


Abs	Elektropraktiker (11 / 2012)	Erneuerbare Energien (12 / 2012)	Abs
	Mit Hocheffizienz gegen die Krise (Sascha Rentzing)	Hocheffizienz gegen die Krise (Sascha Rentzing)	
0	Die europäische Solarindustrie kämpft gegen die Absatzflaute. Wirkungsvollere Module sollen die Preise drücken und das Geschäft wieder ankurbeln. Die Maschinenbauer legen mit neuen Linien für Hochleistungszellen den Grundstein.	Die europäische Solarindustrie kämpft gegen die Absatzflaute. Wirkungsvollere Module sollen die Preise drücken und das Geschäft wieder ankurbeln. Die Maschinenbauer legen mit neuen Linien für Hochleistungszellen den Grundstein.	0
	Optimistische Prognose		
1	Ist Dr. Winfried Hoffmann noch zu retten? Die Solarhersteller stecken in einer tiefen Krise, und der Präsident des Verbands der europäischen Photovoltaikindustrie Epia prophezeit ihnen eine „aussichtsreiche Zukunft“. „Die Photovoltaik lässt sich nicht mehr aufhalten“, sagt Hoffmann. Epia erwartet in einer aktuellen Studie zum europäischen Solarmarkt, dass bei weiterer Förderung und einfacheren Genehmigungsverfahren die kumulierte installierte Leistung in Europa von derzeit 50 GW auf bis zu 850 GW im Jahr 2030 steigen wird. Dann werden laut Epia Solaranlagen 25 % der Stromversorgung in Europa übernehmen.	Ist Winfried Hoffmann noch zu retten? Die Solarhersteller stecken in einer tiefen Krise, und der Präsident des Verbands der europäischen Photovoltaikindustrie Epia prophezeit ihnen eine «aussichtsreiche Zukunft». «Die Photovoltaik lässt sich nicht mehr aufhalten», sagt Hoffmann. Epia erwartet in einer aktuellen Studie zum europäischen Solarmarkt, dass bei weiterer Förderung und einfacheren Genehmigungsverfahren die kumulierte installierte Leistung in Europa von derzeit 50 Gigawatt (GW) auf bis zu 850 GW im Jahr 2030 steigen wird. Dann werden laut Epia Solaranlagen 25 Prozent der Stromversorgung in Europa übernehmen.	1
2	Nach einer sonnigen Zukunft sieht es für die Solarbranche derzeit aber nicht aus. Die Modulpreise sind in den vergangenen zwei Jahren aufgrund massiver Überkapazitäten schneller gefallen als die Produzenten ihre Kosten senken konnten. Schrumpfende Margen haben bereits zahlreiche europäische Hersteller in die Insolvenz getrieben. Außerdem kürzen viele Länder mit Einspeisevergütung für Solarstrom wegen des unerwartet starken PV-Zubaus die Fördertarife. In Deutschland zum Beispiel soll bei 52 GW installierter Gesamtleistung Schluss sein mit der Unterstützung. Da dieses Jahr bereits über 30 GW Gesamtinstallationen erreicht werden, dürfte dieser Förderdeckel noch vor 2020 greifen.	Nach einer sonnigen Zukunft sieht es für die Solarbranche derzeit aber nicht aus. Die Modulpreise sind in den vergangenen zwei Jahren aufgrund massiver Überkapazitäten schneller gefallen als die Produzenten ihre Kosten senken konnten. Schrumpfende Margen haben bereits zahlreiche europäische Hersteller in die Insolvenz getrieben. Ausserdem kürzen viele Länder mit Einspeisevergütung für Solarstrom wegen des unerwartet starken PV-Zubaus die Fördertarife. In Deutschland zum Beispiel soll bei 52 GW installierter Gesamtleistung Schluss sein mit der Unterstützung. Da dieses Jahr bereits über 30 GW Gesamtinstallationen erreicht werden, dürfte dieser Förderdeckel noch vor 2020 greifen.	2
3	Dennoch ist für die Solarindustrie nicht alles verloren. „Entscheidend sind jetzt kostensenkende Innovationen, mit denen die Firmen dem Preisverfall leichter trotzen und schnell unabhängig werden können von staatlichen Förderprogrammen“, sagt Dr. Markus Fischer, Vize-Vorsitzender der internationalen Technologie-Roadmap Photovoltaik (ITRPV), einer Arbeitsgruppe im europäischen Halbleiterverband Semi. Die Industrie hat sich daher zu raschen Neuerungen entschlossen und in der ITRPV ehrgeizige Ziele festgelegt: Bis 2020 soll der Wirkungsgrad kristalliner Siliziumzellen um drei Prozentpunkte steigen. Multikristalline Zellen werden dann durchschnittlich 19 % Effizienz erreichen, monokristalline rund 23 %. Dank des	Dennoch ist für die Solarindustrie nicht alles verloren. «Entscheidend sind jetzt kostensenkende Innovationen, mit denen die Firmen dem Preisverfall leichter trotzen und schnell unabhängig werden können von staatlichen Förderprogrammen », sagt Markus Fischer, VizeVorsitzender der Technologie-Roadmap Photovoltaik (ITRPV), einer Arbeitsgruppe im europäischen Halbleiterverband Semi. Die Industrie hat sich daher zu raschen Neuerungen entschlossen und in der ITRPV ehrgeizige Ziele festgelegt: Bis 2020 soll der Wirkungsgrad kristalliner Siliziumzellen um drei Prozentpunkte steigen. Multikristalline Zellen werden dann durchschnittlich 19 Prozent Effizienz erreichen, monokristalline rund 23 Prozent. Dank	3

Abs	Elektropraktiker (11 / 2012)	Erneuerbare Energien (12 / 2012)	Abs
	Effizienzgewinns und eines sparsameren Umgangs mit Silizium sinkt die Kostenlernkurve der Photovoltaik fortan schneller als bisher: In der vergangenen Dekade fielen die Kosten um durchschnittlich 20 % pro Jahr, künftig sollen Einsparungen von 29 % erreicht werden.	des Effizienzgewinns und eines sparsameren Umgangs mit Silizium sinkt die Kostenlernkurve der PV fortan schneller als bisher: In der vergangenen Dekade fielen die Kosten um durchschnittlich 20 Prozent pro Jahr, künftig sollen Einsparungen von 29 Prozent erreicht werden.	
	Mehr Leistung, weniger Kosten	Mehr Leistung, weniger Kosten	
4	Die Solarmaschinenbauer schaffen bereits die Basis für die angepeilten Fortschritte. Gleich mehrere Ausrüster stellen derzeit neue Produktionslinien vor, die bei sinkenden Fertigungskosten leistungsstärkere Zellen und Module hervorbringen. Zu den neuesten Entwicklungen zählt eine Hocheffizienzstraße der Schweizer Firma Meyer Burger, die Zellen und Modulproduktion kombiniert. Sie verarbeitet monokristalline Siliziumscheiben (Wafer) zunächst zu sogenannten Heterojunction-Zellen mit 21 % Wirkungsgrad. Im anschließenden Modulprozess wird dann eine gut stromleitende Folie auf jeweils 60 Zellen geklebt, die sie über viele filigrane Metallfinger miteinander verschaltet. In bisher gängigen Prozessen werden die Zellen über zwei bis drei relativ dicke Stromsammelschienen miteinander verlötet. Durch die Maßnahme wird die Zelle weniger verschattet und es kann mehr Licht eindringen – die Leistung der Module steigt gegenüber herkömmlichen Standardpaneelen um rund 10 % auf 303 W.	Die Solarmaschinenbauer schaffen bereits die Basis für die angepeilten Fortschritte. Gleich mehrere Ausrüster stellen derzeit neue Produktionslinien vor, die bei sinkenden Fertigungskosten leistungsstärkere Zellen und Module hervorbringen. Zu den neuesten Entwicklungen zählt eine Hocheffizienzstrasse der Schweizer Firma Meyer Burger, die Zellen- und Modulproduktion kombiniert. Sie verarbeitet monokristalline Siliziumscheiben (Wafer) zunächst zu sogenannten Heterojunction-Zellen mit 21 Prozent Wirkungsgrad. Im anschliessenden Modulprozess wird dann eine gut stromleitende Folie auf jeweils 60 Zellen geklebt, die sie über viele filigrane Metallfinger miteinander verschaltet. In bisher gängigen Prozessen werden die Zellen über zwei bis drei relativ dicke Stromsammelschienen miteinander verlötet. Durch die Massnahme wird die Zelle weniger verschattet, und es kann mehr Licht eindringen – die Leistung der Module steigt gegenüber herkömmlichen Standardpaneelen um rund zehn Prozent auf 303 Watt.	4
	„Die Linie wird derzeit in den Markt eingeführt“, sagt Firmensprecher Mario Schubert. Die Innovation könnte PV-Herstellern im hart umkämpften Solarmarkt einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil bringen. Bis 2014 will Meyer Burger den Wirkungsgrad der Zellen auf 24 % erhöhen und gleichzeitig deren Produktionskosten auf unter zehn Dollarcent pro Watt senken. Derzeit fertigen Meyer Burgers Linien kristalline Standardzellen noch für 17 bis 18 Cent.	«Die Linie wird derzeit in den Markt eingeführt», sagt Firmensprecher Mario Schubert. Die Innovation könnte PV-Herstellern im hart umkämpften Solarmarkt einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil bringen. Bis 2014 will Meyer Burger den Wirkungsgrad der Zellen auf 24 Prozent erhöhen und gleichzeitig deren Produktionskosten auf unter zehn Dollarcent pro Watt senken. Derzeit fertigen Meyer Burgers Linien kristalline Standardzellen noch für 17 bis 18 Cent.	5
5	Heterojunction-Zellen zählen zu den großen Errungenschaften der Photovoltaik. Sanyo aus Japan entwickelte die Technik und hielt daran bis 2010 die wichtigsten Schutzrechte. Die heutige Meyer-Burger-Tochter Roth & Rau griff das Konzept auf und entwickelte ein neues Fertigungsverfahren dafür. Für eine höhere Stromausbeute kombinieren die Zellen kristalline mit Dünnschichttechnik. Die monokristallinen Wafer werden beidseitig mit amorphem, also vollkommen unregelmäßig strukturiertem Silizium, beschichtet. Auf der Frontseite dient es	Heterojunction-Zellen zählen zu den grossen Errungenschaften der Photovoltaik. Sanyo aus Japan entwickelte die Technik und hielt daran bis 2010 die wichtigsten Schutzrechte. Die heutige Meyer-Burger-Tochter Roth & Rau griff das Konzept auf und entwickelte ein neues Fertigungsverfahren dafür. Für eine höhere Stromausbeute kombinieren die Zellen kristalline mit Dünnschichttechnik. Die monokristallinen Wafer werden beidseitig mit amorphem, also vollkommen unregelmässig strukturiertem Silizium beschichtet. Auf der Frontseite dient es	6

Abs	Elektropraktiker (11 / 2012)	Erneuerbare Energien (12 / 2012)	Abs
	<p>als sogenannter Emitter, der die generierten Elektronen aus der Zelle zu den Kontakten leitet, auf der Rückseite als Barrierschicht: Sie bildet für die Elektronen eine undurchlässige Grenze. Deren Gegenstücke, die Elektronenlöcher, fließen indes ungehindert zu den Elektroden ab und neutralisieren sich nun nicht mehr mit den Elektronen an der Oberfläche des Kristalls. Sogenannte Rekombinationsverluste reduzieren sich, die Stromausbeute steigt.</p>	<p>als sogenannter Emitter, der die generierten Elektronen aus der Zelle zu den Kontakten leitet, auf der Rückseite als Barrierschicht: Sie bildet für die Elektronen eine undurchlässige Grenze. Deren Gegenstücke, die Elektronenlöcher, fließen indes ungehindert zu den Elektroden ab und neutralisieren sich nun nicht mehr mit den Elektronen an der Oberfläche des Kristalls. Sogenannte Rekombinationsverluste reduzieren sich, die Stromausbeute steigt.</p>	
	Optimierte Zellenrücken	Optimierte Zellenrücken	
6	<p>Heterojunction-Zellen sind aber nur ein Weg zu höheren Wirkungsgraden. Eine andere Möglichkeit bietet das sogenannte PERC-Konzept (Passivated Emitter and Rear Contact), das derzeit Eingang in die Serienfertigung findet. Bei dieser Technik geht es vorrangig darum, Stromverluste zwischen Halbleiter und den metallenen Kontakten an der Rückseite der Zellen durch eine zusätzliche Barrierschicht zu reduzieren.</p>	<p>Heterojunction-Zellen sind aber nur ein Weg zu höheren Wirkungsgraden. Eine andere Möglichkeit bietet das sogenannte PERC-Konzept (Passivated Emitter and Rear Contact), das derzeit Eingang in die Serienfertigung findet. Bei dieser Technik geht es vorrangig darum, Stromverluste zwischen Halbleiter und den metallenen Kontakten an der Rückseite der Zellen durch eine zusätzliche Barrierschicht zu reduzieren.</p>	7
	<p>Der schwäbische Maschinenbauer Schmid hat eine Produktionsanlage entwickelt, mit der sich PERC-Zellen mit nahezu 21 % Wirkungsgrad ohne nennenswerte Kostensteigerungen herstellen lassen (Bild ). Um die Barrierschicht möglichst kostengünstig zu fertigen, nutzt das Unternehmen statt eines gängigen Beschichtungsverfahrens im Vakuum einen nach eigenen Angaben weniger aufwändigen Prozess unter Atmosphärendruck. Dabei werden die reaktiven Gase Stickstoff, Sauerstoff und Trimethylaluminium in eine Prozesskammer geleitet, wo der Wafer auf bis zu 900 °C erhitzt wird. „Dadurch reagieren die Gase an der Oberfläche und formieren Aluminiumoxid“, erklärt Verkaufsmanager Dirk Bräunlich. Das nicht leitende Aluminiumoxid verringert im PERC-Konzept die elektronischen Verluste an der Rückseite der Zelle. Um die Zelle dennoch mit Kontakten versehen zu können, wird die Aluminiumoxidschicht mit Lasern punktwise geöffnet.</p>	<p>Der schwäbische Maschinenbauer Schmid hat eine Produktionsanlage entwickelt, mit der er PERC-Zellen mit nahezu 21 Prozent Wirkungsgrad ohne nennenswerte Kostensteigerungen herstellen kann. Um die Barrierschicht möglichst kostengünstig zu fertigen, nutzt das Unternehmen statt eines gängigen Beschichtungsverfahrens im Vakuum einen nach eigenen Angaben weniger aufwändigen Prozess unter Atmosphärendruck. Dabei werden die reaktiven Gase Stickstoff, Sauerstoff und Trimethylaluminium in eine Prozesskammer geleitet, wo der Wafer auf bis zu 900 Grad Celsius erhitzt wird. «Dadurch reagieren die Gase an der Oberfläche und formieren Aluminiumoxid», erklärt Verkaufsmanager Dirk Bräunlich. Das nicht leitende Aluminiumoxid verringert im PERC-Konzept die elektronischen Verluste an der Rückseite der Zelle. Um die Zelle dennoch mit Kontakten versehen zu können, wird die Aluminiumoxidschicht mit Lasern punktwise geöffnet.</p>	8
7	<p>Während Schmid die Markteinführung optimierter PERC-Zellen startet, ist die nächste Generation schon in Vorbereitung. Um Silizium zu sparen, entwickelt das belgische Forschungsinstitut IMEC noch dünnere PERC-Zellen. „Wir haben Zellen auf nur 100 µm dicken Wafern mit industrietauglichen Prozessen produziert“, sagt IMEC-Solarforscher Prof. Jef Poortmans. Die Bonner Solarworld hat die schlanken Zellen anschließend zu Modulen verarbeitet. Obwohl die PERC-Zellen nur halb so dünn gewesen seien wie Standardzellen, sei bei der Produktion keine einzige zerbrochen,</p>	<p>Während Schmid die Markteinführung optimierter PERC-Zellen startet, ist die nächste Generation schon in Vorbereitung. Um Silizium zu sparen, entwickelt das belgische Forschungsinstitut IMEC noch dünnere PERC-Zellen. «Wir haben Zellen auf nur 100 Mikrometer dicken Wafern mit industrietauglichen Prozessen produziert», sagt IMEC-Solarforscher Jef Poortmans. Die Bonner Solarworld hat die schlanken Stromgeneratoren anschliessend zu Modulen verarbeitet. Obwohl die PERC-Zellen nur halb so dünn gewesen seien wie Standardzellen, sei bei der Produktion keine einzige zerbrochen,</p>	9

Abs	Elektropraktiker (11 / 2012)	Erneuerbare Energien (12 / 2012)	Abs
	berichtet Poortmans. Zellbruch gilt als große Hürde auf dem Weg zu dünneren Wafern. Der Grund für das positive Ergebnis ist laut dem Forscher, dass mit dem IMEC-Verfahren hergestellte PERC-Zellen weniger unter mechanischer Spannung stünden als Standardzellen.	berichtet Poortmans. Zellbruch gilt als grosse Hürde auf dem Weg zu dünneren Wafern. Der Grund für das positive Ergebnis ist laut dem Forscher, dass mit dem IMEC-Verfahren hergestellte PERC-Zellen weniger unter mechanischer Spannung stehen als Standardzellen.	
	Um die Technik zu perfektionieren, wollen die Belgier schließlich bei den Frontkontakten teures Silber durch Kupfer ersetzen. „Wir haben dafür einen Prozess entwickelt, der auch in der industriellen Zellenfertigung Anwendung finden kann“, sagt Poortmans. Dazu wird in einem einzigen Schritt erst eine wenige hundert Nanometer dünne Nickelschicht, dann eine rund 12 µm dicke Kupferschicht und schließlich eine sehr dünne Silberschicht abgeschieden.	Um die Technik zu perfektionieren, wollen die Belgier schliesslich bei den Frontkontakten teures Silber durch Kupfer ersetzen. «Wir haben dafür einen Prozess entwickelt, der auch in der industriellen Zellenfertigung Anwendung finden kann», sagt Poortmans. Dazu wird in einem einzigen Schritt erst eine wenige hundert Nanometer dünne Nickelschicht, dann eine rund zwölf Mikrometer dicke Kupferschicht und schliesslich eine sehr dünne Silberschicht abgeschieden.	10
	Wenig Geld für Innovationen	Wenig Geld für Innovationen	
8	In den Laboren sind noch weitere neue Konzepte für Hocheffizienzellen in Vorbereitung. So arbeitet das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg unter anderem an PERC-Zellen mit sogenannter Metal-Wrap-Through-Technik (MWT). 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. „So steigern wir die Effizienz und vereinfachen die Modulproduktion“, sagt ISE-Solarforscher Dr. Stefan Glunz.	In den Laboren sind noch weitere neue Konzepte für Hocheffizienzellen in Vorbereitung. So arbeitet das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg unter anderem an PERC-Zellen mit sogenannter Metal-Wrap-Through-Technik (MWT). 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. «So steigern wir die Effizienz und vereinfachen die Modulproduktion», sagt ISE-Solarforscher Stefan Glunz.	11
9	Komplett ohne Frontmetallisierung kommt der von dem italienischen Solarhersteller Silfab und dem International Solar Energy Research Center Konstanz (ISC) entwickelte monokristalline Rückseitensammler „Zebra“ aus. Da neben den Schienen auch die Kontaktfinger auf die Rückseite verlegt werden, kann noch mehr Licht in den Halbleiter eindringen. „Während die maximalen Wirkungsgrade der heute gängigen monokristallinen Solarzellen bei etwa 19 bis 20 % liegen, beginnen Zebra-Zellen bei 21 % und erreichen möglicherweise Wirkungsgrade von über 24 %“, erklärt ISC-Leiter Dr. Kristian Peter.	Komplett ohne Frontmetallisierung kommt der von dem italienischen Solarhersteller Silfab und dem International Solar Energy Research Center Konstanz (ISC) entwickelte monokristalline Rückseitensammler «Zebra» aus. Da neben den Schienen auch die Kontaktfinger auf die Rückseite verlegt werden, kann noch mehr Licht in den Halbleiter eindringen. «Während die maximalen Wirkungsgrade der heute gängigen monokristallinen Solarzellen bei etwa 19 bis 20 Prozent liegen, beginnen Zebra-Zellen bei 21 Prozent und erreichen möglicherweise Wirkungsgrade von über 24 Prozent», erklärt ISC-Leiter Kristian Peter.	
10	Sunpower aus den USA, bisher der einzige Hersteller sogenannter Rückseitenkontaktzellen, hat die 24-Prozent-Hürde bereits im Sommer 2010 auf seiner Pilotlinie in Texas genommen. Im kommenden Jahr soll die rekordverdächtige neue Generation von „Maxeon“-Zellen nach Ankündigung der Amerikaner in Serienproduktion gehen. Will die europäische Solarindustrie den	Sunpower aus den USA, bisher der einzige Hersteller sogenannter Rückseitenkontaktzellen, hat die 24-Prozent-Hürde bereits im Sommer 2010 auf seiner Pilotlinie in Texas genommen. Im kommenden Jahr soll die rekordverdächtige neue Generation von «Maxeon»-Zellen nach Ankündigung der Amerikaner in Serienproduktion gehen. Will die europäische Solarindustrie den	12

Abs	Elektropraktiker (11 / 2012)	Erneuerbare Energien (12 / 2012)	Abs
	Anschluss halten und ihre Marktposition behaupten, muss sie schleunigst mit Innovationen nachlegen.	Anschluss halten und ihre Marktposition behaupten, muss sie schleunigst mit Innovationen nachlegen.	
	Die entscheidende Frage ist allerdings, ob sich die Hersteller den nächsten Technologieschritt auch leisten können. Viele Firmen schreiben wegen des Preisverfalls rote Zahlen und können derzeit keine großen Ausgaben stemmen. Für neue Konzepte wie Heterojunction-Zellen lassen sich bestehende Linien aber nicht punktuell aufrüsten – sie müssen komplett erneuert werden, was hohe Anfangsinvestitionen be deutet. Dennoch rechnet man bei Meyer Burger mit einem guten Absatz der neuen Kombilinie. Sogar ein großer deutscher Hersteller hätte bereits Kaufinteresse bekundet, weil er sich damit von seinen chinesischen Konkurrenten abheben wolle, sagt Firmensprecher Schubert. Vielleicht liegt Epia-Präsident Hoffmann mit seiner optimistischen Prognose doch nicht so falsch.	Die entscheidende Frage ist allerdings, ob sich die Hersteller den nächsten Technologieschritt auch leisten können. Viele Firmen schreiben wegen des Preisverfalls rote Zahlen und können derzeit keine grossen Ausgaben stemmen. Für neue Konzepte wie Heterojunction-Zellen lassen sich bestehende Linien aber nicht punktuell aufrüsten – sie müssen komplett erneuert werden, was hohe Anfangsinvestitionen bedeutet. Dennoch rechnet man bei Meyer Burger mit einem guten Absatz der neuen Kombilinie. Sogar ein grosser deutscher Hersteller hätte bereits Kaufinteresse bekundet, weil er sich damit von seinen chinesischen Konkurrenten abheben wolle, sagt Firmensprecher Schubert. Vielleicht liegt Epia-Präsident Hoffmann mit seiner optimistischen Prognose doch nicht so falsch.	13