

Abs	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
	Photovoltaik <u>Wettlauf um den Wirkungsgrad</u> (Sascha Rentzing)	<u>Die perfekte Zelle</u> (Sascha Rentzing, Auszug: 1-3)	<u>Die perfekte Solarzelle</u> (Sascha Rentzing)	
0	Ringen um Effizienz: Solarzellen sind in der Herstellung teuer. Neues Material verspricht mehr Leistung. Die Intersolar-Messe beginnt.	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	
		Auch wenn Rezession und Bankenkrise derzeit unsere Haupt Sorgen 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
		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	In Deutschland kostet der Solarstrom aktuell noch mehr als 0,30 Euro pro kWh. Diesen Preis bestimmt	

Abs	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
		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 .	das EEG, um der Branche einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen .	
		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.	
1	Beiläufig verkündete Ulrich Stiebel kürzlich ein unbescheidenes Vorhaben: Mit einer neuen Solarzelle will der Unternehmer (Stiebel Eltron) einen Wirkungsgrad von 20 Prozent erreichen ; derzeit kommen Standardzellen auf 15 bis 17,5 Prozent.		Deutliche Kostenersparnisse lässt zum Beispiel eine neue Solarzelle erwarten, die die Firma Stiebel Eltron , Holzinden, in Kürze produzieren will . Sie soll einen Wirkungsgrad von mehr als 20% erreichen ; derzeit kommen Standardzellen auf 15 bis 17,5%.	
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 viel diskutiertes 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 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.	3
	Lasern statt drucken		Wettlauf um den Wirkungsgrad	
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:		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:	4

Abs	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
	<p>Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad senkt die Kosten um fünf Prozent, so die Faustregel, 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 Fragzeichen.</p>	<p>Jeder Prozentpunkt Wirkungsgrad senkt, so eine Faustregel, die Kosten um fünf bis sieben Prozent, da pro Watt Leistung weniger Zell-beziehungsweise 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 Fragzeichen.</p>	
4	<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>		<p>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.</p>	5
	<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>		<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>	6
5	<p>Dieses Verfahren bringt neben einer höheren Effizienz einen weiteren Vorteil: Dank Lasereinsatz kommen die Rise-Zellen mit dünneren und damit preiswerteren Silizium-Wafern aus.</p>		<p>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.</p>	
			Lichtbündelnde Module	
6	<p>Noch effizienter als Hochleistungszellen aus kristallinem Silizium sind lichtbündelnde Systeme. Dabei</p>		<p>Noch effizienter als Hochleistungszellen aus kristallinem Silizium sind lichtbündelnde Systeme. Dabei</p>	7

Abs	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
	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 Konzentratormodule exakt der Sonne nachgeführt werden, was die Kosten erhöht und bei Dachanlagen kaum möglich ist.		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	Auch am unteren Ende der Preisspanne, bei der Dünnschicht- Technologie , herrscht reger Wettbewerb. Das größte Wirkungsgradpotenzial wird so genannten CIS-Zellen zugesprochen.		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 aus Kupfer, Indium, Gallium, Schwefel oder Selen.	8
	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.		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.	
			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.	9
8	Langfristig sehen die Experten aber alle drei		Langfristig sehen die Experten aber alle drei	

Abs	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
	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.		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.	
			Gedruckte Solarzellen	
9	Organische Nanozellen könnten in Zukunft ebenfalls eine Option für die Photovoltaik sein.		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.	10
	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.		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.	
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 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 weltweit suchen derzeit danach.	
	Strom aus Farbstofffolien			
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		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	

Abs	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
	Strahlung nutzbar machen und Passivierschichten Ladungsträgerverlusten durch die sogenannte Rekombination entgegenwirken.		mehr Strahlung nutzbar machen und neue Passivierschichten Ladungsträgerverlusten 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.	
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 bei dem Druck große Kräfte auf, denen nur dickere Zellen trotzen können.	11
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.	
			Wunderstoff in der Produktion	
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 handhabbaren Wunderstoff in industrielle Prozesse einzubinden.		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.	12
15	Eine Alternative dazu könnten sogenannte "Emitter Wrap Through"-Zellen (EWT) sein. Diese Rückkontaktzellen sind weniger effizient, aber		Eine Alternative dazu könnten sogenannte „Emitter-Wrap-Through“-Zellen (EWT) sein. Diese Rückkontaktzellen sind weniger effizient, aber	13

Abs	Frankfurter Rundschau (12.6.2008)	Spektrum der Wissenschaft (9 / 2009)	Wasserkraft & Energie (7 / 2010)	Abs
	günstiger herzustellen, denn sie bestehen aus unreinerem multikristallinem Silizium.		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 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 EVVT-Zellen bei mehr als 17% — die bisherigen Low-Cost-Zellen dringen also in Regionen vor, die bisher monokristallinen Zellen vorbehalten waren.	