

Abs	Technology Review (6 / 2008)	Messe Düsseldorf (7 / 2010)	Abs
	Wettlauf um den Wirkungsgrad (Sascha Rentzing)	Solartechnik wird effizienter (keine Autorenangabe)	
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.	Düsseldorf, 30. Juli 2010 - Der Wirkungsgrad von Photovoltaikmodulen ist noch längst nicht ausgereizt. Firmen kämpfen an vielen Fronten um jeden Prozentpunkt. Dabei rückt neben den Zellen und dem Herstellungsprozess auch das Modulglas ins Blickfeld. Denn neueste Gläser versprechen zusätzliche Effizienzgewinne und die Möglichkeiten sind noch lange nicht ausgeschöpft.	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. Mit einer neu entwickelten Solarzelle will Stiebel einen Wirkungsgrad von 20 Prozent erreichen; derzeit verfügbare Standardzellen kommen auf 15 bis 17,5 Prozent.	Der kalifornische Solarproduzent Sunpower beweist sich erneut als Innovationstreiber in der Photovoltaik (PV). Die Firma hat in einer industrienahen Fertigung eine Solarzelle hergestellt, die Sonnenlicht mit einem Wirkungsgrad von 24,2 Prozent in Strom umwandelt.	1
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 haben die Amerikaner die Effizienz ihrer Zellen in den vergangenen fünf Jahren um vier Prozentpunkte gesteigert und sind nun dicht dran am Weltrekord der University of New South Wales in Sydney. Bereits Ende der neunziger Jahre erreichten dort Forscher mit einer Siliziumzelle 24,7 Prozent Wirkungsgrad. Sunpowers Schlüssel zu hoher Effizienz ist das Rückkontaktkonzept.	
3	Da die Sonne kostenlos vom Himmel strahlt, könnte einem Solaranlagenbetreiber der Wirkungsgrad seiner Module eigentlich ziemlich egal sein.	„Wir verbannen sämtliche Stromanschlüsse unserer monokristallinen Silizium-Solarzellen auf die Rückseite“, erklärt Technologe Bill Mulligan. So wird die lichtzugewandte Front der Zellen nicht durch Metallbahnen verschattet und es fällt mehr Licht zur Energieproduktion ein. Die Technik ist wegen ihrer hohen Leistung sehr gefragt: Serienmäßig hergestellte Rückseitensammler erreichen knapp 23 und bezogen aufs Modul 19,5 Prozent Wirkungsgrad – gängige Siliziumpaneele liegen im Durchschnitt bei 13 bis 16 Prozent.	2
	Dennoch beeinflusst der Wirkungsgrad die Wirtschaftlichkeit stärker als jeder andere einzelne Faktor bei der Herstellung, einschließlich der Skaleneffekte durch eine größere Produktionsmenge:	Der Wirkungsgrad beeinflusst die Wirtschaftlichkeit stärker als jeder andere Faktor bei der Herstellung von Zellen und Modulen.	3
	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, so die Faustregel, die Kosten um rund fünf Prozent, da pro Watt weniger Material benötigt wird.	
	Lasern statt drucken		
4	Allerdings lässt sich nicht alles, was im Labor mit		

Abs	Technology Review (6 / 2008)	Messe Düsseldorf (7 / 2010)	Abs
	<p>einem hohen Wirkungsgrad glänzt, in der Massenfertigung mit vertretbarem Aufwand realisieren. Vor diesem Problem stand auch Stibel Eltron. Das Unternehmen setzt auf sogenannte Rise-Zellen (Rear Interdigitated Single Evaporation), bei denen sich die Stromanschlüsse auf der Rückseite befinden, sodass die Front nicht von Kontakten verschattet wird. Doch solche Zellen sind schwierig herzustellen:</p>		
	<p>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 Stibel den Photovoltaik-Einstieg bekannt gab, ins Spiel: 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>Bei Sunpower schlägt dieser kostensenkende Effekt aufgrund des teuren monokristallinen Halbleiters und der aufwendigen Produktion jedoch noch nicht durch. Rückseitensammler tragen Minus- und Pluspol auf der Rückseite. Sie müssen deshalb ineinander verschachtelt werden, um Kurzschlüsse zu vermeiden. „Das erfordert zusätzliche Prozessschritte und viel Know-how“, sagt Jan Schmidt vom Institut für Solarenergieforschung in Hameln (ISFH).</p>	
		<p>Mit Hi-Tech Glas zu mehr Effizienz</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 (Wafeln) arbeiten muss – Auskünfte darüber erteilt es nicht. Die Rise-Zellen aus dem ISFH sollen dank Lasereinsatz mit dünneren und damit preiswerteren Wafeln 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>Die Firmen suchen deshalb fieberhaft nach kosteneffizienteren Alternativen. Sanyo aus Japan zum Beispiel hat eine Mono-Zelle entwickelt, die von Schichten aus günstigem amorphem Silizium umgeben ist. Sie dienen vor allem als Barriere, die verhindert, dass im Kristall erzeugte Ladungsträger an dessen Oberfläche verloren gehen. Dadurch steigt die Effizienz der Zellen auf 20,7 Prozent, die Module schaffen 18,2 Prozent. Alfasolar aus Hannover setzt dagegen für Optimierungen am Modul an. Das Unternehmen verwendet multikristalline Zellen des belgischen Herstellers Photovoltech mit bis zu 17 Prozent Effizienz und verpackt die kleinen Kraftmeier hinter Modulglas mit pyramidenförmigen Strukturen. An der Glasinnenseite werden austretende Strahlen so reflektiert, dass sie erneut auf die Zellen treffen – also quasi eine neue Chance zur Absorption erhalten, falls sie nicht schon beim ersten Kontakt mit dem Silizium in Strom umgewandelt worden sind. So holt Alfasolar maximale Power aus den Zellen – der Modulwirkungsgrad beträgt 15,4 Prozent.</p>	4

Abs	Technology Review (6 / 2008)	Messe Düsseldorf (7 / 2010)	Abs
		<p>Immer mehr Hersteller nutzen inzwischen Antireflexionsgläser für Effizienzsteigerungen, wobei Lichtfallen nur ein Weg zu einer besseren Photonenausbeute sind. Centrosolar Glas aus Fürth zum Beispiel durchsetzt die Antireflexschichten seiner Gläser mit winzigen Luftporen, die für einen weicheren Übergang des Lichts sorgen. Strukturierte und beschichtete Solargläser bringen einen weiteren Vorteil mit sich: Ihre Oberfläche ist glatter als die konventioneller Gläser, da sie durch Walzen stark verdichtet werden. Dadurch perlen Dreck und Wasser wie am Blatt einer Lotusblume ab und behindern somit den Lichteinfall nicht. Glasspezialisten werden ihre Innovationen vom 28. September bis 1. Oktober 2010 zur Weltleitmesse der Glasindustrie, glasstec, beziehungsweise zur parallel stattfindenden Fachmesse für solare Produktionstechnik, solarpeq, in Düsseldorf zeigen.</p>	5
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.</p>	<p>Bei der konzentrierenden PV geht es ebenfalls um geschickte Lenkung des Lichts. Die Module enthalten Spiegel oder Linsen, die Strahlung auf eine winzige Zelle konzentrieren. Die effizientesten unter ihnen erreichen Wirkungsgrade von bis zu 40 Prozent.</p>	6
	<p>„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, aus dem Concentrix als Spin-off hervorgegangen ist.</p>	<p>„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.</p>	
	<p>Allerdings müssen Konzentration-Module exakt der Sonne nachgeführt werden, was die Kosten erhöht und bei Dachanlagen kaum möglich ist.</p>	<p>Allerdings müssen Konzentration-Module exakt der Sonne nachgeführt werden, was die Kosten erhöht und bei Dachanlagen kaum möglich ist.</p>	
		<p>Solarzellen im Nanoformat</p>	
7	<p>Auch am unteren Ende der Preisliste – bei der Dünnschicht-Technologie – herrscht reger Wettbewerb. Das größte Potenzial wird den CIS-Zellen (siehe Glossar) zugesprochen.</p>	<p>Auch bei der Dünnschichttechnik herrscht reger Wettbewerb. Das größte Wirkungsgradpotenzial wird CIS-Zellen zugesprochen. Die Abkürzung steht für halbleitende Verbindungen aus Kupfer, Indium, Gallium, Selen oder Schwefel.</p>	7
	<p>Das National Renewable Energy Laboratory der USA erreichte damit einen Wirkungsgrad von 19,8 Prozent – keine andere Dünnschicht-Technologie kann da bislang mithalten.</p>	<p>Das National Renewable Energy Laboratory der USA erreichte damit eine Effizienz von 20,3 Prozent.</p>	
	<p>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</p>	<p>Allerdings sind industriell gefertigte Zellen hiervon noch weit entfernt, und bei den Produktionskosten haben sie sich noch nicht von der kristallinen Konkurrenz abgesetzt. „Für CIS existieren einfach noch zu kleine Produktionseinheiten. Erst wenn die Massenproduktion läuft, werden die Kosten</p>	

Abs	Technology Review (6 / 2008)	Messe Düsseldorf (7 / 2010)	Abs
	<p>„sinken“, sagt Hansjörg Gabler, bis vor Kurzem Leiter Photovoltaik im Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung.</p>	<p>„sinken“, sagt EU-Energieexperte Arnulf Jäger-Waldau.</p>	
8	<p>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.</p>	<p>Dünnschichtmodule aus Cadmium-Tellurid sind weiter entwickelt. Die US-Firma First Solar fertigt sie bereits für 0,60 Euro pro Watt. Die wenigsten Hersteller produzieren Module schon für weniger als ein Euro pro Watt.</p>	
9	<p>Organische Nanozellen könnten bald ebenfalls eine Option für die Gebäudeintegration sein. Die Firma G24i etwa produziert seit 2007 Farbstoffzellen in großtechnischem Maßstab.</p>	<p>Nanozellen sind ebenfalls eine Option für die PV.</p>	8
	<p>Dabei wandelt ein Gemisch aus Titandioxid-Nanopartikeln und Farbstoffmolekülen – winzige Bällchen einer Ruthenium-Verbindung – ähnlich wie bei der Photosynthese Licht in Strom um.</p>	<p>Dabei wandeln winzige Kunststoff- oder Farbstoffpartikel Licht in Energie um. Heliatek aus Dresden zum Beispiel hat ein Verfahren entwickelt, bei dem Farbstoffmoleküle im Vakuum großflächig auf Plastikfolie aufgedampft werden. Da dabei nur wenig Material und Energie benötigt werden, sinken die Produktionskosten. Die Sachsen streben 0,40 Euro pro Watt an und würden damit weit unter den Kosten konventioneller Solarmodule liegen.</p>	
10	<p>Die größte Schwäche solcher organischen Zellen ist, dass sie nach wenigen Jahren an Leistung verlieren. Um das zu ändern, wollen das 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.</p>	<p>Die große Schwäche der Nanozellen ist jedoch, dass sie schnell an Leistung verlieren, weil die als Halbleiter eingesetzten Polymere und Farbstoffe schnell degenerieren. Doch wegen der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten arbeiten Forscher eifrig daran, ihre Haltbarkeit zu verbessern.</p>	
		<p>So lassen sich die schlanken Stromgeneratoren dank ihres geringen Gewichts und ihrer Flexibilität gut als stromerzeugende Glasfassaden oder Fenster in Gebäude integrieren. Experten sprechen dem Marktsegment der Gebäudeintegration großes Wachstumspotenzial zu. Den Maschinen- und Anlagenbauern bietet die Nano-PV ein neues Betätigungsfeld. Unternehmen wie Centrotherm, Leybold Optics oder Von Ardenne, die Ihre Innovationen zur solarpeq vorstellen werden, beliefern bereits Dünnschicht-Produzenten oder Hersteller</p>	9

Abs	Technology Review (6 / 2008)	Messe Düsseldorf (7 / 2010)	Abs
		organischer Leuchtdioden (OLED) mit Beschichtungsanlagen. Diese Maschinen werden verstärkt auch die Hersteller von organischen oder Farbstoffzellen nachfragen. Zur glasstec wird es im Rahmen der Sonderschau glass technology live Beispiele für ästhetische fassadenintegrierte Photovoltaik bzw. Multifunktionsfassaden zu sehen geben.	
		Silizium weiter dominierend	
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 ISE, an die Zukunft der Siliziumzellen, 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 bessere Antireflexionsschichten mehr Strahlung nutzbar machen und neue sogenannte Passivierschichten Ladungsträgerverlusten an der Kristalloberfläche entgegenwirken.	10
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.	
	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 punktuellen 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 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.	
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 „N-Typ“-Silizium, ein mit Bor angereicherter, positiv leitender Absorber. Diese spezielle Siliziumvariante hat besonders gute elektrische Eigenschaften, ist wegen des reaktionsfreudigen Bor in der Produktion jedoch schwer handhabbar. So ist eine optimale Passivierung von N-Typ-Zellen mit gängigen Barrierschichten nicht zu erreichen. Der chinesische PV-Konzern Yingli Solar hat in Kooperation mit dem Energieforschungszentrum der Niederlande (ECN) und dem US-Anlagenbauer Amtech Systems nun einen	11

Abs	Technology Review (6 / 2008)	Messe Düsseldorf (7 / 2010)	Abs
		industrietauglichen Prozess für die N-Typ-Zelle gefunden. Die Module, die Yingli vom Herbst 2010 an aus den neuen Lichtsammlern fertigen will, sollen bis zu 16,5 Prozent des Lichts in Energie umwandeln und mit 190 bis 315 Watt locker so viel Leistung wie gute Paneele westlicher Produzenten bringen.	
15	<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.</p>	<p>Eine Alternative dazu könnten sogenannte „Metallization Wrap Through“-Zellen (MWT) sein. Dabei werden die für die Verschaltung im Modul nötigen Stromsammelschienen auf die Rückseite der Zellen verlegt und über 16 in den Wafer gebohrte Löcher mit den Metallkontakten auf der Frontseite verbunden. Durch dieses Durchfädeln der Metallisierung verringert sich der Schattenwurf.</p>	12
16	<p>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.</p>	<p>Damit ist MWT gewissermaßen die leichter umzusetzende Vorstufe der von Sunpower gefertigten Rückseitensammler, denn im Gegensatz dazu bleiben die Kontakte auf der Vorderseite. Nichtsdestotrotz lässt sich durch diese „einfache“ Maßnahme die Effizienz deutlich steigern. Das ECN und der norwegische PV-Konzern REC erreichten im Dezember 2009 mit Modulen aus sogenannten MWT-Zellen aus multikristallinem Silizium 17 Prozent Wirkungsgrad. Die Kooperative übertraf damit den bis dahin von den Sandia National Laboratories in den USA gehaltenen Wirkungsgradrekord für MWT-Zellen um 1,5 Prozentpunkte. Selbst mit dem Standardhalbleiter sind damit inzwischen Effizienzen möglich, die bisher nur mit teuren Hocheffizienzzenen erreicht wurden.</p>	
	<p>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.</p>	<p>Welche Optimierungsmöglichkeiten die PV-Hersteller auch immer nutzen, letztendlich entscheiden innovative Produktionsverfahren über konkurrenzfähige Herstellungskosten. Hier profitiert die PV-Branche unter anderem von dem Spezialwissen der Unternehmen aus der Glasbranche mit Ihrer Erfahrung im Bedampfen, Bedrucken, Laminieren oder der Neuentwicklung von Spezialgläsern. Zur glastec und solarpeq kommen in Düsseldorf beide Branchen erstmals in dieser Form zusammen – eine gute Basis für mehr Wirkungsgrad in der Zukunft.</p>	13