

Abs	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Erneuerbare Energien (8 / 2008)	Abs
	Photovoltaik <u>Wettlauf um den Wirkungsgrad</u> (Sascha Rentzing)	Wettlauf um den Wirkungsgrad (Sascha Rentzing)	
0	Ringen um Effizienz : Solarzellen sind in der Herstellung teuer. Neues Material verspricht mehr Leistung. Die Intersolar-Messe beginnt.	Die Effizienz von Solarzellen ist noch längst nicht ausgereizt. Forscher kämpfen an vielen Fronten um jeden Prozentpunkt.	0
1	Beiläufig verkündete Ulrich Stiebel kürzlich ein unbescheidenes Vorhaben :	Ganz beiläufig verkündete Ulrich Stiebel Ende letzten Jahres ein unbescheidenes Vorhaben : Sein Unternehmen Stiebel Eltron, bisher bekannt als Hersteller von Heizungstechnik, steigt in das Photovoltaikgeschäft ein — und strebt als Newcomer gleich einen Platz in der Weltspitze an.	1
	Mit einer neuen Solarzelle will der Unternehmer (Stiebel Eltron) einen Wirkungsgrad von 20 Prozent erreichen; derzeit kommen Standardzellen auf 15 bis 17,5 Prozent.	Mit einer neu entwickelten Solarzelle will Stiebel einen Wirkungsgrad von 20 Prozent erreichen; derzeit verfügbare Standardzellen kommen 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 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.	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 über 20 Prozent Wirkungsgrad und kommen damit dem Labor-Weltrekord von 24,7 Prozent, der von der University of New South Wales in Sydney gehalten wird, recht nahe.	2
	Lasern statt drucken		
3	Da die Sonne kostenlos vom Himmel strahlt, könnte einem Solaranlagenbetreiber der Wirkungsgrad seiner Module egal sein. Doch		
	der Wirkungsgrad beeinflusst die Wirtschaftlichkeit stärker als jeder andere Faktor bei der Herstellung:	Der Wirkungsgrad beeinflusst die Wirtschaftlichkeit stärker als jeder andere Faktor bei der Herstellung, einschliesslich der Skaleneffekte durch eine grössere Produktionsmenge:	3
	Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad senkt die Kosten um fünf Prozent, so die Faustregel , da pro Watt weniger Material benötigt wird.	Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad senkt, so die Faustregel , die Kosten um rund fünf Prozent, da pro Watt weniger Material benötigt wird.	
		Lasern statt drucken	
	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.	Allerdings lässt sich nicht alles, was im Labor mit einem hohen 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.	4
4	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.	Bei der vom Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) entwickelten Technologie befinden sich die Stromanschlüsse auf der Rückseite. sodass die Front nicht von Kontakten verschattet wird. Dadurch wird die Zelle effizienter, aber auch schwieriger produzierbar.	5

Abs	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Erneuerbare Energien (8 / 2008)	Abs
	Das ISFH hat jedoch nach eigenen Angaben einen industrietauglichen Herstell ungs prozess 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.	Das ISFH hat jedoch nach eigenen Angaben einen industrietauglichen Herstellprozess 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.	
5	Dieses Verfahren bringt neben einer höheren Effizienz einen weiteren Vorteil:		
	Dank Lasereinsatz kommen die Rise-Zellen mit dünneren und damit preiswerteren Silizium-Wafern aus.	Dank Lasereinsatz kommen die Rise-Zellen zudem mit dünneren und damit preiswerteren Wafern aus. In der Regel werden die Kontakte heute meist aufgedruckt, weshalb dickere Wafer verwendet werden müssen.	
		Stromerzeugende Fassade	
6	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 Freiburg. Allerdings müssen Konzentrator-Module exakt der Sonne nachgeführt werden, was die Kosten erhöht und bei Dachanlagen kaum möglich ist.	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 Freiburg. Allerdings müssen Konzentrator-Module exakt der Sonne nachgeführt werden, was die Kosten erhöht.	6
7	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. 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.	Auch am unteren Ende der Preisliste bei der Dünnschichttechnologie herrscht reger Wettbewerb. Das grösste Wirkungsgradpotenzial wird CIS-Zellen (siehe Glossar) zugesprochen. Das National Renewable Energy Laboratory der USA erreichte damit eine Effizienz von 19,8 Prozent. 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 Wasserstoffforschung.	7
8	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.	Langfristig sehen die Experten aber alle drei Dünnschichttechnologien — dazu zählen neben CIS- auch Cadmiumtellurid- und Dünnschichtsilizium-Zellen — bei Effizienzen weit über zehn Prozent.	
		Strom aus Farbstoffzellen	

Abs	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Erneuerbare Energien (8 / 2008)	Abs
9	Organische Nanozellen könnten in Zukunft ebenfalls eine Option für die Photovoltaik sein. 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.	Organische Nanozellen könnten in Zukunft ebenfalls eine Option für die Photovoltaik sein. 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.	8
10	Ihre Schwäche ist jedoch, 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 weltweit suchen derzeit danach.	Ihre Schwäche ist jedoch, 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.	
	Strom aus Farbstoffolien		
11	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.	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 sind etwa zu erreichen, indem Antireflexionsschichten mehr Strahlung nutzbar machen und Passivierschichten der Rekombination (siehe Glossar) entgegenwirken.	9
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 dickere 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.	
		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.	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.	10
14	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	Weitere Effizienzgewinne verspricht monokristallines «n-Typ»-Silizium (siehe Glossar). Es hat bessere elektrische Eigenschaften als das derzeit meist verwendete «p-Typ»-Silizium. 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	11

Abs	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Erneuerbare Energien (8 / 2008)	Abs
	handhabbaren Wunderstoff in industrielle Prozesse einzubinden.	handhabbaren Wunderstoff in 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.	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 (siehe Glossar). Um die Ladungsträger trotz der strukturellen Defekte des Materials an der Rekombination zu hindern, wird der Emitter — die Schicht, die Elektronen aus der Zelle zu den Kontakten leitet — durch viele lasergebohrte Löcher von der Front- auf die Rückseite geführt.	12
	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.	Forscher sehen die wirtschaftlich erreichbare Effizienz von EWT-Zellen bei über 17 Prozent - die bisherigen Low-Cost-Zellen dringen also in Regionen vor, die bisher monokristallinen Zellen vorbehalten waren.	
		Schlanke Kostensenker	
		Die Photovoltaik sorgt wegen ihrer hohen Kosten immer wieder für Schlagzeilen. Mit neuen siliziumfreien Dünnschichtmodulen, so die Hoffnung, könnte die Lücke bereits in wenigen Jahren geschlossen werden. Zwar erreichen die schlanken Lichtsammler nicht so hohe Effizienzen wie kristalline Siliziummodule, weshalb sie für die gleiche Leistung mehr Fläche benötigen, dafür versprechen sie kurzfristig deutlich geringere Herstellkosten. Denn bei dieser Technologie werden nur wenige Mikrometer dicke Schichten aus den Verbindungshalbleitern Cadmiumtellurid, CIS (siehe Glossar) oder Dünnschichtsilizium auf günstige Trägermaterialien wie Glas oder Plastikfolie aufgetragen. Konventionelle Module basieren dagegen auf mindestens 200 Mikrometer dicken Siliziumwafern, die energieaufwendig durch Zersägen von Siliziumblöcken hergestellt werden.	13
	Solar-Glossar	Solar-Glossar	
16	CIS-Technologie: CIS steht für Dünnschichtzellen aus Kupfer und Indium in Kombination mit Gallium, Selen oder Schwefel. Weitere Dünnschichttechnologien sind Zellen aus Cadmiumtellurid und Dünnschichtsilizium. Durchschnittlicher CIS-Wirkungsgrad: zehn Prozent.	CIS-Technologie: CIS steht für Dünnschichtzellen aus Kupfer und Indium in Kombination mit Gallium, Selen oder Schwefel. Weitere Dünnschichttechnologien sind Zellen aus Cadmiumtellurid und Dünnschichtsilizium. Durchschnittlicher CIS-Wirkungsgrad: zehn Prozent (siehe S. 9).	14
17	Monokristallines Silizium wird aus einer hochreinen Siliziumschmelze gewonnen. Aus ihr werden einkristalline Stäbe gezogen, die dann in dünne Scheiben, in Wafer, geschnitten werden. Durchschnittlicher Wirkungsgrad: 17 Prozent.	Monokristallines Silizium wird aus einer hochreinen Siliziumschmelze gewonnen. Aus ihr werden einkristalline Stäbe gezogen, die dann in dünne Scheiben, in Wafer, geschnitten werden. Durchschnittlicher Wirkungsgrad: 17 Prozent.	15
18	Multikristallines Silizium ist weniger hochwertig als monokristallines Silizium. Es wird in Blöcke	Multikristallines Silizium ist weniger hochwertig als monokristallines Silizium. Es wird in Blöcke	16

Abs	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Erneuerbare Energien (8 / 2008)	Abs
	gegossen und in Scheiben geschnitten. Bei Abkühlung bilden sich unterschiedlich große Kristallstrukturen, an deren Kanten Defekte auftreten, die niedrigere Effizienzen zur Folge haben. Durchschnittlicher Wirkungsgrad: rund 14 Prozent.	gegossen und in Scheiben geschnitten. Bei Abkühlung bilden sich unterschiedlich grosse Kristallstrukturen, an deren Kanten Defekte auftreten, die niedrigere Effizienzen zur Folge haben. Durchschnittlicher Wirkungsgrad: rund 14 Prozent.	
19	Rekombination bezeichnet den Vorgang in der Solarzelle, bei dem sich negative Elektronen wieder mit positiven Elektronenlöchern vereinen, aus denen sie zuvor vom Licht herausgeschlagen wurden. Diese Ladungsträger gehen dabei für die Solarstrom-Erzeugung verloren. Passivierende Schichten, die auf die Zellenoberfläche aufgetragen werden, verringern die Rekombination.	Rekombination bezeichnet den Vorgang in der Solarzelle, bei dem sich negative Elektronen wieder mit positiven Elektronenlöchern vereinen, aus denen sie zuvor vom Licht herausgeschlagen wurden. Diese Ladungsträger gehen dabei für die Solarstrom-Erzeugung verloren. Passivierende Schichten, die auf die Zellenoberfläche aufgetragen werden, verringern die Rekombination.	17
20	Wafer nennt man die aus Siliziumblöcken (Ingots) gesägten Siliziumscheiben. Sie werden zu Zellen weiterverarbeitet.		