

Abs	Neue Energie (4 / 2011)	ÖKO-Test (8 / 2011)	Abs
	Module für trübe Tage (Sascha Rentzing, Fotos: Georg Schreiber)	Mit der Sonne durch dick oder dünn? (Sascha Rentzing)	
0	Dünnschicht bringt wegen ihres geringen Wirkungsgrads zu wenig Erträge, heißt es landläufig. Betreiber kommen zu anderen Ergebnissen. Dank des besseren Schwachlicht- und Temperaturverhaltens könnte die Technologie gegenüber der Dickschicht in unseren Breiten sogar im Vorteil sein.	Um den Platz an der Sonne streiten zwei Technologien: Die klassischen Siliciumpaneele gelten als effizient und verlässlich, dafür bringen neuartige Dünnschichtplatten auch bei Schwachlicht und Hitze maximale Leistung. Wer hat die Nase vorn? Wir beleuchten die Vor- und Nachteile.	0
		Raus aus der Atomkraft, rein in die Sonnenenergie, das wünschen sich viele. Nur der Weg ist noch umstritten, selbst bei der technischen Ausrüstung wie den Solarpaneelen, die das Licht direkt in elektrische Energie umwandeln. Befürworter und Skeptiker liefern sich dazu in Betreiberforen des Internets sogar heiße Debatten.	1
1	Max Meier ist froh, dass er sich für die Dünnschicht entschieden hat. Im September 2006 installierte der Landwirt aus dem oberpfälzischen Cham Cadmium-Tellurid (CdTe)-Paneele mit 30 Kilowatt (kW) Gesamtleistung auf dem Dach seiner Scheune. Anfangs konnte er kaum glauben, wie gut die Anlage lief:	Zum Beispiel Max Meier. Der Landwirt aus dem oberpfälzischen Cham berichtet froh, dass er sich für die Dünnschicht entschieden hat. Im September 2006 installierte er Module aus Cadmium-Tellurid (CdTe) mit 30 Kilowatt (kW) Gesamtleistung auf dem Dach seiner Scheune. Schon von Beginn an war er überrascht, wie gut seine Anlage lief:	
	Bei gleicher Ausrichtung, Einstrahlung und Wechselrichtermarkte erntete sie in den Herbstmonaten Oktober bis Dezember 2006 rund sechs Kilowattstunden (kWh) mehr Strom als das benachbarte 30-kW-Sonnenkraftwerk aus multikristallinen Siliziummodulen.	Bei gleicher Ausrichtung, Einstrahlung und Wechselrichtermarkte erntete sie in den Herbstmonaten Oktober bis Dezember 2006 rund sechs Kilowattstunden (kWh) mehr Strom als das benachbarte 30-kW-Sonnenkraftwerk aus herkömmlichen multikristallinen Siliciummodulen.	
	„Bei diffusem Licht habe ich meist wesentlich mehr Ertrag, aber auch bei richtig gutem Sonnenschein hat meine Anlage oft ein paar Prozent mehr“, teilte Meier seinen Betreiberkollegen im Februar 2007 im Internet auf dem Photovoltaikforum mit. Dennoch blieb er zunächst skeptisch. „Am Ende wird abgerechnet. Mir fehlt noch die Ganzjahreserfahrung.“	„Bei diffusem Licht habe ich meist wesentlich mehr Ertrag, aber auch bei richtig gutem Sonnenschein hat meine Anlage meist ein paar Prozent mehr“, teilte Meier seinen Betreiberkollegen im Februar 2007 im Photovoltaikforum mit.	
2	Nach vier Jahren intensivem Vergleich hat Meier Gewissheit: Seine Dünnschichtanlage kann locker mit den kristallinen Kraftprotzen in der Region mithalten. 2009 habe er eine Jahresernte von 1093 kWh pro Kilowatt installierter Leistung eingefahren, im vorigen Jahr 976 kWh/kW.	Nach vier Jahren intensivem Vergleich ist der Landwirt überzeugt: Seine Dünnschichtanlage kann locker mit den kristallinen Kraftprotzen in der Region mithalten. 2009 habe er 1.093 kWh/kW, im vorigen Jahr 976 kWh/kW Jahresernte eingefahren.	2
	„Die besten kristallinen Anlagen in der Umgebung laufen mit rund 1000 kWh/kW nicht besser“, resümiert Meier.	„Die besten kristallinen Anlagen in der Umgebung laufen mit rund 1.000 kWh/kW nicht besser“, resümiert der Landwirt.	
3	Erfahrungsberichte wie dieser finden sich in den Betreiberforen im Internet immer häufiger. Nicht nur CdTe schneidet gut ab. Auch die anderen beiden Dünnschichttechniken CIS, ein	Erfahrungsberichte wie dieser finden sich im Internet immer häufiger. Nicht nur Cadmium-Tellurid schneidet darin gut ab, sondern auch die anderen beiden Dünnschichttechniken CIS	

Abs	Neue Energie (4 / 2011)	ÖKO-Test (8 / 2011)	Abs
	Absorber auf Basis von Kupfer, Indium und Selen, und amorphes Silizium (a-Si) erzielen den Betreiberangaben zufolge pro kW installierter Leistung oft höhere Erträge als ihre kristallinen Konkurrenten. Viele Experten hatten die a-Si-Zellen wegen ihres geringen Wirkungsgrads schon abgeschrieben. In Kombination mit mikrokristallinem Silizium oder als Triplezelle mit drei übereinander liegenden Zellschichten erweist sich das Material aber als überaus guter Photonenabsorber. Mikromorphe Anlagen des taiwanesischen Modulherstellers Nexpower zum Beispiel werden in den Foren dank guter Erträge sehr gelobt.	auf Basis von Kupfer, Indium und Selen, und amorphes Silicium erzielen laut ihren Betreibern pro Kilowatt installierter Leistung oft höhere Erträge als ihre kristallinen Konkurrenten. Dabei hatten viele Experten das amorphe Silicium wegen seines geringen Wirkungsgrads fast schon abgeschrieben.	
		Dünnschichtmodule besser als ihr Ruf	
4	Damit ist die Dünnschnitt offenbar besser als ihr Ruf.		
	Aufgekommen zu Zeiten des Siliziumengpasses im Jahr 2007, sollte sie die teuren kristallinen Module als führende Photovoltaik(PV)-Technik 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 die dicken Wafer durch billige Glasscheiben, die sie mit hauchdünnen halbleitenden Schichten überzogen.	Aufgekommen zu Zeiten des Siliciumengpasses im Jahr 2007, sollte Dünnschicht die teuren kristallinen Module 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.	3
	Der große Durchbruch der Dünnschicht blieb bisher dennoch aus (neue energie 7/2010). Zum einen war Silizium dank rascher Produktionserweiterungen der Chemiekonzerne bald wieder reichlich und billiger verfügbar,	Der große Durchbruch der Dünnschicht blieb aber bisher aus.	
	zum anderen kann die Technik nur mit relativ geringen Effizienzen aufwarten.	Das Hauptproblem: Die Technik kann nach wie vor nur mit relativ geringer Effizienz aufwarten.	
	Noch immer dümpeln einfache a-Si-Module bei einstelligen Wirkungsgraden, während die kristallinen Absorber im Durchschnitt schon 14 Prozent erreichen. Das schmälert die Attraktivität der Dünnschicht erheblich. „Der geringere Wirkungsgrad ist oft das Knock-Out-Kriterium“,	Noch immer dümpeln einfache amorphe Siliciummodule bei einstelligen Wirkungsgraden, während die kristallinen Absorber mindestens 14 Prozent Effizienz erreichen. Das schmälert die Attraktivität der Dünnschicht erheblich. „Der geringere Wirkungsgrad ist oft das Knock-out-Kriterium für die Technik“,	
	erklärt Philipp Vanicek, Projektingenieur bei der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS).	bestätigt Philipp Vanicek, Projektingenieur bei der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) viele Dünnschichtskeptiker.	
5	Dabei sagt der Wirkungsgrad nichts über den tatsächlichen Ertrag einer Solaranlage aus.	Dabei sagt der Wirkungsgrad nichts über den Ertrag einer Solaranlage aus.	4
	Er gibt an, wie viel Prozent des Lichts auf einer bestimmten Fläche in Strom umgewandelt wird. Das heißt: Ein Dünnschichtmodul mit zehn Prozent Wirkungsgrad ist verglichen mit einer kristallinen Kachel mit 14 Prozent Effizienz bei gleicher Leistung schlicht größer und braucht	Er gibt lediglich an, wie viel Prozent des Lichts auf einer bestimmten Fläche in Strom umgewandelt wird. Das heißt: Ein Dünnschichtmodul braucht mehr Platz. Der Flächenbedarf spielt jedoch eine untergeordnete Rolle, wenn etwa auf einem	

Abs	Neue Energie (4 / 2011)	ÖKO-Test (8 / 2011)	Abs
	mehr Platz. Je geringer also der Wirkungsgrad ist, desto größer sind in der Regel Flächenbedarf und Installationsaufwand.	landwirtschaftlichen oder Industriegebäude genug bebaubares Solarareal zur Verfügung steht.	
6	Nicht viel schlauer werden Betreiber aus den technischen Angaben auf dem Moduldatenblatt. Die hier angegebenen Werte wie Füllfaktor, Nennleistung oder Wirkungs-grad werden im Labor unter genormten Standardtestbedingungen gemessen: bei 1000 Watt Einstrahlung pro Quadratmeter, einem bestimmten Strahlungsspektrum und 25 Grad Celsius Zelltemperatur.	Bei der Entscheidung helfen auch die übrigen technischen Daten auf dem Moduldatenblatt kaum.	5
	Experten sind sich einig, dass die realen Betriebsbedingungen erheblich von denen im Standardtest abweichen und einen viel größeren Einfluss auf den Ertrag haben. „Die Aussagekraft von Effizienz und maximaler Leistungskraft ist bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit einer Solaranlage irreführend“, erklärt der Elektroingenieur Stefan Krauter vom Photovoltaik-Institut in Berlin, das Module prüft und zertifiziert. „Für den Ertrag maßgeblich sind Faktoren wie Einstrahlung, Breitengrad, Jahreszeit, Tageszeit, Luftmasse, Wolkendecke und Luftverschmutzung.“ Außerdem senke eine steigende Zelltemperatur, beeinflusst durch Außentemperatur, Einstrahlung und Wind, die gewonnene Energiemenge, so Krauter.	Experten sind sich einig, dass die realen Betriebsbedingungen erheblich von den Standards abweichen und einen viel größeren Einfluss auf den Ertrag haben. „Die Aussagekraft von Wirkungsgrad und maximaler Leistungskraft sind bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit einer Solaranlage irreführend“, erklärt der Elektroingenieur Stefan Krauter vom Photovoltaik-Institut in Berlin, das Module prüft und zertifiziert. „Für den Ertrag maßgeblich sind Faktoren wie Einstrahlung, Breitengrad, Jahreszeit, Tageszeit, Luftmasse, Wolkendecke und Luftverschmutzung.“	
		Vorteile bei bedecktem Himmel	
7	Gerade bei Hitze sowie geringer Einstrahlung hat die Dünnschicht Vorteile (siehe Grafiken). „In der Tendenz zeigen a-Si- und CdTe-Module ein besseres Schwachlichtverhalten als die kristalline PV“,	Gerade bei Hitze sowie geringer Einstrahlung hat die Dünnschicht Vorteile,	6
	weiß der Dünnschichtforscher Hans-Dieter Mohring vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) in Stuttgart. Während Siliziummodule mit sinkendem Lichtangebot deutlich an Effizienz einbüßen, zeige CdTe seine Stärken besonders bei mittlerer Einstrahlung von 500 Watt pro Quadratmeter. Dünnschichtsilizium wiederum nutze das gesamte Einstrahlungsangebot konstant gut aus, erklärt Mohring. „Im Vergleich zum kristallinen Silizium sind die Materialien empfindlicher gegenüber Diffuslicht mit hohem Blauanteil, wie es vor allem bei bedecktem Himmel vorkommt.“	sagt Hans-Dieter Mohring vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) in Stuttgart.	
8	Damit ist die Dünnschicht für das oft wolkenverhangene Deutschland ideal geeignet. Auf dem Modultestfeld des ZSW in Widderstall in Baden-Württemberg zum Beispiel kommen im Jahr nach Angaben des Instituts in über der Hälfte der Zeit weniger als 650 Watt	Demnach scheint sie für das oft wolkenverhangene Deutschland bestens geeignet zu sein.	

Abs	Neue Energie (4 / 2011)	ÖKO-Test (8 / 2011)	Abs
	Einstrahlung pro Quadratmeter an. Über 650 Watt sind es nur in 45 Prozent der Zeit. Der niedere und mittlere Einstrahlungsbereich ist also hierzulande wichtig.		
9	Verfechter der kristallinen Systeme halten dagegen, die Technik liefere dafür bei hohem Strahlungsangebot bessere Erträge als die Dünnschicht. Aber das ist nur die halbe Wahrheit: Unbestritten ist, dass Siliziummodule ihre maximale Empfindlichkeit bei rötlichem Licht bei hoher Direktstrahlung aufweisen. Das Problem: Wenn die Sonne kräftig scheint, herrschen oft auch hohe Temperaturen.	Nun wird häufig argumentiert, die kristalline Technik liefere dafür bei hohem Strahlungsangebot bessere Erträge als die Dünnschicht. Das ist aber nur die halbe Wahrheit: Unbestritten ist, dass Siliziummodule ihre maximale Empfindlichkeit bei rötlichem Licht bei hoher Direktstrahlung haben. Nur herrschen bei kräftigem Sonnenschein oft auch hohe Temperaturen.	
10	Wärme mindert aber die Leistung der kristallinen Module – anders als bei ihren schlanken Schwestern. Der Temperaturkoeffizient drückt aus, um wie viel Prozent die Leistung eines Moduls mit jedem Grad Zelltemperatur über 25 Grad Celsius abnimmt. „Er ist bei allen Dünnschicht-Techniken geringer“, erklärt ZSW-Forscher Mohring. CdTe, die temperaturbeständigste Variante, liegt bei einem Wert von minus 0,25 Prozent – damit verliert der Halbleiter pro Grad Celsius nur halb so viel Leistung wie Silizium mit einem Wert zwischen minus 0,45 und 0,50 Prozent. Der Irrglaube: Die Siliziumanlage powert, wenn die Sonne heiß vom Himmel strahlt. Wirklich stark ist sie nur an klaren und kühlen Frühjahrs- oder Herbsttagen.	Und Wärme können die kristallinen nur schwer ertragen.	
11	Wie sich die verschiedenen Faktoren konkret auf die Erträge der beiden Techniken auswirken, testet aktuell der TÜV Rheinland. Seit dem vorigen Jahr sind 30 verschiedene Modultypen auf seinem Testgelände in Köln installiert, erste Betriebsergebnisse werden für diesen Sommer erwartet.	Wie sich die verschiedenen Faktoren konkret auf die Erträge der beiden Techniken auswirken, testete jüngst der TÜV Rheinland. Er hat über ein Jahr hinweg Betriebsergebnisse von einem Dutzend verschiedener Module auf seinem Testgelände in Köln gesammelt.	7
12	Die TÜV-Ingenieure glauben allerdings nicht an Dünnschicht-Vorteile gegenüber dem Silizium. „Der Low Irradiance-Effekt dürfte sich kaum bemerkbar machen, denn der Anteil der bei Schwachlicht generierten Leistung ist nur gering“, sagt der Testingenieur Jan Girndt . Für den Ertrag entscheidend sei vielmehr die Qualität eines Moduls. „Die saubere Produktion ist das A und O.“	Das überraschende Resultat: Anders als es die physikalischen Eigenschaften der Dünnschichtmodule erwarten lassen, schnitten die schlanken Stromgeneratoren bei durchwachsenem westdeutschen Wetter nicht besser ab als ihre dicken Konkurrenten. „Wir können Mehrerträge nicht pauschal bestätigen“, sagt Testingenieurin Ulrike Jahn .	
13	Girndt ist nur einer von vielen Dünnschichtskeptikern. Tina Ternus vom Rüsselsheimer Solarberater und -planer Photovoltaikbüro hält das gute Schwachlicht- und Hitzeverhalten der Dünnschicht gar für ein „Märchen für Photovoltaik-Betreiber“:	Skeptiker sehen sich durch die Ergebnisse des TÜV bestätigt: Das gute Schwachlicht- und Hitzeverhalten der Dünnschicht sei ein „Märchen für PV-Betreiber“, sagt zum Beispiel Tina Ternus vom Rüsselsheimer Solarberater und -planer Photovoltaikbüro.	
	„Dahinter steckt viel Marketingprosa der Hersteller.“	„Dahinter steckt viel Marketingprosa der Hersteller.“	

Abs	Neue Energie (4 / 2011)	ÖKO-Test (8 / 2011)	Abs
14	Fakt ist aber auch: Dünnschichtkacheln tauchen immer öfter in den vorderen Rängen der Ertragsportale auf. Auf dem Testfeld der Fachzeitschrift Photon in Aachen, wo seit 2005 Module verschiedener Hersteller unter gleichen Bedingungen ihre Ertragsstärke beweisen müssen, zählen CdTe- und CIS-Lichtsammler zu den Top-Performern. Das CdTe-Paneel wurde schon 2007 aufgestellt, sein Ertrag war mit 1013 kWh pro kW im vorigen Jahr genauso hoch wie der von manch neuem kristallinem Modul. Der Spitzenreiter 2010, ein 2009 installiertes multikristallines Modul des spanischen Herstellers Siliken, erzeugte im vergangenen Jahr pro installiertem kW nur 31 kWh mehr Strom.	Fakt ist aber auch: Dünnschichtkacheln tauchen immer öfter auf den vorderen Rängen der Ertragsportale auf. Auch auf dem Testfeld der Fachzeitschrift Photon in Aachen, wo seit 2005 Module verschiedener Hersteller unter gleichen Bedingungen ihre Ertragsstärke beweisen müssen, zählen sie zu den Topperformern.	8
	Trotz guter Erträge werden sich die schlanken Absorber gegen die kristallinen Klassiker nur schwer behaupten können.	Trotz guter Erträge werden sich die schlanken Absorber gegen die kristallinen Klassiker aber wohl nur schwer behaupten können. „Die Dünnschicht hat keine Lobby“, sagt DGS-Ingenieur Vanicek. Das liegt vor allem daran,	
	Langzeiterfahrungen mit der Technik fehlen.	dass Langzeiterfahrungen mit der Technik fehlen.	
15	Siliziumanlagen haben ihre Verlässlichkeit bereits bewiesen – einige von ihnen laufen hierzulande schon seit fast zwei Jahrzehnten störungsfrei. Schafft das auch die Dünnschicht?		
	Der Marktführer des Segments, First Solar, verkauft seine CdTe-Module erst seit sieben Jahren. Bisher zeigen sie keine unvorhergesehenen Alterungserscheinungen. Ob sie aber weitere zwei Jahrzehnte halten, weiß niemand.	Der Marktführer des Segments, die US-Firma First Solar, verkauft seine Module erst seit sieben Jahren. Bisher zeigen sie keine unvorhergesehenen Alterserscheinungen. Aber ob sie, wie First Solar verspricht, weitere zwei Jahrzehnte halten, weiß niemand.	
	Zudem gibt es Vorbehalte gegen das giftige Cadmium in den CdTe-Modulen. In Verbindung mit Tellur gilt es zwar als ungefährlich, doch lehnen es viele Betreiber ab, mit einem bedenklichen Absorber Grünstrom zu erzeugen.	Zudem gibt es Vorbehalte gegen das giftige Cadmium in den CdTe-Modulen. In Verbindung mit Tellur gilt es zwar als ungefährlich, doch lehnen es viele Betreiber ab, mit einem bedenklichen Absorber Grünstrom zu erzeugen.	
		Siliziumanlagen hingegen haben ein besseres Öko-Image und ihre Verlässlichkeit bereits bewiesen. Einige von ihnen laufen schon seit fast zwei Jahrzehnten störungsfrei.	
16	Während das CdTe wegen seiner Ökotoxizität kritisch gesehen wird, entwickeln sich beim a-Si und CIS Innovationen zu langsam. Das ZSW erzielt mit CIS-Zellen im Labor bereits 20,3 Prozent Effizienz, industriell gefertigte Module aus diesem Halbleiter erreichen jedoch maximal zwölf Prozent. „Das Hochskalieren der Technik ist eine schwierige Aufgabe“, sagt ZSW-Vorstand Michael Powalla. Da der technische Fortschritt beim CIS stockt und bisher keine Massenfertigung etabliert wurde, bleiben auch die Produktionskosten hoch. Konsequenz: CIS ist	Ein weiteres Argument gegen die Dünnschicht ist der relativ hohe Platzbedarf. Daher ist die kristalline Technik bei Einfamilienhausbesitzern Meist erste Wahl. Sie müssen aus einer begrenzten Fläche das Maximum an Solarstrom herausholen, um eine möglichst hohe staatliche Förderung zu erhalten. Effizienzsteigerungen könnten der Dünnschicht helfen, die flächenbezogenen Kosten zu senken und in der Gunst der Anwender zu steigen, doch entwickeln sich Innovationen zu langsam.	9

Abs	Neue Energie (4 / 2011)	ÖKO-Test (8 / 2011)	Abs
	bei geringerer Effizienz teurer als kristalline Module.		
17	Erschwerend kommt für die Dünnschicht hinzu, dass der Preis der Siliziumpaneele dank Kostenreduktionen rasch fällt. Damit sinken auch die realen Produktionskosten je Kilowattstunde deutlich – was die Anlagen ökonomisch attraktiver macht.	Da der technische Fortschritt stockt und bisher keine Massenfertigung etabliert wurde, bleiben auch die Produktionskosten hoch. Der Preis der Siliciumpaneele hingegen hat sich dank Kostenreduktionen durch bessere Produktionen und Massenfertigung in den vergangenen fünf Jahren halbiert.	10
	Dass der kristalline Klassiker noch mal einen solchen Entwicklungssprung vollbringt, hätte zu Zeiten des Siliziumengpasses vor vier Jahre niemand für möglich gehalten.	Dass die „alte“ Technik noch einmal einen solchen Entwicklungssprung vollbringt, hätte zu Zeiten des Siliciumengpasses vor vier Jahren niemand für möglich gehalten.	
	Alle drei Dünnschichttechniken sind aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften bestens für Standorte mit wechselhaftem Wetter geeignet und können hier höhere Erträge erzielen als ihre kristallinen Kontrahenten. Werden sie aber nicht rasch billiger und effizienter, wird das Interesse an ihnen trotz ihres großen Sonnenhungers gering bleiben. Denn auf Preis und Effizienz schauen potenzielle Kunden als erstes.	Fazit: Alle Dünnschichttechniken sind aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften bestens für Standorte mit wechselhaftem Wetter geeignet und können hier höhere Erträge erzielen als ihre kristallinen Kontrahenten. Werden sie aber nicht rasch billiger und effizienter, wird das Interesse an ihnen trotz ihres großen Sonnenhungers gering bleiben. Denn auf Preis und Effizienz schauen potenzielle Kunden als Erstes.	11