freiburger aber bereits Anfang nächsten Jahres eine vollautomati-

sierte 25-MW-Linie in Betrieb nehmen, die 2009 zu hundert Prozent ausgelastet werden soll. Dann will das Unternehmen Konzentratoren herstellen, die zehn bis 20 Prozent billiger als die herkömmliche Technologie sind. Hajunga: „Der Preis wird zukünftig in jedem Fall so sein, dass sich an sonnenreichen Standorten ein Konzentratoren-Kraftwerk besser rechnet als ein Flat-Plate-Kraftwerk.“ Derzeit ist die Flatcon-Technik mit sechs Euro pro Watt allerdings noch deutlich teurer als konventionelle Solaranlagen (vier bis 4,50 Euro pro Watt).

Concentrix' Konkurrenz in Castilla-La Mancha ist stark. Neben der US-amerikanischen Firma Solfocus werden sich an dem Projekt auch die spanischen Solarunterneh-

men Guascor Foton und Isofotón beteiligen. Letztgenannte Firma wird 700 kW zum Gemeinschaftsprojekt beisteuern. Die Besonderheit dieser Anlage wird jedoch nicht ihre Größe, sondern die ausgeklügelte Optik sein. Isofotón setzt 1.000-fach konzentrierende Linsen ein, so dass massiv an Zellenmaterial gespart werden kann. Außerdem haben die iberischen Linsen eine deutlich höhere Brechkraft als die üblicherweise eingesetzten Fresnellinsen, wodurch der Weg des Lichts zur Zelle deutlich verkürzt wird. So können die Module flach gehalten werden, was wiederum Material und Kosten spart. Bereits bei einer Jahresproduktion von zehn MW, und die will Isofotón spätestens im Jahr 2009 erreichen, sollen die Systeme laut Un-



Von der Schüssel zum Spiegel: und dann zur Zelle wird das Licht in den Modulen von Solfocus geführt.

ternehmen nur noch 2,50 Euro/Watt kosten. Damit lägen die Konzentratoren der Spanier deutlich unter dem von der PV-Industrie für diesen Zeitpunkt angepeilten Systempreis für konventionelle Solarstromanlagen von rund 3,50 Euro/Watt.

**Isofotón konzentriert 1.000-fach**  
Solfocus, das in Südspanien eine Anlage mit 500 kW Leistung aufstellen wird, ist mit Preisprognosen dagegen vorsichtig: „Vor uns liegt noch viel Forschungsarbeit“, sagt Marketingleiterin und Vizepräsidentin Nancy Hartsoch. Dabei besteht durchaus Grund zu Optimismus: Die Kalifornier haben alle denkbaren Vorkehrungen getroffen, um im Konzentratormarkt künftig erfolgreich zu sein. So wurde die Technik bereits erfolgreich demonstriert: Gemeinsam mit dem Palo Alto Research Center hat Solfocus einen Konzentratoren entwickelt, bei dem Sonnenlicht von Mini-Schüsseln zunächst auf kleine Zweitspiegel und von dort aus auf Hochleistungszellen von Spectrolab mit 35 Prozent Wirkungsgrad gelenkt wird.

Außerdem hat Solfocus in den letzten Monaten in zwei von der Venture Capital-Gesellschaft New Enterprise Associates angeführten Finanzierungsrunden insgesamt umgerechnet rund 37,5 Millionen Euro eingesammelt. Mit einem Teil des Geldes wurde die Übernahme des spanischen Entwicklers von Nachführsystemen Inspira im August dieses Jahres finanziert, ein anderer Teil

geht Hartsoch zufolge an die neu gegründete Madrider Niederlassung und dient zum Aufbau des Europa-Geschäfts. Das Gros will Solfocus in den Kapazitätsausbau sowie in die Forschung und Entwicklung seiner zweiten Konzentratoren-Generation stecken.

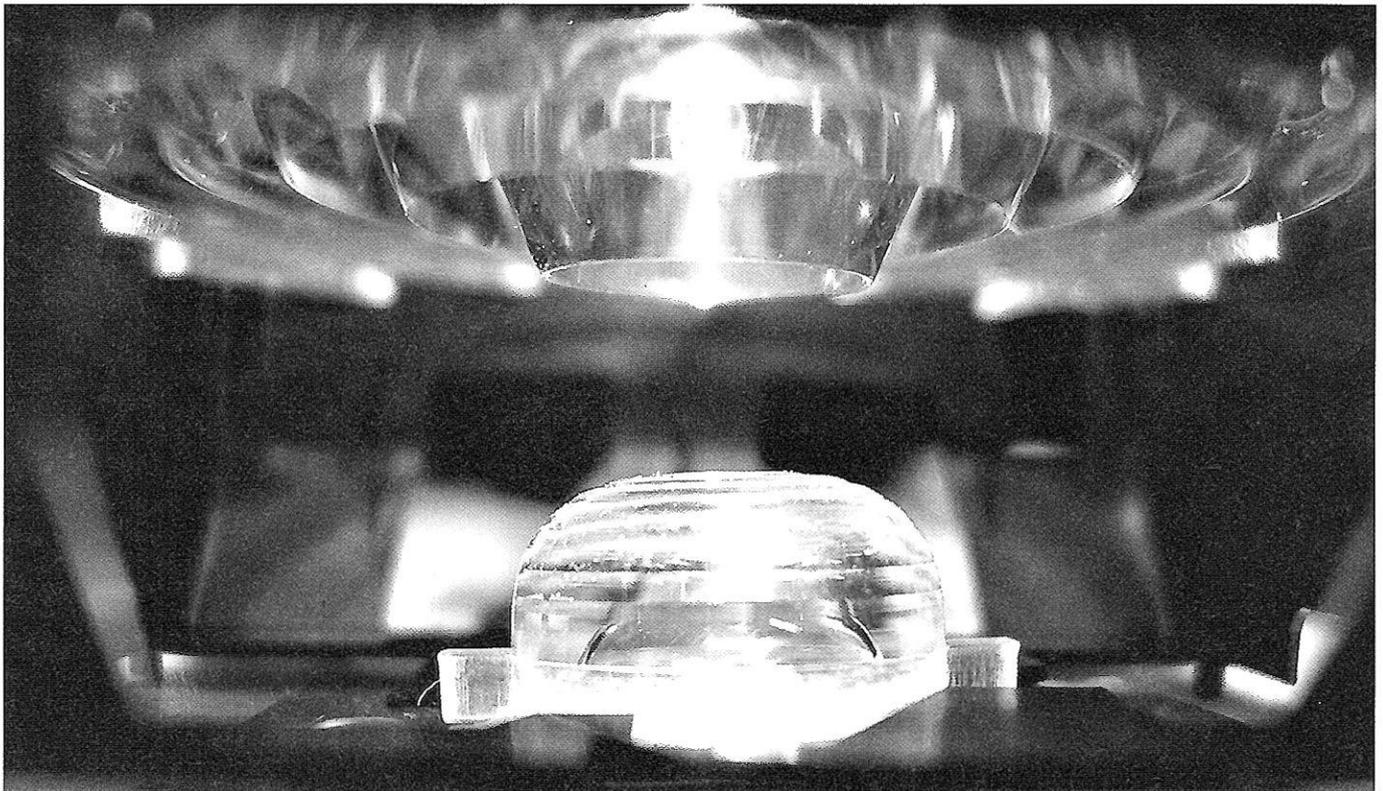
Derzeit produzieren die Amerikaner ihre Systeme noch in einer Zwei-MW-Pilotfabrik am Heimatstandort Mountain View. Die Serienfertigung soll im nächsten Jahr starten. Die Ware wird im Werk des indischen Solarherstellers Moser Baer hergestellt, mit dem Solfocus im Oktober 2006 eine Produktionsvereinbarung abgeschlossen hat (siehe Seite 54). Im Jahr 2009 soll dann die neue Konzentratoren-Generation auf den Markt kommen. Laut Hartsoch werden diese Systeme noch kompakter und leichter sein und sich damit auch für Dachanwendungen eignen. Die erste Konzentratoren-Generation ist primär für Freiflächen gedacht.

#### Systempreise von einem Euro pro Watt

Während die große Zeit einiger hochkonzentrierender Systeme erst in ein paar Jahren kommen dürfte, werden weniger komplexe, niedriger konzentrierende Anlagen wahrscheinlich schon bald marktreif sein. Dass sie mehr sind als eine Übergangslösung, will unter anderem die britische Whitfield Solar demonstrieren. Die Firma, eine Ausgründung der Universität Reading, hat ein zweiachsig nachgeführtes System entwickelt, bei dem das Licht über Fresnellinsen in nur

40-facher Konzentration auf einfache Siliziumzellen gelenkt wird. Laut Geschäftsführer Clive Weatherby ist genau diese Kombination aus mittlerer Konzentration und einfachen Zellen der Schlüssel zu niedrigen Kosten: „Unsere Konzentratoren werden nur halb so teuer sein wie konventionelle Module.“ Bereits im kommenden Jahr sollen zwei Euro pro Watt erreicht sein, dann will Whitfield in die Serienfertigung einsteigen und zunächst ein MW fertigen. Bei einer Jahresproduktion von zehn MW hält Weatherby sogar einen Systempreis von einem Euro/Watt für möglich. Über eine Manufaktur in dieser Größe denken die Briten bereits nach. Laut Weatherby laufen derzeit Verhandlungen mit potenziellen Geldgebern wie dem Carbon Trust, einem mit Regierungsmitteln gespeisten Fonds für Vorhaben zur Senkung der Treibhausgasemissionen, sowie Cascade, einem Fonds, der Projekte von Ausgründungen südostenglischer Universitäten unterstützt. Verhandelt wird über eine Gesamtsumme von umgerechnet rund 4,3 bis 7,2 Millionen Euro.

Die US-amerikanische Silicon Valley Solar liegt mit ihrem Sol-X2-Konzentratoren ebenfalls aussichtsreich im Rennen. Das System hat keine Nachführung und kommt auch sonst ohne technische Raffinessen aus: Simple Spiegel konzentrieren Sonnenlicht nur 2,2-fach auf eine monokristalline Siliziumzelle. Diese Einfachheit scheint gut anzukommen: Stromversorger Pacific Power orderte gleich zehn MW der Konzentratoren. |



Faktor Tausend: Isofotón setzt Linsen ein, die das Licht 1.000fach konzentrieren.

Die Lieferung soll Anfang nächsten Jahres starten und über drei Jahre gehen. Auch der Hamburger Solarkonzern Conergy hat Interesse an der Silicon Valley-Erfindung: Im März dieses Jahres schlossen beide Unternehmen eine strategische Partnerschaft, um Sol-X2 zur Marktreife zu führen. So sollen die Hanseaten den Kaliforniern unter anderem beim Einstieg in die Serienfertigung helfen. Die Pläne sind ehrgeizig: Im Jahr 2010 soll die Produktionskapazität bereits 100 MW betragen.

Auch Prism Solar Technologies will demonstrieren, dass weniger Technik mehr sein kann. Im letzten Jahr hat das Unternehmen aus dem US-Bundesstaat New York den Prototypen eines Moduls vorgestellt, das große aufwendige Konzentratoren durch flache Panels ersetzt, die mit einer strahlenbündelnden Hologrammschicht laminiert sind. Vorteil dieser Technik: Hologramme können ohne großen Aufwand per Laser in die Glasschicht eingegraben werden – das spart Produktionskosten. Außerdem lassen sich Hologramme so aufbauen, dass sie Licht aus verschiedenen Winkeln aufnehmen – eine

Nachführung ist also nicht nötig. Nachteil: Diese Form der Optik verstärkt Licht nur um den Faktor zehn, ist also deutlich schwächer als Linsen.

Dennoch ist Prism Solar-Chef Rick Lewandowski vom hohen Kostensenkungspotenzial der Technik überzeugt: „Wir rechnen mit Preisen von unter zwei Dollar pro Watt“, also umgerechnet 1,44 Euro. Voraussetzung für einen solchen Preis ist allerdings die Massenfertigung. Und hiervon ist Prism Solar noch weit entfernt. Erst Mitte nächsten Jahres wird die Firma die Serienfertigung aufnehmen. Geplanter Output: ein MW.

So viel versprechend die Technikkonzepte einiger Firmen auch klingen – allzu optimistische Preisprognosen sind mit Vorsicht zu genießen. In der Photovoltaik sind schon viele Firmen mit hochfliegenden Plänen angetreten und schnell wieder vom Markt verschwunden. Sei es, weil sich keine Geldgeber fanden oder die Technik schlicht nicht konkurrenzfähig war. Bevor einige der Newcomer also verkünden, Strom bereits in absehbarer Zeit zu den gleichen Kosten wie konventionelle Energieerzeuger produzie-

ren zu können, gilt es erst einmal zu beweisen, dass ihre Systeme es mit der konventionellen PV aufnehmen können. Denn auch die hat ehrgeizige Ziele: Die PV-Industrie will die Systemkosten bis 2015 auf 2,30 Euro/Watt und die Modulkosten auf 1,17/Watt senken (2006: 5,15 Euro/Watt und 2,20 Euro/Watt).

Nichtsdestoweniger: Angesichts der zahlreichen Technikansätze sowie der Tatsache, dass Venture-Capital-Gesellschaften wie Regierungen den Firmen den Rücken stärken, ist in den nächsten Jahren zumindest in den Regionen mit viel direkter Sonneneinstrahlung mit den Konzentratoren zu rechnen. Die PV Technology Platform der EU schätzt, dass die Systeme im Jahr 2015 für rund zwei Euro/Watt zu haben sein könnten. Diese Prognose ist optimistisch realistisch: Sie beschreibt die konzentrierende PV als eine wichtige PV-Technologie mit hohem Kostensenkungspotenzial, nicht aber als die Option der Zukunft. Thyl Steinemann, der Maschinenschlosser aus Zürich, dürfte sich in jedem Fall über die Entwicklung seiner Technik freuen. ◀