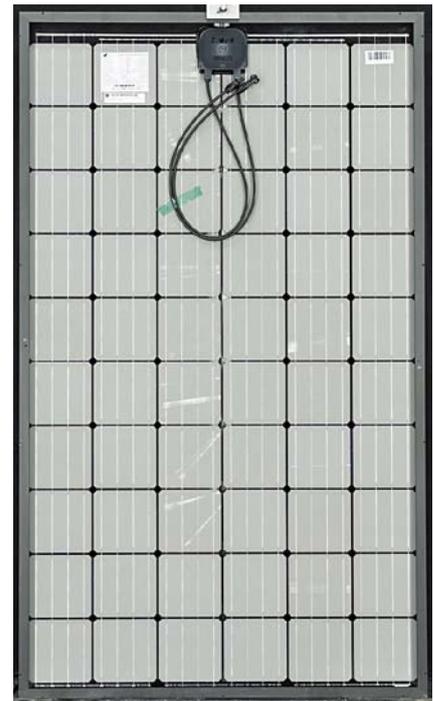


Vielversprechender Start

Das erste Modul im PHOTON-Schnelltest ist ein Doppelglasmodul der Sonnenstromfabrik

Letztes Jahr hat PHOTON zusammen mit dem PI Photovoltaik-Institut Berlin einen Schnelltest für Solarmodule entwickelt, der die langjährigen Ertragsmessungen ergänzen soll. Als erster Kandidat kam das 290-Watt-Modul »Excellent Glass/Glass PERC60« der CS Wismar GmbH (Sonnenstromfabrik) auf den Prüfstand. Alle Teiltests wurden bestanden, überwiegend mit hervorragendem Ergebnis. Ein letzter Test steht allerdings noch aus: die Ermittlung der Anfälligkeit auf PERC-Degradation dauerte bei Redaktionsschluss noch an.



Im Test: Das Doppelglasmodul »Excellent Glass/Glass 290PERC 60« hat als erstes den PHOTON-Schnelltest für Solarmodule durchlaufen

Die Sonnenstromfabrik ist ein deutscher Hersteller mit eigener Produktion in Wismar. Das Unternehmen ist auf Doppelglasmodule spezialisiert, die unter der Bezeichnung »Excellent Glass/Glass« vertrieben werden. Mehrere Varianten sind erhältlich: mit 60 oder 72

Zellen, mit transparentem, weißem oder schwarzem Einkapselungsmaterial, mit Standardzellen (mono und poly) sowie mit PERC-Zellen. Zudem ist jede Variante mit oder ohne Rahmen lieferbar. Getestet wurde das 60-Zellen-Modul »Excellent Glass/Glass PERC 60« in der transparenten

Ausführung und mit Rahmen. Diesen Typ gibt es in den Leistungsklassen von 290 bis 305 Watt, getestet wurde die 290-Watt-Variante.

Die Module wurden nicht auf dem freien Markt beschafft, sondern vom Hersteller zur Verfügung gestellt. Hier-

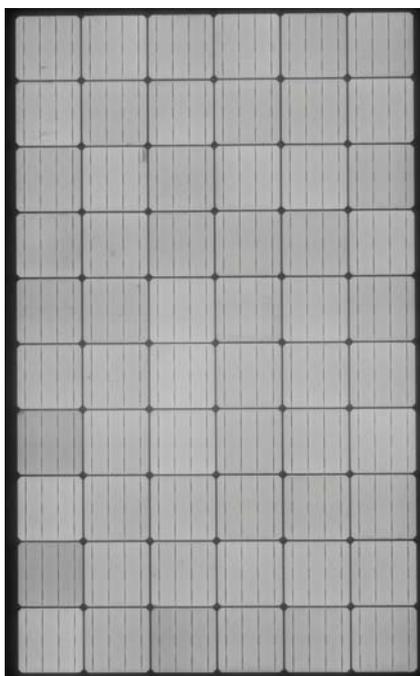
Übersicht der durchgeführten Tests

Seriennummer	Initiale Tests		Pfad I				Pfad II				Pfad III		Pfad IV		
	Initiale STC-Leistungsmessung	Initiale EL-Analyse	LID	Schwachlichtmessung	PID (negative Spannung)	PID (positive Spannung)	Isolationstest unter Benässung	Rütteltest + STC & EL	TC 50 Test + STC & EL	HF 10 Test + STC & EL	Anschlussdotentest	EL / STC bei Durchbiegung	Schichttest (EVA zu Glas)	EVA Vernetzungsgradbestimmung	Le TID (bei PERC-Modulen)
3353910	X	X					X	X	X	X	X				
3353912	X	X									X	entfällt	X		
3353913 ^{*1)}	X	X													
3353914	X	X	X	X	X	X									
3353920	X	X													in Arbeit

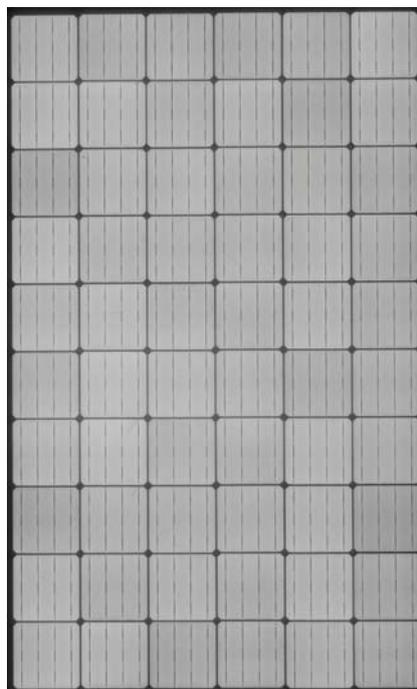
^{*1)} Referenzmodul

Übersicht der durchgeführten Tests: Da es sich um ein Doppelglasmodul handelt, entfällt der Test der Rückseitenfolie. Der Test auf PERC-Degradation dauerte zum Redaktionsschluss noch an

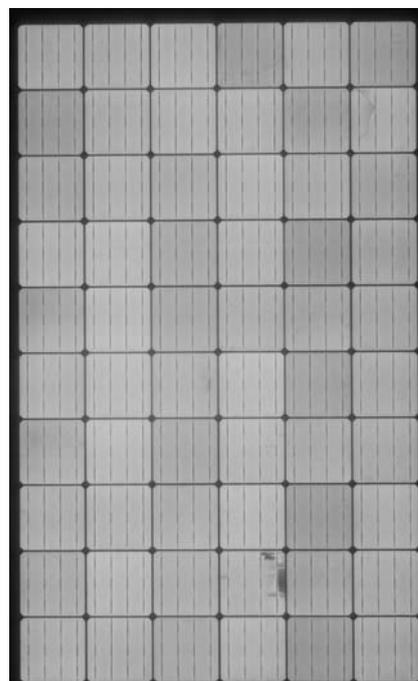
Initiale STC-Messung und EL-Analyse



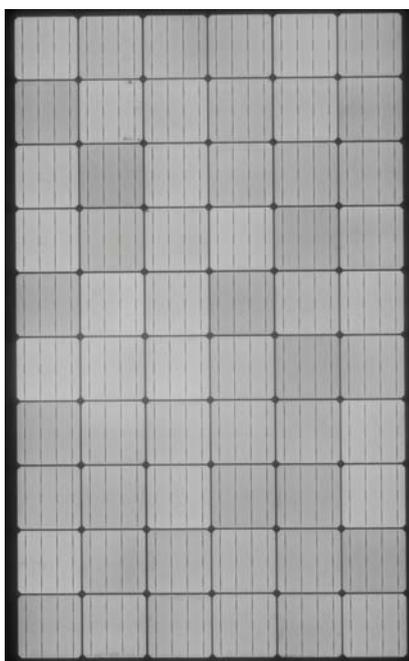
3353910



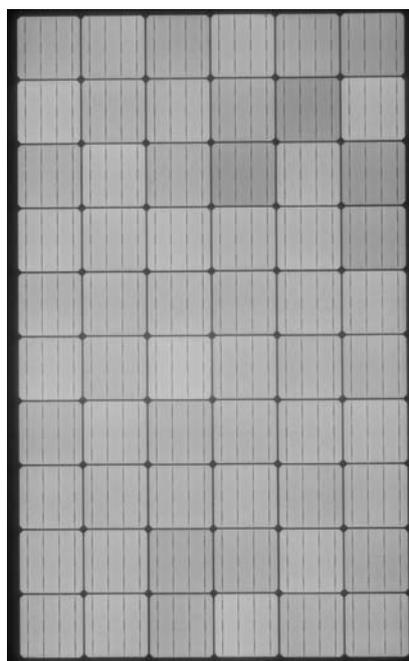
3353912



3353913



3353914



3353920

Auswertung der vor Testbeginn gemachten EL-Aufnahmen

Seriennummer	Zellen mit Mikrorissen	Zellen mit verzweigten Mikrorissen	Zellbruch
3353910	2	0	0
3353912	2	0	0
3353913	3	0	0
3353914	1	0	0
3353920	0	0	0

Die Elektrolumineszenzanalyse vor Beginn der Messungen ergibt kaum Auffälligkeiten. Vereinzelt tauchen Mikrorisse auf, Zellbruch oder verzweigte Mikrorisse sind nicht zu sehen

STC-Messung vor Beginn der Testreihen

Seriennummer	Testpfad	P_{MPP} / W	Abweichung	U_{MPP} / V	I_{MPP} / A	U_{OC} / V	I_{SC} / A	FF / %
Labelwerte		290		32,26	8,99	38,83	9,58	-
3353910	Pfad 2	286,3	-1,30%	32,48	8,817	39,6	9,271	78
3353912	Pfad 3	286,8	-1,10%	32,5	8,825	39,6	9,312	77,8
3353913	Pfad 5	288,8 ^{*1)}	-0,40%	32,14	8,985 ^{*1)}	39,45	9,414 ^{*1)}	77,8
3353914	Pfad 1	285,7	-1,50%	32,45	8,803	39,49	9,313	77,7
3353920	Pfad 4	285,3	-1,60%	32,38	8,811	39,58	9,281	77,7

^{*1)} Wegen Wartungsarbeiten wurde diese Messung mit einer anderen Hardware durchgeführt, wodurch die Messwiederholgenauigkeit auf $\pm 1,6\%$ steigt (nur gültig beim Vergleich von Messdaten mit dieser Messung). Alle restlichen Messungen weisen die angegebene Messwiederholgenauigkeit von $\pm 0,33\%$ auf.

Vor Beginn der Prüfungen werden die wichtigen elektrischen Kennwerte und vor allem die STC-Leistung aller fünf Testexemplare bestimmt. Die Abweichung vom Labelwert beträgt durchschnittlich minus 1,2 Prozent und liegt damit im Bereich der Messunsicherheit



Der Rütteltest gilt als einer der schwierigsten Hürden im PHOTON-Schnelltest.

zu wurden aus einer Liste mit 50 Seriennummern von der Redaktion fünf ausgewählt. Üblich sind hier eigentlich 200 Seriennummern zur Auswahl, aber weil die Sonnenstromfabrik zu den eher kleinen Herstellern gehört, waren von diesem Typ nicht mehr verfügbar. Da nicht der Hersteller die Redaktion kontaktiert hat, um seine Module testen zu lassen, sondern die Redaktion den Hersteller, konnte durch das Produktionsdatum sichergestellt werden, dass die Module nicht eigens für den Test produziert wurden, sondern zum Zeitpunkt der Kontaktaufnahme bereits fertiggestellt waren. Zudem hat die Sonnenstromfabrik eine eidesstattliche Versicherung abgegeben, dass es sich um unmanipulierte Serienprodukte mittlerer Qualität

Abkürzungen / Maßeinheiten

STC	Standard test conditions (Standard-Testbedingungen)
P_{MPP} / W	MPP-Leistung (Leistung im Punkt der maximalen Leistung) in Watt
U_{MPP} / V	MPP-Spannung in Volt
I_{MPP} / A	MPP-Strom in Ampere
U_{OC} / V	Leerlaufspannung in Volt
I_{SC} / A	Kurzschlussstrom in Ampere
FF	Füllfaktor in Prozent
$\Delta\% \eta$	Änderung des Wirkungsgrades in Prozent

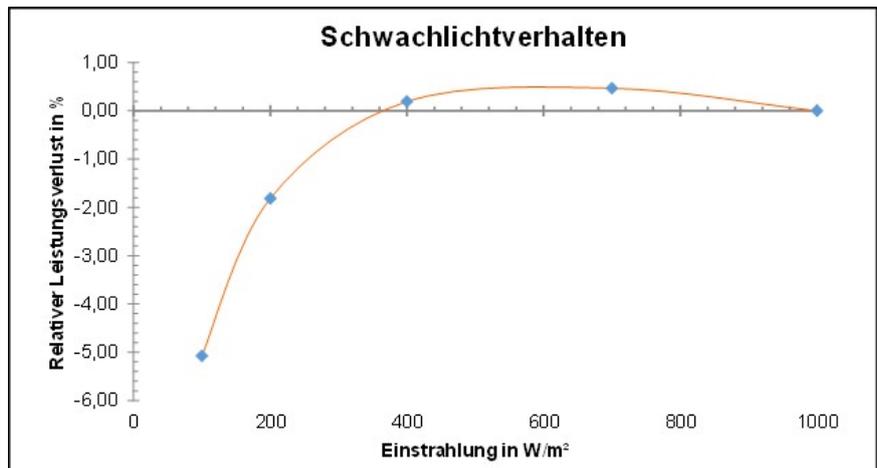
Lichtinduzierte Degradation (LID)

Status	P_{MPP} / W	Abweichung	U_{MPP} / V	I_{MPP} / A	U_{OC} / V	I_{SC} / A	FF / %
Initial	285,6		32,45	8,8	39,49	9,31	77,68
LID Zyklus 1	283,8	-0,6%	32,22	8,81	39,53	9,3	77,21
LID Zyklus 2	284,1	-0,5%	32,28	8,8	39,5	9,29	77,47

Die lichtinduzierte Leistungsabnahme ist mit 0,5 Prozent minimal. Die ausgelieferte Leistung bleibt damit nahezu stabil

Schwachlichtverhalten

$I_{rr} / W/m^2$	P_{MPP} / W	U_{MPP} / V	I_{MPP} / A	U_{OC} / V	I_{SC} / A	FF / %	$\Delta\% \eta$
1.000	284,1	32,28	8,801	39,5	9,285	77,47	0,0%
700	199,8	32,38	6,17	38,91	6,502	78,98	0,5%
400	113,9	32,21	3,536	37,99	3,726	80,45	0,2%
200	55,79	31,48	1,773	36,81	1,864	81,29	-1,8%
100	26,97	30,41	0,887	35,67	0,928	81,5	-5,1%



Das Schwachlichtverhalten zeigt einen typischen Verlauf mit einer kleinen Wirkungsgradüberhöhung bei 700 Watt

und Güte handelt. Damit konnte der Test beginnen.

Initiale Messungen

Zuerst wurde die Nennleistung unter Standard-Testbedingungen bestimmt. Alle fünf Module haben eine etwas geringere als die auf dem Datenblatt angegebene Leistung von 290 Watt. Mit 285,3 bis 288,8 Watt liegen die Werte jedoch noch im Bereich der Messtoleranz von 2,9 Prozent. Damit wurde die Angabe des Herstellers, ausschließlich mit positiver Toleranz auszuliefern, eingehalten. Die Genauigkeit der Messung lässt sich verbessern, wenn die spektrale Empfindlichkeit der Zelle bekannt ist, was bei diesem Test aber nicht der Fall war. Deshalb wurde ein auf Erfahrungswerten des PI Berlin basierender, für PERC-Zellen typischer Mismatch-Faktor genommen.

Auch die Elektrolumineszenzaufnahmen (EL) gaben keinen Grund zur Bean-

standung: Es sind vereinzelte Mikrorisse sichtbar, jedoch keine verzweigten Mikrorisse oder gar Zellbruch.

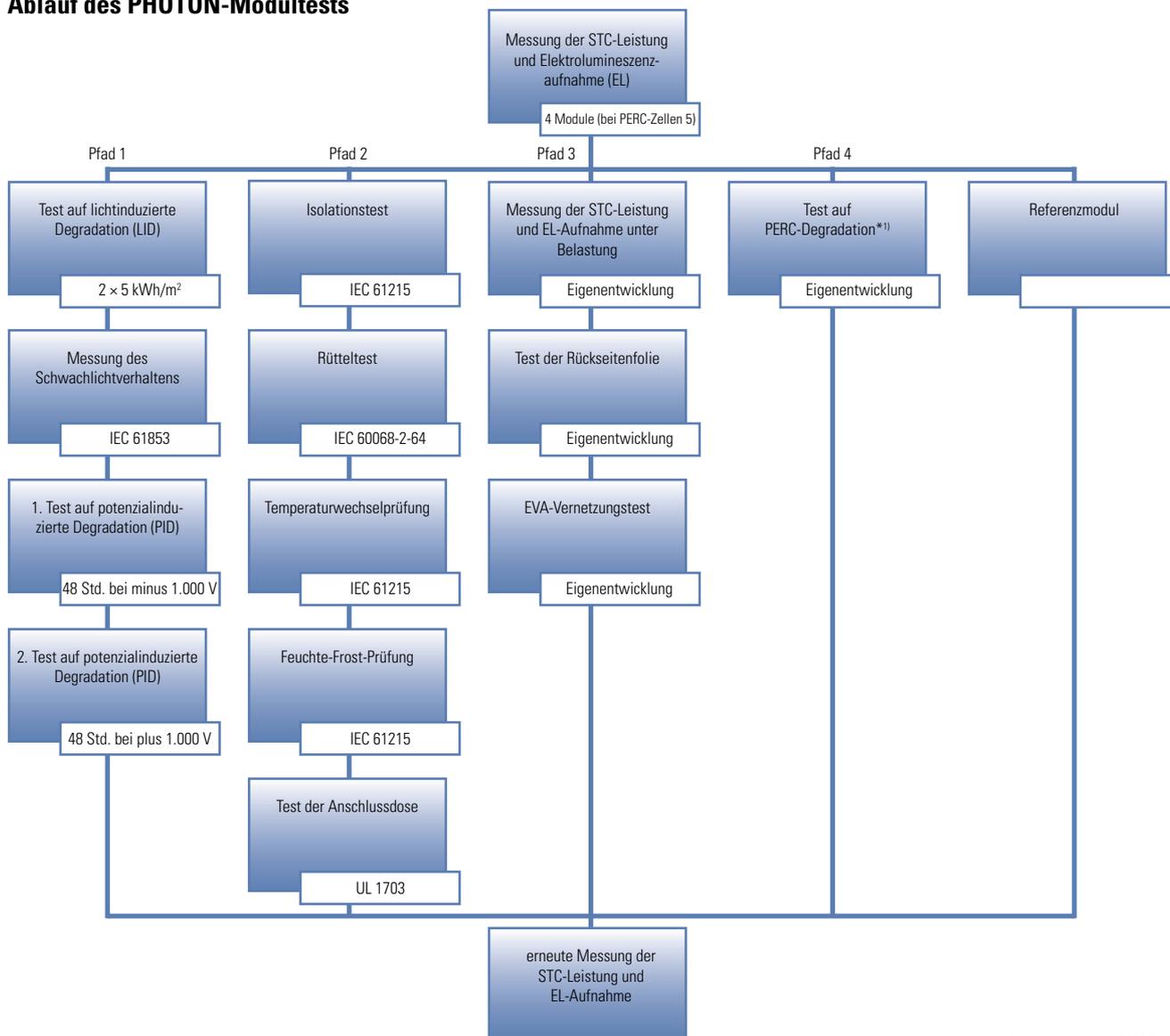
Pfad 1

Eines der Module wurde im Anschluss auf lichtinduzierte und spannungsinduzierte Degradation (LID beziehungsweise PID) getestet; außerdem wurde das Schwachlichtverhalten bestimmt.

Lichtinduzierte Degradation (LID)

Das Modul wurde mit fünf Kilowattstunden pro Quadratmeter bestrahlt, im Anschluss wurde erneut die STC-Leistung bestimmt. Diese lag um 0,6 Prozent niedriger als bei der initialen Messung und damit etwas außerhalb der Toleranz für Wiederholungsmessungen von 0,33 Prozent. Ein weiterer Zyklus mit wiederum fünf Kilowattstunden pro Quadratmeter führte zu keiner weiteren Veränderung – die gemessene STC-Leistung hat

Ablauf des PHOTON-Modultests



*¹) nur bei Modulen mit PERC-Zellen

Der PHOTON-Schnelltest für Module gliedert sich in drei, bei PERC-Zellen in vier Pfade. Ein Exemplar je Modultyp durchläuft keine Tests und dient als Referenz.

hier sogar um 0,1 Prozent zugenommen. Damit liegt die stabilisierte Leistung dieses Modultyps nur 0,17 Prozent unter der Ausgangsleistung, was einen hervorragenden Wert darstellt.

Schwachlichtverhalten

Nach der Stabilisierung wurde das Schwachlichtverhalten bestimmt, und zwar bei Einstrahlungen von 100, 200, 400 und 700 Watt pro Quadratmeter. Hieran lässt sich abschätzen, ob ein Modul auch bei schlechten Einstrahlungsbedingungen gute Erträge bringen wird. Als Bezugsgröße wird die Messung unter Standardtestbedingungen genommen, also 1.000 Watt pro Quadratmeter. Bei 700 Watt lag die Leistung des Testexemplars

bei 199,8 Watt, der relative Wirkungsgrad stieg jedoch um 0,5 Prozent – das einfallende Licht wird also sogar effizienter in Strom umgesetzt als bei 1.000 Watt. Bei 400 Watt sank die Leistung auf 113,9 Watt, der relative Wirkungsgrad lag damit noch 0,2 Prozent höher als bei 1.000 Watt. Bei 200 Watt lag der relative Wirkungsgrad hingegen um 1,8 Prozent unter dem Referenzwert, bei 100 Watt um 5,1 Prozent.

Alle Werte entsprechen den Erwartungen der Redaktion an ein Modul auf aktuellem Stand der Technik.

Potenzialinduzierte Degradation (PID)

Um die spannungsinduzierte Leistungsabnahme zu bestimmen, wird jeweils für 48 Stunden eine positive Span-

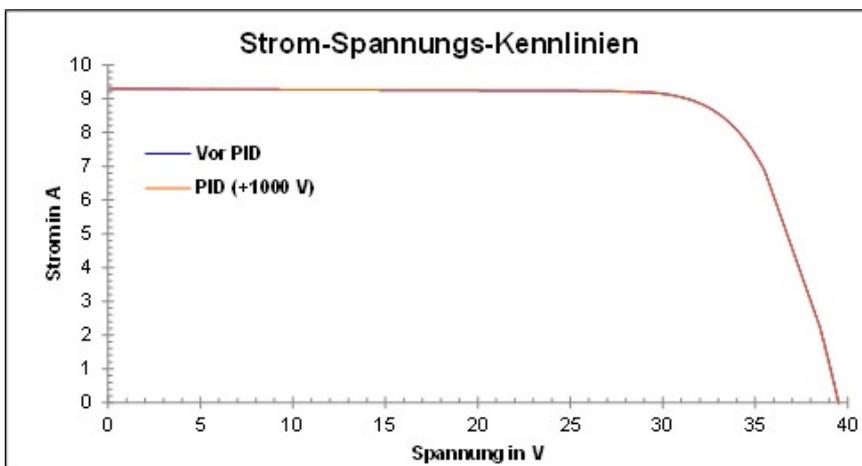
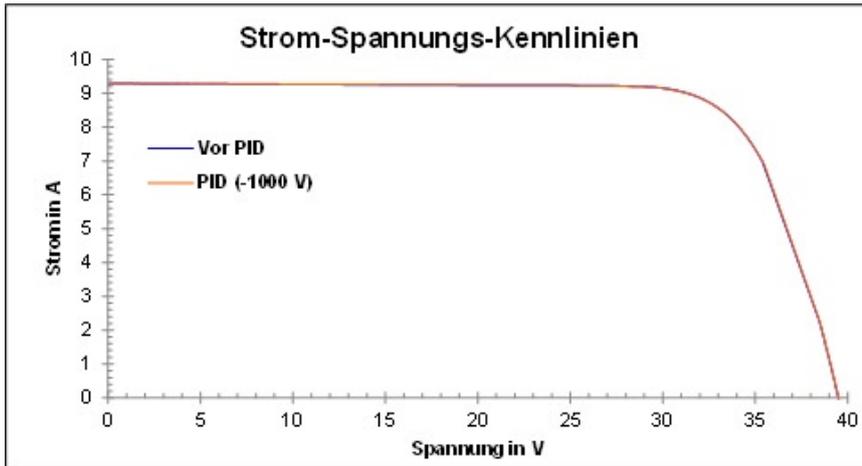
nung sowie negative Spannung angelegt. Die Höhe der Spannung entspricht dabei der vom Hersteller angegeben maximalen Systemspannung, in diesem Fall 1.000 Volt. Die Leistungsänderung nach beiden Tests betrug 0,0 Prozent. Auch die EL-Aufnahmen zeigen keine Abweichung zu den initialen Aufnahmen. Damit wurde keine Anfälligkeit auf PID entdeckt.

Pfad 2

Das zweite Testexemplar wurde inklusive der Anschlussdose auf elektrische Sicherheit getestet, anschließend gründlich durchgerüttelt und sodann die Leistungsabnahme der Temperaturwechselprüfung und der Feuchte-Frost-Prüfung bestimmt.

Potenzialinduzierte Degradation (PID)

Status	P_{MPP}/W	Abweichung	Änderungen im EL-Bild
Test mit negativer Spannung			
vorher	284,1		
nachher	284,0	0%	nein
Test mit positiver Spannung			
vorher	284,0		
nachher	284,0	0%	nein



Spannungsinduzierte Leistungsabnahme ist für dieses Modul kein Thema: Der Test zeigt keinerlei Anzeichen für eine Anfälligkeit gegenüber PID

Rütteltest

Status	P_{MPP}/W	U_{MPP}/V	I_{MPP}/A	U_{OC}/V	I_{SC}/A	FF / %	Leistungsabweichung zum vorherigen Test
vorher	286,33	32,48	8,82	39,6	9,27	77,98	-
nachher	285,6	32,36	8,83	39,59	9,27	77,84	-0,3%

Nach einer Stunde Rütteltest zeigt das Modul kaum eine Veränderung. Die Leistungsabnahme von 0,3 Prozent liegt noch im Bereich der Wiederholgenauigkeit. Auch die Elektrolumineszenzaufnahme nach dem Test zeigt keinerlei Auffälligkeiten

Thermische Wechselprüfung

Status	P_{MPP}/W	U_{MPP}/V	I_{MPP}/A	U_{OC}/V	I_{SC}/A	FF / %	Leistungsabweichung zum vorherigen Test
vorher	285,6	32,36	8,83	39,59	9,27	77,84	-
nachher	284,51	32,3	8,81	39,55	9,26	77,72	-0,4%

Isolationstest unter Benässung

Der Test wurde bestanden. Der gemessene Isolationswiderstand lag bei 9.418 Megaohm je Quadratmeter, ausreichend wären bereits 40 gewesen.

Rütteltest

Während den Isolationstest wohl die meisten Module bestehen werden, gilt der Rütteltest als einer der schwierigsten Hürden im PHOTON-Schnelltest. Durch die dynamisch-mechanische Belastung, so die Erwartung der Redaktion, sollen strukturelle Schwachstellen des Moduldesigns sichtbar werden wie beispielsweise die Verwendung von zu dünnem Einbettungsmaterial oder zu fragilen Solarzellen. Kleine Vorschädigungen können sich hier zu echten Problemen ausweiten und dann in den anschließenden Teiltests zu deutlich messbaren Leistungs-minderungen führen.

Allein, das ganze Gerüttel hat zumindest in diesem Fall dem Probanden nicht mess- oder sichtbar geschadet. Die nach dem Rütteltest gemessene STC-Leistung lag mit 0,3 Prozent zwar etwas unter dem initial gemessenen Wert, jedoch noch im Rahmen der Messtoleranz. Auch die EL-Aufnahme zeigte keine sichtbare Veränderung.

Temperaturwechselprüfung

Auch die anschließende Temperaturwechselprüfung führte mit minus 0,4 Prozent zu keiner nennenswerten Abnahme der STC-Leistung. Die anschließende EL-Aufnahme zeigte abermals keine sichtbare Veränderung.

Feuchte-Frost-Prüfung

Nach dem Feuchte-Frost-Test ist die Leistung um 1,1 Prozent gesunken – ein immer noch guter Wert. Die EL-Aufnahme zeigte auch hier keine sichtbare Veränderung.

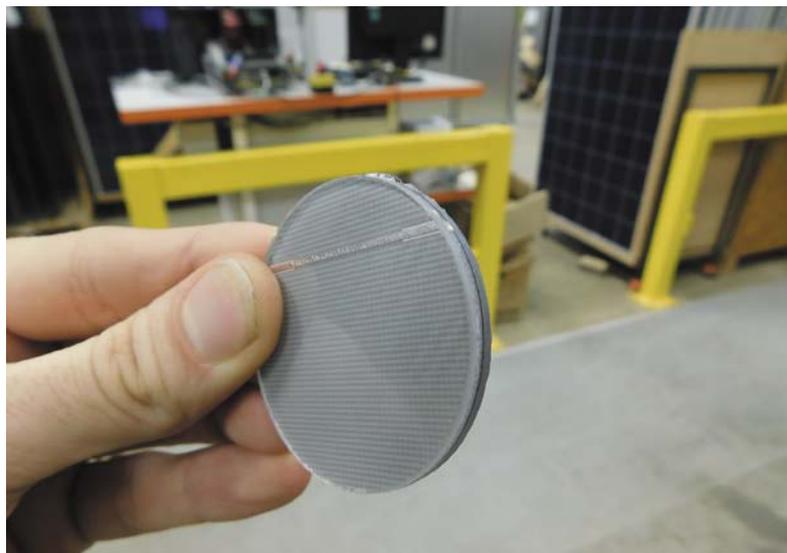
Anschlussdosentest

Der Anschlussdosentest wurde bestanden, die Dose wurde nicht beschädigt.

Pfad 3

Das dritte Exemplar der Testreihe wurde zunächst mechanisch belastet und dabei mittels EL analysiert. Anschließend folgten zerstörende Tests, mit denen der

Die Leistungsabnahme nach 50 Zyklen bei der Temperaturwechselprüfung ist mit 0,4 Prozent minimal und liegt nur ganz knapp über der Messgenauigkeit für Wiederholungsprüfungen von 0,33 Prozent



PI Photovoltaik-Institut Berlin AG (4)

Die Entnahme der EVA-Probe gestaltete sich beim untersuchten Doppelglas-Modul deutlich aufwändiger als bei Modulen mit Rückseitenfolie. Um an das Einkapselungsmaterial zu gelangen, wurde mit einer Rundsäge ein Stück aus dem Modul entnommen und vorhandene Glassplitter sorgsam entfernt, um das Ergebnis nicht zu verfälschen

EVA-Vernetzungsgradbestimmung

Position	Vernetzungsgrad ± Messfehler (%)
1	85 ± 2,1
2	86 ± 1,8

Der Vernetzungsgrad des Einkapselungsmaterials liegt mit 85 Prozent im grünen Bereich

Zusammenhalt des Laminats untersucht und die Qualität des Einkapselungsmaterials bestimmt wurde. Bei Glas-Glas-Modulen entfällt der so genannte Schältest, bei dem die Kraft bestimmt wird, mit der sich die Rückseitenfolie abziehen lässt.

STC- und EL unter Durchbiegung

Die unter mechanischer Belastung gemessene SCT-Leistung wich um minus 0,1 Prozent von der initialen SCT-Leis-

Feuchte-Frost-Prüfung

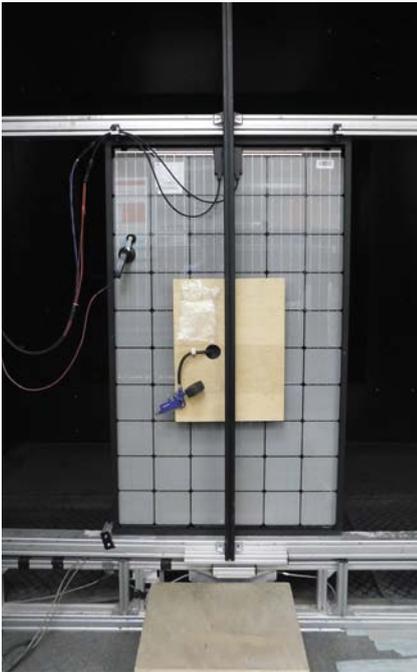
Status	P _{MPP} / W	U _{MPP} / V	I _{MPP} / A	U _{OC} / V	I _{SC} / A	FF / %	Leistungsabweichung zum vorherigen Test
vorher	284,5	32,3	8,81	39,55	9,26	77,7	
nachher	281,2	32,12	8,76	39,4	9,24	77,2	-1,1%

Die Feuchte-Frost-Prüfung hat nach zehn Zyklen eine leichte Leistungsabnahme von 1,1 Prozent ergeben. Die Elektrolumineszenzaufnahme zeigt – wie auch bei der Temperaturwechselprüfung – keine Veränderung

Verhalten unter mechanischer Belastung

Status	P _{MPP} / W	U _{MPP} / V	I _{MPP} / A	U _{OC} / V	I _{SC} / A	FF / %	Leistungsabweichung zum vorherigen Test
vorher	286,82	32,5	8,83	39,6	9,31	77,79	-
nachher	286,46	32,4	8,84	39,64	9,29	77,79	-0,1%

Beim Test unter mechanischer Belastung wird das Modul durchgebogen und hierbei die STC-Leistung bestimmt sowie eine Elektrolumineszenzaufnahme gemacht. Es wurde weder eine Leistungsabnahme festgestellt – die 0,1 Prozent liegen im Rahmen der Wiederholungsmessgenauigkeit – noch zeigt die Aufnahme eine Veränderung zum unbelasteten Zustand



PI Photovoltaik-Institut Berlin AG

Elektrolumineszenzaufnahmen werden üblicherweise ohne mechanische Beanspruchung des Moduls gemacht. Wir wollen wissen, ob Mikrorisse und andere durch Elektrolumineszenz sichtbare Vorschädigungen unter Belastung deutlicher hervortreten.

Abbildung zeigt die EL-Aufnahme. Die Aufnahme zeigt keine sichtbare Veränderung.

Das Ergebnis ist nicht überraschend, da bei Glas-Glas-Modulen die Zellen in der sogenannten neutralen Faser liegen – zumindest dann, wenn die Gläser auf Vorder- und Rückseite gleich stark sind und das selbe Elastizitätsmodul besitzen. Dann nämlich werden die Zellen vor Zug- und Druckbelastungen geschützt, eine Durchbiegung des Moduls hat keine Auswirkungen.

EVA-Vernetzungsgradbestimmung

Ein hoher Vernetzungsgrad der Einkapselungsfolie ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal, da niedrige Vernetzungsgrade zu Delamination oder chemisch-physikalischer Degradation des Moduls führen können – oft erkennbar durch Vergilbung. Die Standardprozedur zur Entnahme der EVA-Folie ist das Abziehen der Rückseitenfolie. Da das untersuchte Modul aber einen Glas-Glas-Aufbau hat, musste mit einer Kreisbohrmaschine zunächst eine Probe ausgeschnitten werden. Anschließend wurden die Glasseiten der Probe zerstört und das EVA von der Zellrückseite entnommen. Der an zwei Positionen im Modul ermittelte Vernetzungsgrad betrug 85 beziehungsweise 86 Prozent. Damit liegt der Wert

Workshop »PHOTON-Modultests«

Auf dem Workshop »Der PHOTON-Modultest – Ergebnisse und Ausblick« stellen wir die bislang gewonnenen Erkenntnisse aus unserem Test- und Messbetrieb vor, und zwar sowohl der langjährigen Ertragsmessungen wie auch der in diesem Jahr gestarteten Schnell- und Lebensdauertests. Wichtiger Bestandteil wird zudem die Diskussion der Ergebnisse sowie die Entwicklung von Bewertungskriterien – sprich Noten – sein, welche für Endkunden eine Hilfe zur Kaufentscheidung bieten sollen.

Programm

13.00 bis 14.00 Uhr

Anne Kreuzmann, PHOTON

Vorstellung der PHOTON-Modultests: Warum wir testen, wie wir testen

Lars Podlowski, PI Photovoltaik-Institut Berlin

Der PHOTON-Modultest: Überblick über die bislang erzielten Testergebnisse

Bernd Litzenburger, PI Photovoltaik-Institut Berlin

Der PHOTON-Modultest im Vergleich zu weiteren Testverfahren: Welche Erkenntnisse sich aus den verschiedenen Tests ergeben

14.00 bis 14.45 Uhr

Florian Brahm, Rechtsanwalt bei Brahm & Kollegen

Auswirkungen der PHOTON-Modultests auf die Vertragsgestaltung: Wie lässt sich Qualität rechtssicher vereinbaren?

Radovan Kopecek, ISC Konstanz

Bifaciale Module: Welche Besonderheiten zu beachten sind und wie sich Testergebnisse interpretieren lassen

Giso Hahn, Universität Konstanz

Vorsicht bei PERC-Zellen: Der Stand der Forschung zur PERC-Degradation »LeTID« (Light and elevated temperature induced degradation)

14.45 bis 15.00 Uhr

Kaffepause

15.00 Uhr bis 16.00 Uhr

Offene Diskussion aller Teilnehmer

Moderation: Anne Kreuzmann

Weiterentwicklung der PHOTON-Tests: Wie können diese bei gleichen Kosten weiter verbessert werden?

Wie kann eine für den Kunden aussagekräftige Benotung aussehen?

Wo: München

Wann: 21. Juni 2018, 13 bis 16 Uhr (parallel zur Intersolar)

Kosten: 120 Euro (netto), (99 Euro für Abonnenten)

Konferenzsprache: Deutsch

Anmeldung: www.photon.info → Akademie → Workshop PHOTON-Modultests

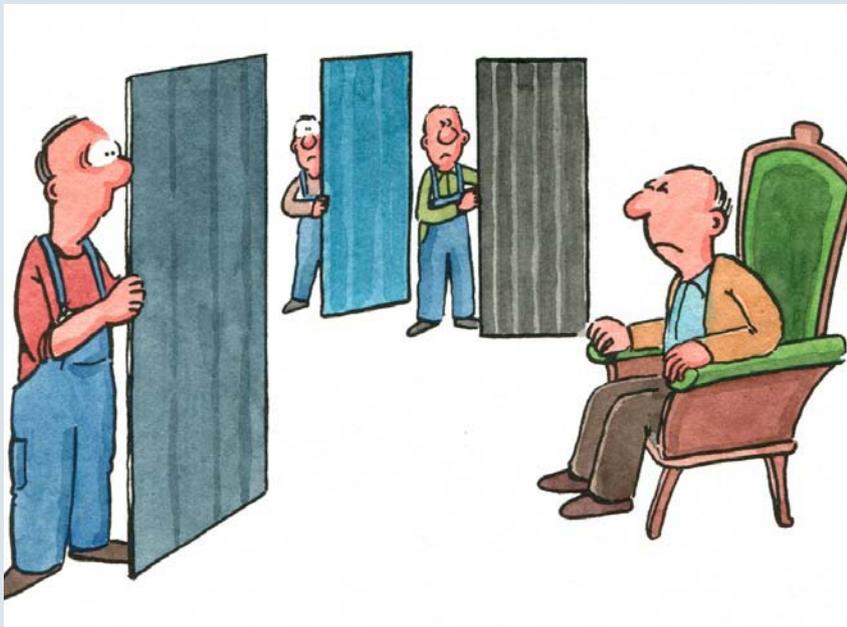
Anregungen zum Programm: lab@photon.info

Testergebnisse im Überblick

Pfad	Test	Testergebnis	Kommentar
Initial	Visuelle Inspektion	bestanden	keine kritischen Defekte
Initial	EL-Analyse	bestanden	keine kritischen Defekte
Initial	Temperaturkoeffizient	-0,40 %/°C	aus Datenblatt
Pfad 1	STC & LID	-0,5%	Vergleich zu P _{MPP} vorher
	Schwachlichteffizienz @ 200W/m ²	-1,8 %rel	relativer Leistungsverlust (bezogen auf die STC-Leistung)
	PID (negativ / positiv)	0,0%	Vergleich zu P _{MPP} vorher
Pfad 2	Isolationstest unter Benässung	bestanden	
	Rütteltest	-0,3%	Vergleich zu P _{MPP} vorher
	TC 50 Test + STC & EL	-0,4%	Vergleich zu P _{MPP} vorher
	HF 10 Test + STC & EL	-1,1%	Vergleich zu P _{MPP} vorher
	Pfad 2 STC gesamt	-1,8%	Vergleich zu P _{MPP} vorher
	Anschlussdosentest	bestanden	
Pfad 3	STC & EL bei Durchbiegung	-0,1%	Vergleich zu P _{MPP} vorher
	Schältest (Glas zu EVA)	-	entfällt bei Glas-Glas-Modulen
	EVA Vernetzungsgradbestimmung	85%	nur EVA bewertbar
Pfad 4	LeTID	in Arbeit	-

Die bisher durchgeführten Tests bescheinigen dem Modul »Excellent Glass/Glass 290PERC60 balance« ein hohe Qualität. Eine wichtige Teilprüfung dauert allerdings derzeit noch an: Die Tests auf PERC-Degradation nehmen gut sechs Wochen in Anspruch, die Ergebnisse werden deshalb erst in einer der nächsten Ausgaben veröffentlicht

Bewertung der Testergebnisse



Entscheidungshilfe: Sobald genügend Testergebnisse vorliegen, wird es ein Benotungssystem geben, das Kunden über die Modulqualität informiert

Der Modulschnelltest soll angehenden Betreibern von Photovoltaikanlagen die Kaufentscheidung erleichtern. Im Idealfall gelingt das über ein Benotungssystem, welches die Ergebnisse in einer Schulnote zwischen »sehr gut« und »ungenügend« zusammenfasst. Ein solches System setzt jedoch voraus, dass Erkenntnisse darüber vorliegen, was heutzutage von einem »sehr guten« Solarmodul realistischerweise erwartet werden darf. Genau wie bei unseren Wechselrichtertests werden wir deshalb zunächst einmal Erfahrungen sammeln und dann ein Bewertungsschema vorschlagen, das unter anderem auf einem Workshop parallel zur

diesjährigen Intersolar Europe diskutiert werden soll (siehe Seite 34).

Da eine ganze Reihe der Teiltests auf bestehenden Normen basieren oder sich zumindest an diese anlehnen, können zur Einschätzung der entsprechenden Teilergebnisse die Durchfallkriterien dieser Normen herangezogen werden. Im einzelnen sind dies:

Leistungsmessungen (STC)

Die Leistungsmessungen finden jeweils zu Beginn und am Ende der nicht zerstörenden Testsequenzen statt. Die Entscheidung, ob ein Modul den

Test bestanden hat oder nicht, ist in der Norm IEC 61215:2016 MQT 19.1 definiert.

Demnach hat ein Modul den Test bestanden, wenn die gemessene Leistung unter Standardtestbedingungen (STC) einschließlich der Messunsicherheit des Sonnensimulators innerhalb des Nennleistungsbereichs laut Typenschild liegt.

Isolationstest unter Benässung

Die zugrundeliegende Norm für den Isolationstest ist die IEC 61215, Kapitel 10.15. Ein Modul hat den Test bestanden, wenn der gemessene Isolationswiderstand multipliziert mit der Modulfläche mindestens $40 \text{ M}\Omega\text{m}^2$ beträgt.

Temperaturwechselprüfung (TC 50-Test) sowie

Feuchte-Frost-Prüfung (HF 10-Test)

Für das Bestehen der Temperaturwechselprüfung sowie der Feuchte-Frost-Prüfung gelten folgende Anforderungen:

- Es dürfen keine größeren sichtbaren Schäden auftreten (definiert nach Abschnitt 7 IEC 61215 Ed. 2)
- Die vor dem Test gemessene Ausgangsleistung darf höchstens um fünf Prozent abnehmen.
- Der Isolationswert muss die gleichen Anforderungen erfüllen wie vor der Prüfung

Test der Anschlussdose

Die Kriterien für das Bestehen des Anschlussdosentests sind in der US-Norm UL 1703 Ed. 3; Abschnitt 30 definiert. Das Modul hat den Test bestanden, wenn auftretende Bruchstücke kleiner oder gleich $6,5 \text{ cm}^2$ sind. Ein Modul ist jedoch trotzdem durchgefallen, wenn die Beschädigungen an der Anschlussdose Strom führende Kontakte freigelegt haben, sodass kein Berührungsschutz mehr besteht.

im oberen Bereich: Bei der Untersuchung von insgesamt 867 EVA-Proben aus Modulen verschiedener Hersteller konnte das PI Berlin bislang Vernetzungsgrade zwischen 30 und 90 Prozent feststellen.

Pfad 4

Test auf PERC-Degradation

Da es sich um Module mit PERC-Zellen handelt, wird auch eine für diesen Zelltyp spezifische Leistungsminderung getestet: die licht- und temperaturinduzierte Degradation (LeTID). Die zugrunde liegenden Mechanismen werden von Forschung und Industrie derzeit noch entschlüsselt, weshalb noch kein standardisierter Test besteht.

Im PHOTON-Schnelltest wurde zwar bereits ein Testexemplar auf LeTID ge-

testet, die Ergebnisse sind jedoch einseitigen noch nicht veröffentlichungsreif, weil der Ablauf der Prüfung – der ja auch für alle folgenden Testmodule identisch bleiben soll – noch nicht endgültig feststeht. Die in der September-Ausgabe von PHOTON vorgestellten Testbedingungen sahen noch ein Temperaturniveau von 85 Grad vor, inzwischen sind wir aber – auch dank zahlreicher Rückmeldungen aus der Branche – zu dem Schluss gekommen, dass bei 75 Grad belastbarere Ergebnisse erzielt werden. Die Werte für die Bestromung wurden ebenfalls angepasst. Dieser Test wird darum jetzt mit dem Referenzmodul, das auch für solche Fälle als Reserve dient, wiederholt und die Ergebnisse in einer der kommenden Ausgaben veröffentlicht. Anne Kreutzmann

Kommentar des Herstellers

Wir sind mit den Ergebnissen sehr zufrieden, bis auf die Ergebnisse der initialen Leistungsmessung. Ihre Ergebnisse sind ca. 1,2 Prozent niedriger als unsere Messungen. Bei externen Messungen beim Fraunhofer ISE als auch beim TÜV Rheinland haben wir hier deutlich mehr Leistung bescheinigt bekommen.

Ablauf des PHOTON-Schnelltests

Der Test erlaubt eine schnelle, dabei aber durchaus aussagekräftige Einschätzung der Modulqualität. Er enthüllt Produktmängel und gibt einen Ausblick auf die zu erwartende Leistungsabnahme durch Degradationseffekte.

Zu Beginn: STC-Messung und EL-Aufnahme

Zu Beginn des Tests wird von allen Modulen eine Strom-Spannungskennlinie gemäß IEC 60904-1 mit einem Sonnensimulator des Typs Pasan SS3b aufgenommen. Als Lichtquelle wird eine Xenon-Lampe mit einer Pulszeit von zehn Millisekunden verwendet (Klasse A nach IEC 60904-3). Für hochkapazitive Module werden mehrere Pulse hintereinander verwendet, um eine für diese Module ausreichende Belichtungsdauer zu erreichen. Die Kalibrierung des Simulators erfolgt mit einer stabilisierten und von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) kalibrierten Referenzzelle nach World PV Scale Standard (WPVS).

Die Elektrolumineszenzaufnahme zeigt eventuell vorhandene Schäden an den Solarzellen, die in der Zell- oder Modulfertigungslinie oder durch den Transport verursacht wurden.

Testsequenz Modul 1

Modul 1 durchläuft nach der Bestimmung der elektrischen Eigenschaften folgende Tests:

Test auf lichtinduzierte Degradation (LID)

Bei der durch Licht verursachten Leistungsabnahme (LID) können Module gleich zu Beginn ihrer Betriebsdauer mehrere Prozent ihrer Ursprungsleistung verlieren. Um die bis zur »stabilisierten« Leistung erfolgende Leistungsabnahme zu messen, dürfen die zu testenden Module deshalb nicht vorgealtert sein.

Die Stabilisierung erfolgt nach den Industriestandards IEC 61215-1-1:2016 und 2:2016. Das Modul wird hierbei mit einem Widerstand verbunden, der es nahe am MPP (Maximum Power Point) hält. Sodann erfolgt zweimal eine Belichtung mit fünf Kilowattstunden pro Quadratmeter. Zur Durchführung dieses Tests wird ein Solarsimulator Klasse C mit HQI-Lampen verwendet, die Modultemperatur wird auf 50 plus/minus 10 Grad Celsius gehalten, die Bestrahlungsstärke liegt bei 800 bis 1.000 Watt je Quadratmeter.

Messung des Schwachlichtverhaltens

Ist die Modulleistung stabilisiert, wird das Schwachlichtverhalten bestimmt. Hierbei werden zusätzlich zur bereits aufgenommenen Strom-Spannungskennlinie bei 1.000 Watt Kennlinien bei Einstrahlungswerten von 100, 200, 400 und 700

Watt aufgenommen.

Test auf potenzialinduzierte Degradation (PID)

Bei der potenzialinduzierten Degradation (PID) verursacht die an einem Modul anliegende Spannung eine Leistungsabnahme. Hierbei gilt: Je höher die Spannung, desto stärker zeigt sich der Effekt. Um herauszufinden, wie PID-anfällig ein Modul ist, wird die vom Hersteller angegebene maximale Systemspannung über 48 Stunden angelegt, und zwar sowohl als positive wie als negative Spannung. Das Modul wird hierbei einer Temperatur von 85 Grad Celsius sowie einer relativen Luftfeuchte von 85 Prozent ausgesetzt. Im Anschluss wird binnen vier Stunden erneut die Strom-Spannungskennlinie aufgenommen und eine Elektrolumineszenzaufnahme erstellt. Der PID-Test wird in Anlehnung an IEC TS 62804 durchgeführt.

Testsequenz Modul 2

Modul 2 wird verschiedenen Belastungen ausgesetzt, um Produktionsfehler sowie die Verwendung minderwertiger Materialien zu enthüllen:

Test auf elektrische Sicherheit (Isolationstest)

Der Isolationstest unter Benässung wird nach Maßgabe der IEC 61215:2016 durchgeführt. Hierbei wird das Modul inklusive der Anschlussstecker im Wasserbad auf Spannungsfestigkeit getestet. Bis auf die Öffnungen der Anschlussdose wird die gesamte Oberfläche vollständig mit Wasser bedeckt. Die Anschlussdose selbst wird nur mit Wasser besprüht. Die kurzgeschlossenen Modulanschlüsse werden mit dem positiven Pol eines Gleichspannungs-Isolationsmessgerätes verbunden, das Wasserbad mit dem negativen Pol. Bei gerahmten Modulen wird zusätzlich das auf der Modulrückseite befindliche Wasser mit dem Wasserbad elektrisch verbunden. Während der Messung wird die vom Hersteller angegebene maximale Systemspannung am Modul angelegt – bei Dünnschichtmodulen für eine Minute, bei kristallinen Modulen für zwei Minuten. Sodann wird der Isolationswiderstand bestimmt.

Test auf dynamische Belastung (Rütteltest)

Auf dem Transport werden Solarmodule oft gehörig durchgeschüttelt. Module, deren Zellen Mik-

rorisse aufweisen oder bei denen die Zellen nicht ordentlich eingekapselt sind, können dann Schäden davontragen, die insbesondere in Verbindung mit thermischer Beanspruchung zu einem deutlichen Leistungsverlust führen. Der dynamische Belastungstest wird nach einem internationalen Standard aus der Logistikbranche durchgeführt, der DIN EN 60068-2-64:2009-04. Die Spezifikationen des Tests sind auf dem Militär-Standard STD 810F abgeleitet (»Lkw-Transport auf US-Highway, verzurrte Fracht«). Das Prüfverfahren beruht auf dem Einsatz eines elektrodynamischen Schwingungsgenerators (»Shaker«). Die Module werden hierzu horizontal auf einer Palette montiert und eine Stunde lang Schwingungen mit unterschiedlichen Frequenzen ausgesetzt. Das Breitbandrauschen wirkt hierbei vertikal auf die Module und hat eine Frequenz von fünf bis 500 Hertz. Die Prüfdauer beträgt eine Stunde.

Temperaturwechselprüfung

Bei der Temperaturwechselprüfung nach IEC 61215:2016 wird das Modul abwechselnd auf 85 Grad Celsius aufgeheizt und auf minus 40 Grad abgekühlt bei einer jeweiligen Haltezeit von mindestens zehn Minuten. Im PHOTON-Schnelltest werden jedoch, anders als bei der IEC-Prüfung, nur 50 statt 200 Zyklen gefahren. Dafür wird aber im Testbericht festgehalten, ob und, falls ja, wie stark die STC-Leistung im Testverlauf abgenommen hat. Beim IEC-Zertifikat gibt es eine solche Abstufung nicht, sondern nur das Resultat »bestanden« oder »nicht bestanden«.

Ein massiver Leistungsverlust von bis zu fünf Prozent wird sich aber auch in 50 Zyklen ablesen lassen. Obwohl deutlich kürzer als die IEC-Prüfung, ist der PHOTON-Schnelltest deshalb aufgrund der Veröffentlichung auch geringer Leistungsverluste aussagekräftiger.

Spannend bleibt indes die Frage, was aus den während der ersten 50 Zyklen ermittelten Leistungsverluste auf die weitere Entwicklung des Moduls geschlossen werden kann. Dieser Frage geht der Lebensdauerest im »PHOTON-Silber-Standard« nach (PHOTON 10-2017).

Feuchte-Frost-Prüfung

Auch die Feuchte-Frost-Prüfung wird nach den Vorgaben der IEC 61215:2016 durchgeführt. Im Unterschied zur Temperaturwechselprüfung wurde hier auch die Anzahl von zehn Zyklen unverändert übernommen. Ein Temperaturzyklus besteht aus einer halben Stunde

Unsicherheit der Testergebnisse

Messgröße	relativer Fehler	Wiederholgenauigkeit
Nennleistung P_{MPP}	2,9%	0,33%
Leerlaufspannung U_{oc}	1,3%	0,12%
Kurzschlussstrom I_{sc}	2,2%	0,13%

bei minus 40 Grad Celsius und 20 Stunden bei 85 Grad Celsius bei einer Luftfeuchtigkeit von 85 Prozent. So kann die Widerstandsfähigkeit eines Moduls gegenüber Nachtfrosten, gefolgt von heißen Tagen mit hoher Luftfeuchtigkeit, bestimmt werden.

Test der Anschlussdose

Der Test der Anschlussdose wird nach der US-Norm UL 1703 Ed. 3 durchgeführt. Hierbei wird eine Stahlkugel aus einer Höhe von 1,3 Metern auf die Anschlussdose fallengelassen. Wird diese dabei so stark beschädigt, dass die Kontakte freiliegen und kein Kontaktschutz mehr vorhanden ist, ist das Modul durchgefallen. Falls nicht, kommt es drei Stunden bei minus 37 Grad in die Klimakammer. Der Test wird wiederholt und die Anschlussdose erneut auf Schäden untersucht.

Testsequenz Modul 3

Bei **Modul 3** werden die einzelnen Materialien untersucht.

Teilnahme am Modultest

Grundsätzlich stehen die Modultests allen offen. Teilnehmen können sowohl Hersteller, Händler, Installateure wie auch Anlagenbetreiber – ganz einfach alle, die sich für einen bestimmten Modultyp interessieren. Voraussetzung ist eine Übernahme der Testkosten, wobei wir uns bemüht haben, diese so günstig wie möglich zu gestalten. Der Schnelltest eines Moduls mit PERC-Zellen kostet 6.800 Euro (netto), alle übrigen kristallinen Module 5.500 Euro (netto). Die Ergebnisse liegen binnen sechs Wochen vor.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse wird jeweils zeitnah in PHOTON veröffentlicht. Wer ein tiefer gehendes Interesse hat, kann den vollständigen Testbericht im Umfang von rund 50 Seiten auf unserer Webseite bestellen (www.photon.info -> Labor -> Solarmodule -> Schnelltest). Hier sind auch – unverbindliche – Vorbestellungen von Testberichten möglich. Sobald genügend Vorbestellungen vorliegen, werden diese Module getestet.

Schließlich können Sie uns gern Ihre Wünsche mitteilen, welche Module getestet werden sollen. Unser Redaktionsbudget sieht auch den Test von Modulen ohne Beauftragung durch Dritte vor, um einen möglichst vollständigen Überblick der am Markt verfügbaren Module zu erhalten.

Die Beschaffung der Module übernimmt die PHOTON-Redaktion, um sicherzustellen, dass typische Serienmodule getestet werden und nicht etwa eigens für den Test produzierte oder ausgewählte Exemplare. Um solche »golden samples« auszu-

Elektrolumineszenz unter mechanischer Belastung

Dieser Test entspricht zunächst hinsichtlich der beaufschlagten Ströme und der verwendeten Kamera einem normalen Aufbau zur Aufnahme eines Elektrolumineszenzbildes. Als Besonderheit wird das Solarmodul aber gleichzeitig einem mechanischen Stress ausgesetzt – die Testbedingungen werden so den praktischen Anforderungen im Anlagenbetrieb angenähert.

Hierzu wird zwischen der Rückseite des Moduls und einer steifen Platte, die sich in etwa 20 Zentimetern Abstand befindet, ein Hebekissen mit Druckluft befüllt. Die kritische Größe ist hierbei der Druck im Kissen, denn er bestimmt die Auslenkung des Moduls. Da es aufgrund unterschiedlicher Geometrien und Festigkeiten von Solarmodulen aber nicht möglich ist, einen Druckwert in Bar zu definieren, der zu einer immer einheitlichen Auslenkung führt, muss diese direkt bestimmt werden. Dazu wird mittels einer Strebe ein digitaler Tiefenmesser zentral vor der Vorderseite des Moduls platziert und bei unbelastetem Modul genullt.

schließen, werden die Module, soweit möglich, am freien Markt beschafft. Der Modulhersteller erhält dann vor Testbeginn die Seriennummern und hat 14 Tage Zeit, einen Grund zu nennen, weshalb es sich womöglich um untypische Produkte handelt, die nicht getestet werden sollen. Ein Grund wäre zum Beispiel, dass die betreffenden Module als B-Ware verkauft wurden, im Laufe der oft mehrgliedrigen Handelskette das »B« jedoch – aus welchem Grund auch immer – verlorengegangen ist.

Ist eine Beschaffung auf dem freien Markt nicht möglich, weil der Modultyp sehr neu ist oder weil von Händlern keine Kleinmengen abgegeben werden, hat der Modulhersteller die Möglichkeit, uns eine Liste mit 200 Seriennummern des gewünschten Modultyps zu schicken, aus denen die Redaktion dann 4 (bei PERC-Modulen 5) auswählt. Zudem muss der Hersteller in diesem Fall an Eides statt versichern, dass es sich um typische Serienprodukte handelt.

Vor Veröffentlichung werden die Messergebnisse dem Hersteller zur Verfügung gestellt. Sofern Einigkeit besteht, dass korrekt gemessen wurde, werden die Ergebnisse veröffentlicht. Bestehen seitens des Herstellers Bedenken, liegt es in der Verantwortung der Redaktion, diese zu bewerten und im Anschluss über eine Veröffentlichung zu entscheiden. Der Kommentar des Herstellers ist fester Bestandteil der Berichterstattung.

Wir freuen uns über Ihre Anregungen: lab@photon.info

Als dann wird der Druck im Kissen so lange erhöht, bis der Tiefenmesser eine Auslenkung von zehn Millimetern angibt. Danach wird der Tiefenmesser samt Strebe entfernt und eine Elektrolumineszenzaufnahme gemacht. Deren Auswertung folgt dem gleichen Muster wie bei einer mechanisch unbelasteten Aufnahme.

Test der Rückseitenfolie

Der Test untersucht die Verbindung der Rückseitenfolie mit dem Rest des Moduls und wird in Anlehnung an IEC 61730:2016 durchgeführt, weicht von der Norm jedoch bei der Probenpositionierung und der Bewertung ab. Es wird die Kraft bestimmt, die nötig ist, um die Folie von Frontglas und Zellen zu trennen. Damit kann die Stärke des Verbunds in Relation zu anderen Modulen eingeschätzt werden. Je fester die einzelnen Bestandteile miteinander verbunden sind, desto geringer ist das Risiko, dass sie sich im Laufe eines hoffentlich langen Modul-Lebens voneinander trennen.

Test des EVA-Vernetzungsgrades

Der Test des Vernetzungsgrades des Einkapselungsmaterials lehnt sich an die IEC 62788-1-6:2017 an. Die üblicherweise verwendete Folie aus Ethylvinylacetat (EVA) ist am Markt in sehr unterschiedlichen Qualitäten erhältlich und zudem anfällig gegen schlechte Verarbeitung. Schon eine etwas zu lange Lagerung kann dazu führen, dass sich das Material nicht ausreichend vernetzt, wodurch das gesamte Modul anfällig für Delamination wird. Der Test soll genau diese Probleme aufdecken.

Test auf PERC-Degradation (Modul 4)

Bei Modulen mit PERC-Zellen wird ein viertes Exemplar auf PERC-Degradation untersucht. Bei PERC-Zellen ist nicht nur die Vorder-, sondern auch die Rückseite passiviert, was zu höheren Wirkungsgraden führt. Gleichzeitig scheinen diese Zellen aber auch eine Art Diva unter den Zelltypen zu sein, die zu bisher nicht vollständig verstandenen Leistungsverlusten neigt. Die Warnungen gehen derzeit in erster Linie von PERC-Zellherstellern aus, die dabei auf eigene Messungen verweisen, welche entsprechende Degradationseffekte an Konkurrenzprodukten zeigen. Gleichzeitig wird behauptet, man selbst habe das Problem vollständig im Griff. Der PERC-Test soll enthüllen, wie groß das Problem wirklich ist.

Hierzu wird das Modul im Dunkeln bei einer Temperatur von 75 Grad Celsius über 1.000 Stunden – also etwas über fünf Wochen – bestromt. Die Höhe des Stroms beträgt dabei ein zwanzigstel des vom Hersteller angegebene Kurzschlussstroms. In Intervallen von 168 Stunden wird die Strom-Spannungs-Kennlinie aufgenommen.

Bauen als Experiment

Das »Active Energy Building« in Vaduz treibt den Begriff Solararchitektur auf die Spitze



Vielleicht nicht jedermanns Geschmack: Das »Active Energy Building« verrät auf den ersten Blick, dass es kein ganz alltägliches Bauwerk ist

Ein internationaler Architektenwettbewerb für ein Haus mit zwölf Wohnungen ist nicht alltäglich – ebenso wenig wie das Resultat: Sechs Jahre der Planung, des Entwickelns neuer Techniken und Verfahren waren für das »Active Energy Building« in Vaduz (Liechtenstein) erforderlich. Es entstand ein Gebäude, bei dem die Verwendung zweiachsig nachgeführter Solarmodule im Reigen der angewandten Technologien schon eher zu den etablierteren gehört.

Es ist ein großer Unterschied, ob etwas komplex oder kompliziert ist.« Anton Falkeis findet sein jüngstes Projekt selbstverständlich nicht kompliziert. Komplex hingegen ist es schon. Das Adjektiv ist schließlich ein zentraler Begriff in der Philosophie von Falkeis Architects, einem von Anton Falkeis und Cornelia Falkeis-Senn geführten Büro mit Sitz in Wien und einer Dependence in Vaduz. Dort, im Residenzort des Fürstentums Liechtenstein, ist das am 17. Januar feierlich eingeweihte »Active Energy Building« entstanden, bei dessen Planung und Umsetzung von Anfang an klar war, »dass wir versuchen, das in seiner komplexesten Form umzusetzen«. Denn nur wenn am konkreten Objekt nachgewiesen werde, »dass es in dieser Form funktioniert, kann man es auch standardisieren«. Den

umgekehrten Weg, also vom einfachen Exempel zur komplexeren Anwendung, hält Falkeis für weniger Erfolg versprechend: »Ein Upscaling funktioniert in der Regel nicht«.

Das Active Energy Building indes gibt es so, wie es heute dasteht, auch nur aufgrund außergewöhnlicher Umstände. Die beginnen, wie könnte es anders sein, beim Eigentümer: Der 2016 verstorbene Jurist, Politiker und Unternehmer Peter Marxer brachte 2011 den Stein ins Rollen, als er einen internationalen Bauwettbewerb auslobte – eine eher ungewöhnliche Maßnahme für ein Haus mit zwölf Wohnungen, auch wenn diese mit bis zu 245 Quadratmetern Fläche ausgesprochen großzügig dimensioniert sind. Doch die Familie Marxer wollte nicht nur deshalb ein architektonisch anspruchsvolles

Eine von außen gut erkennbare »Voronoi-Struktur« prägt die Ostfassade; ein weiteres Charakteristikum ist die geschwungene Form der textilen Verschattungselemente

Konzept, weil sie eine »Attika-Wohnung« im obersten Geschoss für die Eigennutzung reserviert hat. Das Haus sollte auch den Abschluss eines ganzen Ensembles im Zentrum von Vaduz bilden, das der Ludwig und Peter Marxer Familienstiftung bereits gehört. In Broschüren und Vermietungsangeboten ist deshalb auch vom »Marxer-Haus« die Rede.

Das Anhängsel »Active Energy Building« findet dort allerdings auch Verwendung, und das mit gutem Grund: Peter Marxers Sohn Florian, der das Projekt maßgeblich vorantrieb, sei »kein klassischer Investor«, sagt Architekt Falkeis. Sonst hätte er das Vorhaben in dieser Form ganz gewiss nicht umgesetzt. Dass zwischen dem Bauwettbewerb und der Fertigstellung gut sechs Jahre vergingen, hat nämlich nichts mit den für solche Zeitspannen normalerweise maßgeblichen Gründen zu tun. Vielmehr gingen dem Bau zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte voran, um das Konzept überhaupt umsetzen zu können.

Kein klassischer Investor

Das hat, wie man sich denken kann, eine Menge Geld gekostet. Die genaue Summe betrachtet Familie Marxer als Privatangelegenheit. Fest steht aber, dass sie nicht nach rein ökonomischen Prinzipien gehandelt hat. Zwar ist das Wohnen im Active Energy Building mit Brutto-Mieten um 21 Euro je Quadratmeter selbst für Liechtensteiner Verhältnisse



In der Bauphase waren die A- und V-förmigen Stützen besonders gut sichtbar, doch auch im fertigen Gebäude sind sie nicht verborgen



»Komplex, nicht kompliziert«: die Architekten des Active Energy Building, Cornelia Falkeis-Senn und Anton Falkeis

und trotz der gehobenen Ausstattung alles andere als günstig. Der Forschungsaufwand aber wurde »ganz bewusst nicht auf die Mietpreise umgelegt«. Wie hoch diese sonst ausgefallen wären, lässt sich nur erahnen, wenn man die vielen Eigenheiten des Gebäudes etwas näher betrachtet.

Ein »klassischer Investor« hätte zum Beispiel wohl auf maximaler Ausnutzung des Baugrunds bestanden. Beim Active Energy Building aber wurde der größtmögliche Baukörper einer gewollten »Erosion« ausgesetzt: Ziel war eine Formgebung, die eine optimale passive Solarenergienutzung erlaubt. Bei vollkommen frei stehenden Gebäuden ist das normalerweise recht einfach: große Flächen mit vielen Fenstern nach Süden und Westen, möglichst geschlossene Fronten nach