


Abs	Elektropraktiker (11 / 2012)	Top Agrar (1 / 2012)	Abs
	Mehr Licht für Solarzellen (Sascha Rentzing)	<u>Solarmodule werden effizienter</u> (Sascha Rentzing)	
0	Es gibt verschiedene Faktoren, die den Wirkungsgrad von Photovoltaikzellen begrenzen. Einer davon ist der Schattenwurf durch metallische Kontakte und Leiterbahnen auf der Frontseite. Zellen, bei denen sich die Metallisierung auf der Rückseite befindet, sammeln mehr Licht und arbeiten effizienter. Immer mehr Unternehmen setzen daher auf diese Technik.	Die Solarbranche wird innovativer. Die größten Fortschritte gibt es bei den klassischen Siliziumzellen: Neue kristalline Techniken absorbieren mehr Licht und bringen höhere Leistung.	0
		Über viele Jahre hinweg rissen Kunden den Photovoltaik (PV)-Herstellern Solarmodule nahezu aus den Händen: Üppige Einspeisevergütungen für den Solarstrom in vielen europäischen Ländern trieben die Nachfrage nach Paneelen von einem Rekord zum nächsten. So konnten die Unternehmen selbst für einfachste Technik, Höchstpreise erzielen.	1
	Höhere Stromausbeute	Wirkungsgrad im Visier:	
1	Solarsysteme mit einer höheren Stromausbeute sind das Ziel weltweiter Forschung.	Inzwischen hat sich der Markt gedreht. Viele Anbieter bleiben auf ihren Modulen sitzen, denn wichtige Länder wie Deutschland, Spanien oder Tschechien haben ihre Solartarife deutlich gesenkt und so den Boom ausgebremst.	2
		Die Hersteller stehen damit vor einer großen Herausforderung: Sie müssen das Preis-Leistungs-Verhältnis ihrer Produkte rasch verbessern, um sich gegen die Konkurrenz behaupten zu können. Das zwingt sie zu Innovationen und zur Teilnahme an einen Wettlauf um Wirkungsgrade, in dem jeder einzelne Prozentpunkt mehr Effizienz über Erfolg oder Misserfolg entscheidet.	3
	Zu den neuesten Entwicklungen zählen Solarzellen, bei denen die Stromanschlüsse auf der Rückseite angeordnet sind, sodass die Frontseite nicht von Kontakten und Stromsammelschienen verschattet wird. Dadurch kann mehr Sonnenlicht eindringen und der Wirkungsgrad steigen (Bild )	Zu den neuesten Entwicklungen zählen Zellen, bei denen die Stromanschlüsse auf der Rückseite angeordnet sind, sodass die Frontseite nicht von Kontakten und Stromsammelschienen verschattet wird (Übersicht links).	4
		[< 3 Hintergrund: Um mit einer Zelle Strom zu erzeugen, müssen die Elektronen, die das einfallende Licht erzeugen, mit einer Emitterschicht eingefangen und zu den negativen Kontakten geleitet werden. Normalerweise befindet sich diese Schicht samt den fingerartigen Kontakten und den Stromsammelschienen auf der Frontseite der Zelle. Das hat den Vorteil, dass die Elektronen nicht weit wandern müssen. Umgekehrt begrenzt der Schattenwurf der Kontakte und Leiterbahnen jedoch die Lichtausbeute. Bei Rückkontaktzellen ist die Emitterschicht deshalb samt Kontakten auf	

Abs	Elektropraktiker (11 / 2012)	Top Agrar (1 / 2012)	Abs
		die Rückseite verbannt worden.]	
2	Innovationstreiber bei diesen sogenannten Rückkontaktzellen ist der US-Hersteller Sunpower. Seine Rückkontaktzellen wandeln Licht inzwischen mit einem Wirkungsgrad von gut 22 % in Strom um, bezogen auf das Modul, das derzeit unter dem „Maxeon“ in den Markt eingeführt wird, immerhin mit 20 %. Das ist ein Prozentpunkt mehr als Sunpowers bisher gängige Module aus Rückkontaktzellen und ein Viertel mehr als marktübliche Siliziummodule, die aktuell durchschnittlich 15 % Effizienz erreichen.	Protagonist bei diesen sogenannten Rückkontaktzellen ist der US-Hersteller Sunpower. Seine Module wandeln Licht mittlerweile mit einem Wirkungsgrad von gut 22 Prozent in Strom um, bezogen auf das Modul, das derzeit unter dem Namen „Maxeon“ in den Markt eingeführt wird, immerhin mit 20 Prozent. Das ist ein Prozentpunkt mehr als Sunpowers bisher gängige Module aus Rückkontaktzellen und ein Viertel mehr als marktübliche Siliziummodule, die aktuell durchschnittlich 15 Prozent Effizienz erreichen.	5
		Hocheffizient, aber teuer:	
3	[-> 4 Um mit einer Zelle Strom zu erzeugen, müssen die Elektronen, die durch das einfallende Licht erzeugt werden, mit einer Emitterschicht eingefangen und zu den negativen Kontakten geleitet werden. Normalerweise befindet sich diese Schicht samt den fingerartigen Kontakten und den Stromsammelschienen auf der Frontseite der Zelle. Das hat den Vorteil, dass die Elektronen nicht weit wandern müssen. Umgekehrt begrenzt der Schattenwurf der Kontakte und Leiterbahnen jedoch die Lichtausbeute. Bei Sunpowers Zellen ist die Emitterschicht deshalb samt Kontakten auf die Rückseite verbannt worden.]		
4	Das Konzept gilt als revolutionär: Mit gut 22 % Wirkungsgrad kommen Sunpower-Zellen dem Labor-Weltrekord von knapp 25 %, gehalten von der University of New South Wales in Sydney, schon ziemlich nahe.		
	Einem Solaranlagenbetreiber brauchte der Wirkungsgrad nicht zu interessieren, denn immerhin strahlt die Sonne ja kostenlos vom Himmel. Dennoch beeinflusst die Effizienz die Wirtschaftlichkeit starker als jeder andere einzelne Faktor bei der Herstellung, einschließlich der Skaleneffekte durch eine größere Produktionsmenge: Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad, so die Faustregel, senkt die Kosten auf Systemebene um fünf bis 7 %, da pro Watt weniger Material benötigt wird.	Einen Solaranlagenbetreiber bräuchte der Wirkungsgrad eigentlich nicht zu interessieren, denn immerhin strahlt die Sonne kostenlos vom Himmel. Dennoch beeinflusst die Effizienz die Wirtschaftlichkeit stärker als jeder andere einzelne Faktor bei der Herstellung, einschließlich der Skaleneffekte durch eine größere Produktionsmenge: Jeder Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad, so die Faustregel, senkt die Kosten auf Systemebene um fünf bis sieben Prozent, da pro Watt weniger Material benötigt wird.	6
	Hocheffizient, aber teuer:		
5	Bei Sunpower wird dieser Effizienz-Effekt jedoch noch durch die teure Produktion aufgezehrt:	Bei Sunpower wird dieser Effizienz- Effekt jedoch noch durch die relativ teure Produktion aufgezehrt:	7
	Zum einen müssen bei Rückseitensammlern die Elektronen durch das Halbleitermaterial hindurch zum rückseitigen Emitter diffundieren. Das funktioniert nur dann ohne nennenswerte Verluste, wenn die Zelle aus monokristallinem	Zum einen müssen bei Rückseitensammlern die Elektronen durch das Halbleitermaterial hindurch zum rückseitigen Emitter diffundieren. Das funktioniert nur dann ohne nennenswerte Verluste, wenn die Zelle aus monokristallinem	

Abs	Elektropraktiker (11 / 2012)	Top Agrar (1 / 2012)	Abs
	Silizium besteht, einem sehr reinen, aber auch teuren Material.	Silizium besteht, einem sehr reinen, aber auch teuren Material.	
	Zum anderen befinden sich die negativen Kontakte nun in unmittelbarer Nachbarschaft zu den positiven, die ebenfalls auf der Rückseite liegen. Um Kurzschlüsse zu vermeiden, müssen die elektrischen Anschlüsse beider Pole ineinander verschachtelt werden. Deshalb sind weitere Prozess- und Justierschritte erforderlich, die die Herstellungskosten erhöhen. Sie liegen laut Sunpower rund 50 US-Dollar pro Watt über denen der preiswertesten Wettbewerber.	Zum anderen befinden sich die negativen Kontakte nun in unmittelbarer Nachbarschaft zu den positiven, die ebenfalls auf der Rückseite liegen. Um Kurzschlüsse zu vermeiden, müssen die elektrischen Anschlüsse beider Pole ineinander verschachtelt werden. Deshalb sind weitere Prozess- und Justierschritt erforderlich, die die Herstellungskosten erhöhen. Sie liegen laut Sunpower rund 50 US-Dollar pro Watt über denen der preiswertesten Wettbewerber.	8
		Ästhetik spielt eine Rolle:	
6	Die Amerikaner können zwar trotzdem ziemlich viele Module verkaufen, da diese sehr homogen erscheinen und wegen ihrer unerreichten Leistungsstärke von vielen Betreibern als Statussymbol gesehen werden. Doch wenn Sunpower die Kosten nicht rapide senkt, drohen ihm Absatzschwierigkeiten, denn starke Konkurrenz kommt auf.	Die Amerikaner können trotz des hohen Preises ziemlich viele Module verkaufen, da diese sehr homogen erscheinen und wegen ihrer unerreichten Leistungsstärke von vielen Betreibern als Statussymbol gesehen werden. Doch wenn Sunpower die Kosten nicht rapide senkt, drohen ihm Absatzschwierigkeiten, denn starke Konkurrenz kommt auf.	9
	„Gute Marktchancen haben auch Rückkontaktzellen aus multikristallinem Silizium“, sagt Paul Wyers, Chef-Solarforscher des Energieforschungszentrums der Niederlande ECN. So zeigt die Industrie immer stärkeres Interesse an der sogenannten Metal-Wrap-Through (MWT)-Zelle, die sein Institut entwickelt hat.	„Gute Marktchancen haben auch Rückkontaktzellen aus multikristallinem Silizium“, sagt Paul Wyers, Chef-Solarforscher des Energieforschungszentrums der Niederlande ECN. So zeigt die Industrie immer stärkeres Interesse an der so genannten Metal-Wrap-Through (MWT)- Zelle, die sein Institut entwickelt hat (Übersicht auf Seite 36).	10
	Dabei werden anders als bei Sunpowers Rückseitensammlern nur die für die Verschaltung im Modul nötigen Stromsammelschienen auf die Zellenrückseite verlegt. Sie werden über viele winzige Löcher intern mit den feinen Kontaktfingern verbunden, die auf der Front verbleiben.	Dabei werden, anders als bei Sunpower-Rückseitensammlern, nur die für die Verschaltung im Modul nötigen Stromsammelschienen auf die Zellenrückseite verlegt. Sie werden über viele winzige Löcher intern mit den feinen Kontaktfingern verbunden, die auf der Front verbleiben.	11
	Durch dieses relativ einfache Durchfädeln der breiten Leiterbahnen wird die Zelle weniger verschattet und der Wirkungsgrad steigt auf über 17 %. Zum Vergleich: Multikristalline Standardzellen kommen derzeit auf rund 16 % Effizienz.	Durch dieses relativ einfache Durchfädeln der breiten Leiterbahnen wird die Zelle weniger verschattet und der Wirkungsgrad steigt auf über 17 Prozent. Zum Vergleich: Multikristalline Standardzellen Standardzellen kommen derzeit auf rund 16 Prozent Effizienz.	12
7	Schon 2007 hatte das deutsch-niederländische Unternehmen Solland Solar die MWT-Zellen des ECN zur Serienreife gebracht, nur fanden sich lange kein Hersteller, die sie in Module einbauen wollten. Jetzt, da sie der harte Wettbewerb zu kostensenkenden Innovationen zwingt, erlebt die MWT-Technik eine Renaissance. Der Mainzer Photovoltaikhersteller Schott Solar zum Beispiel gründete 2010 ein Joint Venture mit Solland Solar und will spätestens Anfang 2012 die Serienproduktion multikristalliner „Sunweb-MWT“- Module mit über 16 % starten.	Schon 2007 hatte das deutsch-niederländische Unternehmen Solland Solar die MWT-Zellen des ECN zur Serienreife gebracht, nur fanden sich lange keine Hersteller, die sie in Module einbauen wollten. Jetzt, da sie der harte Wettbewerb zu kostensenkenden Innovationen zwingt, erlebt die MWT-Technik eine Renaissance. Der Mainzer Photovoltaikhersteller Schott Solar zum Beispiel gründete 2010 ein Joint Venture mit Solland Solar und will spätestens Anfang 2012 die Serienproduktion multikristalliner „Sunweb-MWT“-Module mit über 16	13

Abs	Elektropraktiker (11 / 2012)	Top Agrar (1 / 2012)	Abs
		Prozent starten.	
8	Ebenso nutzt Canadian Solar das von ECN entwickelte MWT-Konzept für seine sogenannten ELPS-Module. Die Paneele sind sowohl mit multi-, als auch mit monokristallinen Zellen ausgestattet, woraus sich unterschiedliche Effizienzen ergeben. Liegt die Effizienz bei den multikristallinen Modulen bei knapp 16 %, erreichen monokristalline Kacheln 16,5 % Wirkungsgrad. Derzeit startet Canadian Solar die Serienproduktion auf einer Produktionslinie mit 50 MW Jahreskapazität, 2012 werde das Unternehmen dann Module mit MWT-Technik in Masse in einem 600-MW-Werk umsetzen, kündigt Firmenchef Shawn Quan.	Ebenso nutzt Canadian Solar das von ECN entwickelte MWT-Konzept für seine sogenannten ELPS-Module. Die Paneelen sind sowohl mit multi- als auch mit monokristallinen Zellen ausgestattet, woraus sich unterschiedliche Effizienzen ergeben. Liegt der Wirkungsgrad bei den multikristallinen Modulen bei knapp 16 Prozent, erreichen monokristalline Kacheln 16,5 Prozent.	14
	Günstigere Alternativen		
9	Der chinesische Solarkonzern Yingli will Schott Solar und Canadian Solar technisch noch übertrumpfen. Er plant, den Wirkungsgrad von MWT-Zellen mit einem speziellen monokristallinen n-Typ-Silizium auf 20 % zu steigern. Bezogen auf das Modul würde das eine Effizienz von etwa 18 % bedeuten, was für die MWT-Technik einem Quantensprung gleichkäme.	Der chinesische Solarkonzern Yingli will Schott Solar und Canadian Solar technisch noch übertrumpfen. Er plant, den Wirkungsgrad von MWT-Zellen mittels eines speziellen monokristallinen n-Typ-Siliziums auf 20 Prozent zu steigern. Bezogen auf das Modul würde das eine Effizienz von etwa 18 Prozent bedeuten, was für die MWT-Technik einem Quantensprung gleichkäme.	15
	Hinter Yinglis Konzept steht folgende Überlegung: 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.	Hinter Yinglis Konzept steht folgende Überlegung: 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.	16
	n-Typ-Zellen sind genau umgekehrt aufgebaut.	n-Typ-Zellen sind genau umgekehrt aufgebaut (Übersicht auf Seite 36).	17
	Ihr Vorteil: Wegen seiner speziellen Atomeigenschaften verhindert Bor, dass generierte Ladungsträger in der Zelle rekombinieren.	Ihr Vorteil: Wegen seiner speziellen Atomeigenschaften verhindert Bor, dass sich generierte Ladungsträger in der Zelle gegenseitig neutralisieren , im Fachjargon: rekombinieren.	
	Dadurch erreichen n-Typ-Zellen einen höheren Wirkungsgrad. Das wiederum macht es möglich, mit billigerem Silizium zu arbeiten, das mehr Verunreinigungen enthält, oder Zellen mit höheren Effizienzen herzustellen.	Dadurch erreichen n-Typ-Zellen einen höheren Wirkungsgrad. Das wiederum macht es möglich, mit billigerem Silizium zu arbeiten, das mehr Verunreinigungen enthält, oder Zellen mit höheren Effizienzen herzustellen.	
	Es sind noch weitere technische Verbesserungen zu erwarten. Das ECN forscht an Prozessierungsverfahren für besser verspiegelte und passivierte Zellenrückseiten, die weniger Reflexion und Ladungsträgerverluste zulassen. Unterdessen arbeitet das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) an der Optimierung eines dritten Typs Rückkontaktzelle, der sogenannten Emitter-Wrap-Through (EWT)-Zelle.		

Abs	Elektropraktiker (11 / 2012)	Top Agrar (1 / 2012)	Abs
	<p>Diese Technik wurde bereits in den Neunzigerjahren entwickelt, doch blieb sie wie die MWT-Zellen lange ein Laborhüter, da die Hersteller aufgrund der immensen Nachfrage bisher selbst einfachste Standardzellen teuer verkaufen konnten. Da sich der Markt gerade dreht, durfte entweder die multikristalline EWT-Zelle des ISE mit 18 % oder die monokristalline Variante mit fast 19 % Wirkungsgrad zur spannenden Option für die Industrie werden. Die EWT-Technik gilt als Kompromiss zwischen reinen Rückseitensammlern und MWT-Zellen. Dabei wird der Elektronen sammelnde Emitter durch Tausende von lasergebohrten Lochern von der Frontseite auf den Zellenrücken geführt. So müssen die Elektronen nicht durch den ganzen Halbleiter wandern, um zu den positiven Kontakten auf der Rückseite zu gelangen, sondern können quasi durch die Emitter-Tunnel dorthin rutschen. Der zusätzliche Prozessschritt mit Lasern steigere zwar die Kosten, lohne sich aber, erklärt Stefan Glunz, Leiter der Abteilung Siliziumsolarzellen - Entwicklung und Charakterisierung am ISE. „Die höheren Produktionskosten werden durch den Effizienzgewinn überkompensiert.“</p>		
	Starke Konkurrenz:	Starke Konkurrenz:	
10	<p>Wissenschaftler glauben, dass alle drei Rückkontaktkonzepte dank ihres großen Kostensenkungspotentials eine wichtige Rolle auf dem Solarmarkt spielen könnten. Eine Garantie für ihren Erfolg gibt es aber nicht, denn es liegen noch andere viel versprechende kristalline Konzepte aussichtsreich im Rennen. Dazu zählt die bereits seit Jahren bekannte, stetig verbesserte HIT-Zelle des japanischen Konzerns Sanyo. Er ummantelt monokristalline Wafer mit einer dünnen Schicht aus amorphem Silizium, die als Passivierschicht Ladungsträger daran hindert, an der Oberfläche des Monokristalls zu rekombinieren. Durch diese Maßnahme erreichen die Zellen mehr als 21 % Wirkungsgrad, im Modul fast 19 %.</p>	<p>Wissenschaftler glauben, dass die Rückkontaktkonzepte dank ihres großen Kostensenkungspotenzials eine wichtige Rolle auf dem Solarmarkt spielen könnten. Eine Garantie für ihren Erfolg gibt es aber nicht, denn es liegen noch andere viel versprechende kristalline Konzepte aussichtsreich im Rennen. Dazu zählt die bereits seit Jahren bekannte, stetig verbesserte HIT-Zelle des japanischen Konzerns Sanyo. Er ummantelt monokristalline Siliziumscheiben (Wafer) mit einer dünnen Schicht aus amorphem Silizium, die als Passivierschicht Ladungsträger daran hindert, an der Oberfläche des Monokristalls zu rekombinieren. Durch diese Maßnahme erreichen die Zellen mehr als 21 Wirkungsgrad, im Modul fast 19 Prozent.</p>	18
11	<p>JA Solar aus China wiederum hat eine Solarzelle entwickelt, die mit durchschnittlich 17,5 % Wirkungsgrad exakt einen Prozentpunkt mehr Licht in Strom umwandelt als ihre bisher gängigen Zellen aus multikristallinem Silizium. Schlüssel zu höherer Effizienz ist ein neuer, „Quasi-Mono“ genannter Halbleiter. Er wird wie einfaches multikristallines Silizium hergestellt, hat aber dank einer speziellen Kristallisationstechnik weitgehend</p>		

Abs	Elektropraktiker (11 / 2012)	Top Agrar (1 / 2012)	Abs
	<p>monokristalline Eigenschaften und weist somit weniger für die Energiegewinnung hinderliche Kristalldefekte auf. „Dadurch lässt sich mit geringem Zusatzaufwand die Leistung von Solarmodulen deutlich steigern“, sagt Philipp Matter, Vizechef von JA Solar Deutschland. Module aus Quasi-Mono-Zellen verkauft das Unternehmen seit diesem Sommer unter dem Namen „Maple“.</p>		
12	<p>Fortschritte bei neuen PV-Anwendungen wie der Dünnschicht oder konzentrierenden PV-Systeme erschweren die Lage für die Anbieter kristalliner Technik. Der süddeutsche Anlagenbauer Manz präsentierte auf der europäischen Photovoltaik- und Solarmesse EU PVSEC im September in Hamburg ein CIGS-Modul mit 14 % Wirkungsgrad.</p>	<p>Fortschritte bei neuen PV-Anwendungen wie die Dünnschicht oder konzentrierende PV-Systeme erschweren die Lage für die Anbieter kristalliner Technik. CIGS-Module zum Beispiel erreichen in der Serienproduktion inzwischen 14 Prozent Wirkungsgrad.</p>	19
	<p>CIGS steht für eine halbleitende Verbindung aus Kupfer, Indium, Gallium und Selen. Üblich sind für die Dünnschicht rund 10 % Effizienz, im Durchschnitt rund 16 % erreichen Module aus kristallinem Silizium. Damit stößt die Dünnschicht in Effizienzbereiche vor, die bisher der Siliziumtechnik vorbehalten waren. Auch Konzentratorsysteme drangen auf den Markt. Auf der PVSEC lautete die Botschaft: Die Konzentrator-technik hat das Labor verlassen und ist auf dem Weg zur Kommerzialisierung. Die global installierte Konzentratorleistung könne von derzeit 100 bis 2015 auf 2000 MW steigen, sagt Arnulf Jäger-Waldau vom Joint Research Centre der EU-Kommission. Die Grundidee der Technik ist einfach: Eine preisgünstige Optik ersetzt teures Halbleitermaterial. Die Systeme arbeiten mit Linsen oder Spiegeln, die ähnlich wie ein Brennglas die Sonnenstrahlen auf eine Zelle konzentrieren. Ein Tracker führt die Einheiten dem Sonnenstand nach. Die verwendeten Zellen können nun wegen der hohen Sonneneinstrahlung wesentlich kleiner ausfallen als bei der Standardtechnik. Das ermöglicht den Einsatz sehr hochwertiger und damit umso effizienterer Zellen, ohne die Kosten ausufern zu lassen. Die günstige Optik verstärkt das Licht bis zu 1000-fach und erzielt dadurch Zellenwirkungsgrade von bis zu 40 %. Anlagen, die mit diesen Zellen arbeiten, produzieren dann Strom mit rund 25 % Effizienz. Nachteil der Technik ist, dass sie nur in sehr sonnenreichen Regionen gut funktioniert. In den Wüstenregionen im Südwesten der USA treffen die Konzentratoren auf beste Bedingungen. Sunpower, das in den USA hinter Dünnschichtanbieter First Solar derzeit</p>	<p>CIGS steht für eine halbleitende Verbindung aus Kupfer, Indium, Gallium und Selen. Üblich sind für die Dünnschicht rund zehn Prozent Effizienz, im Durchschnitt rund 16 Prozent erreichen Module aus kristallinem Silizium. Damit stößt die Dünnschicht in Effizienzbereiche vor, die bisher der Siliziumtechnik vorbehalten waren.</p>	

Abs	Elektropraktiker (11 / 2012)	Top Agrar (1 / 2012)	Abs
	Projektierer Nummer zwei ist, muss um seine führende Rolle auf dem Heimatmarkt bangen.		