

## Vorhang auf

### Die neuesten Trends bei Groß- und Gewerbespeichern

Marktübersicht Groß- und Gewerbespeicher | Agri-Photovoltaik  
ESG für Projektentwickler und Asset-Manager | Ü20-Anlagen  
Wallbox-Installation | PID-Modultests | pv magazine highlights



## Panorama

- 6 Mehr Flächen I: Solarstrom im Winter**  
pv magazine highlight: Axpo nutzt eine Staumauer auf 2.500 Höhenmetern für Photovoltaik.
- 8 Mehr Flächen II: Perfekte Kombination**  
pv magazine highlight: Die Kranstellflächen in Windparks lassen sich gut für Solarstromerzeugung nutzen.
- 9 Kein Aprilscherz**  
Was die neue 50-Prozent-Regel für Dachanlagen zwischen 300 und 750 Kilowatt bedeutet.
- 12 ESG geht auch Projektentwickler an**  
Seit dem 10. März gelten höhere Transparenzpflichten am Finanzmarkt. Am Ende sind auch Bau und Betrieb von Solaranlagen betroffen.
- 16 Umsatzsteuer oder Kleinunternehmer**  
Steuertipps: Wir erklären, welche Folgen damit verbunden sind, wenn für die Umsatzsteuerpflicht oder für die Kleinunternehmerregelung optiert wird.
- 19 Sponsored: Basis für große Module**  
PMT hat sein aerodynamisches Flachdachsystem PMT EVO 2.0 weiterentwickelt, um die breiteren Module sicher und einfach montieren zu können.
- 20 Green Bonds statt EEG-Umlage**  
Ex-Sonnen-Geschäftsführer Philipp Schröder will mit dem Hamburger CDU-Chef Industriestrom gleichzeitig sauber und günstig machen.

## Gewerbe- und Großspeicher

- 22 Vorhang auf**  
54 Unternehmen haben uns geschrieben, was sie auf dem Markt der Gewerbe- und Großspeicher anbieten. Wir fassen zusammen, was uns aufgefallen ist.
- 28 Sechs Projektbeispiele**  
Einige erhöhen den Eigenverbrauch in der Landwirtschaft oder einer Lkw-Werkstatt, andere kappen Lastspitzen oder versorgen eine Gemeinde.
- 32 Marktübersicht große Batteriespeicher**  
Sie finden in der Übersicht 198 Produkte von 54 Anbietern.
- 37 Noch mehr Speicher verkaufen**  
Das Interesse für gewerbliche Speicher ist groß, doch die Gewerbebetriebe wissen oft nicht, wie sie Kapital aus den Anlagen schlagen können.
- 40 Die Kombi kommt**  
Maxsolar hat in einem pv magazine Webinar Pläne für ein großskaliges Photovoltaik-Speicher-Kraftwerk vorgestellt und aus dem Nähkästchen geplaudert.
- 44 Blaupause für Deutschland?**  
Das Vereinigte Königreich macht vor, wie Netzdienstleistungen zu Geschäftsmodellen für Großspeicher werden können.
- 46 Der nächste Akt im Technologiestreit**  
Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien erleben gerade ein kleines Comeback. Über Gründe und Auswirkungen.



## 50 Wie lange halten Batterien?

Start-ups entwickeln Analyse-Tools, die Betreibern genaue Angaben zu Lade- und Gesundheitszustand machen.

## 54 Gewerbespeichermarkt wächst

Die absoluten Zahlen sind noch gering, wie eine Analyse der Marktstammdatenregister-Daten zeigt. Doch der Trend stimmt positiv.

## 56 Neu im Förderangebot

In fast allen Bundesländern gibt es für Gewerbespeicher was zu holen.

## Agri-Photovoltaik

## 58 Durchbruch im Westen

Ein Projekt aus den Niederlanden zeigt die Win-Win-Situation bei Solarstromerzeugung und dem Anbau von Beeren.

## 63 Wie ein neues Segment entsteht

Agri-Photovoltaik ist ein Geschäftsmodell mit Zukunft. Doch das Argument, Land sei zu knapp, ist zu platt.

## 65 Ausweg aus dem Trilemma

Warum Agri-Photovoltaik aus Blick der Landwirtschaftsexperten viele Vorteile verspricht, erklärt Agrarökonom Arndt Feuerbacher.

## 69 Sieben Systeme

Experten probieren bei Agri-Photovoltaikanlagen pfiffige Ideen aus, um für jede Pflanzensorte die beste Lösung zu finden.

## Betrieb und Wartung

## 73 Ökonomie und Ökologie

Der Weiterbetrieb der Ü20-Anlagen ist mit dem EEG 2021 klar geregelt. Doch was, wenn man doch neu und größer bauen will?

## Installation

## 76 Serie: Elektromobilität-Installationen

Worauf beim Bau und der Inbetriebnahme von Ladesäulen geachtet werden muss, erklärt Stefan Hirzinger.

## 78 Autarkiegrade für 74.000 Anlagen

Die HTW Berlin und Fronius haben ein Online-Tool entwickelt, mit dem sich die Solarisierung der häuslichen Energieversorgung leicht planen lässt.

## 82 Wieder andere Degradationstests

Wie sich Module auf PID-Resistenz prüfen lassen, legt ein Standard fest. Doch das ZSW rät teilweise zu anderen Tests, wenn man auf Nummer sicher gehen will.

## 86 Produkte

Module, Wechselrichter, Speicher, Software

## 87 Inserentenliste

## 88 Impressum



# Ganz schön stressig – PID-Test auf dem Prüfstand

**Testverfahren:** Ob ein Modul anfällig für potenzialinduzierte Degradation ist, erfährt man aus dem Datenblatt oder durch einen eigenen PID-Stresstest in der Klimakammer – so ist es jedenfalls in einer Norm festgehalten. Forscher und Forscherinnen am Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung bestärken nun aber alte Zweifel an der Zuverlässigkeit des Standardtests, wenn es um hochbeanspruchte Module in 1.500-Volt-Kraftwerken geht. Ein Ausweg sind härtere Tests und eine bessere Materialauswahl.

Üblicherweise folgen die Tests, mit denen nach potenzialinduzierter Degradation, abgekürzt PID, in Photovoltaikmodulen gesucht wird, dem Standardverfahren IEC TS 62804-1. Dabei wird das Modul meist 96 Stunden bei 85 Grad Celsius und 85 Prozent Luftfeuchtigkeit unter Spannung gesetzt. Durch die Feuchtigkeit auf dem Modul treten Leckströme auf, die von der Solarzelle durch die Verkapselungsschichten und das Glas bis zum geerdeten Modulrahmen fließen. Durch diese Leckströme wandern positiv geladene Natriumionen von der Glasoberfläche zur Zelloberfläche und verursachen dort leitende Pfade in mikroskopischen Stapelfehlern, die sich im Laufe der Zeit durch Leistungseinbußen bemerkbar machen. Nach der Belastung in der Klimakammer wird der Leistungsverlust gemessen. Bleibt er unter fünf Prozent, gilt der Test als bestanden.

**„Wenn sich das bestätigt, müssen wir das Testverfahren für 1.500-Volt-Module noch einmal diskutieren.“**

Da PID seit vielen Jahren bekannt ist, haben die Modulhersteller inzwischen ihre Technologien und die eingesetzten Materialien so verbessert, dass die meisten Module bei diesem Test heute eine sehr gute PID-Resistenz zeigen und im Marketing oft als PID-frei beworben werden. Christos Monokrousos, Leiter des Global Technical Centre for Solar and R&D des TÜV Rheinland in China, testet viele Module für die Hersteller. Er bestätigte gegenüber pv magazine, dass der größte Teil der im Screeningverfahren getesteten Produkte den Standardtest problemlos bestehen. „Sie liegen auch nicht knapp unter der fünf Prozent Grenze, sondern zeigen meist nur zwei bis drei Prozent Leistungsabfall.“ Allerdings fielen auch immer wie-

der einzelne Module durch den Test, so dass Investoren weiter vorsichtig sein müssen. Darüber hinaus können sich auch zwei Prozent im Test zu empfindlichen Einbußen in der gesamten Lebenszeit summieren.

Peter Lechner, Leiter des Photovoltaikmodul-Testlabors des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW), und sein Team warnen nun jedoch in einer Forschungsarbeit mit dem Titel „Extremes Testen von PID-resistenten c-Si PV-Modulen mit 1.500 Volt Systemspannung“ davor, dass Ergebnisse aus der Klimakammer irreführend sein können. So lasse sich in diesen Tests manchmal beobachten, dass die Leckströme zwar mit hohen Werten beginnen, dann aber stark abfallen und schließlich auf niedrigem Niveau stagnieren, was darauf schließen lasse, dass die potenzialinduzierte Degradation zwar beginnt, sich dann aber nicht weiter ausprägen kann.

## Artefakt im Test?

Diese zunächst gute Nachricht sei aber in Wahrheit ein Artefakt im Test, also ein Ergebnis, das durch die Testmethode hervorgerufen wird, befürchtet Lechner. „Die Leckströme werden nach kurzer Zeit blockiert. Das passiert aber nur in der Laborsituation.“ Um dieses systematische Phänomen aufzudecken und gleichzeitig genauere Aussagen über die PID-Beständigkeit von bestimmten Zelltypen und Verkapselungsmaterialien zu machen, ließ sein Team vom Modulhersteller CS Wismar identische Module anfertigen, die sich nur in den eingesetzten Zellen und Verkapselungsmaterialien unterschieden. Sie untersuchten zwei verschiedene Polysilizium-Zelltypen, die einen stärker („PID+“) und die anderen weniger resistent gegenüber PID („PID-“). Außerdem zwei Sorten von EVA-Einbettfolien zur Verkapselung, eine mit niedrigem („EVA1“) und mittlerem elektrischem Widerstand („EVA2“) und eine POE-Einbettfolie des Herstellers Specialized Technology Resources Espana, die einen hohen elektrischen Widerstand hat („POE“).

Im Standardtest zeigten alle Module nur geringe PID-Anfälligkeit mit Leistungseinbußen zwischen 1 und 2,4 Prozent. Alle hätten den Test somit bestanden, auch die Module mit EVA1-





Die Wissenschaftler des ZSW vergleichen PID-Tests mit Freilanderfahrungen vom Testgelände in Widderstall. Die Leistung eines PID-anfälligen Moduls würde nach den Ergebnissen in 20 Jahren auf die Hälfte fallen, obwohl es den Standardtest bestanden hat.

Verkapselung und PID-anfälligem Zelltyp, bei denen eine geringe Resistenz erwartet worden war. Selbst nach einer Verlängerung des Tests auf 600 Stunden blieben alle unterhalb der Fünfprozenthürde.

Auch in diesen Tests zeigte sich aber, dass die Module mit der leitfähigeren EVA1-Verkapselung zunächst mit hohen Leckströmen starteten, die dann aber abfielen. Innerhalb von zehn Stunden fielen sie um eine Potenz von  $10^{-4}$  Ampere auf  $10^{-5}$  Ampere und stagnierten dann auf einem etwas niedrigeren Niveau als die anderen beiden Modultypen.

Woran das liegt, ist nicht genau klar. Peter Lechners Hypothese ist, dass die Glasoberfläche an Natrium verarmt und in der sterilen Umgebung des Testlabors nicht genügend Natriumionen nachgeliefert werden. In der Glas-Fachwelt sei dies als „blocking electrode“ bekannt. Dadurch könnte sich ein elektrischer Widerstand ausbilden, der den Stromfluss bremst und vor allem keine weiteren Natriumionen zum p-n-Übergang der Zelle durchlässt.

Der Effekt sei reproduzierbar und auch von anderen Laboren bereits beschrieben worden, berichtet Lechner. Werde der Test

unterbrochen, beispielsweise, um das Modul zwischendurch zu flashen, normalisiere sich die Ionenverteilung im Glas schnell wieder, die Leckströme beginnen wieder auf hohem Niveau zu fließen und sinken dann erneut schnell ab. Dieser Effekt war jedoch nicht bei den beiden anderen Verkapselungen zu sehen, da die Leckströme dort insgesamt niedriger sind und er sei auch nicht im Freiland zu beobachten. In einem Vergleich wurden baugleiche Module außerhalb des Labors ein Jahr lang unter Freilandbedingungen betrieben. Durch den Tag-Nacht-Rhythmus schwankten die Leckströme zwar, blieben aber gleichmäßig hoch.

## Extremes Testen mit Alufolie

Daraus schließen die Wissenschaftler, dass es notwendig ist, das Abfallen der Leckströme zu verhindern, da ansonsten der Einfluss der Leckströme auf die PID-Entwicklung nicht richtig erfasst werden kann. Dies erreichen sie, indem sie die Oberfläche des Moduls mit einer Aluminiumfolie abdecken und kontaktieren. In diesem Fall überbrücken Aluminiumionen die Blockierung im Glas. Lechner beließ die Temperatur bei 85



Grad, erhöhte die Spannung auf minus 2.500 Volt und verlängerte die Testphase auf 1.000 Stunden. Unter diesen harten Bedingungen zeigte sich dann tatsächlich ein deutlicher Unterschied der verschiedenen Module.

### „Ich finde es wichtig, dass die Branche diese Zusammenhänge erkennt und diskutiert.“

Die Module mit den als schwächer eingestuften EVA1-Verkapselungen und beiden Zellentypen halbierten ihre Leistung nun bereits in wenigen Stunden. Die Module mit besseren EVA2-Materialien verloren je nach Zelltyp innerhalb von 300 Stunden 25 beziehungsweise 15 Prozent an Leistung. Die Module mit POE und PID-anfälligen Zellen büßten bis 300 Stunden etwa fünf Prozent ein und regenerierten danach sogar etwas. POE in Kombination mit resistenten Zellen wies auch nach 1.000 Stunden nur ganz geringe Einbußen um ein bis zwei Prozent auf. Die Leckströme blieben unterdessen konstant niedrig.

Nun ist so ein massiver Labor-Stresstest allein nicht hinreichend, um eine Voraussage über die Degradation im Feld machen zu können. Je nach Einbausituation können die Leckströme schließlich auch variieren. Die Forscher um Peter Lechner haben daher bestimmt, wie groß die elektrische Ladung war, die durch die Leckströme im Test übertragen wurden, unter der Annahme, dass es am Ende diese Ladungsträger sind, die bestimmen, wie hoch die Degradation ausfällt. Gemessen werden elektrische Ladungen in Coulomb. Ein Coulomb ist erreicht, wenn ein Ampere eine Sekunde lang durch einen Leiter fließt.



Module in Klimakammern auf PID-Anfälligkeit zu testen, ist aufwendig und teuer. Untersuchungen am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung zeigen nun, dass die Ergebnisse bei hohen Spannungen für 1.500-Volt-Anlagen irreführend sein können.

### 50 Prozent Leistungsabfall durch PID

Nach der Übertragung von etwa 90 Coulomb durch Leckströme durch die schwächere EVA1-Verkapselung mit resistenten Zellen (PID+) war die Leistung des Moduls auf 50 Prozent gefallen. Einen nicht ganz so steilen Abfall verzeichnete das Testmodul EVA2 mit PID+-Zellen. Jedoch stoppte bei diesen Modulen aus bisher ungeklärter Ursache der Leistungsabfall nach der Übertragung von etwa 50 Coulomb bei 83 Prozent und sank auch bei Übertragung weiterer Ladungsträger nicht weiter. Im Modul mit POE-Verkapselung konnten im gesamten Test etwa 65 Coulomb übertragen werden, die aber trotzdem kaum Leistungseinbußen verursachten.

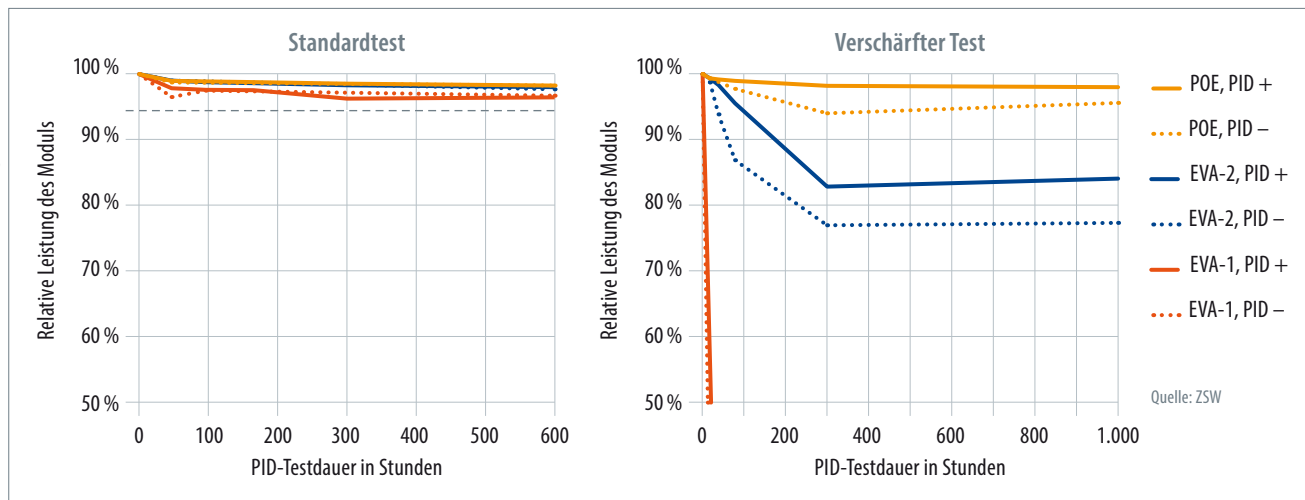
Der geringere elektrische Widerstand allein scheint somit als Ursache für die höhere PID-Resistenz der POE-Folien nicht auszureichen. „Eine Möglichkeit, die wir diskutieren, ist, dass POE-Folien für Natrium-Ionen undurchlässiger sind“, sagt Peter Lechner. Das würde bedeuten, dass im Leckstrom hauptsächlich Elektronen fließen und in Gegenrichtung keine Natriumionen durchgelassen werden.

### Vergleich mit Werten aus Freilandversuch

Ausgehend vom Leistungsabfall pro übertragenem Coulomb ist nun ein Vergleich des Effekts im Labor und im Freiland möglich. Dafür setzten die Forscher und Forscherinnen Testmodule ins Freilandlabor in Widderstall und ermittelten erneut die Leckströme, die bei höchstens -1.000 Volt auftraten. Diese waren etwa Faktor 1.000 niedriger als im Labor. Das bedeutet eine Stunde im Labor entspräche etwa 1.000 Stunden Betriebszeit im Freiland bei Tageslicht. Nach einem ganzen Jahr waren beim EVA1-Modul mit PID+-Zellen erst 4,7 Coulomb übertragen worden. Umgerechnet auf die Betriebsdauer wäre das Modul nach 20 Jahren bei der Hälfte der Leistung angekommen. „Im schlechtesten Fall“, wie Lechner einschränkt, da mildere Verläufe und temperaturabhängige Regenerationsprozesse nicht berücksichtigt sind, allerdings kalkuliert mit -750 Volt, wie sie am Ende eines typischen 1.500-Volt-Strangs auftreten würden.

Die EVA2-Module würden diesem Test zufolge noch mehr als 90 Prozent Leistung nach 30 Jahren aufweisen und die POE-Module seien so gut wie nicht betroffen, da 0,34 Coulomb pro Jahr sich selbst nach 40 Jahren nicht zu schädlichen Mengen summieren. Doch was sind die Konsequenzen dieses Befunds?

„Ich finde es wichtig, dass die Branche diese Zusammenhänge erkennt und diskutiert“, sagt Peter Lechner. Wenn sich die PID-Resistenz durch die Auswahl der Verkapselung und der Zelltypen beeinflussen lässt, sei das die einfachste und preisgünstigste Variante. Viel teurer und mit zusätzlichen Investitionen und Serviceaufwand verbunden sei dagegen die Alternative, nämlich der Kauf von Anti-PID-Geräten. Auch natriumfreies Glas sei unrealistisch, weil nicht bezahlbar. Selbst wenn noch nicht alle Effekte in dem Forschungsbericht abschließend erklärt werden konnten, wie das Auftreten des blockierenden Widerstands im Labortest mit dem EVA1-Modul oder die Regeneration des EVA2-Moduls, so zeige der Test doch deutlich, dass die Problematik der potenzialinduzierten Degradation mit dem Standardtest nicht ausreichend adressiert werde. Ein Modul kann den Test bestehen und trotzdem stark PID-anfällig sein.



Im Standardtest bei 85 Grad Celsius in der Klimakammer mit 85 Prozent Luftfeuchtigkeit und minus 1.500 Volt unterscheiden sich die Module kaum. Keines degradiert unter den Minus-fünf-Prozent-Grenzwert (gestrichelte Linie). Unter verschärften Testbedingungen bei minus 2.500 Volt und eingewickelt in eine Alufolie halbiert sich die Leistung des einen Moduls dagegen in wenigen Stunden. Peter Lechner rät, den Standard zu überdenken.

### Über PID-Standardtest hinausgehen

„Wir hatten uns während der Diskussionen um die IEC-Norm immer für einen Test mit Aluminiumfolie eingesetzt“, sagt auch Jörg Althaus, Koordinator für PV-Kraftwerks-Dienstleistungen des TÜV Rheinland. Schon aus Kostengründen sei dieser einem Test in der Klimakammer vorzuziehen, erklärt er.

### „Einige Forschungseinrichtungen befürchteten, dass mit der zweiten Methode die potenziellen Schäden durch PID überschätzt würden.“

Bengt Jäckel, Teamleiter Zuverlässigkeit von Solarmodulen und -systemen am Fraunhofer CSP, kritisiert den Klimakammertests ebenfalls. „Die Ergebnisse sind oft nicht gut reproduzierbar von Labor zu Labor.“ Das liege zum Beispiel an der ungleichmäßigen Verteilung der Feuchtigkeit auf der Glasoberfläche. Außerdem würden nicht alle Zellen im Modul gleichermaßen gestresst. Stattdessen unterliegen Zellen am Rand einem höheren PID-Stress. „Dass die PID-Entwicklung unterbunden wird, haben wir bisher noch nicht gesehen“, sagt er. Seiner Erfahrung nach führe eine längere Testdauer in der Regel auch zu einer stärkeren Ausprägung der Degradation, wenn auch häufig zu einem nicht-linearen Verlauf.

„Ich denke, dass 96 Stunden für den Test generell zu wenig sind“, sagt Jäckel. Investoren empfiehlt er, je nach Fragestellung, den PID-Test anzupassen. Soll das Verhalten des Moduls im Feld nachgebildet werden, dann könne das der einfache IEC-Klimakammertest nicht, da unter anderem Regeneration und Feuchteintrag aufgrund der kurzen Prüfzeit nicht berücksichtigt sind. Für die Frage, welche Qualität und Resistenz die eingesetzten Zellen gegenüber PID haben, sei eher der

Alufolientest unter Berücksichtigung der Feuchte deutlich besser geeignet.

Auch TÜV Rheinland bietet seinen Kunden Tests mit Alufolie an. „Ist das Modul für den Einsatz bei 1.500-Volt gedacht, muss man auch bei 1.500-Volt testen“, so Althaus. Dabei zeigten sich dann deutlichere Unterschiede, die dem Kunden bei der Entscheidung für ein bestimmtes Modul helfen. Die Entscheidung für die Klimakammer und gegen den Alufolientest sei damals gefallen, weil einige Forschungseinrichtungen befürchteten, dass mit der zweiten Methode die potenziellen Schäden durch PID überschätzt würden. Denn im Test zeige sich keine thermische Regeneration und die Gefahr bestünde, dass der Test den Stress so sehr erhöht, dass er mit einer normalen Einbausituation nicht vergleichbar ist, erinnert sich Jörg Althaus' Kollege Christos Monokroussos.

Da der ZSW-Test die Belastung nicht nur durch die Alufolie, sondern auch durch die höhere Spannung von 2.500 Volt verstärkt, treffe er somit sehr konservative Annahmen für die potenzielle Degradation im Feld, so Monokroussos. In Anbetracht der neuen ZSW-Ergebnisse sei es ihm aber wichtig, die beobachteten Effekte in eigenen Experimenten zunächst zu reproduzieren. „Wenn sich das bestätigt, müssen wir das Testverfahren für 1.500-Volt-Module noch einmal diskutieren.“

Es könnte sich also wieder etwas tun bezüglich der PID-Test-Diskussion; Modulhersteller könnten versuchen, sich dadurch zu differenzieren und Projektentwickler müssen sich überlegen, ob sie auf härtere Tests bestehen. Jäckel erwartet bereits in diesem Jahr eine Revision des bisherigen Teststandards, um Ergänzungen für das Testen von bifazialen Modulen anzufügen. Bei den Gesprächen dazu könnten auch die Nachteile des Standardtests erneut diskutiert werden.

Cornelia Lichner

Wissenschaftliche Originalveröffentlichung: Peter Lechner, Jonathan Schnepf, Simon Hummel, Dieter Geyer, Jan Wittfoth, Román Merino Martínez, Paula Sánchez-Friera; „Extreme Testing of PID Resistive c-Si PV Modules with 1500 V System Voltage“, erschienen in den Proceedings der 37sten EU PVSEC (2020), Seite 792.