



Foto: TÜV Rheinland

**SPERRFRIST:  
3. Februar 2011**  
Abdruck auszugsweise frei unter  
Quellenangabe: Fachmagazin **photovoltaik**  
(www.photovoltaik.eu)

Module müssen ihre Qualität beim Isolationstest unter Benässung auch unter Wasser beweisen.

## So prüft PV+Test

**Glossar:** PV+Test bewertet nach einer Vielzahl von Messergebnissen und berücksichtigt zahlreiche Moduleigenschaften. Dabei zeigt sich, was nach Ansicht der Experten ein gutes Modul ist. Dazu gehören neben den guten Leistungsparametern unter anderem eine hohe elektrische Sicherheit und eine gute Alterungsbeständigkeit.

Wenn ein Hersteller an dem Test teilnimmt, kaufen die PV+Test-Experten fünf Module des festgelegten Typs auf dem Markt ein, ohne dass Hersteller wie bei der Zertifizierung unter Umständen steuern können, welche Module in den Test gehen. Dann beginnt der TÜV Rheinland zunächst mit einem Sonnenbad. Entsprechend der IEC-Norm müssen Module vor dem Eingangstest 5 bis 5,5 Kilowattstunden pro Quadratmeter Sonnenstrahlung abbekommen, damit alle denkbaren anfänglichen Degradationsprozesse abgelaufen sind.

Erst dann beginnt der eigentliche Test. Die Experten bestimmen die Leistungsparameter und analysieren die elektrische Sicherheit. Im Anschluss gehen zwei Module in den Temperaturwechseltest und zwei weitere Module in den Feuchte-Wärme-Test, anschließend in den mechanischen Belastungstest. PV+Test misst dabei rund 25 Werte an den Modulen und bewertet zusätzlich eine Fülle von weiteren Eigenschaften. Die Bewertung durch die PV+Test-Experten zeigt, was diese von einem guten Modul erwarten.

Für alle relevanten Eigenschaften haben sie zwischen null und zehn Punkten vergeben, die unterschiedlich gewich-

tet in das Gesamtergebnis einfließen. Wesentlich ist dabei, dass die Herstellerzusagen eingehalten werden. Die Maximalpunktzahl erreicht ein Modul, wenn es sich bei einer Eigenschaft so verhält, wie es sich die Experten wünschen würden und wie es nach Stand der Technik im Prinzip möglich wäre.

Um die Unterschiede deutlich zu machen, bewertet PV+Test zunächst in sechs Unterkategorien. Am Ende stehen eine Gesamtpunktzahl und eine Gesamtnote. Ein Modul sollte mindestens die Hälfte der maximalen Bewertungspunkte erreichen. Sonst ist es mangelhaft. In diesem Test nehmen alle Module diese Hürde. Das in der ersten Testrunde am schlechtesten getestete Modul erreicht mit 67,71 von 100 Punkten die Note „ausreichend“, das beste mit 91,3 Bewertungspunkten die Note „sehr gut (-)“.

### Bewertete Größen

**Leistungsparameter/Leistung:** Ein entscheidender Wert, der den Ertrag einer Anlage bestimmt, ist die Nennleistung der Module. Um die Nennleistung von verschiedenen Modulen miteinander vergleichen zu können, muss man sie bei den Standardtestbedingungen messen

(Standard Test Conditions, kurz STC). Darin ist eine Lichtintensität von 1.000 Watt pro Quadratmeter festgelegt. In Deutschland erreicht die Sonne diesen Wert nur an guten Sonnentagen. Deshalb ist auch das Schwachlichtverhalten wichtig, wenn man auf den Ertrag in realen Anlagen Rückschlüsse ziehen will.

Auch die Zusammensetzung des Lichtspektrums ist in den Standardtestbedingungen geregelt. Sie entspricht der des Sonnenlichts, das eine bestimmte Luftmasse durchdringt und dadurch verändert wird, bevor es auf das Modul trifft. Der Wert der Luftmasse ist umso höher, umso schräger das Sonnenlicht auf die Erde trifft, da es dann eine längere Strecke in der Atmosphäre zurücklegen muss. Die entsprechende IEC-Norm verlangt ein Spektrum bei einer Luftmasse (Air Mass) von 1,5. Das entspricht dem Sonnenlicht, wenn es in einem Winkel von 48,2 Grad auf die Erdoberfläche trifft. Auch dieser Wert ist in der Praxis selten exakt zu finden. Der Winkel ändert sich im Tagesverlauf und über die Jahreszeiten und damit auch das Lichtspektrum. Als dritter Wert ist in den Standardtestbedingungen die Zelltemperatur auf 25 Grad festgelegt.

**Leistungsparameter/Leistungstoleranz:** Wer Module mit einer Nennleistung bei Standardtestbedingungen von beispielsweise 200 Watt kauft, interessiert sich naturgemäß dafür, wie genau die Leistung der gelieferten Module der Nennleistung entspricht. Da Hersteller nicht garantieren können, dass die Module die Nennleistung exakt treffen, geben sie eine Leistungstoleranz an, innerhalb derer der Wert liegen soll. Manche Hersteller versprechen dabei eine sogenannte positive Leistungstoleranz, also dass die Leistung der gelieferten Module immer über der Nennleistung liegt. Bei einer positiven Leistungstoleranz im obigen Beispiel könnte sich der Kunde also sicher sein, dass jedes der gelieferten Module mehr als 200 Watt Leistung hat. Da das gut für den Kunden ist, belohnt PV+Test eine positive Leistungstoleranz in der Bewertung.

Hersteller, die keine positive Leistungstoleranz haben, geben eine Untergrenze für die tatsächliche Leistung der gelieferten Module an. Die meisten haben bei kristallinen Modulen Toleranzwerte von minus drei Prozent. In dem Beispiel eines Moduls mit 200 Watt Nennleistung kann sich der Kunde dann sicher sein, dass kein geliefertes Modul weniger als 196 Watt Leistung hat. Allerdings hat das in der üblichen Reihenschaltung von Modulen einen nachteiligeren Effekt, als man zunächst erwartet, selbst wenn nur ein Modul mit 194 Watt unter den gelieferten Modulen ist. Denn das schlechteste Modul in der Reihe bestimmt den Strom und damit die Leistung der anderen. Ein kleinerer Toleranzwert nach unten ist deshalb bares Geld wert. PV+Test vergibt umso weniger Punkte in dieser Einzelbewertung, je größer die mögliche Abweichung der angegebenen Leistungstoleranz nach unten ist.

Die meisten Hersteller geben auch einen oberen Wert für den Leistungstoleranzbereich an. Bei plus drei Prozent bedeutet das, dass keines der gelieferten Module mehr als 206 Watt Leistung hat. Das kann für die Auslegung der Wechselrichter wichtig sein, ist aber nicht so kritisch wie der untere Wert.

**Leistungsparameter/Abweichung vom Nennwert:** Die PV+Test-Experten beim TÜV Rheinland haben die Nennleistung der Module nachgemessen, weil sie sich direkt in dem Ertrag der Anlage niederschlägt. Der Kunde muss sich darauf ver-

lassen können, dass Module eine Leistung haben, die innerhalb der angegebenen Leistungstoleranz liegt und damit dem Herstellerversprechen entspricht. Wenn das nicht der Fall ist, gibt es für diese Detailfrage, die mit dem größten Gewicht (zehn Prozent) in die Gesamtwertung eingeht, null Bewertungspunkte. PV+Test geht in der Bewertung aber über diese Frage hinaus. Volle Punktzahl gibt es nur, wenn die Testexperten eine Leistung gemessen haben, bei der ein Modul mehr als ein Prozent über der Nennleistung liegt. Denn auch das ist gut für den Kunden. Dass es möglich ist, zeigen die Ergebnisse der ersten Testrunde.

Unter Umständen können sich in einer gelieferten Charge von Modulen die Abweichungen von schlechteren und besseren Modulen jedoch rechnerisch ausgleichen. Deshalb ist die Abstufung bei der Bewertung moderat. So erhält selbst ein Modul, dessen Leistung ein bis drei Prozent schlechter ist als auf dem Datenblatt angegeben, noch acht von zehn Bewertungspunkten.

**Leistungsparameter/Füllfaktor:** Der Füllfaktor ist ein Maß für die Form der Strom-Spannungs-Kennlinie. Je kleiner unerwünschte Serienwiderstände sind, die zum Beispiel in Kontakten entstehen, und je weniger unerwünschte Kriechströme durch Parallelwiderstände auftreten, desto höher ist der Füllfaktor. Im Idealfall liegt er bei 100 Prozent, die jedoch kein reales System erreicht. Für die Modulentwickler ist der Füllfaktor sehr wichtig. Für den Kunden spielt er aber im Prinzip keine Rolle. Denn am Ende zählt nur der tatsächliche Wert der Leistung am Arbeitspunkt, wo sie maximal ist.

**Leistungsparameter/Wirkungsgrad:** Der Wirkungsgrad gibt an, wie gut die eingesetzte Zell- und Modultechnologie ist. Will man eine Anlage mit einer bestimmten Leistung, zum Beispiel fünf Kilowatt, bauen, hängt die notwendige Dachfläche vom Wirkungsgrad ab. Je höher er ist, desto weniger Fläche benötigt der Bauherr. Allerdings wird die Rendite nur indirekt vom Wirkungsgrad beeinflusst. Denn dafür zählt nur das Verhältnis der Investitionssumme zur gekauften Modulleistung. Eine Technologie mit niedrigerem Wirkungsgrad kann also vorteilhaft sein, wenn die auf die Modulleistung bezogenen Kosten niedrig sind. Deshalb bewertet PV+Test den Wirkungsgrad nicht.

Der Wirkungsgrad wird berechnet, indem die Modulleistung auf die Modulfläche und die in den Standardtestbedingungen definierten 1.000 Watt pro Quadratmeter Strahlungsintensität normiert wird. Er beschreibt damit das Verhältnis der Ausgangsleistung des Moduls und der Strahlungsleistung der Sonne, die auf die Modulfläche trifft.

**Leistungsparameter/Relative Wirkungsgradminderung bei Schwachlicht:** Dass bei schwachem Lichteinfall ein Solarmodul weniger elektrische Leistung erzeugt, ist sonnenklar. Die interessante Frage ist, wie viel weniger es tatsächlich ist. Denn das bestimmt zu einem beachtlichen Teil den Ertrag und die Rendite im strahlungsarmen Deutschland. Die Nennleistung wird bei 1.000 Watt pro Quadratmeter Strahlungsleistung gemessen. Bei einem Fünftel dieser Strahlungsleistung (200 Watt pro Quadratmeter) sinkt die Leistung des Moduls meist auf einen Wert, der kleiner ist als ein Fünftel der Nennleistung. Wie viel kleiner, beschreibt der Wert „Wirkungsgradminderung bei Schwachlicht“. Er hängt von der eingesetzten Zell- und Modultechnologie ab. Ist er null Prozent oder positiv, vergibt PV+Test die volle Punktzahl. Liegt er unter minus fünf Prozent, gibt es in dieser Kategorie null Punkte.

**Leistungsparameter/Relative Wirkungsgradminderung bei 50 Grad:** Die Leistung eines Moduls sinkt, wenn ein Modul warm wird, und das reduziert den Ertrag und die Rendite einer Anlage. Die Betriebstemperatur von Modulen liegt in der Regel um die 50 Grad und damit deutlich über der Temperatur von 25 Grad, bei der die Nennleistung gemessen wird. Die Wirkungsgradminderung gibt an, wie groß der Effekt ist.

PV+Test hat den Temperaturkoeffizienten bestimmt, aus dem man die Wirkungsgradänderung bei Erwärmung ausrechnen kann. Die volle Punktzahl gibt es für einen Temperaturkoeffizienten, der größer ist als -0,41 Prozent pro Kelvin (wegen des Minuszeichens entspricht das einem kleineren Absolutwert). Bei diesem guten Wert sinkt der Wirkungsgrad um 10,25 Prozent bei 50 Grad Celsius im Vergleich zum Wirkungsgrad bei 25 Grad Celsius. Wenn der Temperaturkoeffizient mehr als drei Prozent kleiner ist als im Datenblatt angegeben, wertet PV+Test zusätzlich ab.

**Blick in die Zukunft**

**Alterungsbeständigkeit/Temperaturwechseltest:** Die Leistung zum Zeitpunkt der Installation ist eine wichtige Größe. Doch ebenso wichtig ist die Leistung nach zehn oder 20 Jahren. Module sind dem Wetter ausgesetzt, und jede Änderung der Temperatur führt zu mechanischen Spannungen im Modul, da einzelne Komponenten, wie zum Beispiel metallene Verbinder und Siliziumwafer, eine unterschiedliche temperaturabhängige Wärmeausdehnung haben.

In die Zukunft schauen können auch die Testexperten nicht. Doch um ein Maß dafür zu haben, wie beständig ein Modul gegen diese Temperaturwechsel ist, setzt PV+Test, genauso wie in der IEC-Zertifizierung üblich, die Module einem Temperaturwechsel in einer Klimakammer aus. 200 Mal in circa 40 Tagen wechselt die Temperatur von plus 85 auf minus 40 Grad Celsius und zurück. Die Testexperten kontrollieren danach das optische Erscheinungsbild, decken mit Elektrolumineszenz die Schädigung von Zellen auf, führen eine Isolationsmessung durch, wie sie auch für die Prüfung der elektrischen Sicherheit verlangt wird, und prüfen schließlich mit einer Leistungsmessung, wie sehr die Module degradiert sind. Alle diese Parameter werden bewertet. Die Leistung darf laut IEC-Norm durch die Temperaturwechselbelastung nicht um mehr als fünf Prozent fallen. Auch bei PV+Test bekommen Module dann in dieser Kategorie null Punkte. Allerdings wird dem Modul noch eine Messunsicherheit von 0,5 Prozent für Wiederholungsmessungen der Leistung zugute gerechnet. Für PV+Test müssen pro Typ zwei Module diesen Test durchlaufen. Der schlechtere Wert zählt.

Der Temperaturwechseltest lässt wie auch die anderen Alterungsbeständigkeitstests keine Rückschlüsse auf die wirkliche Lebensdauer zu. Aber sehr wahrscheinlich halten Module, die in diesem Test gut abschneiden, länger als Module, die schlecht abschneiden. Da es die beste Methode ist, um die Qualität der Module in Bezug auf die Alterung zu untersuchen, gewichtet PV+Test alle Alterungsbeständigkeitstests zusammen mit 25 Prozent in der Gesamtwertung.

**Alterungsbeständigkeit/Feuchte-Wärme-Test:** Für den Feuchte-Wärme-Test wird ein Modul über einen bestimm-

ten Zeitraum einer mit 85 Prozent sehr hohen Luftfeuchtigkeit bei einer Temperatur von 85 Grad ausgesetzt. Die Belastung entsteht dadurch, dass bei diesen Bedingungen Feuchtigkeit in das Modul eindringen und es zerstören kann. Dabei zeigt sich Materialversagen zum Beispiel bei der Rückseitenfolie, den Kabeln und Anschlussdosen, und eventuell werden elektrische Verbindungen schlechter, so dass der Serienwiderstand steigt.

Die IEC-Norm sieht vor, dass Module

für 1.000 Stunden diesem Klima ausgesetzt werden müssen. Danach analysieren die IEC-Experten wie beim Temperaturwechseltest das optische Erscheinungsbild, die Zellen, die Isolation und die Leistung. So ähnlich macht es auch PV+Test.

PV+Test erhebt die Daten für zwei Module zunächst nach 1.000 Stunden, die die IEC-Normen verlangen. Doch danach müssen die Module noch einmal für 500 Stunden in die Klimakammer. Mit »

**i TÜCKEN DES LEISTUNGSVERGLEICHS**

Eine Schlüsselfrage bei der Beurteilung eines Solarmoduls ist dessen tatsächliche elektrische Leistung zum Zeitpunkt der Lieferung und nach einer gewissen Alterung. Zum Leid der Experten bei Instituten und Herstellern unterliegt die Leistungsmessung aber Einschränkungen, die ihnen das Leben sehr kompliziert machen.

Üblicherweise messen die Experten während eines kurzen Lichtblitzes die Stromspannungs-Kennlinie der Module. Daraus berechnen sie die Leistung (Produkt aus Strom und Spannung) an dem Arbeitspunkt, an dem sie maximal ist (Maximum Power Point, MPP). Die Blitzlampen sollen möglichst exakt die Lichtintensität und das Lichtspektrum reproduzieren, wie sie in den Standardtestbedingungen festgelegt sind. Das ist aber nur mit geringen Abweichungen möglich. Deshalb vermessen Experten den Lichtpuls gleichzeitig zur Messung mit einer kalibrierten Referenzzelle und berücksichtigen rechnerisch Korrekturen.

Selbst wenn man das gleiche Modul mehrmals hintereinander misst, treten dadurch zwangsläufig Messunsicherheiten von rund einem halben Prozent auf. Diese Reproduzier-unsicherheit besteht etwa, wenn man die Leistungen vor und nach den Belastungen bei den Tests zur Alterungsbeständigkeit miteinander vergleicht. Daher muss man sie im Zweifelsfall so berücksichtigen, dass es für das getestete Modul positiv ist.

Die absolute Messunsicherheit für die Leistungsmessung liegt beim TÜV Rheinland zwar ähnlich wie bei anderen Prüfinstituten bei plus/minus 2,4 Prozent. Dieser Wert gilt, wenn man die Leistungsmessung an einem Modul in einem Institut mit der Messung an dem gleichen Modul in einem anderen Institut vergleicht. Wenn man allerdings nur die Messungen in einem Institut an verschiedenen Modulen miteinander vergleicht, muss man nicht die gesamte absolute Messunsicherheit berücksichtigen. Um

eine Rangfolge der Leistungsabweichung der Module von der jeweils angegebenen Nennleistung aufzustellen, gilt eine Unsicherheit von maximal plus/minus einem Prozent. Dieser Wert entspricht auch den Resultaten des letzten sogenannten Round-Robin-Tests („PV module output power characterization in test laboratories and in the pv industry – results of the european performance project“, EU PVSEC 2010). Bei diesen Tests beteiligen sich die wichtigsten Prüfinstitute Europas. Sie vermessen die gleichen Module hintereinander und vergleichen die Ergebnisse.

Was diese Unsicherheit für die Rangfolge bedeutet, zeigt folgendes Beispiel: Angenommen, Modul A liegt 2,6 Prozent über der Nennleistung, Modul B 1,8 Prozent darüber und Modul C 0,3 Prozent. Unter Berücksichtigung der Messunsicherheit kann man sich nicht sicher sein, ob Modul A wirklich 2,6 Prozent über der Nennleistung liegt oder vielleicht nur 1,6 Prozent. Modul C könnte unter Berücksichtigung der Messunsicherheit dagegen auch 1,3 Prozent oberhalb der Nennleistung liegen. Deshalb kann man nur die Aussage treffen, dass Modul A bestimmt mit einem höheren Wert als Modul C positiv von der Nennleistung abweicht. Man kann aber nicht die Aussage treffen, dass Modul A mehr als Modul B oder Modul B mehr als Modul A von der Nennleistung abweicht.

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass auch die Modulhersteller diese Messunsicherheit haben, wenn sie ihre Module in eine Leistungsklasse einsortieren. Viele berücksichtigen diese Messunsicherheit nicht. Es kann also durchaus sein, dass der Kunde Module erhält, deren Leistung nicht der Nennleistung entspricht. Da die Messunsicherheit bei den Flashern, die in die Serienproduktion eingebaut sind, deutlich über der der Prüfinstitute liegt, ist die Leistungsangabe zusätzlich mit Vorsicht zu betrachten.

dem verlängerten Zeitraum von 1.500 Stunden lassen sich Qualitätsunterschiede aufdecken, die nach 1.000 Stunden eventuell noch nicht sichtbar sind.

**Alterungsbeständigkeit/Mechanischer Belastungstest:** Eines der zwei Module, die den Feuchte-Wärme-Test mit 1.500 Stunden durchlaufen haben, geht bei PV+Test genauso wie bei der IEC-Zertifizierung in den mechanischen Belastungstest, der Schnee und Windlasten im Labor simuliert. In der ersten Stufe wird ein Druck von 2.400 Pascal gleichförmig auf die gesamte Modulfläche aufgesetzt. Das entspricht einem Gewicht von 240 Kilogramm, das auf einen Quadratmeter verteilt wird. Danach werden zur Kontrolle die gleichen Daten aufgenommen wie bei den anderen Alterungsbeständigkeitstests. In einer zweiten Stufe wird der Druck auf 5.400 Pascal erhöht. In der IEC-Norm ist das freiwillig, doch für Regionen, in denen hohe Schnee- oder Windlasten vorkommen, halten ihn die PV+Test-Experten für sehr sinnvoll.

**Dokumentation:** PV+Test bewertet in dieser Kategorie mit einer hohen Gewichtung, ob Module die Bauartzertifizierung EN IEC 61215 und das Zertifikat nach EN IEC 61730 haben, das Sicherheitsstandards enthält. Außerdem bewertet PV+Test, ob die Anforderungen, die IEC 61730 an die dem Produkt beiliegende Dokumentation stellt, eingehalten werden. Sie muss Angaben zum Beispiel zur Erdung, zur Verschaltung und zu weiteren Aspekten der elektrischen Sicherheit enthalten. Wichtig sind auch Angaben darüber, wie viele Module parallel und in Reihe geschaltet werden dürfen und wie sich das Modul bei Schwachlicht verhält.

Auch beim Datenblatt und beim Typenschild müssen Modulhersteller verschiedene Anforderungen erfüllen. Diese sind in der Europäischen Norm EN 50380 zu finden. Das Datenblatt muss eine Angabe zur Zellbetriebstemperatur, der sogenannten Nominal Operation Cell Temperature (NOCT) enthalten. Das ist ein nach genau definierten Bedingungen gemessener Wert, der einen Anhaltspunkt dafür liefert, welche Temperatur ein Modul im Betriebszustand hat. Im Testlabor wird dann die Leistung des Moduls bei NOCT bestimmt, die auch im Datenblatt aufgeführt werden muss.

Außerdem muss auf dem Typenschild der Module, damit sie in Europa in Verkehr gebracht werden dürfen, das CE-Zeichen aufgebracht sein.

**Der Härtestest: Benässung**

**Elektrische Sicherheit/Isolationstest:** Der Isolationstest nach der IEC-Bauartzertifizierung wird sowohl direkt nach dem Einkauf des Moduls als auch nach den Alterungsbeständigkeitstests durchgeführt. Dazu verbindet man die beiden Pole des Solarmoduls und legt eine Spannung in Höhe der doppelten Systemspannung plus 1.000 Volt gegenüber dem Rahmen an. Der Widerstand darf nicht unter 40 Megaohm mal Quadratmeter Modulfläche fallen, um die IEC-Zertifizierung zu bestehen beziehungsweise um bei PV+Test Punkte in dieser Kategorie zu bekommen. Der Wert ist wichtig, weil die Kriechströme sonst die Sicherheit gefährden oder zu einer Abschaltung des Wechselrichters führen können. Deshalb bewertet PV+Test umso höher, je höher der Isolationswiderstand ist.

Ein ähnlicher Test findet unter Benässung statt. Dazu wird das Modul in ein genau auf 22 Grad Celsius temperiertes Wasserbad getaucht, bis das Wasser knapp über die Unterkante der Anschlussdose reicht, so dass es die Kabelöffnungen gerade berührt. Kabel und Stecker müssen dabei auch eingetaucht werden. Dem Wasser ist ein Tensid beigemischt, um die Oberflächenspannung zu reduzieren. Es wird im Gegensatz zum Test ohne Benässung bei einfacher Systemspannung gemessen.

Nach der IEC 61730 bestimmt PV+Test auch die Impulsfestigkeit und die Hochspannungsfestigkeit. Zum Test der Impulsfestigkeit wird das Modul komplett inklusive Anschlussdose in eine leitende Folie eingepackt und eine Spannung von 8.000 Volt zwischen Folie und Modulanschlüssen angelegt. Dadurch entsteht ein starkes elektrisches Feld, dem die Module standhalten müssen, ohne dass es zu einem elektrischen Durchschlag kommt. Außerdem bewertet PV+Test nach dem optischen Eindruck, ob es Luft- und Kriechstrecken gibt, und prüft die Qualität von Steckern, Kabeln und Dosen, wie es die IEC-Normen festlegen. Die elektrische Sicherheit insgesamt geht mit 25 Prozent Gewicht in die Gesamtwertung ein.

**Installateursärgernis scharfe Kanten**

**Verarbeitung/Kantentest:** Scharfe Kanten beeinträchtigen zwar nicht die Leistung des Moduls, aber sie sind für die

Monteure ein Risiko, da sie sich daran leicht verletzen können. PV+Test misst deshalb nach einem in der UL-Zertifizierung festgelegten Verfahren die Kantenschärfe.

Über einen Prüfyylinder ist dazu erst ein schwarzes Material, darüber ein weißes Material und darüber eine dünne graue Kunststoffolie gezogen (siehe Foto Seite 63). Diese Fingeratruppe wird mit einem genau festgelegten Andruck über die Kanten gezogen. Ein Modul besteht den Test, wenn die Kunststoffolie und das weiße Material nicht so stark beschädigt werden, dass das schwarze Material durchscheint.

**Verarbeitung/Elektrolumineszenz:** Elektrolumineszenz deckt auf, was mit dem Auge nicht sichtbar ist: In den Aufnahmen ist hell erleuchtet, wo eine Zelle funktioniert, es erscheint dunkel, wo Zellen ausfallen (siehe Bild Seite 70). Bei dieser Methode wird eine Spannung an die Zellen angelegt. Dadurch dreht sich das Funktionsprinzip um. Statt Licht zu absorbieren und in elektrische Energie umzuwandeln, wandelt bei der Elektrolumineszenz die Solarzelle elektrische Energie in Licht – dort, wo sie funktioniert. Deshalb kann man mit dieser Methode zum Beispiel Mikrorisse aufspüren. Experten verstehen diesen Mechanismus in der Theorie zwar sehr gut. In der Praxis ist die Methode aber noch nicht alt. Deshalb ist noch in Diskussion, wie man die Bilder mit Blick auf die Lebensdauer richtig interpretiert. Besonders interessant sind die Elektrolumineszenzaufnahmen nach dem Temperaturwechseltest, da durch die dabei auftretenden mechanischen Belastungen Risse entstehen und sich eventuelle Vorschädigungen vergrößern können. PV+Test wertet bei großen Auffälligkeiten ab.

**Verarbeitung/optische Auffälligkeiten:** In diese Bewertungskategorie gehört alles, was einem Beobachter auffällt. Dazu gehört etwa, wenn Lötlötchen nicht exakt auf den Kontaklinien der Zellen verlötet sind oder die Zellen eines Strings im Modul nicht genau in Reihe liegen. Das beeinflusst zwar nicht den Ertrag, kann aber als optischer Nachteil empfunden werden. Andere optische Fehler, zum Beispiel Fremdkörperschlüsse im Modul, können sich allerdings auch negativ auf die Haltbarkeit auswirken. ♦

Michael Fuhs