

Abs	Technology Review (6 / 2008)	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Abs
	Wettlauf um den Wirkungsgrad (Sascha Rentzing)	Photovoltaik Wettlauf um den Wirkungsgrad (Sascha Rentzing)	
0	Die Effizienz von Solarzellen ist noch längst nicht ausgereizt. Forscher kämpfen an vielen Fronten um jeden Prozentpunkt – und müssen immer auch an die Kosten denken.	Ringen um Effizienz: Solarzellen sind in der Herstellung teuer. Neues Material verspricht mehr Leistung. Die Intersolar-Messe beginnt.	0
1	Ganz beiläufig verkündete Ulrich Stiebel Ende vergangenen Jahres ein unbescheidenes Vorhaben: Sein Unternehmen Stiebel Eltron, bisher vor allem bekannt als Hersteller von Heizungstechnik und Durchlauferhitzern, steigt in das Photovoltaik-Geschäft ein – und strebt als völliger Newcomer gleich einen Platz in der Weltspitze an.	Beiläufig verkündete Ulrich Stiebel kürzlich ein unbescheidenes Vorhaben:	1
	Mit einer neu entwickelten Solarzelle will Stiebel einen Wirkungsgrad von 20 Prozent erreichen; derzeit verfügbare Standardzellen kommen auf 15 bis 17,5 Prozent.	Mit einer neuen Solarzelle will der Unternehmer (Stiebel Eltron) einen Wirkungsgrad von 20 Prozent erreichen; derzeit kommen Standardzellen auf 15 bis 17,5 Prozent.	
2	Damit beteiligt sich der niedersächsische Mittelständler an einem Wettlauf, bei dem Weltkonzerne schon vorgelegt haben: Sanyo und die US-Firma Sun-Power etwa produzieren bereits Zellen mit 21 Prozent Wirkungsgrad und kommen damit dem Labor-Weltrekord von 24,7 Prozent, der derzeit von der University of New South Wales in Sydney gehalten wird, ziemlich nahe.	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 Prozent Wirkungsgrad und kommen damit dem Labor-Weltrekord von 24,7 Prozent, gehalten von der University of New South Wales in Sydney, recht nah. Auch auf der Intersolar-Messe , die am heutigen Donnerstag in München beginnt, werden Wirkungsgrade und deren Verbesserung vieldiskutiertes Thema sein.	2
		Lasern statt drucken	
3	Da die Sonne kostenlos vom Himmel strahlt, könnte einem Solaranlagenbetreiber der Wirkungsgrad seiner Module eigentlich ziemlich egal sein.	Da die Sonne kostenlos vom Himmel strahlt, könnte einem Solaranlagenbetreiber der Wirkungsgrad seiner Module egal sein.	3
	Dennoch beeinflusst der Wirkungsgrad die Wirtschaftlichkeit stärker als jeder andere einzelne Faktor bei der Herstellung, einschließlich der Skaleneffekte durch eine größere Produktionsmenge:	Doch der Wirkungsgrad beeinflusst die Wirtschaftlichkeit stärker als jeder andere Faktor bei der Herstellung:	
	Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad senkt, so die Unternehmensberatung Photon Consulting , die Kosten um fünf Prozent, da pro Watt weniger Material benötigt wird.	Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad senkt die Kosten um fünf Prozent, so die Faustregel , da pro Watt weniger Material benötigt wird.	
	Lasern statt drucken		
4	Allerdings lässt sich nicht alles, was im Labor mit einem hohen Wirkungsgrad glänzt, in der Massenfertigung mit vertretbarem Aufwand realisieren. Vor diesem Problem stand auch Stiebel Eltron . Das Unternehmen setzt auf sogenannte Rise-Zellen (Rear Interdigitated Single Evaporation) ,	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 Fragzeichen.	

Abs	Technology Review (6 / 2008)	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Abs
	<p>bei denen sich die Stromanschlüsse auf der Rückseite befinden, sodass die Front nicht von Kontakten verschattet wird. Doch solche Zellen sind schwierig herzustellen: Bei ihnen liegt der Emitter – die Schicht, die Elektronen aus der Zelle zu den Kontakten leitet – statt an der Vorder- an der Rückseite, also in unmittelbarer Nähe der Kontakte. Emitter und Kontakte müssen deshalb durch feine Grenzschichten voneinander getrennt werden, um Kurzschlüsse zu vermeiden. Das erfordert viel Prozess-Know-how. Hier kam das Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), auf dessen 20-Jahr-Feier Stiebel den Photovoltaik-Einstieg bekannt gab, ins Spiel:</p>	<p>Bei der vom Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) entwickelten Technologie befinden sich die Stromanschlüsse auf der Rückseite, so dass die Front nicht von Kontakten verschattet wird. Dadurch wird die Zelle effizienter, aber auch schwieriger produzierbar.</p>	4
	<p>Es hat nach eigenen Angaben einen industrietauglichen Fertigungsprozess dafür entwickelt. „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.</p>	<p>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.</p>	
5	<p>Auch Rekordhalter SunPower produziert Zellen, bei denen die Kontakte auf der Rückseite sind. Allerdings wird vermutet, dass das Unternehmen die Kontakte aufdruckt und daher mit relativ dicken Siliziumscheiben (Wafers) arbeiten muss – Auskünfte darüber erteilt es nicht.</p>	<p>Dieses Verfahren bringt neben einer höheren Effizienz einen weiteren Vorteil:</p>	5
	<p>Die Rise-Zellen aus dem ISFH sollen dank Lasereinsatz mit dünneren und damit preiswerteren Wafers auskommen. Die ebenfalls rekordverdächtige Sanyo-Zelle wiederum besteht aus hochreinem monokristallinem Silizium, das von Schichten aus amorphem Silizium umgeben ist. Die beiden Materialien sind in verschiedenen Spektralbereichen empfindlich, sodass das Sonnenlicht besser ausgenutzt wird – um den Preis höherer Materialkosten und aufwendigerer Herstellung.</p>	<p>Dank Lasereinsatz kommen die Rise-Zellen mit dünneren und damit preiswerteren Silizium-Wafers aus.</p>	
	<p>Stromerzeugende Fassaden</p>		
6	<p>Noch effizienter sind lichtbündelnde Systeme. Dabei konzentrieren integrierte Spiegel oder Linsen Licht auf eine winzige Zelle. Die deutsche Firma Concentrix (siehe TR 1/07) hat ein solches System mit 35 Prozent Wirkungsgrad entwickelt. „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</p>	<p>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 Prozent. „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</p>	6

Abs	Technology Review (6 / 2008)	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Abs
	Freiburg, aus dem Concentrix als Spin-off hervorgegangen ist.	Freiburg.	
	Allerdings müssen Konzentrator-Module exakt der Sonne nachgeführt werden, was die Kosten erhöht und bei Dachanlagen kaum möglich ist.	Allerdings müssen Konzentrator-Module exakt der Sonne nachgeführt werden, was die Kosten erhöht und bei Dachanlagen kaum möglich ist.	
7	Auch am unteren Ende der Preisliste – bei der Dünnschicht-Technologie – herrscht reger Wettbewerb. Das größte Potenzial wird den CIS-Zellen (siehe Glossar) zugesprochen. Das National Renewable Energy Laboratory der USA erreichte damit einen Wirkungsgrad von 19,8 Prozent – keine andere Dünnschicht-Technologie kann da bislang mithalten.	Auch am unteren Ende der Preisspanne, bei der Dünnschicht-Technologie, herrscht reger Wettbewerb. Das größte Wirkungsgradpotenzial wird so genannten CIS-Zellen zugesprochen. Das National Renewable Energy Laboratory der USA erreichte damit eine Effizienz von 19,8 Prozent.	7
	Allerdings sind industriell gefertigte Zellen noch weit von solchen Werten 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 Hansjörg Gabler, bis vor kurzem Leiter Photovoltaik im Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung.	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 Hansjörg Gabler, bis vor kurzem Leiter Photovoltaik im Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung.	
8	Anders sieht es schon heute bei den ebenfalls dünnen Cadmiumtellurid-Zellen aus: Module des Marktführers First Solar erreichen zwar nur maximal elf Prozent Wirkungsgrad, das aber nach Unternehmensangaben für nur 75 Euro-Cent pro Watt und damit weit preiswerter als CIS- und Silizium-Module. Sie benötigen wegen ihres geringeren Wirkungsgrades zwar für die gleiche Leistung mehr Fläche, können dafür aber besser als stromerzeugende Fassaden und Fenster in Gebäude integriert werden. Centrosolar etwa verkauft neuerdings Dünnschicht-Siliziumzellen als Folien für Flachdächer.	Langfristig sehen die Experten aber alle drei Dünnschichttechnologien – dazu zählen neben CIS- auch Cadmiumtellurid- und Dünnschichtsilizium-Zellen – bei Effizienzen weit jenseits der zehn Prozent und bei Kosten von unter 50 Cent pro Watt.	8
	360 Millionen für ein längeres Leben		
9	Organische Nanozellen könnten bald ebenfalls eine Option für die Gebäudeintegration sein. Die Firma G24i etwa produziert seit 2007 Farbstoffzellen in großtechnischem Maßstab.	Organische Nanozellen könnten in Zukunft ebenfalls eine Option für die Photovoltaik sein.	9
	Dabei wandelt ein Gemisch aus Titandioxid-Nanopartikeln und Farbstoffmolekülen – winzige Bällchen einer Ruthenium-Verbindung – ähnlich wie bei der Photosynthese Licht in Strom um.	Dabei wandelt ein Gemisch aus Titandioxid-Nanopartikeln und Farbstoffmolekülen – winzige Bällchen einer Ruthenium-Verbindung – ähnlich wie bei der Photosynthese Licht in Strom um. Die hauchdünnen Lichtsammler versprechen Produktionskosten, die weit unter denen konventioneller Solarmodule liegen.	
10	Die größte Schwäche solcher organischen Zellen ist, dass sie nach wenigen Jahren an Leistung verlieren.	Ihre Schwäche ist jedoch, dass sie schnell an Leistung verlieren, weil der ladungsträgerleitende Flüssigkeitsfilm bei intensiver Sonnenbestrahlung eintrocknet.	10
	Um das zu ändern, wollen das	Um die Massenfertigung zu rechtfertigen,	

Abs	Technology Review (6 / 2008)	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Abs
	Bundesforschungsministerium und große Unternehmen, darunter BASF, Bosch, Merck und Schott, die organische Photovoltaik mit zusammen 360 Millionen Euro fördern. Ziel ist es, organische Solarzellen mit mindestens zehn Prozent Wirkungsgrad und einer Lebensdauer von mehr als zwanzig Jahren zu entwickeln – zu Kosten, die weit unter denen konventioneller Siliziummodule liegen.	müssen länger haltbare Flüssigkeiten gefunden werden - Forscher weltweit suchen derzeit danach.	
		Strom aus Farbstoffolien	
11	Trotz der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Dünnschicht & Co. 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 relativ geringem Aufwand verbessern lasse. Wirkungsgradsteigerungen von bis zu einem Prozent sind etwa zu erreichen, indem Antireflexionsschichten mehr Strahlung nutzbar machen und Passivierschichten der Rekombination (siehe Glossar) entgegenwirken.	Trotz des großen Entwicklungspotenzials von Dünnschicht & Co. 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 Antireflexionsschichten mehr Strahlung nutzbar machen und Passivierschichten Ladungsträgerverlusten durch die sogenannte Rekombination entgegenwirken.	11
12	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 beim Druck große Kräfte auf, dem nur vergleichsweise dicke Zellen trotzen können.	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 beim Druck große Kräfte auf, dem nur dickere Zellen trotzen können.	12
	Wunderstoff in der Produktion		
13	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. Sein Institut arbeitet zusammen mit dem Photovoltaik-Hersteller Ersol außerdem an Rückseitenkontakten, die durch punktuell Laserbefeuern einer Aluminiumschicht gebildet werden. Auf diese Weise könnten papierdünne Wafer verwendet werden. In zwei bis drei Jahren will Ersol damit auf dem Markt sein.	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.	13
14	Weitere Effizienzgewinne verspricht monokristallines „n-Typ“-Silizium. Es hat bessere elektrische Eigenschaften als das derzeit meist verwendete „p-Typ“-Silizium. So überleben die Ladungsträger darin länger, was bei Rückkontaktzellen unabdingbar ist. Bislang allerdings ist es nur SunPower und Sanyo gelungen, den Wunderstoff in einen industriellen Prozess einzubinden. Wie, darüber ist kaum etwas bekannt.	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 Wunderstoff in	14

Abs	Technology Review (6 / 2008)	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Abs
		industrielle Prozesse einzubinden.	
15	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.	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.	15
16	Bisher werden EWT-Zellen nur von der US-Firma Advent Solar hergestellt. Sie erreichen Wirkungsgrade von 15,2 Prozent, sind also etwas effizienter als Standardzellen aus multikristallinem Silizium.		
	Die wirtschaftlich erreichbare Effizienz sieht Advent bei 17 Prozent – die bisherigen Low-Cost-Zellen dringen also in Regionen vor, die bisher monokristallinen Zellen vorbehalten waren.	Forscher sehen die wirtschaftlich erreichbare Effizienz von EWT-Zellen bei mehr als 17 Prozent – die bisherigen Low-Cost-Zellen dringen also in Regionen vor, die bisher monokristallinen Zellen vorbehalten waren.	