

Abs	Neue Energie (6 / 2008)	SolarServer (6.8.2009)	Abs
	Die Schlankheitswelle (Sascha Rentzing, Fotos: Paul Langrock)	<u>Dünnschicht-Photovoltaik vor dem Durchbruch:</u> kristalline Siliziumzellen weiterhin dominierend (keine Autorenangabe)	
0	Die Dünnschichthersteller wollen ihre Produktionskapazitäten 2008 auf 3,5 Gigawatt verdreifachen. Massenproduktion und moderne Fertigungslinien sollen massiv Kosten senken. Ähnlich gehen auch die Vertreter klassischer Siliziumtechnologien vor.	Die Hersteller von Dünnschicht -Solarmodulen senken ihre Kosten und gewinnen Wettbewerbskraft. Leicht werden sich die klassischen kristallinen Siliziumtechniken aber nicht vom Markt verdrängen lassen. Denn auch sie haben noch großes Entwicklungspotenzial.	0
	Das Rennen um das Erfolg versprechendste Konzept ist im vollen Gang.	Das Rennen um die erfolgreichste Photovoltaik-Technologie ist in vollem Gange.	
1	Im Wettlauf um die effizienteste Dünnschichtszelle der Welt hat das National Renewable Energy Laboratory (NREL) der USA seinen Vorsprung ausgebaut: Es erreichte mit einem Lichtsammler aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) einen Labor wirkungsgrad von 19,8 Prozent .	Im Wettlauf um die effizienteste Dünnschicht-Solarzelle schließt das Stuttgarter Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) zur Weltspitze auf. Es erreichte mit Zellen auf Basis von Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIS) in einer vorindustriellen Fertigungslinie 19,6 Prozent Wirkungsgrad .	1
	Damit stoßen kupferbasierte Dünnschicht-Zellen, vereinfacht mit CIS abgekürzt, in Effizienzbereiche der konventionellen Photovoltaik (PV) vor: Zellen aus multikristallinem Silizium, die heute den größten Marktanteil haben, kommen auf Wirkungsgrade von 20,3 Prozent, schneiden im Labor also nur etwas besser ab als ihre kupfernen Konkurrenten.	Damit liegen die Stuttgarter Forscher nur noch knapp hinter dem amerikanischen National Renewable Energy Laboratory (NREL), das im gleichen Umfeld auf 19,9 Prozent Wirkungsgrad kommt. "Als nächstes wollen wir die 20-Prozent-Hürde nehmen", kündigt Michael Powalla, Leiter des Geschäftsbereichs Photovoltaik im ZSW, selbstbewusst an. Damit würde CIS in Effizienzbereiche der gängigen kristallinen Photovoltaik vordringen: Zellen aus multikristallinem Silizium, die heute den größten Marktanteil haben, erreichen Laborwirkungsgrade von 20,3 Prozent, arbeiten also kaum effizienter als ihre schlanken Konkurrenten.	
		Als "Solar-Report" veröffentlicht der Solarserver im August 2009 einen Gastbeitrag der neuen Fachmesse für solare Produktionstechnik "solarpeq", die parallel zur Weltleitmesse "glasstec" in Düsseldorf stattfinden wird. Vom 28.09. - 01.10.2010 will die "solarpeq" ein internationales Forum für alle bieten, die Maschinen zur Herstellung und Verarbeitung von Silizium, Wafern, Solarzellen und -modulen anbieten oder kaufen wollen. Zur Erstveranstaltung werden über 250 Aussteller aus über 30 Ländern ihre Produkte vorstellen, insgesamt werden zu solarpeq und glasstec über 55.000 Fachbesucher erwartet.	2
		Konkurrenzlos billiger Solarstrom als Ziel	
2	In der Praxis bleibt die CIS-Technologie jedoch weit hinter diesen Möglichkeiten zurück: Industriell hergestellte Module aus diesem Verbindungs halbleiter erreichen Effizienzen von rund elf Prozent , multikristalline Panels wandeln dagegen durchschnittlich zwölf bis 14 Prozent , monokristalline sogar 15 bis 17,5 Prozent des	In der Praxis bleibt die CIS-Technik aber noch hinter ihren Möglichkeiten: Industriell hergestellte Module aus diesem Halbleiter wandeln gegenwärtig maximal zwölf Prozent des Sonnenlichts in Solarstrom um, multikristalline Module hingegen 18,5 Prozent , monokristalline Module kommen sogar auf bis zu 20 Prozent . Ihren	3

Abs	Neue Energie (6 / 2008)	SolarServer (6.8.2009)	Abs
	<p>einfallenden Lichts in Energie um. Diesen Rückstand können die Kupfermodule bislang nicht durch günstigere Fertigungskosten ausgleichen: Sie sind in der Produktion mit zwei bis 2,50 Euro pro Watt genauso teuer wie multikristalline Sonnenfänger (siehe Tabelle Seite 22). Das wichtigste Ziel setzt CIS bislang also nicht ansatzweise um: Die Herstellkosten durch Materialeinsparungen so weit zu senken, dass Solarstrom konkurrenzfähig ist.</p>	<p>Effizienz-Rückstand können CIS-Module bislang nicht durch günstigere Fertigungskosten ausgleichen: Pro Watt liegen sie in der Herstellung bei mehr als zwei Euro - auf dem gleichen Niveau wie Siliziummodule, für die viel mehr Halbleitermaterial nötig ist. Vom wichtigsten Ziel ist CIS somit noch weit entfernt: konkurrenzlos billig Strom zu produzieren.</p>	
3	<p>Andere Dünnschichttechnologien überzeugen ebenso wenig. Module aus Dünnschichtsilizium zum Beispiel haben Experten zufolge das Potenzial für Effizienzen jenseits von 15 Prozent — bei Herstellkosten von unter 0,3 Euro pro Watt.</p>	<p>Andere Dünnschichttechniken sind dazu bislang ebenso wenig imstande. Module aus Dünnschichtsilizium zum Beispiel könnten, so sagen Experten, mehr als 15 Prozent Wirkungsgrad erreichen und für weniger als 0,30 Euro pro Watt hergestellt werden.</p>	4
	<p>Damit würden sie jede verfügbare Solartechnologie in den Schatten stellen und wahrscheinlich konkurrenzlos günstigen Strom erzeugen. Gängige Dünnschichtmodule aus amorphem Silizium sind jedoch nur halb so effizient und in der Fertigung derzeit mindestens drei Mal teurer.</p>	<p>Damit würden sie jede aktuell verfügbare Solartechnik in den Schatten stellen. Noch kommen sie aber nur auf Wirkungsgrade von rund neun Prozent und sind in der Herstellung drei Mal teurer.</p>	
	<p>Riesenpotenziale bislang ungenutzt</p>	<p>Doppelter Marktanteil 2010</p>	
4	<p>Doch CIS, Dünnschichtsilizium und Co stehen vor einem großen Entwicklungsschritt. Nach einer aktuellen Markterhebung der Gemeinsamen Forschungsstelle der EU-Kommission sollen die Dünnschicht-Produktionskapazitäten in diesem Jahr um 2,5 Gigawatt (GW) auf insgesamt 3,5 GW erweitert werden. Gleichzeitig kämpfen ehrgeizige Fabrik- und Maschinenbauer wie die Schweizer Oerlikon Solar und der US-Technologiekonzern Applied Materials um die beste Ausgangsposition im beginnenden Dünnschichtgeschäft und liefern sich einen harten Wettstreit um die effizientesten Produktionslinien. Massenherstellung und bessere Fertigungstechnologien lassen Kosteneinsparungen und sinkende Preise erwarten. Dadurch, so die Hoffnung, wird der Effizienznachteil der schlanken Stromgeneratoren mehr als ausgeglichen.</p>	<p>Doch CIS, Dünnschichtsilizium und Co stehen vor einem großen Entwicklungsschritt. "Fast 200 Firmen produzieren derzeit Dünnschichtmodule oder arbeiten daran", sagt Arnulf Jäger-Waldau, Energieexperte der EU-Kommission. Der europäische Photovoltaikindustrie-Verband (EPIA) erwartet daher, dass sich die Fertigungskapazität für die Technik bis 2010 auf mehr als vier Gigawatt verdoppeln könnte - das entspräche einem Marktanteil von rund 20 Prozent. Gleichzeitig wird die Fertigung dank neuer Herstelltechniken und Automatisierungslösungen immer effizienter. Massenfertigung und der technische Fortschritt senken die Kosten - und erhöhen die Marktchancen. Viele der produktionstechnischen Innovationen werden auf der solarpeq in Düsseldorf zu sehen sein.</p>	5
5	<p>Experten gehen davon aus, dass sich nennenswerte Skaleneffekte durch eine größere Produktion schon in zwei Jahren einstellen könnten: „2010 werden die meisten der angekündigten Linien online sein und zwischen 2,5 und drei GW ausstoßen. Die Dünnschicht wird damit einen Marktanteil von 20 bis 25 Prozent haben“, schätzt Arnulf Jäger-Waldau von der Gemeinsamen Forschungsstelle. Zum Vergleich: 2007 lag ihr Anteil an der Modulgesamtproduktion bei etwa zehn Prozent (400 Megawatt (MW)).</p>		
		<p>Meilenstein auf dem Weg zur</p>	

Abs	Neue Energie (6 / 2008)	SolarServer (6.8.2009)	Abs
6	<p>Der Markterfolg des US-Herstellers von Modulen aus Cadmiumtellurid (Cdte) First Solar lässt die junge Branche auf gutes Wachstum hoffen. Er hat den Schritt zur Massenfertigung bereits erfolgreich gemeistert: Zwar kommen auch die Panels der Amerikaner nicht über einen Effizienzwert von zehn bis elf Prozent hinaus, dafür fertigen sie das Watt aber nach eigenen Angaben für nur noch 0,74 Euro. Sie sind damit viel günstiger als alle anderen Hersteller.</p>	<p>Wettbewerbsfähigkeit des Solarstroms</p> <p>Der Erfolg des US-Herstellers von Modulen aus Cadmiumtellurid (CdTe) First Solar nährt das Selbstbewusstsein der Dünnschichtproduzenten. Die Amerikaner fertigen nach eigenen Angaben inzwischen für rund 0,93 Dollar, umgerechnet etwa 0,67 Euro pro Watt - kein anderes Unternehmen produziert so günstig. Ein Nachteil der CdTe-Module ist allerdings, dass sie derzeit nur maximal 11,1 Prozent Wirkungsgrad erreichen. Daher benötigen sie mehr Fläche, um die gleiche Strommenge zu erzeugen wie marktgängige Siliziummodule. Die höheren Installationskosten zehren den Produktionskostenvorteil teilweise wieder auf.</p>	6
7	<p>Wegen ihres guten Preis-Leistungs-Verhältnisses sind die US-Lichtsammler sehr gefragt: First Solar-Systeme sind in der Anschaffung pro Kilowatt um bis zu 15 Prozent günstiger als Standardsolaranlagen. Dafür billigen Investoren offensichtlich, dass die Panels wegen ihrer niedrigeren Wirkungsgrade mehr Fläche benötigen, um die gleichen Energieerträge zu erzielen. So konnte die Firma bereits Modullieferverträge mit einem Volumen von über einem Gigawatt abschließen. Im sächsischen Muldentalkreis wird derzeit eine der weltweit größten Solaranlagen ausgestattet (siehe Seite 6).</p>	<p>Dennoch gilt First Solars Errungenschaft als Meilenstein auf dem Weg zur Wettbewerbsfähigkeit des Solarstroms. Experten hatten die Netzparität in Deutschland frühestens für 2015 erwartet. Von da an wäre Sonnenenergie nicht mehr teurer als herkömmlicher Strom aus der Steckdose.</p>	
8	<p>Um ihre Vereinbarungen einhalten zu können und weiter Kosten zu senken, baut First Solar seine Kapazitäten zügig aus. Das Unternehmen expandiert ausschließlich in Malaysia, wo bis 2009 vier Fabriken mit einer Gesamtkapazität von 480 MW entstehen sollen. Linien mit 210 MW Kapazität sind bereits in Betrieb, darunter ein 120-MW-Werk in Frankfurt/Oder (neue energie 3/2007).</p>	<p>Der jüngste Fortschritt lasse diese Netzparität nun in greifbare Nähe rücken, sagt Holger Krawinkel, Energieexperte beim Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. "First Solar-Module könnten bereits Strom für umgerechnet 0,20 bis 0,25 Euro pro Kilowattstunde produzieren", so Krawinkel. Der aktuelle Strompreis liegt in Deutschland bei rund 0,20 Euro.</p>	
		<p>First Solar gibt den Takt vor</p>	
9	<p>Die Amerikaner haben bei den Kosten Maßstäbe gesetzt. Wer es nicht schafft, mindestens ebenso günstig zu produzieren, oder mit höheren Wirkungsgraden die Systemkosten zu senken, wird sich nicht durchsetzen. Entsprechend ehrgeizig ist die Konkurrenz: Die neu gegründete CTF Solar zum Beispiel verfolgt die gleiche Strategie wie der Branchenprimus. Sie setzt auf Cdte und plant, zügig große Kapazitäten aufzubauen. Bis 2011 will sie zehn Linien mit einer Gesamtkapazität von 500 MW errichten. „Was First Solar in Malaysia schafft, wollen wir in Deutschland realisieren“, sagt Andrew Murphy, Geschäftsführer der Beteiligungsgesellschaft Murphy und Spitz Green Capital. Sie hat 22,5 Prozent an der CTF Solar erworben und unterstützt den Kapazitätsaufbau.</p>	<p>Bei den Kosten setzt First-Solar die Messlatte. Dünnschicht-Hersteller, die nicht bald ebenso günstig fertigen oder mit höheren Wirkungsgraden die Systemkosten drücken können, werden sich im Markt wohl nicht durchsetzen. Zumal auch die Hersteller der marktgängigen kristallinen Technik durch steigende Massenproduktion und technische Verbesserungen ihre Kosten kontinuierlich senken. Entsprechend ehrgeizig ist die Dünnschicht-Konkurrenz: Abound Solar aus Fort Collins (Colorado) startete erst im April 2009 die Produktion von CdTe-Modulen und will das Watt in seiner neuen 35 Megawatt (MW)-Linie noch in diesem Jahr für einen Dollar, also etwa 0,72 Euro produzieren. 2010 seien bei 200 MW Produktionskapazität bereits Kosten von 0,90</p>	7

Abs	Neue Energie (6 / 2008)	SolarServer (6.8.2009)	Abs
	Zudem hat Green Capital ein Kaufangebot für den insolventen Arnstädter CdTe-Hersteller Antec abgegeben. Dessen Zehn-MW-Fabrik soll CTF Solar als Testlinie oder für die Sonderfertigung dienen (neue energie 5/2008).	Dollar (rund 0,65 Euro) pro Watt angepeilt, sagt Gründer und Vorstandschef Pascal Noronha.	
	Tandempanels vor dem Markteintritt	Anlagenbauer Oerlikon Solar und Applied Materials wollen Kosten halbieren	
10	Im Bereich Dünnschichtsilizium sorgt unterdessen Linienbauer Oerlikon Solar für Schlagzeilen: Er verspricht, dass die auf seinen Anlagen hergestellten Module bis 2010 in den meisten Regionen der Welt Solarstrom zu den gleichen Kosten wie Netzstrom liefern werden. Hierfür sollen die Produktionskosten in zwei Jahren von 0,87 bis 0,97 auf 0,44 Euro pro Watt halbiert werden. Oerlikon Solar führt zudem die Mikromorph-Technologie in den Markt ein. Mikromorphe Module haben im Gegensatz zur einfachen amorphen Version einen doppelten Aufbau aus einer amorphen und einer mikrokristallinen Siliziumschicht. Die Anordnung nutzt das Licht besser aus, weil die beiden Siliziumebenen das gesamte Spektrum in Strom umwandeln. Nach Aussage von Oerlikon Solar-Chefin Jeannine Sargent erreichen die neuen Tandempanels Effizienzen von neun bis 9,5 Prozent, liegen also um etwa zwei Prozent über der einfachen Amorph-Technologie. Die Ankündigungen der Schweizer stoßen auf positive Resonanz: Die Zahl der Kunden wächst Sargent zufolge stetig. Zuletzt wurden die taiwanische E-Ton und die Berliner Firma Inventux Technologies mit Produktionsmaschinen beliefert. Letztgenanntes Unternehmen investiert 40 Millionen Euro in eine 33-MW-Fabrik für Tandemmodule. Sie soll noch im Dezember dieses Jahres in Betrieb gehen.	Schnell unter einen Dollar zu kommen, ist auch das Ziel des Berliner Unternehmens Inventux . Es produziert seit Ende 2008 Module aus so genanntem mikromorphem Silizium. Die Technik ist eine Weiterentwicklung marktgängiger Dünnschichtmodule aus einfachem amorphem Silizium. Mithilfe eines zusätzlichen Absorbers aus mikrokristallinem Silizium, der auf die amorphe Schicht aufgedampft wird, hat Inventux die Solarstromausbeute auf neun Prozent verbessert. Die angestrebte Kostenersparnis sollen Skaleneffekte durch eine größere Produktionsmenge und weitere Effizienzverbesserungen bringen. "2010 wollen wir zehn Prozent Wirkungsgrad erreichen", erklärt Inventux-Sprecher Thorsten Ronge. Dafür arbeitet Inventux an Prozessoptimierungen, profitiert aber auch von Innovationen des Ausrüsters Oerlikon Solar, von dem es seine Beschichtungsanlagen bezieht. Dessen Chefin, Jeannine Sargent, verspricht, dass Ende 2010 auf Oerlikon-Anlagen die neuartigen Tandemmodule für 0,70 Dollar (circa 0,50 Euro), also zu halben Kosten gefertigt werden können.	8
11	Besonders rege ist das Interesse an amorphem Silizium, der vom Produktionsprozess einfachsten Variante, in China: Ende April hat Oerlikon den ersten Auftrag vermeldet. Tianwei Baoding bekommt eine 46,5-MW-Dünnschichtlinie geliefert. Teile könnten bereits aus der neuen Fertigungsstätte in Singapur stammen, die im zweiten Halbjahr in Betrieb geht. Auf einer Solarmesse Anfang Mai in Schanghai verkündete aber mindestens ein halbes Dutzend weiterer chinesischer Firmen den Start einer a-Si-Fertigung.		
12	Weltkonzern Sharp denkt bereits in ganz anderen Größenordnungen. Nachdem er den Titel des größten Zellenherstellers 2007 an Q-Cells abgeben musste, scheint er sich im Dünnschichtgeschäft nun frühzeitig von der Konkurrenz absetzen zu wollen: Die Japaner planen laut Sharp Solar-	Ähnliche Pläne hat US-Anlagenbauer Applied Materials . Er offeriert ebenfalls komplette schlüsselfertige Linien zur Produktion von Modulen aus Dünnschichtsilizium. "Wir sind optimistisch, dass wir schon kurzfristig Herstellkosten von weniger als einem Dollar	9

Abs	Neue Energie (6 / 2008)	SolarServer (6.8.2009)	Abs
	<p>Deutschlandchef Peter Thiele, die Kapazitäten für Tandemmodule am Standort Katsuragi bis Ende des dritten Quartals 2008 von 30 auf 160 MW zu erweitern. Zudem wolle Sharp in einem neuen Werk in Sakai von 2010 an jährlich ein Gigawatt Triple Junction-Panels produzieren. Die neue Technologie, bei der drei hauchdünne Siliziumschichten Licht sammeln, erreicht nach Konzernangaben Wirkungsgrade von zehn Prozent, ist also etwas effizienter als die neuen Oerlikon-Module. Gut möglich, dass sie auch günstiger sind. Zu den avisierten Kosten äußert sich Sharp jedoch nicht.</p>	<p>ermöglichen können", sagt Christopher Beitel, Chef der Dünnschichtabteilung. Auf der solarpeq 2010, bzw. der parallel stattfindenden glasstec, der Weltleitmesse der Glasbranche, zu der Unternehmen auch solare Anwendungen präsentieren, werden die Amerikaner ihr Produktportfolio vorstellen. Darunter auch ihre Dünnschichtlinie "SunFab".</p>	
	<p>Vom Standardverfahren noch weit entfernt</p>	<p>Nanosolar peilt 0,30 bis 0,35 Dollar pro Watt an</p>	
13	<p>Modulhersteller Nanosolar erhebt ebenfalls Anspruch auf die Kostenkrone: Die US-Firma gibt an, das Watt für unter 0,65 Euro produzieren zu können. Der Schlüssel für niedrige Kosten soll im simplen Herstellungsprozess liegen: Eine aus winzigen Halbleiterpartikeln aus Kupfer-Indium-Gallium-Selenid bestehende Tinte wird wie beim Zeitungsdruck im Rolle-zu-Rolle-Verfahren auf Folie aufgetragen — auf teure Vakuummaschinen und Reinraum-Produktionsbedingungen kann also verzichtet werden. Theoretisch könnte die Firma die Massenproduktion unverzüglich starten: Sie verfügt in San José USA, und Luckenwalde bei Berlin bereits über Produktionskapazitäten von insgesamt 430 MW. Gerüchten zufolge sucht Nanosolar aber noch Kapital, um in die Serienproduktion gehen zu können. Bisher stellt die Firma daher nur geringe Modulmengen her.</p>	<p>Noch ehrgeiziger sind die Pläne der US-Firma Nanosolar. Sie hat einen Herstellungsprozess entwickelt, bei dem winzige Nanopartikel aus Kupfer, Indium, Gallium, Selen und eventuell Schwefel im "Rolle-zu-Rolle"-Verfahren auf eine Folie gedruckt werden. Auf 0,30 bis 0,35 Dollar (0,22 bis 0,25 Euro) wollen die Amerikaner mit ihrer innovativen Drucktechnik die Kosten senken - rund ein Drittel der Fertigungskosten des Branchenprimus First Solar. "Wir können große Flächen in sehr kurzen Taktzeiten beschichten", erklärt Nanosolar-Sprecher Erik Oldekop. Die Fabriken stehen bereits, der Start der Serienfertigung naht. In einem 430-MW-Werk in San José, Kalifornien, will Nanosolar die Zellen herstellen und diese dann in Luckenwalde bei Berlin zu Modulen verschalten.</p>	10
		<p>Kristalline Module glänzen mit hoher Effizienz</p>	
14	<p>Im Dünnschichtsektor stehen die Zeichen also klar auf Wachstum. Wie viele Hersteller ihre ambitionierten Ausbau- und Produktionsziele im zeitlich vorgegeben Rahmen erreichen, ist eine offene Frage. Erfahrungsgemäß sind Verzögerungen keine Seltenheit und oft ist großes Stehvermögen vonnöten, um ein Dünnschichtvorhaben umzusetzen. Der Gang vom Labor zur Fertigung dauert häufig Jahre und je mehr Halbleitermaterialien zum Einsatz kommen, desto schwieriger wird es, einen stabilen Produktionsprozess umzusetzen.</p>	<p>In der Dünnschicht-Photovoltaik stehen die Zeichen also klar auf Wachstum. Wie viele Hersteller ihre ehrgeizigen Ausbau- und Produktionsziele im zeitlich vorgegeben Rahmen erreichen, ist aber offen. Verzögerungen sind keine Seltenheit: Bis eine Technik die Serienreife erreicht, vergehen oft viele Jahre: Industrietaugliche Herstellungsprozesse müssen entwickelt, viel Geld in Forschung und Tests investiert werden.</p>	11
	<p>Branchenprimus First Solar zum Beispiel benötigte für die Kommerzialisierung seiner Module genau ein Jahrzehnt. CIS-Hersteller Würth Solar optimierte seine Technologie sieben Jahre in einer Pilotlinie, bevor er 2007 mit der Serienfertigung begann.</p>	<p>First Solar zum Beispiel hat für die Kommerzialisierung seiner Module genau ein Jahrzehnt gebraucht. CIS-Hersteller Würth Solar optimierte seine Technik sieben Jahre in einer Pilotlinie, bevor er 2007 mit der Serienfertigung beginnen konnte.</p>	
15	<p>Sulfurcell, eine Ausgründung des Hahn-Meitner-Instituts, hätte diesen Schritt gern auch schon hinter sich. Die Berliner arbeiten bereits seit 2001</p>		

Abs	Neue Energie (6 / 2008)	SolarServer (6.8.2009)	Abs
	<p>an Modulen, bei denen Schwefel statt Selen eingesetzt wird, produziert aber immer noch im Pilotmaßstab. Für die Schwierigkeiten bei der Kommerzialisierung der Kupfermodule gibt es eine plausible Erklärung: „Anders als bei der kristallinen Technologie fehlt beim CIS grundsätzlich das Verständnis von Struktur und physikalischem Verhalten“, sagt Hansjörg Gabler, Dünnschichtexperte und ehemaliger Geschäftsbereichsleiter Photovoltaik im Stuttgarter Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) Bis die CIS-Produktion also ein Standardverfahren ist, das auch von Neueinsteigern schnell bewältigt werden kann, ist noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten. Für die anderen Dünnschichttechnologien dürfte Ähnliches gelten.</p>		
16	<p>Ein weiteres Problem kommt hinzu: Wollen die Dünnschichtfirmen der dominierenden Silizium-Wafer-Technologie Marktanteile streitig machen, müssen sie sie bei den Kosten klar abhängen und bei den Effizienzen aufschließen. Das wird schwierig, weil die Standardsonnenfänger selbst über großes Entwicklungspotenzial verfügen.</p>	<p>Viel Zeit, um serienreife Produkte zu präsentieren, haben die Dünnschicht-Newcomer aber nicht. Denn die kristalline Konkurrenz treibt die Entwicklung neuer Techniken ebenfalls mit hohem Einsatz voran: Wirkungsgrade steigen, Kosten fallen. Wissenschaftler glauben deshalb, dass an der konventionellen Solartechnik auch künftig kein Weg vorbeiführen wird.</p>	12
	<p>„Kristalline Siliziumzellen werden auch in Zukunft eine dominierende Rolle spielen“, sagt Stefan Glunz. „Einerseits steht die Langzeitstabilität dieser Module außer Frage und andererseits können dank der konsequenten Weiterentwicklung von Siliziumsolarzellen die Stromgestehungskosten gesenkt werden“, erklärt der</p>	<p>"Kristalline Siliziumzellen werden weiterhin eine dominierende Rolle spielen", sagt Stefan Glunz,</p>	
	<p>Leiter der Abteilung Entwicklung und Charakterisierung von Siliziumsolarzellen am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg.</p>	<p>Leiter der Abteilung Entwicklung und Charakterisierung von Siliziumsolarzellen am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg.</p>	
17	<p>Starke kristalline Konkurrenz So herrscht auf der oberen Wirkungsgradskala ein reger Wettstreit um die besten Konzepte:</p>	<p>Hochleistungszellen aus China und den USA So herrscht auf der oberen Wirkungsgradskala ein reger Wettstreit um die besten Konzepte: Forscher der University of New South Wales in Sydney, Australien, erreichten mit einer monokristallinen Zelle im Labor 24,7 Prozent Wirkungsgrad - diesem Weltrekord kommt die Industrie immer näher. Das chinesische Solarunternehmen Suntech Power etwa bietet seit diesem Sommer ein Modul an, das sieben Prozent mehr Strom erzeugt als sein bislang leistungsstärkstes Paneel. Herzstück der Technik sind neuartige so genannte Pluto-Zellen, die dank einer speziell behandelten Oberfläche und dünneren elektrischen Kontakten auf der Vorderseite mehr Licht absorbieren. Dadurch steigt der Wirkungsgrad von 15,2 auf bis zu 17,5 Prozent bei multikristallinen Zellen und von 17,2 auf bis zu 19 Prozent bei monokristallinen. Das</p>	13

Abs	Neue Energie (6 / 2008)	SolarServer (6.8.2009)	Abs
		Herstellverfahren basiert auf Know-how aus Deutschland: 2008 hat Suntech den Schwarzwälder Anlagenbauer KSL Kuttler übernommen, der Ausrüstung und Automation für die Pluto-Fertigung liefert.	
	Einige von ihnen, zum Beispiel Rückkontaktzellen, stehen vor der breiten Markteinführung (neue energie 3/2008). Bei diesem Typ Lichtsammler befinden sich die Stromanschlüsse auf der Rückseite, so dass die Front nicht von Kontakten verschattet wird. Auf diese Weise können sie höhere Effizienzen erreichen als der kristalline Standard: Monokristalline Rückkontaktzellen kommen auf über 20 Prozent, Zellen aus multikristallinem Material liegen bei rund 15 Prozent. Gleichzeitig benötigt die neue Technologie weniger Rohstoff. Da die Rückseite berührungslos mit Lasern hergestellt und nicht mehr mit Siebdruck gearbeitet wird, können dünnere Wafer zum Einsatz kommen, was wiederum Kosten spart.	Großes Potenzial sprechen Experten auch Rückkontakt-Solarzellen zu. Stromsammelschienen und Kontakte befinden sich hier nicht auf der Vorder-, sondern komplett auf der Rückseite der Zelle, so dass sich die solaraktive Fläche des Moduls vergrößert. Der führende Hersteller von Rückseitenkontakt-Zellen, das US-Unternehmen Sunpower, fertigt bereits Zellen mit mehr als 20 Prozent Wirkungsgrad. Damit produzierte Module erreichen 19,6 Prozent bei einer Nennleistung von 315 Watt - kein aktuelles Modul hat mehr Power.	14
		Siliziumpreise fallen	
	Bei einem Durchbruch von direkt gereinigtem metallurgischen Silizium könnten die Produktionskosten kristalliner Siliziumzellen noch weiter sinken. Der neue Sonnenstoff ist zwar nicht so rein wie das üblicherweise verwendete Halbleitersilizium, weshalb sich mit ihm keine Hochleistungszellen herstellen lassen. Dafür ist er aber wesentlich günstiger: Nach Angaben von Fraunhofer ISE-Leiter Eicke Weber kann das Material für umgerechnet drei bis sechs Euro produziert und selbst für zehn bis 13 Euro pro Kilogramm noch gewinnbringend verkauft werden (neue energie 5/2008). Der augenblickliche Spotmarktpreis für konventionelles Silizium liegt dagegen bei rund 260 Euro beziehungsweise 400 US-Dollar. Vorstellbar also, dass schon bald auch die klassische PV Niedrigpreisprodukte auf dem Markt anbieten und die Luft für die Dünnschicht damit noch enger wird. Der Wettbewerb wird nicht so hart sein, wenn die Nachfrage nach Solaranlagen in den kommenden Jahren stark wächst — es also genug Platz für verschiedene Player gibt. Sollte sich der Bedarf bis 2010 zum Beispiel auf über 20 GW vervielfachen, wie die Beratungsgesellschaft Photon Consulting prognostiziert, dürften die Dünnschichtfirmen keine Probleme haben, Abnehmer zu finden. Wächst die Nachfrage dagegen moderat, wie der europäische Solarindustrieverband Epia glaubt, würden vor allem Hersteller mit einem schlechteren Preis-Leistungs-Verhältnis große Absatzschwierigkeiten bekommen. Geben die	Sinkende Siliziumpreise spielen den Herstellern in die Hände: Die Nachfrage nach dem Halbleiter wuchs in den vergangenen Jahren so stark, dass die Hersteller mit dessen Produktion kaum hinterher kamen. Das hat die Spotmarktpreise 2008 auf bis zu 400 Dollar (etwa 285 Euro) pro Kilogramm getrieben. Jetzt, da die Solarbranche wegen der Krise nicht mehr so rasant wächst, wird Silizium deutlich billiger: Nur noch 75 Dollar (circa 53 Euro) mussten dafür laut Marktforscher iSuppli im Juni 2009 gezahlt werden, Tendenz weiter fallend.	15

Abs	Neue Energie (6 / 2008)	SolarServer (6.8.2009)	Abs
	Dünnschichtfirmen jetzt nicht kräftig Gas, werden sie vermutlich dazu zählen. Nach Epias Schätzung wird sich der Bedarf bis 2010 nur auf sieben GW erhöhen (2007: 2,3 GW) — bei einer Weltmodulproduktion von insgesamt zwölf GW (2007: vier GW). Demnach wären fünf GW Panels zu viel auf dem Markt.		
18	Die verhaltene Prognose deckt sich mit der derzeitigen Entwicklung am ehesten: Sicher werden einzelne Märkte stark wachsen — in Spanien etwa soll sich die neu installierte Leistung in diesem Jahr auf 700 MW verdoppeln. Auch in den USA, dem Heimatmarkt vieler Dünnschichtfirmen, wird von einer guten Entwicklung ausgegangen: Epia hält dorr 2010 einen Zubau von einem bis 1,4 GW für möglich (2007: 250 MW). Doch in den meisten asiatischen und südeuropäischen Ländern kommt die Solarenergie deutlich langsamer von der Stelle. So stieg China zwar mit einem Zellenproduktionsvolumen von 1,2 GW im vergangenen Jahr zum weltgrößten PV-Hersteller auf, doch weil die Solarenergie in dem Land kaum gefördert wird, gingen dort im letzten Jahr nur Anlagen mit 50 MW ans Netz. Derzeit gibt es außer Kleinanlagen für den Offgrid-Einsatz und wenigen Pilotprojekten keine nennenswerten Installationen. Bis 2010 wird Peking an. dieser Situation vermutlich wenig ändern: Gerechnet wird für dieses Jahr mit einem Zubau von maximal 300 MW.		
19	Frankreich und Italien enttäuschten bis dato ebenso: 45 MW und 25 MW wurden dort im letzten Jahr aufgestellt. Und mit einem baldigen Solarboom am Mittelmeer ist nicht zu rechnen: Noch immer verhindert eine langsame Administration die zügige Umsetzung von Solarvorhaben. Schließlich wird laut Experten auch Deutschland, mit 1,1 GW Zubau 2007 größter PV-Markt, sein Wachstum verlangsamen. Die Bundesregierung will die Einspeisevergütungen für Solarstrom mit der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) senken (siehe Seite 16). Bisher betrug die jährliche Degression fünf Prozent.		
	Mehr als ein Nischenprodukt	Dünnschicht auf großen Dächern und im Freiland	
20	Die Dünnschichtfirmen werden also wahrscheinlich hart um Marktanteile kämpfen müssen. Vorerst dürfte es ihre Technologie wegen der niedrigen Effizienzen vor allem dort schwer haben, wo viel Leistung auf wenig Fläche erbracht werden muss. Hausbesitzer in Ländern mit attraktiver Solarförderung zum Beispiel werden ihr Dach eher mit kristallinen Siliziumpanels	Die Dünnschicht-Hersteller werden also hart um Marktanteile kämpfen müssen. Vorerst dürfte es ihre Technik wegen der relativ niedrigen Effizienz vor allem dort schwer haben, wo viel Leistung auf wenig Fläche erbracht werden muss. Hausbesitzer in Ländern mit attraktiver Solarförderung, wie zum Beispiel in Deutschland, werden ihr Dach eher mit kristallinen Siliziumpaneelen bestücken, weil diese	16

Abs	Neue Energie (6 / 2008)	SolarServer (6.8.2009)	Abs
	<p>bestücken, weil sie auf zehn Quadratmetern schlicht mehr Strom erzeugen und eine Einspeisevergütung erwirtschaften, mit der sich der Preisnachteil gegenüber der Dünnschicht mehr als aufwiegen lässt.</p>	<p>pro Quadratmeter Fläche mehr Strom erzeugen und eine Einspeisevergütung erwirtschaften, mit der sich der Preisnachteil gegenüber der Dünnschicht mehr als aufwiegen lässt.</p>	
21	<p>Kurzfristige Chancen bieten sich den schlanken Lichtsammlern dagegen auf großen Industrie- und Gewerbedächern oder im Freiland: Hier ist reichlich Platz vorhanden, so dass der Preis das entscheidende Kriterium ist. Einige interessante Dünnschichtlösungen für Fabrikgebäude, Lagerhallen und andere Nutzgebäude sind bereits auf dem Markt: Solarkonzern Centrosolar zum Beispiel bietet neuerdings aus Dünnschichtsiliziumzellen bestehende Dachfolien für Flachdächer an. Diese Lichtsammler des US-Herstellers United Solar erreichen zwar nur Effizienzen von 6,5 Prozent, ersetzen aber die Dachhaut und sparen damit letztlich Kosten.</p>	<p>Kurzfristige Chancen bieten sich den Dünnschicht-Modulen hin gegen auf großen Industrie- und Gewerbedächern oder im Freiland, wo reichlich Platz vorhanden ist und es weniger darum geht, auf einer begrenzten Fläche maximale Leistung zu generieren.</p>	
22	<p>Auch für die Fassadenintegration sind Dünnschichtmodule prädestiniert, denn sie sind leichter und flexibler als ihre dicken kristallinen Kollegen. Zudem haben sie den physikalischen Vorteil, dass sie bei hohen Temperaturen weniger Leistungsverluste aufweisen. Besonders bei Fassaden, die nicht hinterlüftet sind, kann Hitze den Zellen arg zusetzen. Beim Gebäudehüllenspezialist Schüco spielt die Dünnschicht mittlerweile eine zentrale Rolle: Er will nach Angaben von Christof Erban, zuständig für den Internationalen Vertrieb von PV-Elementen zur Gebäudeintegration, ein Fassadenelement aus Dünnschichtsilizium auf den Markt bringen, das mit bis zu 5,7 Quadratmetern doppelt so groß ist wie bisher handelsübliche Module. Es werde sowohl semitransparent als auch opak, also undurchsichtig, sowie in Sonderformen erhältlich sein. Große Hoffnungen auf den Einsatz seiner speziellen Kupfer-Module in Gebäuden macht sich auch die Frankfurter Odersun (siehe Seite 82):</p>	<p>Auch können Dünnschichtmodule wegen ihrer Flexibilität und des geringen Gewichts besser als stromerzeugende Fenster oder Fassaden in die Gebäudehülle integriert werden. So verbessern sie nicht nur die Energiebilanz eines Gebäudes, sondern erweitern auch den gestalterischen Freiraum der Architekten und Planer. Zur letzten glasstec im Oktober 2008 waren bereits zahlreiche kreative Lösungen gebäudeintegrierter Photovoltaik in Düsseldorf zu sehen.</p>	
23	<p>Gelingt es Firmen wie First Solar oder Oerlikon, die Fertigungskosten für Dünnschichtmodule in zwei Jahren tatsächlich so weit zu senken, dass sie Solarstrom zu den gleichen Kosten wie Netzstrom liefern, könnte die Technologie ihren Marktanteil sicher erheblich erhöhen. Denn ist die Photovoltaik erst einmal auf Augenhöhe mit dem Netzstrompreis, wird sich niemand mehr über die Abnahme Sorgen machen müssen.</p>	<p>Mehr als Nischenprodukte werden CIS, CdTe & Co, wenn die Hersteller ihre Ankündigungen wahr machen und ihre Fertigungskosten binnen kurzer Zeit drastisch reduzieren. Schließen die schlanken Stromgeneratoren dann auch noch bei der Effizienz zu ihren kristallinen Konkurrenten auf, könnten sie sogar zur dominierenden Solarstromtechnik avancieren.</p>	17
24	<p>Nach den ehrgeizigen Zielen von Oerlikon, könnte das bereits 2010 der Fall sein. Bis dahin wollen die Schweizer Produktionskosten von 0,44 Euro pro Watt bei einem Wirkungsgrad von zehn Prozent</p>	<p>Theoretisch kann die Dünnschicht also viel bewegen, doch nun müssen die Unternehmen ihre Ideen erst mal in Produktions-Kapazitäten umsetzen. Nur 800 MW spuckten ihre Fabriken</p>	

Abs	Neue Energie (6 / 2008)	SolarServer (6.8.2009)	Abs
	<p>schaffen. Die kristalline Technologie wäre damit ausgestochen: Für unter 0,50 Euro wird sich in den nächsten Jahren kein kristallines Modul fertigen lassen. Theoretisch kann die Dünnschicht also viel, nun muss sie erst einmal den anstehenden Kapazitätsausbau bewältigen.</p>	<p>2008 aus, davon stammten allein 500 MW aus First Solar-Linien - in der konventionellen Photovoltaik wurde laut EPIA im vergangenen Jahr sieben Mal mehr hergestellt. Messen wie die solarpeq und glasstec 2010 werden zeigen, in welche Richtung die Entwicklung gehen wird - denn in kaum einer Branche ist der kostensenkende Einfluss von Innovationen in der Fertigungstechnik in Zukunft so entscheidend.</p>	