

Abs	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
	<u>Die perfekte Zelle</u> (Sascha Rentzing)	Die perfekte Solarzelle (Sascha Rentzing)	
0	Neue Fotovoltaikmodule arbeiten effektiver als gängige oder benötigen weniger teures Silizium bei gleichem Wirkungsgrad. Kommt bald die Solarwende?	Kommt bald die Solarwende? Neue Photovoltaikmodule arbeiten effektiver als gängige oder benötigen weniger teures Silizium	
1	Auch wenn Rezession und Bankenkrise derzeit unsere Hauptsorgen zu sein scheinen, gibt es mittel- und 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 Teile der Erde unbewohnbar machen — so lauten Schätzungen des Klimarats der Vereinten Nationen. Sogar die Internationale Energieagentur, die bislang als enger Verbündeter der Kraftwerksbetreiber galt, fordert daher in ihrem letzten World Energy Outlook (2008) eine »globale Energierevolution«.	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“.	1
2	Die Solarindustrie will dabei laut Anton Milner, Vorstand des Europäischen Fotovoltaikindustrie-Verbands EPIA, eine Vorreiterrolle einnehmen: Sonnenkraftwerke mit 350 Gigawatt Gesamtleistung sollen bis 2020 jährlich gut 420 Terawattstunden beziehungsweise zwölf Prozent des in Europa benötigten Stroms liefern. Kein bescheidenes Ziel, steuern Solaranlagen doch EU-weit ebenso wie global betrachtet aktuell nicht einmal ein Prozent zur Stromversorgung bei, und das auch nur, weil Regierungen die teure Technik fördern. Aber spätestens 2015 soll sich, so die Vorstellung der EPIA, Sonnenenergie dank sinkender Erzeugungskosten auch in sonnenärmeren Ländern rechnen.	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 bescheidenes 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.	2
	In Deutschland läge diese Latte bei etwa 20 Cent pro Kilowattstunde, aktuell kostet der Solarstrom hier zu Lande noch das Doppelte. Allerdings hält das Erneuerbare-Energien-Gesetz den Preis künstlich hoch, um der Branche durch das lukrative Einspeisen des Ökostroms ins Netz einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen.	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.	
3	Doch vielleicht wird das in absehbarer Zeit nicht mehr erforderlich sein. Denn auf der einen Seite fällt dank steigender Produktionszahlen und effizienterer Herstellungsverfahren der Preis für kristallines Silizium, dem Standardhalbleiter für die Stromgewinnung aus Licht (Kasten S. 87); auf der anderen arbeiten die Zellen immer effektiver, was den Materialeinsatz reduziert.	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	3

Abs	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
		<p>eine neue Solarzelle erwarten, die die Firma Stiebel Eltron, Holzminden, in Kürze produzieren will. Sie soll einen Wirkungsgrad von mehr als 20% erreichen; derzeit kommen Standardzellen auf 15 bis 17,5%. Damit beteiligt sich der niedersächsische Mittelständler an einem Wettkampf, 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.</p>	
		Wettkampf um den Wirkungsgrad	
		<p>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:</p>	4
	<p>Jeder Prozentpunkt Wirkungsgrad senkt, so eine Faustregel, die Kosten um fünf bis sieben Prozent, da pro Watt Leistung weniger Zellbeziehungsweise Modulfläche benötigt wird. »Derzeit erreichen Siliziumsolarzellen eine Effizienz von durchschnittlich 16,5 Prozent — dieser Wert kann sicher auf deutlich über 20 Prozent wachsen«, bekräftigt Eicke Weber, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg.</p>	<p>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.</p>	
4	<p>Zu den neuesten Errungenschaften zählt eine Umorganisation der elektrischen Anschlüsse, die so genannte Rückkontaktzelle. Elektronen, die durch das einfallende Licht im Halbleiter generiert werden, müssen Metallkontakte erreichen und von dort abgeleitet werden. Eine mit Phosphor angereicherte und für Elektronen gut leitende »Emitterschicht« hat deshalb die Aufgabe, frei gewordene Ladungsträger zu sammeln und dorthin weiterzureichen. Weil diese unterwegs abgefangen werden können, befinden sich Kontakte und Emitter meist auf der vom Licht beschienenen Zellvorderseite. Die elektrischen Anschlüsse werfen aber Schatten und verringern so die Ausbeute. Einige Unternehmen haben deshalb die Emitterschicht samt Kontakten auf die Rückseite verbannt. Die amerikanische Firma Sunpower erreicht allein dadurch bereits 22 Prozent Wirkungsgrad — das ist Weltrekord für eine in Serie gefertigte Zelle. Die niedersächsische Firma Stiebel Eltron plant ebenfalls die Produktion einer vom Institut für Solarenergieforschung in Hameln (ISFH) entwickelten Rückkontaktzelle mit mehr als 20</p>		

Abs	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
	Prozent Wirkungsgrad.		
	Laser für die Lichtfänger		
5	Für diese Technik ist aber monokristallines Silizium großer Reinheit nötig, denn an Unregelmäßigkeiten in der Kristallstruktur gehen vom Licht erzeugte Ladungsträger verloren. Doch solches Material erfordert einen komplizierten und langwierigen Herstellungsprozess und ist dementsprechend teuer. Problematisch ist bei der Rückseitenkontaktierung auch, dass nun die elektrischen Anschlüsse beider Pole ineinander verschachtelt werden müssen, um Kurzschlüsse zu vermeiden. Deshalb sind weitere Prozess- und Justierschritte erforderlich. Sunpower hat den optimalen Prozess für seine Zellen offensichtlich noch nicht gefunden: Nach Schätzungen lagen die Herstellungskosten im vergangenen Jahr bei etwa 50 Cent pro Watt Leistung, während die Konkurrenz im Mittel für 32 Cent fertigte.	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 — mitsamt der negativen Elektrode zur Rückseite wandern. Problematisch dabei ist, dass nun die elektrischen Anschlüsse beider Pole ineinander verschachtelt werden müssen, um Kurzschlüsse zu vermeiden.	5
6	Stiebel Eltron will kosteneffizienter sein. Das kooperierende ISFH hat nach Angaben von Jan Schmidt, Gruppenleiter Fotovoltaikmaterialien , dafür einen Trick gefunden. Statt die elektrischen Kontakte mittels Pasten aufzudrucken, arbeitet zunächst ein Laser Höhenunterschiede in den Halbleiter, darauf scheiden sich die Leitungsbahnen aus einer Dampfphase ab. Weil dabei kein mechanischer Druck ausgeübt wird, lassen sich dünnere und damit preiswertere Wafer verwenden.	Das ISFH hat jedoch nach eigenen Angaben einen industrietauglichen Herstellungsprozess 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.	6
		Lichtbündelnde Module	
7	Multikristallines Silizium ist um bis zu 30 Prozent billiger. Deshalb haben das ISFH und das ISE die so genannte EWT-Zelle (Emitter-Wrap-Through) entwickelt. Ein Laser bohrt Tausende von Löchern in den Halbleiter, die mit Emittiermaterial gefüllt werden. Weil nun überall die Sammelschicht in den Kristall ragt, müssen die freigesetzten Ladungsträger kürzere Wegstrecken zurücklegen — das kompensiert den Effekt der nicht einheitlichen Kristallstruktur.	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.	7
8	Der zusätzliche Prozessschritt erhöht natürlich die Fertigungskosten, die Stromausbeute beträgt aber schon 18 Prozent. Industriepartner Q-Cells aus Thalheim will diesen Aufbau serienreif machen. Zum Vergleich: Q-Cells' multikristalline	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	8

Abs	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
	Zellen mit Standardaufbau kommen zurzeit auf 14,1 Prozent Wirkungsgrad.	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.	
9	Doch nicht nur durch Verbannung der Kontakte auf die Rückseite lassen sich höhere Ausbeuten erreichen. Der japanische Konzern Sanyo kombiniert kristallines Silizium mit Dünnschichttechnik: Er bringt auf beiden Seiten eines hochreinen, nur 0,2 Millimeter dicken monokristallinen Wafers amorphes Silizium auf. Auf der Front dient es als Emitter, auf der Rückseite als Passivierschicht: Sie wirkt für Elektronen als Barriere, während deren Gegenstücke, die positiven Defektelektronen, ungehindert zu den Elektroden abfließen und somit nicht mehr rekombinieren können. Mit dieser Materialkombination erreicht Sanyo in der Serienproduktion 20 Prozent, im Labor sogar 22 Prozent Wirkungsgrad mit 0,085 Millimeter dicken Wafers, was Kostensenkungen erwarten lässt.	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 Dollar 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.	9
		Gedruckte Solarzellen	
10	Eine weitere Methode, Solartechnik preiswerter zu machen, bietet der Ersatz des Siliziumkristalls durch 100-mal dünnere fotoaktive Schichten aus Cadmium-Tellurid (CdTe) oder CIS (die Abkürzung steht für halbleitende Verbindungen aus Kupfer, Indium und Gallium sowie Selen oder Schwefel). Statt Siliziumblöcke zu züchten, in Scheiben zu sägen und diese in vielen Schritten zu Zellen zu verarbeiten, dampfen die Produzenten von Dünnschichtmodulen die Lichtfänger zwei Nanometer dick auf Glas oder Folie auf. Marktführer ist die amerikanische Firma First Solar, deren CdTe-Module in der Fertigung nach eigenen Angaben 93 US-Cent, also rund 68 Cent pro Watt Leistung kosten (Stand: Juli 2009). Damit liegt das Unternehmen weit unter den heute durchschnittlichen Produktionskosten für Solarmodule von rund zwei Euro pro Watt Leistung.	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	10

Abs	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
		<p>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 Ladungsträgerverluste 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.</p>	
11	<p>Die einfachere Fertigung erkaufen sich die Hersteller mit einem sehr viel geringeren Wirkungsgrad von durchschnittlich nur 10,8 Prozent. Um die gleiche Strommenge zu erzeugen wie kristalline Module, benötigen sie daher größere Flächen. Deren teurere Installation kompensiert die geringeren Produktionskosten teilweise. Durch bessere Absorberschichten will First Solar den Wirkungsgrad seiner Module aber bis 2012 auf zwölf Prozent erhöhen, gleichzeitig die Fertigung optimieren und so den Modulpreis auf 50 Cent pro Watt Leistung senken. Die Aussicht auf derart preiswerte Solartechnik verleitet Wissenschaftler zu kühnen Visionen: Laut dem Solar Grand Plan, einer strategischen Zukunftsstudie amerikanischer Forscher zur Deckung des Strombedarfs der USA aus Sonnenkraftwerken, sollen 2050 CdTe-Module mit 3000 Gigawatt Leistung vier Fünftel des in den Vereinigten Staaten benötigten Stroms liefern (Spektrum der Wissenschaft 3/2008, S. 60).</p>	<p>Auch neue Methoden zur Herstellung von Zellenkontakten helfen weiter. Heute werden 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.</p>	11
		Wunderstoff in der Produktion	
12	<p>Einen Mittelweg bieten Module, die als fotoaktive Schicht amorphes Silizium nutzen. Oerlikon Solar, ein Schweizer Hersteller von Produktionsmaschinen für diese Technik, verspricht, dass die in seinen Anlagen fabrizierten Zellen bis 2010 in den meisten Regionen der Welt Solarstrom zu den gleichen Kosten wie von konventionellem Netzstrom liefern werden. Dafür sollen die Fertigungskosten auf 44 Cent pro Watt halbiert werden. Der preiswerten Herstellung steht allerdings auch hier ein</p>	<p>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.</p>	12

Abs	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
	<p>niedriger Wirkungsgrad der Module von nur sieben Prozent gegenüber. Amorphes Silizium scheidet sich, wie der Name schon sagt, in einer ungeordneten Struktur ab. Zahlreiche aufgebrochene Siliziumverbindungen fangen Elektronen ab. Mit Hilfe einer zusätzlich aufgedampften Schicht aus mikrokristallinem Silizium hat Oerlikon den Wirkungsgrad auf 9,3 Prozent verbessert. Mikrokristallines Silizium besteht aus vielen kleinen Siliziumkristallen, die Licht vor allem im infraroten Bereich absorbieren. Da die amorphe Schicht den sichtbaren Teil des Spektrums nutzt, beutet das Tandem Sonnenenergie insgesamt besser aus.</p>		
13	<p>Das größte Potenzial aller Dünnschichttechniken wird jedoch CIS-Modulen zugesprochen: Das National Renewable Energy Laboratory der USA erreichte damit einen Wirkungsgrad von 20,3 Prozent — keine andere Dünnschichttechnik kann da bislang mithalten. Allerdings sind industriell gefertigte Paneele noch weit von diesem Wert entfernt, und bei den Produktionskosten hat sich die Technik noch nicht von der konventionellen Konkurrenz abgesetzt: 30 Cent pro Watt Leistung gelten als erreichbar, derzeit liegen die Kosten aber noch bei rund zwei Euro. Stärker automatisierte Prozesse und eine größere Produktionsmenge sollen die Kosten deutlich senken. So erforscht das Stuttgarter Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) wirtschaftlichere Verfahren zur Halbleiterabscheidung, dem teuersten Herstellungsschritt.</p>	<p>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 EVVT-Zellen bei mehr als 17% — die bisherigen Low-Cost-Zellen dringen also in Regionen vor, die bisher monokristallinen Zellen vorbehalten waren.</p>	13
	<p>Vielversprechende Fokussierung</p>		
14	<p>Vor allem in südlichen Ländern mit ihrer viel direkteren Sonneneinstrahlung könnten so genannte Konzentratorsysteme den beschriebenen Techniken Marktanteile streitig machen. Darin fokussieren in die Module integrierte Spiegel oder Linsen das Licht auf die eigentlichen Zellen. Dank dieses Tricks genügen sehr kleine Abmessungen, das spart Halbleitermaterial — meist kommen Elemente der dritten und fünften Gruppe des Periodensystems wie Gallium, Indium, Phosphor und Arsen zum Einsatz —, und das wiederum senkt die Kosten. Die effizientesten Stapelzellen erreichen mehr als 40 Prozent Wirkungsgrad, Verluste bei der Verschaltung zu einem Modul senken die Effizienz auf 25 bis 30 Prozent. Doch selbst damit arbeitet solch ein Konzentrador immer noch effizienter als andere derzeit gängige Solarmodule.</p>		
15	<p>Allerdings ist die Produktion schwierig, denn</p>		

Abs	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
	<p>Linsen und Zellen müssen auf wenige Millimeter genau zueinander ausgerichtet sein. Präzision ist später auch beim Kraftwerksbetrieb gefragt. Die Linsen bündeln das Licht nur bei senkrechtem Lichteinfall und werden deshalb auf »Trackern« montiert, die sie der Sonne nachführen. Die deutsche Firma Concentrix Solar, die aus dem ISE hervorgegangen ist und weltweit als einzige solche Anlagen bereits serienmäßig fertigt, hat in Spanien schon 100 Systeme mit 600 Kilowatt Gesamtleistung ans Netz gebracht. Die Freiburger rechnen allerdings mit starker Konkurrenz. Weltweit arbeitet über ein Dutzend Unternehmen an Licht bündelnden Systemen, manche, wie die kanadische Firma Morgan Solar, nutzen dazu preiswertes Acryl.</p>		
16	<p>Im Rennen um den Platz an der Sonne liegen damit viele verschiedene Solartechniken in aussichtsreicher Position. Welche am ehesten mit fossilen Energien konkurrieren und Strom für fünf bis zehn Cent pro Watt herstellen kann, ist derzeit nicht absehbar, denn alle weisen noch hohes Kostensenkungspotenzial auf. Dünnschichttechniken verbilligen die Fertigung, Siliziummodule und Konzentration-Kraftwerke versprechen Preisvorteile durch steigende Wirkungsgrade. Hält die Branche das Wachstums- und Innovationstempo der vergangenen Jahre, wird Solarstrom schon 2015 in vielen Regionen der Erde zu gleichen Preisen wie konventionell erzeugter Netzstrom angeboten werden können und einige Jahre später konkurrenzlos günstig erzeugt werden können.</p>		