

Abs	Elektropraktiker (7 / 2012)	forum.new power (29.10.2012)	Abs
	<b>Hoffnungsträger der PV</b> (Sascha Rentzing)	<b>Hightech im Preissturz</b> (Sascha Rentzing)	
0	Schnelle Kostensenkungen können das Überleben der Solarhersteller <b>in der Krise</b> sichern. Damit <b>rücken Zellen aus</b> multikristallinem Silizium wieder stärker in den Fokus. Sie sind kostengünstig und ihr Wirkungsgrad lässt sich mit relativ geringem Aufwand schnell steigern.	In Zeiten <b>der Krise</b> rückt die Solarindustrie von teuren Zellenkonzepten ab und setzt auf Altbewährtes: <b>Module aus multikristallinem Silizium geraten</b> wieder stärker in den Fokus, denn sie sind kostengünstig und ihr Wirkungsgrad lässt sich mit relativ geringem Aufwand schnell steigern.	0
	<b>An multikristallinen Zellen führt heute kein Weg vorbei</b>		
1	Die Technik sollte längst <b>keine Rolle mehr spielen</b> . Als in den Neunzigerjahren der Bedarf an Photovoltaik-Anlagen stieg, galten Solarmodule aus multikristallinem Silizium bereits als Auslaufmodell. Die Zellen waren zu klobig und mit nur durchschnittlich 10 % Wirkungsgrad nicht effizient genug. Dünnere und leistungsstärkere Absorber sollten sie daher bald ersetzen.	Die Solarindustrie wollte die Technik längst <b>ausmustern</b> . Als in den Neunzigerjahren der Bedarf an Photovoltaik-(PV-)Anlagen stieg, galten Solarmodule aus multikristallinem Silizium bereits als Auslaufmodell. Die Zellen waren zu klobig und mit nur durchschnittlich zehn Prozent Wirkungsgrad nicht effizient genug. Dünnere und leistungsstärkere Absorber sollten sie daher bald ersetzen.	1
2	Die US-Regierung investierte in den Neunzigerjahren insgesamt über eine Milliarde Dollar Fördergelder in die Weiterentwicklung von Dünnschicht- sowie Mehrfachzellen. Während die Dünnschicht wegen ihres geringen Materialbedarfs das Interesse der Forscher weckte, faszinierten die Mehrfachzellen aufgrund ihrer hohen Effizienz. Bis zu fünf verschiedene Halbleiterschichten wandeln bei dieser Technik fast 40 % des Lichts in Strom um.	Die US-Regierung investierte in den Neunzigerjahren insgesamt über eine Milliarde Dollar Fördergelder in die Weiterentwicklung von Dünnschicht- sowie Mehrfachzellen. Während die Dünnschicht wegen ihres geringen Materialbedarfs das Interesse der Forscher weckte, faszinierten die Mehrfachzellen aufgrund ihrer hohen Effizienz. Bis zu fünf verschiedene Halbleiterschichten wandeln bei dieser Technik fast 40 Prozent des Lichts in Strom um.	
3	In Japan wiederum fokussierten sich die Forscher besonders auf reines monokristallines Silizium. Sogenannte Heterojunction-Zellen (HIT) zum Beispiel, die <b>zur Vermeidung von Ladungsträgerverlusten</b> extra mit einer zusätzlichen Schutzschicht aus amorphem Dünnschichtsilizium ummantelt werden, erreichen Wirkungsgrade von mehr als 20 %.	In Japan wiederum fokussierten sich die Forscher besonders auf reines monokristallines Silizium. Sogenannte Heterojunction-Zellen (HIT) zum Beispiel, die <b>für eine höhere Stromausbeute</b> extra mit einer zusätzlichen Schutzschicht aus amorphem Dünnschichtsilizium ummantelt werden, erreichen Wirkungsgrade von mehr als 20 Prozent.	2
4	In Deutschland hingegen arbeiteten die Firmen trotz der Vorbehalte auch weiterhin mit multikristallinem Silizium. „Die hiesige Industrie investierte weniger in revolutionäre Zellentechniken, sondern setzte eher auf die Evolution bestehender Konzepte“, sagt Prof. Eicke Weber, Leiter des Fraunhofer-Instituts für solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg. Inzwischen zeigt sich, dass die Unternehmen damit intuitiv den richtigen Weg einschlugen. Noch immer dominieren multikristalline Zellen die Photovoltaik laut <b>Marktforscher Navigant Consulting mit 47 %</b> Marktanteil klar vor monokristallinen Zellen mit 38 %. Mit 14 % folgt mit großem Abstand die Dünnschicht, die Mehrfachzellen tauchen in der Marktstatistik gar	In Deutschland hingegen arbeiteten die Firmen trotz der Vorbehalte auch weiterhin mit multikristallinem Silizium. „Die hiesige Industrie investierte weniger in revolutionäre Zellentechniken, sondern setzte eher auf die Evolution bestehender Konzepte“, sagt Eicke Weber, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg. Inzwischen zeigt sich, dass die Unternehmen damit intuitiv den richtigen Weg einschlugen. Noch immer dominieren multikristalline Zellen die Photovoltaik laut <b>dem Branchenmagazin Photon mit fast 60 Prozent</b> Marktanteil klar vor monokristallinen Zellen mit 30 Prozent. Mit zehn Prozent folgt mit großem Abstand die Dünnschicht.	3

Abs	Elektropraktiker (7 / 2012)	forum.new power (29.10.2012)	Abs
	nicht auf.		
5	Dass an den multikristallinen Zellen bis heute kein Weg vorbeiführt, ist leicht erklärt: Innovationen entwickelten sich hier rascher als bei konkurrierenden Techniken. „Der durchschnittliche Wirkungsgrad stieg in den vergangenen zehn Jahren um fünf Prozentpunkte auf 15 %“, erklärt Eicke Weber. Gleichzeitig sank der Materialbedarf. Mit 0,2 mm Dicke sind die Siliziumscheiben, die sogenannten Wafer, inzwischen im Schnitt ein Drittel dünner als noch vor einer Dekade. Außerdem lassen sich multikristalline Standardzellen leichter produzieren als die neuen Techniken. So konnten zügig Produktionslinien aufgebaut und Skaleneffekte durch steigende Produktionsmengen erzielt werden.	Dass an den Multizellen bis heute kein Weg vorbeiführt, ist leicht erklärt: Innovationen entwickelten sich hier rascher als bei konkurrierenden Techniken. „Der durchschnittliche Wirkungsgrad stieg in den vergangenen zehn Jahren um fünf Prozentpunkte auf 15 Prozent“, ISE-Chef Weber. Gleichzeitig sank der Materialbedarf. Mit 0,2 Millimeter Dicke sind die Siliziumscheiben, die sogenannten Wafer, inzwischen im Schnitt ein Drittel dünner als noch vor einer Dekade.	4
	<b>Vom Auslaufmodell zum Bestseller</b>	<b>20 Prozent Effizienz im Visier</b>	
6	Dank der besseren und immer größeren Produktionen fielen die Kosten drastisch. Im Sommer 2011 gab die Online-Plattform pvXchange Großhandelspreise von rund 1,50 Euro pro Watt für kristalline Module aus deutscher Produktion an. Seitdem senkten die Hersteller ihre Preise um rund ein Drittel auf unter einen Euro pro Watt. Und die Technik kann noch deutlich günstiger werden. „Die Effizienz multikristalliner Module lässt sich sicher noch auf 20 % erhöhen“, sagt Weber. Steigt die Effizienz, sinken automatisch der Materialbedarf und die Kosten.	Dank der effizienteren und immer größeren Produktionen fielen die Kosten drastisch. Im Sommer 2011 gab die On-line-Plattform pvXchange Großhandelspreise von rund 1,50 Euro pro Watt für kristalline Module aus deutscher Produktion an. Seitdem senkten die Hersteller ihre Preise um mehr als ein Drittel auf unter einen Euro pro Watt. Und die Technik kann noch deutlich günstiger werden. „Die Effizienz multikristalliner Module lässt sich sicher noch auf 20 Prozent erhöhen“, sagt Weber. Steigt die Effizienz, sinken automatisch der Materialbedarf und die Kosten.	5
	Großes Innovationspotential haben sicher auch die Dünnschicht- und die Mehrfachzellen, nur vollziehen sich technische Fortschritte hier langsamer. Dünnschichtzellen auf Basis der Halbleiter Kupfer, Indium und Gallium (CIS) zum Beispiel erreichen zwar bereits Wirkungsgrade von 13 %, konnten ihre kristallinen Konkurrenten beim Preis aber noch nicht unterbieten – laut pvXchange kosten CIS-Module derzeit noch rund 1,40 Euro pro Watt. „Der Aufbau großer Fertigungskapazitäten ist beim CIS schwieriger als erwartet“, gesteht der Dünnschichtexperte Prof. Dr. Michael Powalla vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung. Auch die Mehrfachzellen-Produktion ist durch den niedrigen Automatisierungsgrad noch nicht wirtschaftlich.	Großes Innovationspotenzial haben sicher auch die Dünnschicht- und die Mehrfachzellen, nur vollziehen sich technische Fortschritte hier langsamer. Dünnschichtzellen auf Basis der Halbleiter Kupfer, Indium und Gallium (CIS) zum Beispiel erreichen zwar bereits Wirkungsgrade von 13 Prozent, konnten ihre kristallinen Konkurrenten beim Preis aber noch nicht unterbieten - laut pvX-change kosten CIS-Module derzeit noch rund 1,40 Euro pro Watt. „Der Aufbau großer Fertigungskapazitäten ist beim CIS schwieriger als erwartet“, gesteht der Dünnschichtexperte Michael Powalla vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg.	6
7	Das Problem ist, dass die Solarindustrie nicht mehr viel Zeit hat, um die Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik zu erreichen. Fast überall in Europa haben Länder mit einer Einspeisevergütung für Solarstrom die Fördertarife radikal gekürzt, weil der starke	Doch die Solarindustrie hat nicht mehr viel Zeit, um die Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik zu erreichen. Fast überall in Europa haben Länder mit einer Einspeisevergütung für Solarstrom die Fördertarife radikal gekürzt, weil der starke Zubau an Solaranlagen außer Kontrolle geriet. In	7

Abs	Elektropraktiker (7 / 2012)	forum.new power (29.10.2012)	Abs
	<p>Zubau an Solaranlagen außer Kontrolle geriet. In Deutschland zum Beispiel sinkt die Solarstromvergütung dieses Jahr rückwirkend um bis zu 30 %. „Wer in diesem schwierigen Marktumfeld bestehen will, muss seine Preise weiter massiv senken“, sagt der Analyst Dr. Matthias Fawer von der Schweizer Bank Sarasin.</p>	<p>Deutschland zum Beispiel stellt das Erneuerbare-Energien-Gesetz die Branche auf eine harte Probe. Bei 52 Gigawatt installierter Gesamtleistung soll Schluss sein mit der Photovoltaikförderung. Da dieses Jahr bereits 32 bis 35 Gigawatt Gesamtinstallationen erreicht werden dürften, wird dieser Förderdeckel vermutlich noch vor 2020 greifen.</p>	
8	<p>Aus jetziger Sicht sind multikristalline Zellen hierfür am ehesten geeignet, denn sie weisen von allen Techniken die steilste Lernkurve auf. Die deutschen Solarmaschinenbauer und Hersteller sind die Technologieführer bei den Multis und kennen die Stellschrauben für weitere Innovationen. Unternehmen wie Centrotherm, Manz oder Schmid liefern Equipment für alle Bereiche der kristallinen Wertschöpfungskette von der Siliziumherstellung bis zur Modulfertigung. Mit ihren Anlagen und Automationslösungen sorgen sie für rasche Effizienzgewinne und sinkende Fertigungskosten.</p>	<p>Aus heutiger Sicht sind multikristalline Zellen am ehesten geeignet, die Preise weiter zu senken, denn sie weisen von allen Techniken die steilste Lernkurve auf. Die europäischen Solarmaschinenbauer und Hersteller sind die Technologieführer bei den Multis und kennen die Stellschrauben für weitere Innovationen. Die schwäbischen Unternehmen Centrotherm und Schmid sowie Meyer Burger aus der Schweiz liefern Equipment für alle Bereiche der kristallinen Wertschöpfungskette von der Siliziumherstellung bis zur Modulfertigung. Mit ihren Anlagen und Automationslösungen sorgen sie für rasche Effizienzgewinne und sinkende Fertigungskosten.</p>	8
	<p>Eine zukunftssträchtige Technologie, die schon bald Einzug in die Fabriken halten könnte, sind multikristalline Zellen mit Rückseitenpassivierung, die sogenannten Perc-Zellen (Passivated Emitter and Rear Contact).</p>	<p>Eine zukunftssträchtige Technologie, die derzeit Einzug in die Fabriken hält, sind multikristalline Zellen mit Rückseitenpassivierung, die sogenannten PERC-Zellen (Passivated Emitter and Rear Contact).</p>	9
	<p>Anlagenbauer Schmid zum Beispiel hat jetzt eine spezielle Perc-Variante von Schott Solar lizenziert und vertreibt dafür nun Produktionsequipment an Kunden weltweit.</p>	<p>Schmid zum Beispiel stellte auf der europäischen Solarkonferenz PVSEC Ende September in Frankfurt eine Produktionsanlage vor, mit der es diese neuen Solarzellen mit nahezu 21 Prozent Wirkungsgrad ohne nennenswerte Kostensteigerungen herstellen kann.</p>	
9	<p>Bei den derzeit gängigen Standardzellen drängen Elektronen zum Minuspol auf der Vorderseite und die Elektronenlöcher zum Pluspol auf der Rückseite. Hier fließt der Strom über einen Aluminiumkontakt ab, der großflächig auf dem Wafer liegt. Durch das Aluminium ist der elektrische Kontakt zum Pluspol zwar sehr gut, aber der direkte Kontakt zwischen Metall und Halbleiter führt dazu, dass sich negative und positive Ladungsträger an dieser Grenze gegenseitig auslöschen, im Fachjargon: rekombinieren. Die Entwickler nutzen deshalb einen einfachen Trick: Sie ersetzen das Aluminium durch eine neue Schicht, die Stromverluste reduziert. Man bezeichnet diese Schicht als dielektrische Passivierungsschicht, die aus Siliziumnitrid, Siliziumoxid oder Aluminiumoxid bestehen kann. Allerdings haben diese Schichten den Nachteil, dass sie Strom nicht leiten. Deshalb müssen sie zusätzlich an</p>	<p>Bei den derzeit gängigen Standardzellen drängen Elektronen zum Minuspol auf der Vorderseite und die Elektronenlöcher zum Pluspol auf der Rückseite. Hier fließt der Strom über einen Aluminiumkontakt ab, der großflächig auf dem Wafer liegt. Durch das Aluminium ist der elektrische Kontakt zum Pluspol zwar sehr gut, aber der direkte Kontakt zwischen Metall und Halbleiter führt dazu, dass sich negative und positive Ladungsträger an dieser Grenze gegenseitig auslöschen, im Fachjargon: rekombinieren. Die Entwickler nutzen deshalb einen einfachen Trick: Sie ersetzen bei PERC das Aluminium durch eine neue Schicht, die Stromverluste reduziert. Man bezeichnet diese Schicht als dielektrische Passivierungsschicht, die aus Siliziumnitrid, Siliziumoxid oder Aluminiumoxid bestehen kann. Allerdings haben diese Schichten den Nachteil, dass sie Strom nicht leiten. Deshalb müssen sie zusätzlich an</p>	10

Abs	Elektropraktiker (7 / 2012)	forum.new power (29.10.2012)	Abs
	einigen Stellen geöffnet werden, um die metallenen Stromanschlüsse dort hindurchführen und mit dem Halbleiter verbinden zu können.	einigen Stellen geöffnet werden, um die metallenen Stromanschlüsse dort hindurchführen und mit dem Halbleiter verbinden zu können.	
	<b>Diverse neue Konzepte</b>	<b>Q-Cells nimmt neuen Anlauf</b>	
10	Der ostdeutsche Solaranbieter Q-Cells setzt ebenfalls auf Perc-Zellen. Die Firma musste zwar im April Insolvenz anmelden, doch sind die Chancen auf eine erfolgreiche Restrukturierung laut Insolvenzverwalter Henning Schorisch günstig. Perc soll beim Neuanfang helfen:	Der ostdeutsche Solaranbieter Q-Cells setzt ebenfalls auf PERC-Zellen. Die Firma musste zwar im April Insolvenz anmelden, doch wurde sie inzwischen vom koreanischen Hanwha-Konzern übernommen. PERC soll beim Neuanfang helfen:	11
	Auf der Solarmesse Intersolar präsentierte Q-Cells sein neues Modul namens „Qantum“, das mit diesen Zellen ausgestattet ist. Die Firma verspiegelt und passiviert multikristalline Wafer auf der Rückseite mit einer speziellen Siliziumnitrid-Schicht. Für die Kontaktierung nutzt sie einen vom ISE entwickelten Prozess: „Wir schießen von außen mit Lasern auf das Aluminium und feuern es so durch unsere dielektrische Nanoschicht auf den Wafer“, erklärt Q-Cells-Cheftechniker Dr. Peter Wawer. Die Laserbehandlung lohnt sich: Durch die neue Rückseitenstruktur steige der Zellenwirkungsgrad in der Pilotproduktion auf 19,5 %, bezogen auf das Modul auf 18 %.	Derzeit führt Q-Cells sein neues Modul namens „Quantum“ in den Markt ein, das mit diesen Zellen ausgestattet ist. Die Firma verspiegelt und passiviert multikristalline Wafer auf der Rückseite mit einer speziellen Siliziumnitrid-Schicht. Für die Kontaktierung nutzt sie einen vom ISE entwickelten Prozess: „Wir schießen von außen mit Lasern auf das Aluminium und feuern es so durch unsere dielektrische Nanoschicht auf den Wafer“, erklärt Q-Cells-Cheftechniker Peter Wawer. Die Laserbehandlung lohnt sich: Durch die neue Rückseitenstruktur steige der Zellenwirkungsgrad in der Pilotproduktion auf 19,5 Prozent, bezogen auf das Modul auf 18 Prozent.	
		<b>Ausblick</b>	
11	Die Überlegungen deutscher Solarhersteller gehen aber noch weiter. Bosch Solar Energy, Q-Cells und Solarworld erwägen, Perc-Zellen künftig aus sogenanntem Quasi-Mono-Silizium herzustellen. Dieser neue Halbleiter, der dem multikristallinen Silizium zugeordnet wird, gilt in der Branche als eine Art Sprungbrett zur Wettbewerbsfähigkeit. Es wird wie einfaches multikristallines Material in Schmelztiegeln hergestellt, hat aber die Eigenschaften des höherwertigen monokristallinen Materials. „Damit ist es möglich, einen Effizienzgewinn von bis zu zwei Prozentpunkten bei nahezu gleichbleibenden Produktionskosten zu erzielen“, sagt Dr. Jan Schmidt, Leiter der Abteilung Photovoltaik im Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH).	Die Überlegungen deutscher Solarhersteller gehen aber noch weiter. Bosch Solar Energy, Q-Cells und Solarworld erwägen, PERC-Zellen künftig aus sogenanntem Quasi-Mono-Silizium herzustellen. Dieser neue Halbleiter, der dem multikristallinen Silizium zugeordnet wird, gilt in der Branche als eine Art Sprungbrett zur Wettbewerbsfähigkeit. Es wird wie einfaches multikristallines Material in Schmelztiegeln hergestellt, hat aber die Eigenschaften des höherwertigen monokristallinen Materials.	12
12	Normalerweise wird Silizium in einem speziellen Tiegel geschmolzen und anschließend kontrolliert abgekühlt. Beim Blockguss für multikristalline Blöcke richten sich die Kristalle unterschiedlich aus. In ihren Zwischenräumen entstehen sogenannte Korngrenzen, jene Unregelmäßigkeiten, die die Stromausbeute schmälern. Daher wird der Tiegelboden mit einer Platte aus einkristallinem Silizium als Saatkristall präpariert. Beim Abkühlen erstarrt der Halbleiter	Normalerweise wird Silizium in einem speziellen Tiegel geschmolzen und anschließend kontrolliert abgekühlt. Beim Blockguss für multikristalline Blöcke richten sich die Kristalle unterschiedlich aus. In ihren Zwischenräumen entstehen sogenannte Korngrenzen, jene Unregelmäßigkeiten, die die Stromausbeute schmälern. Daher wird der Tiegelboden mit einer Platte aus einkristallinem Silizium als Saatkristall präpariert. Beim Abkühlen erstarrt der Halbleiter	13

Abs	Elektropraktiker (7 / 2012)	forum.new power (29.10.2012)	Abs
	an diesem Kristall und übernimmt weitgehend dessen Orientierung. Dadurch werden effizienzschmälernde Defekte im Material vermieden.	an diesem Kristall und übernimmt weitgehend dessen Orientierung. Dadurch werden effizienzschmälernde Defekte im Material vermieden.	
13	Mit sinkenden Material- und Produktionskosten rückt schließlich eine Technik in den Fokus der Hersteller, an die sie sich wegen der vergleichsweise schwierigen Produktion lange nicht heranwagten: die sogenannten Metal-Wrap-Through (MWT)-Zellen. Bei dem vom niederländischen Energieforschungsinstitut ECN entwickelten Ansatz werden die Stromsammelschienen intern auf die Rückseite durchgeführt. Dadurch liegen auf der Vorderseite weniger Leiterbahnen, die Licht von der Zelle fernhalten. Der Wirkungsgrad steigt, und gleichzeitig können die Module mit effizienteren Methoden gefertigt werden.	Mit sinkenden Material- und Produktionskosten rückt schließlich eine Technik in den Fokus der Hersteller, an die sie sich wegen der vergleichsweise schwierigen Produktion lange nicht heranwagten: die sogenannten Metal-Wrap-Through-(MWT-)Zellen. Bei dem vom niederländischen Energieforschungsinstitut ECN entwickelten Ansatz werden die Stromsammelschienen intern auf die Rückseite durchgeführt. Dadurch liegen auf der Vorderseite weniger Leiterbahnen, die Licht von der Zelle fernhalten. Der Wirkungsgrad steigt, und gleichzeitig können die Module mit effizienteren Methoden gefertigt werden.	14
14	Mit Bosch Solar, Ja Solar, Kyocera und Canadian Solar wollen jetzt gleich vier Firmen die neue Technik serienmäßig herstellen. Kein Wunder, denn sie ermöglicht Module mit 16 % Wirkungsgrad. Damit stößt die multikristalline Technik in Effizienzbereiche vor, die bisher den teureren monokristallinen Modulen vorbehalten waren.	Mit Bosch Solar, Ja Solar, Kyocera und Canadian Solar wollen jetzt gleich vier Firmen die neue Technik serienmäßig herstellen, denn sie ermöglicht Module mit 16 Prozent Wirkungsgrad. Damit stößt die multikristalline Technik in Effizienzbereiche vor, die bisher den teureren monokristallinen Modulen vorbehalten waren.	