

BACKSHEETS BESTIMMEN

IDENTIFIKATION DER RÜCKSEITENFOLIEN VON SOLARMODULEN IM FELD

Die Solarbranche kämpft derzeit mit einem größeren Serienfehler, der zum Versagen der Rückseitenfolien führt. Dabei stellt sich für jeden Betreiber einer Photovoltaikanlage unmittelbar die Frage, welche Rückseitenfolien denn wohl bei seiner eigenen Anlage verbaut sein mögen? Dieser Artikel zeigt, dass diese Frage mittlerweile beantwortet werden kann.

Die Rückseitenfolie

Der grundlegende Aufbau eines handelsüblichen Solarmoduls mit kristallinen Solarzellen sieht so aus, dass hinter der Frontglasscheibe zunächst eine Schicht mit EVA-Folie¹⁾ kommt, danach folgt dann die Solarzelle. Auf der Rückseite der Zellen sitzt dann nochmal eine Schicht EVA und danach schließt die Rückseitenfolie an, die ebenfalls wieder aus mehreren Schichten bestehen kann. Bei diesen Glas-Folie-Modulen folgt auf die hintere EVA-Schicht direkt eine zweite Glasscheibe. Die Solarzellen werden also in ein Sandwich von Kunststofffolien eingebettet, das in der Produktion in einem Ofen zusammenlaminiert wird. Das EVA dient im Wesentlichen dazu die Solarzellen einzubetten und dafür zu sorgen, dass die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten von Glas und Silizium nicht zu mechanischen Spannungen führen.

Die wichtigste Eigenschaft des EVA ist dabei, trotz dauerhaftem Beschuss mit UV-Strahlung, nicht seine Transparenz zu verlieren und möglichst viel Sonnenstrahlung zu den Solarzellen durchzulassen. Denn Kunststoffe neigen oft dazu, ihre Eigenschaften unter dauerhafter Einwirkung von kurzwelliger (und damit energiereicher) UV-Strahlung zu verändern. Die rückseitige Folie auf einem Solarmodul hat in erster Linie die Aufgabe, die Solarzellen vor Umwelteinflüssen zu schützen. Es soll möglichst kein Wasserdampf in das Laminat eindiffundieren, da Feuchtigkeit zu einer Korrosion der Kontakte zwischen den einzelnen Zellen führen kann. Außerdem muss gewährleistet sein, dass die rückseitigen Folien für eine hohe elektrische Isolation der eingebetteten Zellen sorgen. Immerhin arbeiten moderne PV-Anlagen mittlerweile schon mit Systemspannungen von bis zu 1.500 V. Bedenkt man, dass heute nahezu ausschließlich trafolose Wechselrichter zum Einsatz kommen, so kann das Berühren einer schadhafte Rückseitenfolie während des Betriebes sehr schnell lebensgefährlich werden.

Es ist daher unbedingt notwendig, dass die Isolationsfähigkeit der Rückseitenfolien dauerhaft erhalten bleibt. Um diese Bedingung während der langen Lebenszeit einer PV-Anlage zu gewährleisten, machen die Wechselrichter jeden

Morgen vor der Zuschaltung zum Netz eine sogenannte Isolationsprüfung. Zu diesem Zweck werden in aller Regel Prüfspannungen von 1.000 bzw. 1.500 V auf den kurzgeschlossenen Solargenerator gegen Erde angelegt. Eine Messung des dann fließenden Stromes führt über das ohmsche Gesetz zur Ermittlung des Isolationswiderstandes. Wer sich im Detail für diese Messungen interessiert sei auf diesen Artikel²⁾ verwiesen. Nach der international gültigen Norm DIN EN62446-1 darf der Isolationswert eines Modulstranges niemals unter 1 MOhm liegen.

Nun beobachten wir seit einiger Zeit einen Serienfehler an Solarmodulen, der mit einem Versagen der Rückseitenfolien einhergeht. Die Folge der Fehler in betroffenen PV-Anlagen sind zunehmende Ausfallzeiten, da die Wechselrichter bei zu niedrigen Isolationswerten die Anlage morgens nicht ans Netz nehmen. Im Endstadium des Fehlers kommt es oft zu einem vollständigen Versagen der Rückseitenfolien und zu einer Zerstörung der Module. Dazu gibt es zwei Artikel, die auf das Problem hinweisen³⁾.

Drei Ausprägungen

Fehlertyp 1

Im ersten Fall sieht man Risse in der Einbettungsfolie immer in den Zellzwischenräumen. Die Zellverbinder werden



Bild 1: Risse in der Rückseitenfolie von Solarmodulen



Bild 2: Am Ende kommt es zum vollständigen Zusammenbruch der Module

in der Folge dieses Fehlers so stark geschädigt, dass es zu extremer Hitzeentwicklung kommen muss, die wiederum die Modulglasscheiben zerstört. In der Folge fallen dann, wie in den Aufnahmen zu sehen, ganze Zellreihen aus den Modulen heraus. Das Phänomen wurde zuerst in Südeuropa beobachtet.

Fehlertyp 2

Im zweiten Fall ist vom rückseitigen Foliensandwich nur die innere Lage betroffen. Das Problem ist auf den ersten Blick leider nicht erkennbar. Wird jedoch mit einer Taschenlampe durch die Zellzwischenräume geleuchtet, so können sehr schön winzige Risse in der Rückseitenfolie erkannt werden.

Fehlertyp 3

Im dritten Fall sind über den rückseitigen Zellkontakten Risse in der Folie zu erkennen. In diesem Fall war in den überprüften Anlagen immer auch eine sogenannte Auskreibung (Chalking) festzustellen.

Identifikation von Folientypen

Ein Betreiber, dessen Anlage von einem der oben beschriebenen Problem betroffen war, hatte die Frage aufgeworfen, ob es möglich sei die Folientypen, die das Problem verursachen zu identifizieren, um frühzeitig reagieren zu können. Hintergrund war eine weitere PV-Anlage des gleichen Betreibers, bei der das Problem optisch noch nicht in Erscheinung getreten war. Es sollte also geklärt werden, ob auch in dem zweiten Park mit einem Versagen der Folien gerechnet werden müsste.

Da wir uns mit den Einbettungsfolien bis Dato nie näher beschäftigt hatten, war die Thematik Neuland und wir mussten uns zunächst einen Überblick verschaffen, welche Untersuchungsmethoden

hier möglich sind. Eine Recherche ergab, dass das Labor des ZSW in Stuttgart dazu in der Lage ist die Rückseitenfolien der Solarmodule zu bestimmen. Zu diesem Zweck mussten Module demontiert und ins Labor gebracht werden. Die Untersuchungen sind nicht zerstörungsfrei. Es werden zum Zweck der Untersuchung Teile aus dem Modul herausgeschnitten, um sie anschließend mit der sogenannten FTIR Methode zu analysieren. FTIR steht hierbei für Fourier-Transform-Infrarot-Spectroscopy⁴⁾. Vereinfacht beschrieben wird bei dem Spektroskopieverfahren die Wechselwirkung von Nahinfrarotstrahlung mit den Molekülen der Einbettungsfolien genutzt um diese identifizieren zu können. Jedes Molekül absorbiert eine oder mehrere Wellenlängen der Strahlung, so dass bei Durchstrahlen des Materials ein typischer „Fingerabdruck“ des Materials entsteht, der wiederum Rückschlüsse auf dessen Zusammensetzung zulässt. Bei Folien mit mehreren Schichten, muss zur Bestimmung jeder einzelnen Schicht allerdings Schicht für Schicht freigelegt und einzeln untersucht werden. Im Labor lässt sich so etwas realisieren.

Im Ergebnis konnte in dem praktischen Fall festgestellt werden, dass die Folien aus dem zweiten Park eine andere Materialzusammensetzung aufwiesen, wie die fehlerhaften Folien und dass es nicht zu erwarten sei, dass diese ebenfalls in gleichem Maße zur Rissbildung neigen würden.

Muss das Modul immer ins Labor?

Angeregt durch eine sogenannte Low-Cost IR-Spektroskopiemethode, auf die wir vor einigen Jahren einmal aufmerksam wurden, kam die Idee zu einer weiteren Recherche nach tragbaren Lösungen auf, die eventuell auch im Solarpark eingesetzt werden könnten, ohne dass dafür

die Module ausgebaut werden müssten. Letztlich geht es uns in der Solarbranche ja nicht in erster Linie darum die Folienmaterialien mit einer hohen Genauigkeit zu bestimmen, sondern vielmehr darum, fehlerhafte Folien zu erkennen und von fehlerfreien Folien unterscheiden zu können. Gäbe es eine mobile, zerstörungsfreie Analysemethode, so könnte im Laufe der Zeit eine Datenbank aufgebaut werden (passend dazu, sollten Sie den Artikel „Die Modulflüsterer“ in dieser Ausgabe lesen).

Angeregt durch diesen Gedanken haben wir schließlich Kontakt zu Analyticon⁵⁾ aufgenommen, einer Firma die mobile Infrarotspektroskopie-Geräte vertreibt. Ein Mitarbeiter hat uns besucht und anhand der zahlreichen Solarmodule, die sich in unserem Labor mittlerweile angesammelt haben, wurde versucht herauszufinden, ob sich die gewonnenen Spektren der Einbettungsfolien unterscheiden ließen.

Das Ergebnis war, dass die Spektren unterschieden werden können, für die Interpretation der Ergebnisse allerdings zusätzliches Know-how benötigt wird, um die jeweiligen Spektren einem spezifischen Einbettungsmaterial zuordnen zu können. Die Kosten für die Geräte lagen alle in einer Kategorie jenseits der 20.000 €. Es würde demnach sowohl Zeit als auch das notwendige Geld benötigt, um diesen Ansatz weiter zu verfolgen.

Zweiter Versuch

Ein paar Wochen später kamen nochmal zwei junge Männer einer anderen Firma zu uns zu Besuch, auf die wir ebenfalls durch eine Internetrecherche aufmerksam geworden waren. Es handelte sich um die Firma Trinamix⁶⁾ aus Ludwigshafen, einer „Startup“ Ausgründung der dort ansässigen BASF. Im Gegensatz zur ersten Laborsession hatten der beiden



Bild 3: In einem frühen Stadium lässt sich das Problem durch die Beleuchtung des Moduls mit einer hellen LED Lampe erkennen.



Bild 4: Das Bild zeigt Risse in der Rückseitenfolie über den rückseitigen Zellkontakten von Solarmodulen.



Bild 5: Untersuchung der Rückseitenfolien von Solarmodulen mit Hilfe mobiler Infrarot Spektroskopie Geräte



Bild 6: Untersuchung der Rückseitenfolien von Solarmodulen mit mobilen Geräten zur FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

Herren nur ein kleines Gerät dabei und nur wenige Proben von Solarmodulen genommen. Dazu wurde lediglich das kleine Handgerät auf die Rückseite der Module gehalten und ein Knopf gedrückt. Kurz später erschien ein Messergebnis auf einer Handyapp. In erster Linie lag das Interesse darin, wie die Anwendung der gewünschten Technik den genau aussehen sollte, wie groß der Markt dafür in etwa eingeschätzt würde und wofür typischerweise eine Information über den Zustand als auch die Beschaffenheit von Rückseitenfolien von Solarmodulen benötigt wird. Wir versorgten den Herren daraufhin viele Informationen zur Photovoltaik und insbesondere zu der aktuellen Problematik im Zusammenhang mit Rückseitenfolien. Anschließend verabschiedeten sie sich mit dem Hinweis „sie würden mal drüber nachdenken ob das Thema für sie interessant wäre“ ... Danach war erstmal Funkstille.

Neues Werkzeug zur Untersuchung von Solarmodulen

Plötzlich und völlig unerwartet klingelte etwa ein halbes Jahr später unser Telefon und ein Mitarbeiter der vorgeannten Firma war am Apparat. Stolz wurde verkündet, das Gerät sei jetzt fertig, die entsprechende App sei entwickelt und das Gerät könne gerne einmal bei uns im Büro vorgestellt werden. Wir waren offen gestanden sehr überrascht, dass sich dem Thema ohne weitere Ankündigungen angenommen wurde. Bei dem Termin wurde die neue Lösung vorgestellt und wir waren sehr beeindruckt. Trinamix hatte sich mittlerweile mit dem Österreichischen Forschungsinstitut für Chemie und Technologie (OFI) und dem Polymer Competence Center Leoben GmbH⁷⁾ (PCCL) zusammengetan und gemeinsam eine Datenbank der typischerweise in der PV-Branche eingesetzten Rückseitenfolien erstellt.

Das kleine tragbare Gerät funktioniert nach dem Prinzip der Transflectometrie. Es sendet eine Strahlung im Bereich zwischen 1.400 und 2.400nm, also im unsichtbaren Infrarotbereich durch die Rückseitenfolie der Solarmodule. Die Strahlung wird dann von den Solarzellen reflektiert und vom Gerät wieder empfangen. Die reflektierte Strahlung wird spektral aufgelöst und mit der ursprünglichen Strahlung verglichen, um festzustellen welche Wellenlängen des Spektrums vom Material der Rückseitenfolien absorbiert wurden. Diese Wellenlängen sind, wie oben erwähnt, materialspezifisch und geben einen eindeutigen „Fingerabdruck“ des verwendeten Materials. Die Daten werden vom Gerät anschließend zu einer Internetdatenbank gesendet und dort mit bekannten Materialproben abgeglichen. Über diese Zuordnung können dann bekannte Materialien eindeutig identifiziert und in einer Smartphone-APP unmittelbar nach der Messung angezeigt werden. Ohne aufwändige Laboruntersuchungen hat man damit dann direkt eine Aussage über das verwendete Material der jeweils

untersuchten Rückseitenfolie. Als kleine Zusatzinformation ermittelt das Messverfahren auch noch das Einbettungsmaterial, welches wie oben bereits erwähnt, in den meisten Fällen EVA sein dürfte. Die nachfolgend gezeigten Materialien bzw. Materialkombinationen können bereits erkannt werden.

Der Praxistest

Wir haben das Gerät mittlerweile in unseren Werkzeugkasten zur Untersuchung von PV-Anlagen integriert und bereits erste Praxistests damit durchgeführt. Vom Handling her ist das Gerät gut zu bedienen. Jedes Modul wird in zwei Stufen gemessen, zuerst die Vorderseite, dann die Rückseite. Das Messergebnis wird unmittelbar angezeigt. Auf Wunsch können vor der Messung noch der Modultyp und sonstige Informationen eingegeben werden, beides wandert dann automatisch mit den Messergebnissen in die Datenbank. Bei der anschließenden Auswertung im Büro, können die Messdaten am PC weiterverarbeitet, bei Bedarf können alle Spektren in Form einer Ex-



Bild 7: Die vom Trinamix Spektroskopiegerät erkannten Materialien, die typischerweise in Rückseitenfolien eingesetzt werden.



Foto: Diehl

Bild 8: Das Bild zeigt das tragbare Spektroskopiegerät von Trinamix mit der zugehörigen Smartphone APP

celdatei heruntergeladen werden. Wer sich mit der Chemie der Folien gut auskennt, kann aus diesen Rohdaten sicherlich noch weitere wertvolle Informationen gewinnen. Wir haben mittlerweile ca. 25 verschiedene Modultypen damit gemessen, nur in wenigen Ausnahmen lieferte das Gerät bisher kein Ergebnis. Diese Ausnahmen waren zwei schwarze Solarmodule und ein uraltes Kyocera-Minimodul. Bei den schwarzen Modulen wurde mir erklärt, dass der Ruß, der den Folien zur Schwarzfärbung beigegeben wurde auch im IR-Bereich intransparent ist, so dass die Spektroskopiemethode hier prinzipiell nicht funktioniert. Bei dem uralten Modul wurde ganz offenbar noch ein Folientyp verwendet, der bisher noch nicht seinen Weg in die Datenbank gefunden hat. Bei modernen Glas-Glas-Modulen wird übrigens nur der Typ des Einbettungsmaterials (EVA) angezeigt. Da die Datenbasis ständig erweitert wird, ist davon auszugehen, dass

die meisten gängigen Folientypen mit dem System erkannt werden können. Von den oben zu sehenden Fehlerbildern haben wir zwei Module im Labor gehabt und konnten den Folientyp bereits zuordnen. Es handelt sich dabei um PA Folien (PA steht für Polyamide) und um PET & Fluorine-Coating. Wir werden in Zukunft immer, wenn wir in eine PV-Anlage kommen routinemäßig mal, zusätzlich zu allen anderen Daten, auch den Typ der Rückseitenfolien aufnehmen und in eine Datenbank ablegen. Es sieht im Moment so aus, als hätten wir ein neues, sehr schönes Werkzeug für die Solarbranche gewonnen, um eine zusätzliche Information über die Solarmodule zu bekommen, die uns bei der Diagnose von Fehlern unterstützen kann.

Fußnoten

- 1) Ethylen-Vinylacetat-Copolymer
- 2) photovoltaikbuero.de/pv-know-how-blog/messung-des-isolationswiderstandes-an-photovoltaikanlagen/
- 3) Artikel 1: photovoltaikbuero.de/pv-know-how-blog/die-pv-branche-braucht-einen-professionellen-umgang-mit-problemen/, Artikel 2: photovoltaikbuero.de/pv-know-how-blog/isolationsfehler-an-pv-anlagen-systematisch-finden/
- 4) de.wikipedia.org/wiki/FTIR-Spektrometer
- 5) www.analyticon.eu/de/
- 6) trinamixsensing.com/pv-module
- 7) www.pccl.at/

ZUM AUTOR:

▶ *Matthias Diehl*
 Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständige für Photovoltaikanlagen, photovoltaikbuero Ternus und Diehl
info@photovoltaikbuero.de

ZUKUNFTSVISIONEN FÜR DIE STROMVERSORUNG

QR Code

TAGUNG ZUKÜNFTIGE STROMNETZE
 25.–26. JANUAR 2023
 NOVOTEL TIERGARTEN BERLIN & ONLINE
www.zukunftnetz.net

SOLUTIONS FOR VEHICLE INTEGRATION

QR Code

PVINMOTION CONFERENCE
 15.–17. FEBRUAR 2023
 'S-HERTOGENBOSCH, NIEDERLANDE & ONLINE
www.pvinmotion-conference.com

DAS BRANCHENTREFFEN DER SOLARINDUSTRIE

QR Code

37. PV-SYMPOSIUM + BIPV-FORUM
 28. FEBRUAR 2023
 KOSTER BANZ, BAD STAFFELSTEIN
www.pv-symposium.de