

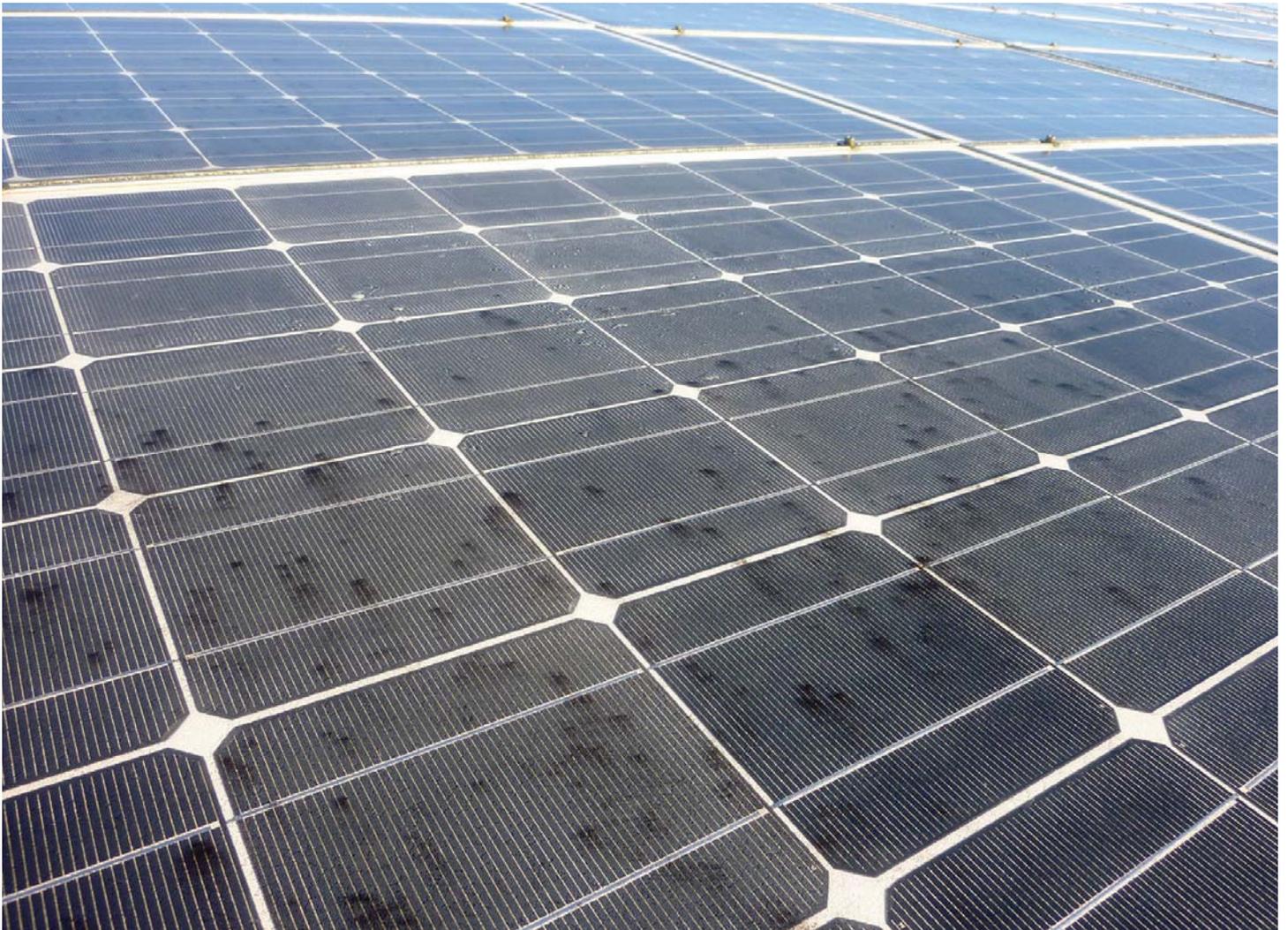


Sonderdruck aus
»de« 21.2022

das elektrohandwerk

Vorsprung ▪ Wissen ▪ Mehrwert

Degradation und Repowering im Fokus der elektrischen Sicherheit



Photovoltaikanlagen im Wandel der Zeit

Degradation und Repowering im Fokus der elektrischen Sicherheit

Etliche Photovoltaik-Anlagen in Deutschland haben inzwischen eine Betriebsdauer erreicht, die einen sicheren Betrieb in Frage stellt. Oft kommt es zu gravierenden Leistungsabfällen oder sogar zum Ausfall von ganzen PV-Anlagen. Wie im Folgenden dargestellt, ist die Isolationsmessung eine wesentliche Grundlage für Arbeiten vor und nach einer Repowering-Maßnahme.

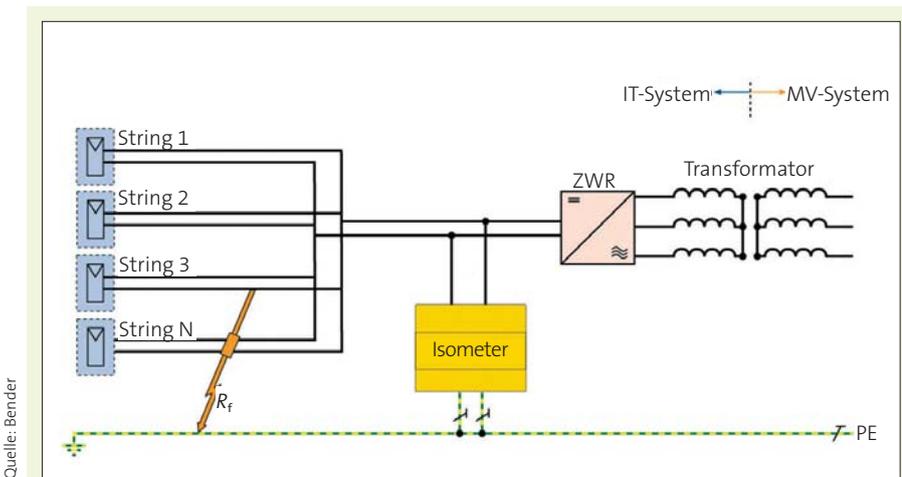


Bild 1: Isolationsüberwachung (IMD) als Teil des Zentralwechselrichters

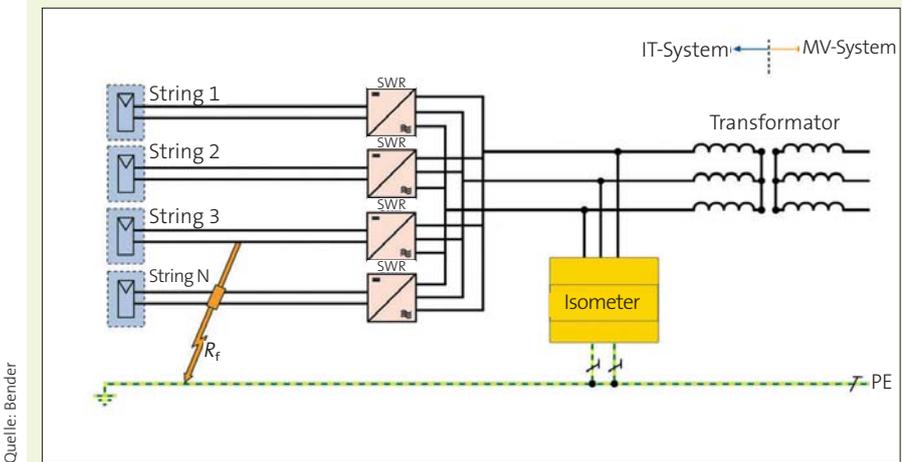


Bild 2: Stringwechselrichter mit zusätzlichem zentralen IMD auf der AC-Seite

Personen- und Anlagenschutz im Vordergrund. Durch ein gezieltes Repowering versuchen die Betreiber, alte PV-Anlagen nach und nach zu ertüchtigen und wieder auf ein akzeptables technisches Niveau zu bringen. Oftmals fehlt es aber am nötigen Produktsupport, weil unter anderem Ersatzteile nicht mehr verfügbar sind. Viel schwerwiegender ist jedoch ein schlechtes Isolationsniveau des PV-Generators, denn dies stellt die Grundlage für einen sicheren Betrieb dar – vor, während und nach einer Repowering-Maßnahme.

Damals wie heute unterliegen PV-Anlagen gewissen Anforderungen, um den sicheren Betrieb zu gewährleisten. Wie für jede elektrische Anlage in Deutschland gelten auch hier die Vorgaben der DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE. International sind es entweder die Vorgaben der CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique, englisch: European Committee for Electrotechnical Standardization) oder der IEC (International Electrotechnical Commission). Die Normen und Handlungsempfehlungen erstrecken sich von der Errichtung bis hin zum normkonformen Betrieb einer PV-Anlage.

Längere Standzeiten der elektrischen Anlagen

PV-Generatoren unterscheiden sich durch eine Besonderheit von vielen anderen elektrischen Anlagen. Die elektrischen Betriebsmittel auf der Gleichspannungsseite stehen dauerhaft unter Spannung, und daher können auch viele bekannte Schutzmaßnahmen aus der DIN VDE 0100-410 »Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag« (IEC 60364-4-41:2005; Deutsche Übernahme HD 60364-4-41:2017) nicht einfach übernommen und angewendet werden. Aus diesem Grund wurde für das Errichten von PV-Anlagen eine eigene Norm erstellt. Die

Vor vielen Jahren wurden die ersten großflächigen Photovoltaikanlagen (Photovoltaik = PV) errichtet. Als staatlich gestützte Investitionen wurden diese PV-Anlagen kostenoptimiert installiert und waren im Rahmen der Einspeiserückvergütung auf maximalen finanziellen Ertrag ausgerichtet. Die Umwelteinflüsse einerseits und der normale Materialverschleiß

andererseits trieben den Prozess der Degradation enorm voran und führten über die Jahre nicht nur zu einer Leistungsminde- rung, sondern zwischenzeitlich sogar zu teil- weise extremen Verschlechterungen der elektrischen Eigenschaften. Einige PV-Anla- gen sind sogar von partiellen oder komplet- ten Ausfällen betroffen. Mit Blick auf die elektrische Sicherheit stehen besonders der

VDE 0100-712 »Anforderungen an Betriebsstätten, Räume und Anlagen der besonderen Art – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme« (Deutsche Übernahme HD 60364-7-712:2016) beschreibt detailliert, welche Schutzmaßnahmen anzuwenden sind. Im Abschnitt 712.410.102 werden für die Gleichspannungsseite folgende Möglichkeiten erwähnt:

- doppelte oder verstärkte Isolierung
- Schutz durch Kleinspannung (SELV oder PELV), d.h. $U_{0Cmax} \leq 120 \text{ V DC}$

In der Regel beschränkt sich somit der Schutz gegen elektrischen Schlag auf die Schutzmaßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung. Zudem wird bei großen PV-Anlagen der Zugang auf das Gelände nur autorisiertem und geschultem Personal gewährt.

Einsatz von Isolationsüberwachung

Der Anlagenschutz wird unter anderem im Abschnitt 712.421 »Schutz gegen Brände, verursacht durch elektrische Betriebsmittel« beschrieben. Im Unterabschnitt 712.421.101 »Schutz bei Isolationsfehlern auf der Gleichspannungsseite von Wechselrichtern mit einfacher Trennung oder auf der Wechsellspannungsseite« wird die schnellstmögliche Beseitigung von Isolationsfehlern empfohlen.

Doch vor einer Beseitigung von Isolationsfehlern müssen diese zunächst detektiert werden. Im Abschnitt 712.421.101.1 werden deshalb entsprechende Isolationsüberwachungseinrichtungen (IMD) gefordert, um das Isolationsniveau auf der Gleichspannungsseite des PV-Generators während der gesamten Betriebszeit fortlaufend zu überwachen. Die Isolationsüberwachungseinrichtungen (IMD) müssen dabei die Anforderungen der DIN EN 61557-8 (VDE0413-8):2015-12, Anhang D »Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1000 V und DC 1500 V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen – Teil 8: Isolationsüberwachungsgeräte für IT-Systeme« (IEC 61557-8:2014); Deutsche Fassung EN 61557-8:2015 erfüllen.

Das Fazit bisher lautet: Der Personenschutz bei PV-Anlagen wird durch die Maßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung sowie die Zugangsbeschränkung auf das Gelände realisiert. Der Anlagenschutz wird im Wesentlichen durch eine funktionierende Isolationsüberwachung garantiert. Wie granular die Isolationsüberwachung arbeitet, hängt von der jeweiligen Topologie der PV-Anlage ab.



Bild 3: Degradation von PV-Glas

Quelle: : Ökologische Solarreinigung



Bild 4: Beschädigte Isolierung eines Stringkabels

Quelle: Bender

Schwierige Fehlerlokalisierung

PV-Generatoren mit einem zentralen Wechselrichter verfügen in der Regel über eine zentrale Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD), welche ein Teil des Zentralwechselrichters (Bild 1) ist. Ein möglicher Isolationsfehler R_f wird zwar erkannt, aber die Lokalisierung stellt sich sehr schwierig dar, weil die gesamte Anlage als mögliche Fehlerursache zu betrachten ist.

Alternativ dazu können die einzelnen Strings mit so genannten Stringwechselrichtern betrieben werden. (Bild 2) Bei einer solchen Topologie könnte die Fehlerursache zumindest dem betreffenden Strang zugeordnet werden, denn jeder der Stringwechselrichter verfügt über eine separate Isolationsüberwachung, welche vor dem Umschalten auf Netzbetrieb vom Rest des Netzes getrennt ist.

Die Stringwechselrichter prüfen das Isolationsniveau des jeweiligen DC-Strings und schalten erst auf Netzbetrieb, wenn die Isolationsmessung erfolgreich war. Wenn die

Stringwechselrichter auf Netzbetrieb umschalten, wird die interne Isolationsüberwachung deaktiviert und das zentrale Isolationsüberwachungsgerät übernimmt das Monitoring des gesamten PV-Generators bis hin zum Transformator.

PV-Anlagen, welche seit mehreren Jahren in Betrieb sind, unterliegen einem natürlichen Alterungsprozess mit einhergehendem Leistungsverlust – dies wird in der PV-Branche als Degradation bezeichnet. Häufig sind die Folgen der Degradation offensichtlich. Ein Beispiel hierfür sind defekte Halbleiterzellen der PV-Module, welche sich optisch gut von funktionierenden Zellen unterscheiden (Bild 3).

Weit weniger offensichtlich sind Isolationsfehler z.B. durch Tierfraß, welche sehr häufig in unterirdischen Kabelkanälen auftreten. Doch auch die Witterungseinflüsse sorgen dafür, dass Isolierstoffe der Kabel oder Steckverbinder brüchig werden und ihre Funktionalität verlieren. Natürlich können auch menschliche Fehler während der Installation (Bild 4) sich

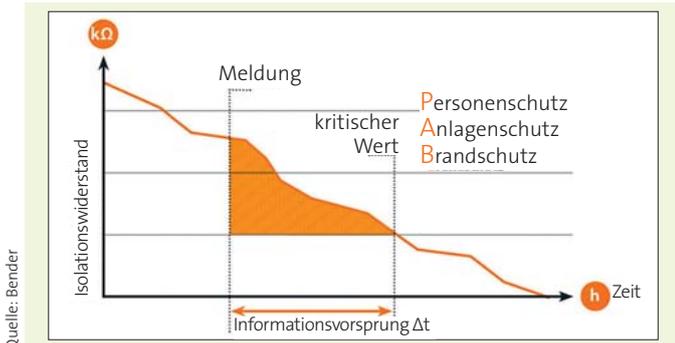


Bild 5: Trendkurve des Isolationsniveaus



Bild 6: Display eines IMD mit aktuellem mit Isolationswert

Tabelle – Isolationswerte gemäß VDE 0105-100

Messung	Ohne angeschlossene Betriebsmittel	Mit angeschlossenen Betriebsmitteln	Anlagen im Freien oder Bereiche, bei denen Fußböden, Wände und Einrichtungen zu Reinigungszwecken abgespritzt werden		IT-System	SELV/PELV
			Mit angeschlossenen Betriebsmitteln	Ohne angeschlossene Betriebsmittel		
Isolationswiderstand	1000Ω/V	300Ω/V	150Ω/V	500Ω/V	50Ω/V	0,2MΩ

nachhaltig negativ auswirken. Egal was die Ursache ist, die Isolationsüberwachungseinrichtungen (IMD) sollten bei fehlerfreier Funktionalität den Isolationsfehler anzeigen.

Eines ist unstrittig: Das Isolationsniveau einer PV-Anlage wird mit fortschreitendem Alter mehr und mehr abnehmen und kann sogar sehr kritische Werte erreichen. Daher hat es sich als unpraktisch herausgestellt, wenn Isolationsüberwachungsgeräte (IMD) lediglich über LED-Indikatoren verfügen und den Vor- oder Hauptalarm signalisieren. Für die Betreiber ist es nämlich essentiell wichtig, den historischen Verlauf nachverfolgen zu können, um Trends frühzeitig zu erkennen. Daher sollten moderne Isolationsüberwachungsgeräte (IMD) über eine oder mehrere Kommunikationsschnittstellen (Modbus o.ä.) verfügen, damit die Messwerte an ein übergeordnetes Monitoringsystem übertragen werden können. Durch diesen Informationsvorsprung kann der Betreiber frühzeitig entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten und die Funktionalität der Anlage aufrecht erhalten (Bild 5).

Das Ablesen des Isolationswertes via Display direkt am Isolationsüberwachungsgerät (IMD) kann den Technikern vor Ort helfen, den Zustand der Anlage selbst zu beurteilen (Bild 6). Die Anlagenspezifischen Alarmwerte – hier z.B. $R_{AN1} = 40\text{ k}\Omega$ Voralarm und $R_{AN2} = 10\text{ k}\Omega$ Hauptalarm – geben dem Techniker vor Ort einen weiteren Anhaltspunkt,

wie der aktuelle Wert des Isolationswiderstands der PV-Anlage $R_f = 87,7\text{ k}\Omega$ einzuschätzen ist. Speziell bei Repowering-Maßnahmen ist eine Ist-Wert-Anzeige vor Ort extrem hilfreich.

Einstellung der Isolationswerte

Eine der häufigsten Fragen ist die Frage nach den richtigen Schwellwerten für R_f in [kΩ] für die Alarmierung. Die Errichternorm für PV-Anlagen VDE 0100-712 »Anforderungen an Betriebsstätten, Räume und Anlagen der besonderen Art – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme« (Deutsche Übernahme HD 60364-7-712:2016) fordert zwar eine Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD) für alle PV-Anlagen, gibt aber leider keinen Hinweis zu konkreten Isolationswerten für R_f in [kΩ]. Da es sich bei PV-Anlagen aber grundsätzlich um elektrische Anlagen handelt, fällt der elektrische Betrieb einer solchen Anlage in den Anwendungsbereich der VDE0105-100 »Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 100: Allgemeine Festlegungen«. Im Abschnitt 5.3 wird der Erhalt des ordnungsgemäßen Zustands der elektrischen Anlage beschrieben und im Unterabschnitt 5.3.3 das Prüfen bzw. die wiederkehrenden Prüfungen durch Messen.

Da die PV-Generatoren im Normalfall als IT-System (ungeerdet) betrieben werden, gelten die Forderungen aus der Tabelle von $R_{fmin} = 50\text{ }\Omega/\text{V}$. Bei einer exemplarischen Sys-

temspannung von 800 V DC ergibt sich für den Isolationswiderstand ein Wert von $R_f = 40\text{ k}\Omega$. Exakt dieser Wert ist in Bild 6 als erster Ansprechwert $R_{(an)}$ zu finden. Beim Erreichen bzw. Unterschreiten dieses Wertes kann die PV-Anlage weiter in Betrieb bleiben. Die Techniker vor Ort sollten jedoch die Fehlerursache zeitnah lokalisieren, beseitigen und die PV-Anlage wieder in den sicheren Betrieb überführen. Gleiches gilt natürlich für jede Repowering-Maßnahme.

In einem weiteren Artikel werden wir auf den normkonformen Betrieb, die Wiederholungsprüfung von PV-Generatoren und eine automatisierte Fehlerlokalisierung eingehen.

FÜR SCHNELLESE

Die Isolationswerte in Photovoltaikanlagen werden mit zunehmender Betriebsdauer schlechter und können auch durchaus kritische Werte erreichen

Vor und nach Repowering-Maßnahmen sind Isolationsmessungen durchzuführen und auch in ihrem zeitlichen Verlauf zu betrachten

Autor:

Dipl.-Ing. Tilo Püschel,
 Marktsegmentmanager Manufacturing,
 Business Unit Industrial Solutions –
 Business Development, Bender GmbH & Co.
 KG, Grünberg