

Abs	Neue Energie (6 / 2016)	VDI Nachrichten (8.7.2016)	Abs
	Solar <b>Effizienz rauf, Kosten runter</b> (Sascha Rentzing)	Photovoltaik <b><u>Dünnschicht-Solartechnik nimmt neuen Anlauf</u></b> (Sascha Rentzing)	
0	Nach überstandener Krise gewinnen Forschung und Entwicklung in der Solarbranche wieder an Stellenwert. In allen Technikbereichen der Photovoltaik sorgen verbesserte Zellen für höhere Wirkungsgrade.	Dünnschichtmodule können Solarstrom wesentlich günstiger erzeugen als die gängige Siliziumtechnik – dieses Versprechen der Hersteller steht seit Jahren unerfüllt im Raum. Doch das könnte sich bald ändern: Mit optimierten Prozessen und neuen Materialien treiben Entwickler den Wirkungsgrad der schlanken Stromgeneratoren und senken die Produktionskosten.	0
1	Vor zehn Jahren kostete Solarstrom aus großen Freilandanlagen noch mehr als 40 Cent. Das hat sich geändert:		
	Nach einer Studie des Freiburger Fraunhofer-Instituts Ise im Auftrag des Thinktanks Agora Energiewende werden die Erzeugungskosten bis 2025 auf vier bis sechs Cent sinken.	Experten schätzen, dass durch den technischen Fortschritt die Erzeugungskosten für Solarstrom bis zum Jahr 2025 von aktuell 7,5 Cent auf 4 Cent bis 6 Cent pro kWh sinken werden.	1
2	Der wesentliche Grund für diese Prognose ist, dass Experten bei Solarzellen und Modulen noch viel Luft für Effizienzsteigerungen sehen. Der Wirkungsgrad ist für die Wirtschaftlichkeit einer Solaranlage das entscheidende Kriterium. Laut Branchenformel sinken mit jedem Prozentpunkt mehr Effizienz die Kosten um fünf Prozent, weil sich dadurch der Materialbedarf verringert.		
	Nach überstandener Absatzkrise zieht das Rennen um Wirkungsgrade nun wieder an.	Nach überstandener Absatzkrise in der Photovoltaik geht das Rennen um Wirkungsgrade in eine neue Runde.	1
	Denn durch den aktuellen Boom in Asien und den USA verdienen die Unternehmen wieder mehr Geld. Das können sie in die Weiterentwicklung ihrer Produkte stecken.	Durch den aktuellen Boom in Asien und den USA verdienen die Unternehmen wieder mehr Geld, das sie in die Weiterentwicklung ihrer Produkte stecken können.	
	Auch deutsche Firmen und Institute beteiligen sich an dem Wettlauf. „Die globale Nachfrage nach Photovoltaik-Technologie wächst stetig. Deutschland kann mit Solar-Systemen der nächsten Generation vom Wachstum dieses Zukunftsmarkts profitieren“, sagt Carsten Körnig von Solarverband BSW.	Auch deutsche Firmen und Institute beteiligen sich an dem Wettlauf. „Die globale Nachfrage nach Photovoltaiktechnologie wächst stetig. Deutschland kann mit Solarsystemen der nächsten Generation vom Wachstum dieses Zukunftsmarkts profitieren“, sagt Carsten Körnig, Hauptgeschäftsführer des Bundesverbands Solarwirtschaft (BSW).	
3	Vor allem in der Silizium-Photovoltaik steigt die Zahl der Forschungsprojekte wieder.	Vor allem die Siliziumphotovoltaik gilt als Treiber des Fortschritts.	2
	Kristalline Standardzellen erreichen derzeit einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 20 Prozent, ihr praktisches Limit wird bei 26 Prozent gesehen – diesem Wert wollen sich die Entwickler mit neuen Zellenstrukturen nun konsequent nähern. Zwar kommen sogenannte Heterojunction-Zellen und Rückseitensammler den angestrebten 26 Prozent bereits recht nahe, doch der Aufbau der Zellen ist komplex und erfordert zusätzliche Fertigungsschritte. So basiert etwa das Konzept	Kristalline Standardzellen erreichen derzeit einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 20 %, ihr Limit im praktischen Einsatz wird bei 26 % gesehen – diesem Wert wollen sich die Entwickler in zahlreichen Forschungsprojekten konsequent nähern.	

Abs	Neue Energie (6 / 2016)	VDI Nachrichten (8.7.2016)	Abs
	<p>des Rückseitensammlers, bei dem die US-Firma Sunpower Vorreiter ist, auf einer völlig verschattungsfreien Front — Sonnenlicht soll ungehindert in den Halbleiter vordringen können. Hierzu müssen allerdings sämtliche Stromkontakte auf den Zellenrücken verlegt und dieser mit besonderen Strukturen versehen werden, was mit viel Aufwand und zusätzlichen Kosten verbunden ist. Ziel sind daher Hocheffizienzzellen, die ohne teure Prozesse auskommen.</p>		
	<p><b>Neuer Ansatz beim Silizium</b></p>		
4	<p>Einen Weg bieten neuartige „Topcon“-Zellen des Fraunhofer Ise, die einen Wirkungsgrad von 25,1 Prozent ermöglichen. „Bisher wurden zur Steigerung des Wirkungsgrads von Solarzellen immer komplexe Solarzellenstrukturen verwendet. Der große Vorteil an unserem Konzept ist, dass wir durch die Entwicklung einer neuartigen Rückseitenstruktur den Kontakt ganzflächig und strukturierungsfrei aufbringen können“, sagt Ise-Wissenschaftler Martin Hermle. Dadurch vereinfache sich die Herstellung im Vergleich zu den momentan verwendeten hocheffizienten Zellenstrukturen und erhöhe sich dennoch die Effizienz. Denn die neue Rückkontaktschicht (Tunnel Oxide Passivated Contact) bewirke, dass der Strom mit geringeren Verlusten aus der Zelle abgeleitet werden könne. Hermle schätzt, dass Topcon-Zellen in zwei bis drei Jahren mit handelsüblichen Ausmaßen produziert werden könnten. Für die Massenproduktion geeignete Verfahren werden nach seiner Einschätzung aber noch fünf bis zehn Jahre Entwicklungszeit benötigen.</p>		
5	<p>Noch effizienter als Siliziumzellen sind Mehrfachsolarzellen, die aus mehreren Schichten verschiedener Halbleiter wie Gallium, Germanium oder Indium bestehen. Die Materialien sprechen auf verschiedene Spektralbereiche des Sonnenlichts an, entsprechend hoch ist der Wirkungsgrad der Zelle: Der aktuelle Effizienzrekord, gehalten vom Fraunhofer Ise, liegt bereits bei 46 Prozent. Die Technik hat jedoch einen Haken: Da die Materialien schwer verfügbar und sehr teuer sind, können die Zellen nur in der Größe eines Fingernagels konzipiert werden. Das Modul beinhaltet daher eine zusätzliche Linse, die das Licht in hoher Konzentration auf die Zelle bündelt. Ein weiterer Nachteil: Die Module müssen mithilfe sogenannter Tracker exakt der Sonne nachgeführt werden, da die Hightech-Zellen ihre Stärken sonst nicht richtig ausspielen</p>		

Abs	Neue Energie (6 / 2016)	VDI Nachrichten (8.7.2016)	Abs
	<p>können. Noch steht der Durchbruch der im Vergleich zur Silizium-Photovoltaik aufgrund ihres komplexen Aufbaus recht teuren Systeme aus. Doch Ise-Wissenschaftler glauben, dass sich die Konzentration-Photovoltaik (CPV) bei den inzwischen möglichen Wirkungsgraden in Ländern mit viel direkter Sonnenstrahlung lohnt, etwa in Indien. Im April startete das Institut daher eine Kooperation mit der indischen Forschungseinrichtung Netra. „Wir wollen in erster Linie einen Wissenstransfer speziell im Bereich CPV erreichen“, sagt Ise-Spezialist Gerald Siefer.</p>		
6	<p>Auch die Anbieter von Dünnschichttechnik ringen um größere Marktanteile.</p>	<p>Doch auch in der Dünnschichtphotovoltaik entwickeln sich Innovationen rasch, besonders bei Modulen auf Basis der halbleitenden Elemente Kupfer, Gallium, Indium und Selen (CIGS).</p>	
	<p>Obwohl Dünnschichtmodule aufgrund ihres relativ geringen Materialverbrauchs immer wieder als Nachfolgerin der Siliziumtechnik ins Spiel gebracht wurden, haben es bisher</p>	<p>Obwohl Dünnschichtmodule aufgrund ihres relativ geringen Materialverbrauchs immer wieder als Nachfolger der Siliziumtechnik ins Spiel gebracht wurden, haben sie bisher wenig Marktrelevanz, weil ihre Entwicklung kaum mit der der kristallinen Technik mithalten konnte.</p>	3
		<p>Allerdings sieht sich die aufstrebende CIGS-Technik starker Konkurrenz gegenüber.</p>	9
	<p>nur Cadmiumtellurid-</p>	<p>Auch Dünnschichtmodule auf Basis von Cadmiumtellurid werden effizienter.</p>	
	<p>Paneele der US-Firma First Solar zu größerer Marktrelevanz geschafft. Ihr durchschnittlicher Wirkungsgrad liegt mittlerweile bei knapp 17 Prozent, Spitzenmodule erreichen sogar bereits 18,6 Prozent.</p>	<p>Module der US-Firma First Solar erreichen im Durchschnitt mittlerweile knapp 17 % Wirkungsgrad, ihre Spitzenmodule sogar 18,2 %.</p>	
	<p>Damit stößt First Solar in Regionen vor, die bisher Siliziummodulen vorbehalten waren, und das offenbar zu geringeren Fertigungskosten.</p>	<p>Damit kommt sie heute schon auf Werte, die bei CIGS-Modulen erst in vorindustrieller Produktion realisiert werden. Dabei schafft First Solar offenbar sehr wettbewerbsfähige Kosten:</p>	
	<p>Der Analyst Jeffrey Osborne sagte jüngst der Agentur Bloomberg, First Solar produziere Module teilweise nur noch für 40 US-Cent pro Watt, günstiger als die chinesischen Produzenten.</p>	<p>Analysten zufolge produziert das Unternehmen teilweise für 40 US-Cent/W und damit günstiger als die chinesischen Produzenten kristalliner Siliziummodule. Und die Amerikaner haben noch viel vor. Mittelfristig ist eine durchschnittliche Moduleffizienz von 19 % angepeilt, die vor allem durch eine wirkungsvollere Zusammensetzung des Halbleiters erreicht werden soll. Im Rennen um Wirkungsgrade und geringe Kosten holt die Dünnschicht auf.</p>	
	<p>Als nächstes könnten nun auch Dünnschichtmodule aus Kupfer, Indium, Gallium und Selen, die sogenannte Cigs-Technik, vor einem entscheidenden Schritt stehen, denn nach Angaben von Michael Powalla vom Stuttgarter Institut ZSW erreichten diese inzwischen das gleiche Kostenniveau wie Cadmiumtellurid-</p>	<p>Doch nun beschleunigen sich die Fortschritte: Forscher des Stuttgarter Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) haben im Juni auf einer Versuchszelle einen Wirkungsgrad von 22,6 % erreicht und damit den bisherigen Effizienzweltrekord von 22,3 %,</p>	3

Abs	Neue Energie (6 / 2016)	VDI Nachrichten (8.7.2016)	Abs
	Module.		
	„Die Produktionskosten der Cigs-Technologie betragen selbst bei kleinen Fabriken lediglich 40 US-Cent pro Watt.“	„Die Produktionskosten der CIGS-Technologie betragen selbst bei kleinen Fabriken lediglich 40 US-Cent/W.“	4
	Nach einem Ausbau der Produktionskapazitäten seien sogar deutlich bessere Werte möglich, so Powalla.	Durch höhere Wirkungsgrade und nach einem Ausbau der CIGS-Produktionskapazitäten sei sogar eine Halbierung der Kosten möglich, sagt Powalla.	
	<b>Hoffnung für Cigs</b>		
7	Auch beim Wirkungsgrad hat Cigs in den vergangenen Jahren kontinuierlich zugelegt. Das ZSW erreichte im Februar mit diesen Dünnschichtzellen dank optimierter Fertigungsprozesse 22 Prozent Effizienz,	In den kommenden Monaten wollen ZSW-Forscher mit dem CIGS-Linienanbieter Manz die Ergebnisse vom Labor auf die Massenproduktion übertragen.	3
	die japanische Firma Solar Frontier kommt im Labor sogar schon auf 22,3 Prozent.	gehalten von der japanischen Firma Solar Frontier, übertroffen.	4
	Mit derartigen Zellen sei es möglich, den Wirkungsgrad der Module von derzeit durchschnittlich 14 auf 18 Prozent zu erhöhen, sagt Powalla.	Mit derartigen Zellen sei es möglich, den Wirkungsgrad von CIGS-Modulen von durchschnittlich 14 % auf 18 % zu erhöhen, sagt ZSW-Experte Michael Powalla. Damit würde die Technik in Effizienzregionen vorstoßen, die bisher den marktdominierenden multikristallinen Siliziummodulen vorbehalten waren. Und das nach Angaben von Powalla zu geringeren Kosten. Das entspricht in etwa dem heutigen Niveau von Siliziummodulen.	
	Die ostdeutsche Firma Avancis arbeitet bereits mit hocheffizienten Cigs-Absorbern. Ein 30 mal 30 Zentimeter großes Modul, das auf einem seriengefertigten Cigs-Absorber hergestellt werde, bringe es auf 17,9 Prozent Wirkungsgrad, verkündete die Firma im Mai.	Die ostdeutsche Firma Avancis arbeitet bereits mit effizienter CIGS-Technik. Ein 30 cm x 30 cm großes Modul, das auf einem seriengefertigten CIGS-Absorber gefertigt wurde, erreicht nach Firmenangaben einen Wirkungsgrad von 17,9 %.	5
	„Damit kommen unsere Produkte zunehmend auch für flächenbeschränkte Installationen in Frage, die bisher von herkömmlichen Siliziummodulen dominiert wurden“, sagt Avancis-Technikchef Jörg Palm.	„Damit kommen unsere Produkte zunehmend auch für flächenbeschränkte Installationen infrage, die bisher von herkömmlichen Siliziummodulen dominiert wurden“, sagt Avancis-Technikchef Jörg Palm.	
	Von dem Potenzial der Cigs-Technik sind offenbar auch Investoren überzeugt.	Die Technik hat auch Investoren überzeugt:	6
	Baukonzern und Avancis-Mutter CNBM aus China etwa errichtet in seiner Heimat derzeit eine Solarfabrik mit einer Jahreskapazität von 1,5 Gigawatt, in der ab 2017 Module auf Basis der Avancis-Technik gefertigt werden sollen.	Die chinesische Avancis-Mutter, der Baukonzern CMBM, errichtet in ihrer Heimat derzeit eine Solarfabrik mit einer Jahreskapazität von 1,5 GW. Ab 2017 sollen dort Module auf Basis der ostdeutschen Technik gefertigt werden.	
8	Nicht nur in der Silizium-, Dünnschicht- und Konzentrator-Photovoltaik geht es voran, auch am unteren Ende der Wirkungsgradskala, bei den organischen Solarzellen, gibt es Fortschritte. Sie werden produziert, indem winzige photoaktive Moleküle auf Glas oder Folie abgeschieden werden. Das ist weniger aufwendig als die Produktion von kristallinen Siliziumzellen, die nach und nach aus einem massiven Siliziumblock entstehen. Außerdem sind Solarfolien relativ	Unterdessen arbeitet Avancis an weiteren produktionstechnischen Verbesserungen. So ist das Unternehmen unter anderem an dem von der Bundesregierung mit 5,5 Mio. € geförderten Projekt „TCO4CIGS“ beteiligt, im Rahmen dessen sich die Projektpartner aus Industrie und Forschung auf die Optimierung der elektrisch leitfähigen Fensterschicht, der sogenannten TCO-Schicht, konzentrieren. Diese übernimmt in Dünnschichtmodulen die Aufgabe des	7

Abs	Neue Energie (6 / 2016)	VDI Nachrichten (8.7.2016)	Abs
	<p>leicht und gut handhabbar, sodass sie als stromerzeugende Fenster für Gebäudefassaden eingesetzt werden könnten. Bisher scheiterte der kommerzielle Einsatz der Technik jedoch an dem vergleichsweise geringen Wirkungsgrad und der niedrigen Lebensdauer — die photoaktiven Moleküle bauen sich bereits nach kurzer Zeit ab.</p>	<p>Frontkontakts, über den der Strom aus der Zelle abgeleitet wird. Bisher verwendet die Industrie als Schichtmaterial meist mit Aluminium angereichertes Zinnoxid, das jedoch nur begrenzt Effizienzsteigerungen zulässt.</p>	
	<p>Die Dresdner Firma Heliatek, die Solarfolien im effizienten Rolle-zu-Rolle-Verfahren herstellt, gilt aber als Hoffnungsträger. Sie steigerte den Wirkungsgrad organischer Zellen in den vergangenen zehn Jahren von drei auf 13,2 Prozent. Nun geht es nach Firmenangaben darum, die Effizienz auf 15 Prozent zu erhöhen und die Serienproduktion auszubauen. Ziel sei es, die flexiblen Zellen in naher Zukunft in großen Volumina herzustellen.</p>	<p>Deshalb forschen die Experten unter anderem an optimierten TCO-Schichten aus neuen, indiumbasierten Materialien, die Wirkungsgrade bei gleichen oder geringeren Herstellungskosten um ein bis zwei Prozentpunkte steigern können. Diese zeigten eine höhere Ladungsträgerbeweglichkeit und könnten bei gleicher Funktion dünner aufgetragen werden, wodurch sich die Kosten entsprechend reduzierten, sagt Dünnschichtexperte Reiner Klenk vom Helmholtz-Zentrum Berlin.</p>	8
9	<p>Die Ideen der Wissenschaftler gehen aber noch über die bereits bekannten Zellengattungen hinaus. Um den Wirkungsgrad weiter in die Höhe zu treiben, kombinieren sie einzelne Techniken miteinander. Ein neues, vielversprechendes Duo könnten Siliziumzellen und Zellen auf Basis von Perowskit bilden. Dabei handelt es sich um ein Mineral, das besonders gegenüber grünem und blauem Licht empfindlich ist. Silizium wandelt dagegen vor allem rotes und infrarotes Licht in elektrische Energie um. Durch Kombination beider Halbleiter wird ein Großteil des Sonnenspektrums genutzt, und der Wirkungsgrad kann theoretisch auf mehr als 25 Prozent steigen. Wissenschaftlern aus Berlin und Lausanne ist es bereits gelungen, eine Tandemzelle aus beiden Materialien mit einer Effizienz von 18 Prozent herzustellen. Bevor Perowskite jedoch im größeren Stil eingesetzt werden können, müssen die Forscher zwei wesentliche Probleme lösen. Zum einen sind die Zellen sehr empfindlich gegenüber Feuchtigkeit, sodass sie besonders verkapselt werden müssen, zum anderen enthalten sie Blei. Wenn es gelänge, die Zellen haltbarer zu machen und Perowskit-Kristalle ohne das Schwermetall herzustellen, stünde der Photovoltaik ein neuer Hightech-Halbleiter zur Verfügung.</p>		