

Abs	VDI Nachrichten (8.7.2016)	Joule (11 / 2016)	Abs
	Photovoltaik <u>Dünnschicht-Solartechnik nimmt neuen Anlauf</u> (Sascha Rentzing)	PV-Technik Neuer Anlauf der Dünnschicht-Photovoltaik (Sascha Rentzing)	
0	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:	Eigentlich sollten Dünnschichtmodule Solarstrom längst günstiger erzeugen als die gängige Siliziumtechnik, doch dieses Versprechen haben die Hersteller bis heute nicht eingelöst.	0
	Mit optimierten Prozessen und neuen Materialien treiben Entwickler den Wirkungsgrad der schlanken Stromgeneratoren und senken die Produktionskosten.	Nun nehmen sie mit optimierten Prozessen und neuen Materialien einen neuen Anlauf.	
1	Nach überstandener Absatzkrise in der Photovoltaik geht das Rennen um Wirkungsgrade in eine neue Runde. 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 Photovoltaiktechnologie wächst stetig. Deutschland kann mit Solarsystemen der nächsten Generation vom Wachstum dieses Zukunftsmarkts profitieren“, sagt Carsten Körnig, Hauptgeschäftsführer des Bundesverbands Solarwirtschaft (BSW). 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.	Nach überstandener Absatzkrise in der Photovoltaik geht das Rennen um Wirkungsgrade in eine neue Runde. Durch den aktuellen Boom in Asien und den USA verdienen die Unternehmen wieder mehr Geld, das sie in die Weiterentwicklung ihrer Produkte investieren können. 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). Experten schätzen, dass durch den technischen Fortschritt die Erzeugungskosten für Solarstrom bis zum Jahr 2025 von aktuell 7,5 auf 4 bis 6 ct/kWh sinken werden.	1
2	Vor allem die Siliziumphotovoltaik gilt als Treiber des Fortschritts. 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.	Vor allem die Siliziumphotovoltaik gilt als Treiber des Fortschritts. Kristalline Standardzellen erreichen derzeit einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 20 %, ihr Limit im praktischen Einsatz wird bei 26 % gesehen – diesem Wert wollen sich Entwickler in zahlreichen Forschungsprojekten konsequent nähern.	
	Doch auch in der Dünnschichtphotovoltaik entwickeln sich Innovationen rasch, besonders bei Modulen auf Basis der halbleitenden Elemente Kupfer, Gallium, Indium und Selen (CIGS).	Doch auch in der Dünnschichtphotovoltaik entwickeln sich Innovationen rasch, besonders bei Modulen auf Basis der halbleitenden Elemente Kupfer, Gallium, Indium und Selen (CIGS).	2
3	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.	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 kristallinen Technik mithalten konnte.	
	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	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	

Abs	VDI Nachrichten (8.7.2016)	Joule (11 / 2016)	Abs
	22,3 %, gehalten von der japanischen Firma Solar Frontier, übertroffen.	22,3 %, gehalten von der japanischen Firma Solar Frontier, übertroffen.	
4	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.	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 zu geringeren Kosten.	3
	„Die Produktionskosten der CIGS-Technologie betragen selbst bei kleinen Fabriken lediglich 40 US-Cent/W.“ Das entspricht in etwa dem heutigen Niveau von Siliziummodulen. Durch höhere Wirkungsgrade und nach einem Ausbau der CIGS-Produktionskapazitäten sei sogar eine Halbierung der Kosten möglich, sagt Powalla. In den kommenden Monaten wollen ZSW-Forscher mit dem CIGS-Linienanbieter Manz die Ergebnisse vom Labor auf die Massenproduktion übertragen.	„Die Produktionskosten der CIGS-Technologie betragen selbst bei kleinen Fabriken lediglich 40 US-Cent pro Watt.“ Das entspricht in etwa dem heutigen Niveau von Siliziummodulen. Durch höhere Wirkungsgrade und nach einem Ausbau der CIGS-Produktionskapazitäten sei sogar eine Halbierung der Kosten möglich, sagt Powalla. In den kommenden Monaten wollen ZSW-Forscher mit dem CIGS-Linienanbieter Manz die Ergebnisse vom Labor auf die Massenproduktion übertragen.	
		Effizient wie Silizium	
5	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 %. „Damit kommen unsere Produkte zunehmend auch für flächenbeschränkte Installationen infrage, die bisher von herkömmlichen Siliziummodulen dominiert wurden“, sagt Avancis-Technikchef Jörg Palm.	Die ostdeutsche Firma Avancis arbeitet bereits mit effizienter CIGS-Technik. Ein 30 mal 30 cm großes Modul, das auf einem seriengefertigten CIGS-Absorber gefertigt wurde, erreicht nach Firmenangaben einen Wirkungsgrad von 17,9 %. „Damit kommen unsere Produkte zunehmend auch für flächenbeschränkte Installationen infrage, die bisher von herkömmlichen Siliziummodulen dominiert wurden“, sagt Avancis-Technikchef Jörg Palm.	4
6	Die Technik hat auch Investoren überzeugt: 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.	Die Technik hat auch Investoren überzeugt: 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.	
7	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,	Unterdessen arbeitet Avancis an produktionstechnischen Verbesserungen. So ist man unter anderem an dem von der Bundesregierung mit 5,5 Mio. € geförderten Projekt „TCO4CIGS“ beteiligt, in dem sich Partner aus Industrie und Forschung auf die Optimierung der elektrisch leitfähigen Fensterschicht,	5
	der sogenannten TCO-Schicht, konzentrieren. Diese übernimmt in Dünnschichtmodulen die Aufgabe des 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.	der sogenannten TCO-Schicht, konzentrieren. Diese übernimmt in Dünnschichtmodulen die Aufgabe des 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.	
8	Deshalb forschen die Experten unter anderem an	Deshalb forschen die Experten unter anderem an	

Abs	VDI Nachrichten (8.7.2016)	Joule (11 / 2016)	Abs
	optimierten TCO-Schichten aus neuen, indiumbasierten Materialien, die Wirkungsgrade bei gleichen oder geringeren Herstellungskosten um ein bis zwei Prozentpunkte steigern können.	optimierten TCO-Schichten aus neuen, indiumbasierten Materialien.	
	Diese zeigten eine höhere Ladungsträgerbeweglichkeit und könnten bei gleicher Funktion dünner aufgetragen werden, wodurch sich die Kosten entsprechend reduzierten,	Diese zeigten eine höhere Ladungsträgerbeweglichkeit und könnten bei gleicher Funktion dünner aufgetragen werden, wodurch sich die Kosten reduzierten,	
	sagt Dünnschichtexperte Reiner Klenk vom Helmholtz-Zentrum Berlin.	sagt Dünnschichtexperte Reiner Klenk vom Helmholtz-Zentrum Berlin.	
9	Allerdings sieht sich die aufstrebende CIGS-Technik starker Konkurrenz gegenüber. Auch Dünnschichtmodule auf Basis von Cadmiumtellurid werden effizienter. Module der US-Firma First Solar erreichen im Durchschnitt mittlerweile knapp 17 % Wirkungsgrad, ihre Spitzenmodule sogar 18,2 %. 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: 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.	Allerdings sieht sich die aufstrebende CIGS-Technik starker Konkurrenz gegenüber. Auch Dünnschichtmodule auf Basis von Cadmiumtellurid werden effizienter. Module der US-Firma First Solar erreichen im Durchschnitt mittlerweile knapp 17 % Wirkungsgrad, ihre Spitzenmodule sogar 18,2 %. 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: Analysten zufolge produziert man teilweise für 40 US-Cent pro Watt 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.	6
	Im Rennen um Wirkungsgrade und geringe Kosten holt die Dünnschicht auf.	Aber die Siliziumphotovoltaik wird sich nicht ohne weiteres durch die Dünnschicht verdrängen lassen, zumal die Zahl der Forschungs- und Entwicklungsprojekte in diesem Technik-Segment steigt. Sogenannte Heterojunction-Zellen sowie Rückseitensammler kommen den angestrebten 26 % bereits recht nahe. So basiert etwa das Konzept des Rückseitensammlers der US-Firma Sunpower auf einer völlig verschattungsfreien Front — Licht soll ungehindert in die Zelle einfallen können. Dafür verlegen die Spezialisten sämtliche Stromkontakte auf den Zellenrücken und versehen diesen mit besonderen Strukturen. Da die Prozesse allerdings recht aufwendig und teuer sind, arbeiten die Entwickler mit hohem Einsatz an kostensenkenden Produktionsmethoden.	7
		Einen viel versprechenden Ansatz bieten auch neuartige „Topcon“-Zellen des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE), die einen Wirkungsgrad von 25,1 % ermöglichen. „Bisher wurden zur Steigerung des Wirkungsgrads von Solarzellen immer komplexe	8

Abs	VDI Nachrichten (8.7.2016)	Joule (11 / 2016)	Abs
		<p>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 abfließen kann. Hermle schätzt, dass Topcon-Zellen in zwei bis drei Jahren mit handelsüblichen Ausmaßen produziert werden könnten.</p>	
		<p>Für die Massenproduktion geeignete Verfahren werden nach seiner Einschätzung aber noch fünf bis zehn Jahre Entwicklungszeit benötigen. Noch effizienter als Siliziumzellen sind Mehrfachsolarzellen, die aus mehreren Schichten verschiedener Halbleiter wie Gallium, Germanium oder Indium bestehen. Die Materialien sprechen auf verschiedene Spektren an, entsprechend hoch ist der Wirkungsgrad der Zelle: Der aktuelle Effizienzrekord, gehalten vom Fraunhofer-ISE, liegt bereits bei 46 %.</p>	9
		<p>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 ist, dass die Systeme mithilfe sogenannter Tracker exakt der Sonne nachgeführt werden müssen, da die Hightech-Zellen ihre Stärken sonst nicht richtig ausspielen können. Dennoch rechnen die ISE-Wissenschaftler mit einem Durchbruch der Konzentration-Systeme, vor allem in Ländern mit hoher Sonneneinstrahlung wie China, Indien oder Teilen der USA. Die Dünnschicht kommt auf ihrem Weg gut voran, muss sich aber weiterhin starker Konkurrenz erwehren.</p>	10
		INFORMATIONEN	
		<p>Der weltweite Boom der Photovoltaik und steigende Erlöse der Modulhersteller sorgen dafür, dass die Unternehmen wieder mehr Geld in die Entwicklung ihrer Produkte stecken können. Auch bei den zwischenzeitlich ins Hintertreffen geratenen Dünnschichtmodulen entwickeln sich Innovationen rasch. Forscher und Firmen sehen ihre Technologie bei Wirkungsgraden und Kosten bereits auf</p>	

Abs	VDI Nachrichten (8.7.2016)	Joule (11 / 2016)	Abs
		Augenhöhe mit der Siliziumphotovoltaik. Doch auch bei den klassischen Siliziummodulen und alternativen Solartechniken wie der konzentrierenden Photovoltaik ist das Entwicklungspotenzial längst nicht ausgeschöpft. Die Dünnschicht kommt voran, muss das Innovationstempo aber noch verschärfen.	