

Abs	ÖKO-Test (6 / 2011)	Technology Review (6 / 2011)	Abs
	Photovoltaikmarkt Flaute statt Boom? (Sascha Rentzing)	<u>Höhenflug beim Wirkungsgrad</u> (Sascha Rentzing)	
0	Kommt nach der Atomkatastrophe in Japan ein Ansturm auf die Solartechnik? Die überraschende Antwort: nein. Denn global gesehen sinkt die Nachfrage, weil viele Länder die Förderung wegen zu hoher Kosten kürzen. Der positive Effekt: Um im Geschäft zu bleiben, arbeiten die Firmen an preissenkenden Innovationen. Wir stellen die Trends vor, die Mitte des Monats auf der Messe Intersolar präsentiert werden.	Klassische Silizium-Solarzellen sind immer noch die verbreitetsten Sonnenlichtfänger fürs Hausdach. Weiterentwickelte Silizium-Module halten die konkurrierenden Ansätze auf Abstand.	0
1	Kaum hatte das schwere Erdbeben am 11. März in Japan das Kernkraftwerk Fukushima zerstört, fasste die deutsche Bundesregierung detaillierte Beschlüsse für einen beschleunigten Ausbau erneuerbarer Energien: Die KfW-Bank soll bald günstige Kredite für neue Offshorewindparks in Nord- und Ostsee geben statt Bürgschaften.	Die Schweizer Luftwaffe hat ihre Pilatus-Flugzeuge bereits verlegt. Denn die Ingenieure des Solar-Impulse-Projekts der beiden Schweizer Elektroflug-Pioniere Bertrand Piccard und André Borschberg brauchen Platz, viel Platz. Bald wollen sie im Hangar des Militärflugplatzes Payerne südlich von Bern mit der Konstruktion des neuen, verbesserten Solarfliegers beginnen. Die Maschine wird mit 80 Metern Spannweite an den Airbus A380 heranreichen, das weltweit größte Verkehrsflugzeug. Im Jahr 2012 soll das E-Fluggerät dann zu einer Reise abheben, die Luftfahrtgeschichte schreiben könnte: der Weltumrundung ohne Treibstoff und ohne CO ₂ -Emissionen.	1
2	Außerdem werden rasch neue Stromautobahnen entstehen, die den vor den Küsten produzierten Strom in die großen Verbrauchsgebiete im Westen und Süden des Landes transportieren. Experten loben Berlins Offshorrekurs, denn sie sprechen der Windkraft großes Potenzial zu. „2020 können in Deutschland bereits über 20 Prozent des erzeugten Stroms aus dieser Quelle kommen“, erklärt Jürgen Schmid, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik. Zum Vergleich: Die Atomenergie hat derzeit einen Anteil von 22 Prozent am Strommix. Die dreiflügeligen Stromerzeuger könnten die deutschen Meiler also komplett ersetzen.	Ein Ereignis, das Vorbildcharakter haben könnte. "Der Kohlendioxid-Ausstoß aus dem Luftverkehr soll bis 2050 um die Hälfte sinken. Warum nicht mithilfe solarer Passagierflugzeuge?", sagt Projekt-Initiator Bertrand Piccard. Flugzeuge und Schiffe, die emissionsfrei mit Brennstoff- oder Solarzellen angetrieben werden, sind längst mehr als eine kühne Vision.	2
3	Während die Windkraft auf hoher See zum Zugpferd der anvisierten Energiewende wird, scheint die Photovoltaik (PV) in Berlin in Ungnade gefallen zu sein. Hintergrund: Laut Bundesnetzagentur wurden in Deutschland voriges Jahr zwar 7.247 Megawatt (MW) PV-Leistung neu installiert – fast doppelt so viel wie 2009. Das immense Wachstum hat die Förderkosten für die Sonnenenergie, die gemäß	Ende Mai 2011 wird der Schweizer Raphaël Domjan mit seinem solarbetriebenen Katamaran Tûranor Planet Solar nach achtmonatiger Weltumrundung in Monaco zurückerwartet. Bereits im Juli 2010 gelang Solar-Impulse-Pilot André Borschberg mit dem ersten Prototyp ein 26-Stunden-Flug über Payerne. Vier Elektromotoren mit 30 Kilowatt (kW) Gesamtleistung hievten das 1,5 Tonnen	3

Abs	ÖKO-Test (6 / 2011)	Technology Review (6 / 2011)	Abs
	<p>dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) den Verbrauchern in Rechnung gestellt werden, aber in die Höhe getrieben. Die EEG-Umlage stieg 2011 um 70 Prozent auf 3,53 Cent pro Kilowattstunde (kWh). Um die Kosten einzudämmen, kappt die Bundesregierung die Solartarife: Im Januar fiel die Vergütung bereits um 13 Prozent, schon im Juli steht die nächste Absenkung um bis zu 15 Prozent an. Die Maßnahme zeigt sofort Wirkung: „Geringere Renditeerwartungen lassen die Nachfrage nach Solaranlagen spürbar sinken“, bemerkt Norbert Hahn, Vertriebsvorstand des Systemanbieters IBC Solar.</p>	<p>schwere Gerät auf 8500 Meter Höhe.</p>	
	<p>Gewaltiges Wachstum</p>		
4	<p>Deutschland handelt nicht allein so restriktiv. Fast alle europäischen Länder mit Einspeisevergütung für Solarstrom reduzieren teilweise drastisch die Fördertarife, weil der starke Zubau außer Kontrolle gerät. „Die Politik hat massiv unterschätzt, dass die dezentrale Stromerzeugung überwältigend anwachsen kann“, erklärt der Analyst Götz Fischbeck von der Frankfurter BHF-Bank. Rasant fallende Modulpreise ließen 2010 die Nachfrage unerwartet boomen: Mit 16.600 MW hat sich 2010 die weltweit neu installierte PV-Leistung laut dem europäischen Solarindustrie-Verband EPIA mehr als verdoppelt. Somit stiegen in den Ländern auch die Förderkosten, die fast überall nach Vorbild des deutschen EEG auf die Stromkunden umgelegt werden.</p>	<p>Danach trieben 12000 in die Flügel integrierte monokristalline Rückseitenkontaktzellen der US-Firma SunPower mit 22,5 Prozent Wirkungsgrad die Propeller an. SunPower-Solarzellen fangen mehr Licht ein und sind effizienter als herkömmliche Siliziumzellen, da sich ihre Stromanschlüsse auf der Rückseite befinden, sodass die Front nicht von Kontakten verschattet wird. Die neue Solar Impulse soll für die Weltumrundung noch effizientere Solartechnik nutzen. Piccard will Mehrschichtenzellen einbauen, die, anders als Siliziumzellen, aus verschiedenen Schichten unterschiedlich legierter Halbleiter bestehen. Da sie jeweils eine andere Wellenlänge des Lichts nutzen, steigt ihr Wirkungsgrad auf 30 Prozent.</p>	4
5	<p>Spanien und Tschechien, ehemals starke Solarmärkte, gehen besonders rigoros gegen die Photovoltaik vor. Seit die üppige Förderung den Zubau auf der Iberischen Halbinsel 2008 auf 2.708 MW trieb, erstickt die spanische Regierung jede Solarregung im Keim. Einschränkungen des Anspruchs auf Einspeisevergütung und eine starre Deckelung des Zubaus auf 500 MW pro Jahr ließen den Markt 2009 auf 17 MW zusammensacken. Gezielte Stiche halten ihn nun am Boden: Im Januar beschloss Madrid unter anderem, dass die beiden einstigen Wachstumstreiber Freiland- und große kommerzielle Dachinstallationen dieses Jahr 45 beziehungsweise 25 Prozent weniger Vergütung erhalten. Das dürfte selbst standhafteste Investoren aus dem Land treiben.</p>	<p>High-End-Zellen in mobilen Anwendungen sind die Speerspitze der Photovoltaik (PV) und unterscheiden sich noch stark von den stationären Modellen. Mobile Zellen müssen auf höchste Stromausbeute bei geringstem Gewicht gezüchtet werden. Die neuen Mehrschichtenzellen von Solar Impulse sollen deshalb nicht dicker sein als 50 Mikrometer. Einem Solaranlagenbetreiber kann die Dicke seiner Zellen hingegen relativ egal sein. Er kommt problemlos mit den 180 Mikrometern gängiger Siliziumzellen zurecht.</p>	5
6	<p>In Tschechien drohen noch schärfere Einschnitte. Nach einem Rekordjahr 2010 mit 1.360 MW Zubau erwägt Prag, den Markt mit einem 4,5-MW-Deckel komplett abzuwürgen.</p>	<p>Dennoch sind die schlanken Hocheffizienzzellen auch für stationäre Anwendungen richtungweisend. Denn hohe Zellenproduktionskosten machen</p>	6

Abs	ÖKO-Test (6 / 2011)	Technology Review (6 / 2011)	Abs
	<p>Die Anti-PV-Woge ist inzwischen auch nach Großbritannien geschwappt. Dabei hatte das Land erst im April 2010 einen attraktiven Einspeisetarif eingeführt. Doch ruderte die britische Regierung zurück, da bereits im März für 2011 Projekte mit 169 MW in Planung gewesen seien – doppelt so viel wie London anvisiert hätte, erklärt Oliver Trier, Geschäftsentwickler bei IBC Solar in England.</p>	<p>Sonnenenergie teuer: In Deutschland produzieren PV-Systeme Solarstrom nach Berechnungen der Fachzeitschrift "Photon" für durchschnittlich elf Cent pro Kilowattstunde (kWh). Damit ist er viermal teurer als Kohlestrom. Bessere Wirkungsgrade können den Preis erheblich drücken. Der Wirkungsgrad beeinflusst die Wirtschaftlichkeit der Zellenproduktion stärker als jeder andere Faktor: Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad, so die Faustformel, senkt die Kosten um sieben Prozent, da pro Watt weniger Material benötigt wird.</p>	
	<p>Wettbewerbsdruck steigt</p>		
7	<p>Damit sieht es so aus, als ginge der Photovoltaik kurz vor Erreichen der Wettbewerbsfähigkeit die Puste aus. Der Europa-Verband EPIA rechnet 2011 mit einem Rückgang der globalen Neuinstallationen um rund 20 Prozent auf 13.300 MW. Zwar entstehen nach Schätzung des Verbands etwa mit China, Indien und den USA neue Märkte, die Flaute in Europa können diese aber vorerst nicht kompensieren. Daraus ergibt sich für die Solarindustrie ein gravierendes Problem: Im Glauben an einen lang anhaltenden Solarboom hatten im vorigen Jahr viele Hersteller Investitionsentscheidungen für neue Fabriken getroffen. Jetzt, da der Kapazitätsausbau im vollen Gange ist oder Investitionsentscheidungen nicht mehr rückgängig zu machen sind, sinkt die Nachfrage. Das heißt, viele Werke lassen sich nicht voll auslasten. Laut dem US-Marktforscher iSuppli wird die Produktionskapazität bis 2012 auf 40.000 MW anwachsen – bei einem Bedarf von gerade einmal 20.000 MW. „Es steht eine Marktberreinigung bevor, die nur wenige Firmen unbeschadet überstehen“, prophezeit iSuppli-Analyst Stefan deHaan.</p>		
8	<p>Um im harten Wettbewerb zu bestehen, bemühen sich die Hersteller um die rasche Weiterentwicklung ihrer Produkte. Sie investieren in kosteneffizientere Produktionen, ersetzen und sparen teures Halbleitermaterial, vor allem aber treiben sie die Kommerzialisierung neuer Zellen mit höherer Effizienz mit großem Einsatz voran. „Es herrscht ein regelrechter Wettlauf um Wirkungsgrade“, erklärt der PV-Experte Arnulf Jäger-Waldau vom Joint Research Centre der EU-Kommission. Da die Sonne kostenlos vom Himmel strahlt, könnte einem Betreiber der Wirkungsgrad seiner Solaranlage eigentlich ziemlich egal sein. Doch ist der Wirkungsgrad für die</p>	<p>Nicht alles, was in den prototypischen Vorreitern mit einem hohen Wirkungsgrad glänzt, lässt sich jedoch in der Massenfertigung mit vertretbarem Aufwand realisieren. Bei den Mehrschichtenzellen wird eine Germaniumscheibe im Vakuum mit verschiedenen Absorbern beschichtet. "Dieses Verfahren ist für großflächige terrestrische Anwendungen zu teuer", sagt Gerald Siefer, Stapelzell-Experte am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg.</p>	7

Abs	ÖKO-Test (6 / 2011)	Technology Review (6 / 2011)	Abs
	Wirtschaftlichkeit von Modulen der entscheidende Faktor: Jeder zusätzliche Prozentpunkt senkt, so die Faustformel, die Kosten um sieben Prozent, da pro Watt weniger Material benötigt wird.		
	Noch ist viel Luft nach oben: „Die Effizienz von Siliciumsolarzellen kann bereits mit relativ geringem Aufwand sicher über 20 Prozent wachsen“, erläutert Eicke Weber, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE). Auf der Intersolar in München, der Weltleitmesse für Solartechnik, dürften die Hersteller vom 8. bis 10. Juni daher ein regelrechtes Innovationsfeuerwerk inszenieren. Diente die Veranstaltung den Firmen bisher als reines Schaulaufen, wird hier diesmal um das beste Hochleistungskonzept und jeden Prozentpunkt Effizienz gerungen.	Siliziumzellen lassen sich leichter umsetzen. ISE-Chef Eicke Weber glaubt, dass ihre Effizienz bereits mit relativ geringem Aufwand auf deutlich über 20 Prozent wachsen könne; derzeit verfügbare Standardzellen kommen auf durchschnittlich 17 Prozent.	
		SunPowers Rückseitenkontaktzellen, die in Tests bereits rekordverdächtige 24,2 Prozent Wirkungsgrad erreichen, geben die Richtung vor. Ihr Nachteil sind jedoch die hohen Kosten, bedingt durch eine aufwendige Produktion. Statt auf revolutionäre Effizienzsprünge setzen die meisten Hersteller daher auf kosteneffizientere evolutionäre Entwicklungen ihrer Siliziumzellen, erklärt Paul Wyers, Leiter des Bereichs Solarenergie am niederländischen Energieforschungsinstitut ECN.	8
		Nach zwei Jahrzehnten intensiver Siliziumforschung haben die Labore der Industrie inzwischen eine Reihe verschiedener Optimierungsverfahren entwickelt, um erstens mit geringstem Aufwand möglichst viel Licht einzufangen und zweitens Ladungsträgerverluste in der Zelle zu vermeiden. Strom fließt nur dann, wenn die negativ geladenen Elektronen die Kontakte auf der Vorderseite und die positiv geladenen Freistellen, die durch das Abwandern der Elektronen entstehen – die sogenannten Elektronenlöcher –, den Rückkontakt erreichen. Die größten Verluste entstehen dadurch, dass sich Elektronen und Löcher an Stellen mit Unregelmäßigkeiten im Halbleiterkristall oder an dessen Oberfläche wieder neutralisieren, im Fachjargon: rekombinieren.	9
9	Die chinesischen Hersteller geben technisch derzeit den Takt vor.	Die chinesischen Hersteller Suntech Power und Yingli Green Energy lösen dieses Problem derzeit am besten.	10
	Suntech Power etwa, einer der drei großen chinesischen Anbieter, hat mithilfe der University of New South Wales in Sydney Zellen entwickelt, die zehn bis 15 Prozent effizienter	Suntech hat gemeinsam mit der University of New South Wales in Sydney Zellen entwickelt, die 10 bis 15 Prozent effizienter sind als seine bisherigen Zellen – die monokristalline Variante	

Abs	ÖKO-Test (6 / 2011)	Technology Review (6 / 2011)	Abs
	sind als seine bisherigen Zellen – die Variante aus monokristallinem Silicium erreicht 19,2 Prozent Wirkungsgrad. Ein Geheimnis von Suntech ist der selektive Emitter. Emitter heißt die obere aktive Schicht des Siliciumkristalls. Sie wird gezielt mit Phosphor verunreinigt. Je mehr Phosphor sie enthält, desto besser leitet sie die generierten Elektronen aus der Zelle zu den Kontakten.	erreicht 19,2 Prozent Wirkungsgrad. Ein Geheimnis von Suntech ist der selektive Emitter. Das ist die obere aktive Schicht des Siliziumkristalls. Sie wird gezielt mit Phosphor verunreinigt. Je mehr Phosphor sie enthält, desto besser leitet sie die generierten Elektronen aus der Zelle zu den Kontakten, da sich durch die Phosphoratome der Übertragungswiderstand zwischen dem Halbleiter und den Kontakten verringert.	
	Zu viel Phosphor ist aber schlecht für den Wirkungsgrad,	Zu viel Phosphor ist aber schlecht für den Wirkungsgrad.	
	da er den Kristall stört. Phosphoratome wirken wie Defekte im Siliciumkristall, an denen die Ladungsträger verloren gehen, ehe sie die Kontakte erreichen und als Strom abgegriffen werden können. Suntech arbeitet daher nur unter den Kontakten mit viel Phosphor, dazwischen mit weniger. So verbessere sich die Effizienz bei nahezu gleich bleibenden Prozesskosten, sagt Technikchef Stuart Wenham.	Denn die Phosphoratome wirken wie Störungen in der Kristallstruktur, an denen sich die erzeugten Ladungsträger wieder rekombinieren, ehe sie die Kontakte erreichen. Suntech arbeitet daher nur direkt unter den Kontakten mit viel Phosphor, dazwischen mit weniger. So verbessere sich die Effizienz bei nahezu gleichbleibenden Prozesskosten, sagt Technikchef Stuart Wenham.	11
	Neue Zellenkonzepte aus China		
10	Die chinesische Yingli Green Energy wiederum will den Wirkungsgrad ihrer Zellen mithilfe einer speziellen Siliciumsorte, dem monokristallinen n-Typ-Silicium, und sogenannter Metal-Wrap-Through-Technik (MWT) auf 20 Prozent steigern. Siliciumzellen bestehen aus zwei unterschiedlich dicken Bereichen, die sich in ihrer Leitfähigkeit unterscheiden. In Standardzellen ist eine untere dickere Schicht mit Bor angereichert, um einen Überschuss positiver Ladungsträger zu erreichen, im oberen Emitter sorgt dagegen Phosphor für einen Überschuss negativer Ladungsträger. n-Typ-Zellen sind genau umgekehrt aufgebaut.	Yingli wiederum will den Wirkungsgrad seiner Zellen mittels eines speziellen monokristallinen n-Typ-Siliziums und sogenannter "Metal-Wrap-Through"-Technik (MWT) auf 20 Prozent steigern. Siliziumzellen bestehen aus zwei unterschiedlich dicken Bereichen, die sich in ihrer Leitfähigkeit unterscheiden. In Standardzellen ist die dickere untere Schicht mit Bor angereichert, um einen Überschuss positiver Ladungsträger zu erhalten, im oberen Emitter sorgt dagegen Phosphor für einen Überschuss negativer Ladungsträger. n-Typ-Zellen sind genau umgekehrt aufgebaut (siehe Grafik).	12
11	Ihr Vorteil ist, dass Bor wegen seiner Atomeigenschaften für den Wirkungsgrad weniger kritisch ist.	Ihr Vorteil: Wegen seiner speziellen Atomeigenschaften neigt Bor weniger dazu, die generierten Ladungsträger zum Rekombinieren zu bringen, weshalb die Zellen einen höheren Wirkungsgrad erreichen.	
	Dadurch ist es entweder möglich, mit billigerem Silicium zu arbeiten, das mehr Verunreinigungen enthält, oder Zellen mit höheren Effizienzen herzustellen.	Das wiederum macht es möglich, mit billigerem Silizium zu arbeiten, das mehr Verunreinigungen enthält, oder Zellen mit höheren Effizienzen herzustellen.	
	Das MWT-Konzept setzt Yingli um, indem es die für die Verschaltung der einzelnen Zellen nötigen Stromsammelschienen zur Verringerung des Schattenwurfs auf die Rückseite verlegt und über winzige Löcher mit den Metallkontakten auf der Front verbindet. Durch den höheren Lichteinfall steigt die Stromausbeute.	Das MWT-Konzept setzt Yingli über die Anordnung der Stromsammelschienen um: Um den Schattenwurf zu verringern, verlegt es die Schienen, die für die Verschaltung der einzelnen Zellen nötig sind, auf die Rückseite und verbindet sie über winzige Löcher mit den Metallkontakten auf der Front. MWT-Zellen gelten als Vorstufe der Rückseitenkontaktzellen,	13

Abs	ÖKO-Test (6 / 2011)	Technology Review (6 / 2011)	Abs
		die für einen maximalen Lichteinfall die gesamte Metallisierung, also auch die Kontakte, auf ihrem Rücken tragen.	
12	Um technologisch nicht abgehängt zu werden, ziehen die deutschen Hersteller mit Innovationen nach. Auch Bosch Solar Energy und Schott Solar wollen MWT-Zellen produzieren und ihre Konzepte dafür auf der Intersolar vorstellen.	Um technologisch nicht abgehängt zu werden, ziehen die deutschen Hersteller mit Innovationen nach. Auch Bosch Solar Energy und Schott Solar wollen MWT-Zellen produzieren.	
	Q-Cells hingegen hat die Rückseite seiner Zellen so optimiert, dass die Effizienz gegenüber bisherigen Q-Cells-Standardzellen um 1,5 Prozentpunkte auf 18,5 Prozent steigt. Spezielle Antireflex- und Passivierschichten minimierten Lichtreflexionen und Ladungsträgerverluste, erklärt Cheftechnologe Peter Wawer.	Q-Cells hingegen hat die Rückseite seiner multikristallinen Zellen so optimiert, dass die Effizienz gegenüber bisherigen Q-Cells-Standardzellen um 1,5 Prozentpunkte auf 18,5 Prozent steigt. Spezielle Antireflex- und Passivierschichten minimierten Lichtreflexionen und Ladungsträgerverluste, erklärt Cheftechnologe Peter Wawer.	14
13	Bei dem Innovationstempo der kristallinen Technik können andere PV-Techniken wie die Dünnschicht kaum noch mithalten. Aufgekommen zu Zeiten des Siliciumengpasses im Jahr 2007, sollte sie die teuren Siliciummodule als führende Solartechnik ablösen. Siliciumzellen, so das Argument, nutzten bei 180 bis 250 Mikrometern Dicke nur 20 Mikrometer für die Lichtumwandlung, das restliche Material diene der Stabilität der Zelle. Warum also nicht für den gleichen Effekt auf das teure Silicium verzichten? Immer mehr Firmen ersetzen deshalb die dicken Wafer durch billige Glasscheiben, die sie mit hauchfeinen halbleitenden Schichten überzogen.	Bei dem Innovationstempo der Silizium-Wafer-Technik können andere PV-Varianten wie die Dünnschichtsysteme kaum noch mithalten. Aufgekommen zu Zeiten des Siliziumengpasses im Jahr 2007, sollten sie die teuren kristallinen Module als führende Solartechnik ablösen. Siliziumzellen, so das Argument, nutzten bei 180 bis 250 Mikrometern Dicke nur 20 Mikrometer für die Lichtumwandlung, das restliche Material diene der Stabilität der Zelle. Warum also nicht für den gleichen Effekt auf das teure Silizium verzichten? Immer mehr Firmen ersetzen deshalb die dicken Wafer durch billige Glasscheiben, die sie mit hauchdünnen halbleitenden Schichten überzogen.	15
	Der große Durchbruch der Dünnschicht blieb dennoch aus, denn sie kann nach wie vor nur mit relativ geringen Effizienzen aufwarten.	Der große Durchbruch der Dünnschicht blieb dennoch aus. Zum einen war Silizium dank rascher Produktionserweiterungen der Chemiekonzerne bald wieder reichlich und billiger verfügbar, zum anderen kann die Dünnschichttechnik nach wie vor nur mit relativ geringen Effizienzen aufwarten.	16
	Mit Zellen auf Basis von Kupfer, Indium und Selen (CIS) erreicht das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) 20,3 Prozent Wirkungsgrad. Allerdings sind industriell gefertigte Zellen noch weit von solchen Werten entfernt, und auch in der Produktion sind sie mit schätzungsweise rund zwei Euro pro Watt noch doppelt so teuer wie manche Siliciumzellen. „Für CIS existieren noch zu kleine Produktionseinheiten“, sagt ZSW-Vorstand Michael Powalla.	Mit Zellen auf Basis von Kupfer, Indium und Selen (CIS) erreicht etwa das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) 20,3 Prozent Wirkungsgrad. Industriell gefertigte CIS-Zellen sind aber noch weit von solchen Werten entfernt, und in der Produktion sind sie mit geschätzten zwei Euro pro Watt auch noch doppelt so teuer wie manche Siliziumzellen. "Für CIS existieren bisher zu kleine Produktionseinheiten", erklärt ZSW-Vorstand Michael Powalla. Steigende Preise für die begehrten Rohstoffe Indium und Gallium könnten das Problem noch verschärfen.	
	Dünnschicht unter Druck		

Abs	ÖKO-Test (6 / 2011)	Technology Review (6 / 2011)	Abs
14	Nur First Solar , Hersteller von Dünnschichtmodulen aus Cadmium-Tellurid (Cd-Te) , kann der kristallinen Konkurrenz bisher das Wasser reichen und zählt zu den Dauerbrennern der Branche. Auch auf der diesjährigen Intersolar wird die Firma technische Fortschritte verkünden:	Anders sieht es bei Dünnschichtzellen aus Cadmiumtellurid (CdTe) aus. Zwar erreichen Module des Marktführers First Solar nur rund elf Prozent Effizienz,	17
	Sie hat ihre Produktionskosten inzwischen auf rund 0,50 Euro pro Watt gesenkt und kann ihre Technik daher billiger anbieten als jeder andere Hersteller . Offenbar verzeihen es Betreiber daher, dass CdTe-Module wegen ihres geringeren Wirkungsgrads – sie erreichen nur rund elf Prozent Effizienz – für die gleiche Leistung mehr Fläche benötigen: Im Jahr verkauft First Solar mittlerweile mehr als 1.000 MW Leistung .	aber bei Produktionskosten von lediglich 50 Cent pro Watt kann er seine Technik billiger anbieten als die Hersteller von CIS- und Siliziumpaneelen. Offenbar verzeihen es Betreiber daher, dass CdTe-Module wegen ihres geringeren Wirkungsgrads für die gleiche Leistung mehr Fläche benötigen: Pro Jahr verkauft First Solar mehr als 1000 Megawatt (MW) Leistung . Allerdings gerät die Technik wegen des giftigen Cadmiums immer stärker in die Kritik. Selbst führende Solarforscher fordern inzwischen ihr Verbot.	
		Für Nanosolar-Zellen sind die Chancen auf einen Platz an der Sonne noch geringer. Die US-Firma Nanosolar hatte bereits für 2009 revolutionäre Technik angekündigt: Zellen aus Aluminiumfolien, auf die ein CIS-Halbleiter im Rotationsverfahren gedruckt wird, sollten mit Effizienzen von elf Prozent und Fertigungskosten von nur 30 Cent alle anderen PV-Techniken in den Schatten stellen. Die geplante Massenproduktion läuft wegen technischer Probleme jedoch bis heute nicht.	18
		Auch die Kommerzialisierung von Farbstoff- und organischen Zellen stockt. Größtes Problem ist, dass die Zellen schon nach wenigen Wochen deutlich an Leistung verlieren, da sich ihre photoaktiven Substanzen zu schnell abbauen.	19
15	Mit lichtbündelnden Systemen hingegen etabliert sich derzeit eine Technik, die im Gegensatz zur Dünnschicht bisher keiner auf der Rechnung hatte. Ihr Aufbau ist komplex: Integrierte Spiegel oder Linsen konzentrieren Licht auf winzige Mehrschichtenzellen aus verschiedenen übereinanderliegenden Halbleitern.	Mit lichtbündelnden Systemen hingegen etabliert sich derzeit eine Technik, die bisher keiner auf der Rechnung hatte. Dabei konzentrieren integrierte Spiegel oder Linsen Licht auf winzige Mehrschichtenzellen.	
16	Durch die 500- bis 1.000-fache Verstärkung der Strahlung werde eine teure großflächige Anwendung der Mehrschichtenzellen vermieden, erklärt Gerald Siefer, Experte für Stapelzellen am ISE.	Durch die 500- bis 1000-fache Verstärkung der Strahlung werde eine teure großflächige Anwendung der Mehrschichtenzellen vermieden, erklärt ISE-Forscher Siefer.	
	Der französische Halbleiterzulieferer Soitec wird auf der Intersolar ein solches System mit 25 Prozent Wirkungsgrad vorstellen. Die Firma bringt 98 Mehrschichtenzellen mit drei Millimetern Durchmesser in einem Modul mit rund 0,35 Quadratmetern Größe unter. 90	Die Solar Energy Business Unit des französischen Halbleiterzulieferers Soitec hat ein solches System mit 25 Prozent Wirkungsgrad entwickelt. Das Unternehmen bringt 98 Mehrschichtenzellen mit drei Millimeter Durchmesser in einem Modul mit	20

Abs	ÖKO-Test (6 / 2011)	Technology Review (6 / 2011)	Abs
	dieser Paneele werden wiederum auf eine 30 Quadratmeter große Nachführeinheit, den Tracker, montiert.	rund einem Drittel Quadratmeter Größe unter. Dann werden 90 dieser Paneele wiederum auf eine 30 Quadratmeter große Nachführeinheit, den Tracker, montiert, der die Anlage nach dem Sonnenstand ausrichtet.	
17	„An guten Standorten können die Konzentratorsysteme schon heute 20 bis 30 Prozent kosten günstiger Strom erzeugen als herkömmliche Module“, sagt Siefer.	"An guten Standorten können die Konzentratorsysteme schon heute 20 bis 30 Prozent kostengünstiger Strom erzeugen als herkömmliche Module", sagt Siefer.	
	Allerdings erhöht die Nachführung die Kosten und ist bei Dachanlagen kaum möglich. Als Technologie, die in einstrahlungsreichen Regionen der Erde konventionelle Kraftwerke ersetzt, sehen Experten aber große Chancen für die Systeme. Vor allem US-Energieversorger zeigten großes Interesse, sagt EU-Experte Jäger-Waldau, der einen Anstieg der global installierten Konzentradorleistung von derzeit 100 bis 2015 auf 2.000 MW voraussagt.	Allerdings erhöht die Nachführung die Kosten und ist bei Dachanlagen kaum möglich. Experten sehen die Systeme aber als eine Technologie, die in einstrahlungsreichen Regionen der Erde konventionelle Kraftwerke ersetzen könnte. Vor allem US-Energieversorger zeigten großes Interesse, sagt Arnulf Jäger-Waldau vom Joint Research Centre der EU-Kommission, der einen Anstieg der global installierten Konzentrador-Leistung von derzeit 100 bis 2015 auf 2000 Megawatt voraussagt.	21
18	Dennoch bleiben die Konzentratoren damit eine Nischenanwendung. Zum Vergleich: 2010 wurden global rund 15.000 MW Siliciumzellen installiert, 2015 soll ihr Zubau nach optimistischen Prognosen bereits 50.000 MW betragen. Doch ein solches Wachstum setzt voraus, dass die Industrie ihre Innovationen jetzt schnell in die Serienfertigung bringt und die Preise deutlich senkt.	Dennoch bleiben Konzentratoren damit eine Nischenanwendung. 2010 wurden global rund 15000 MW Siliziumzellen installiert, 2015 soll ihr Zubau laut Prognosen bereits 50000 MW betragen. Ihre Langzeitstabilität stehe außer Frage, und ihr Entwicklungspotenzial sei noch groß, erklärt ISE-Chef Weber. Eine weitere Hocheffizienz-Option ist die von Sanyo entwickelte HIT-Zelle (Heterojunction with Intrinsic Thin layer), die aus monokristallinem Silizium besteht, das von beiden Seiten mit amorphem, also vollkommen unregelmäßig strukturiertem Silizium beschichtet wird. Auf der Frontseite dient es als Emitter, auf der Rückseite als Passivierschicht: Sie wirkt für Elektronen als Barriere. Deren Gegenstücke, die Elektro-nenlöcher, fließen indes ungehindert zu den Elektroden ab und können nicht mehr rekombinieren. So steigt die Effizienz auf 21,1 Prozent.	22
		Während sich die Wirkungsgrade noch erheblich steigern lassen, kann der Materialverbrauch gleichzeitig deutlich sinken. Hersteller arbeiten an dünneren Siliziumscheiben und erproben Verfahren für sogenanntes direkt gereinigtes metallurgisches Silizium. Anders als Standardsilizium wird es nicht in aufwendigen Destillationsprozessen gewonnen, sondern durch mehrfaches Schmelzen gerade nur so weit gereinigt, dass es halbleitend wird. Das spart Kosten und hilft der PV ebenfalls, rasch wettbewerbsfähig zu werden.	23