

Sicherheitsrelevante Aspekte bei PV-Anlagen

Isolationsfehler und Fehlerströme

Der effiziente, sichere und langjährige Betrieb einer PV-Anlage erfordert nicht nur eine Elektroinstallation mit zuverlässigen Komponenten. Auch die richtige Auswahl von Netzform und Schutzmaßnahme trägt wesentlich zu einer hohen Personen- und Anlagensicherheit und somit zur positiven Ertragsbilanz und Verkürzung der Amortisationszeit bei.

Dieser Beitrag erläutert die sich aus dem aktuellen Normenstand ergebenden Möglichkeiten für die Fehlerstrom- oder Isolationsüberwachung in PV-Anlagen.

Aktueller Normenstand

Für die Errichtung von PV-Anlagen gelten weltweit verschiedene Normen. Eine Besonderheit ist dabei die Tatsache, dass auf internationaler (IEC – International Electrotechnical Commission) und nationaler (DIN-VDE-Bestimmungen) Ebene sowohl die Errichtungsbestimmungen der Normenreihe DIN VDE 0100 als auch die Produktnormen, z.B. E DIN EN 62109-2 (VDE 0126-14-2) Teil 2: »Besondere Sicherheitsanforderungen für Wechselrichter«, diverse Schutzmaßnahmen für die elektrische Sicherheit definieren und fordern.

In Deutschland sind sowohl das Komitee K221 »Schutz gegen elektrischen Schlag« als auch das Komitee K373 »Photovoltaische Solarenergiesysteme« in die Normenarbeit eingebunden. International sind dies die Technischen Komiteen der IEC, das TC 64 »Electrical installations and protection against electric shock« und das TC 82 »Solar photovoltaic energy systems«.

Bezüglich der elektrischen Sicherheit sind eine ganze Reihe an Errichtungsbestimmungen und Produktnormen zu beachten. Die wichtigsten fasst der **Kasten** auf S. 53 zusammen.

Mit Ausnahme der Vornorm DIN V VDE V 0126-1-1 (VDE V 0126-1-1), die allerdings bereits auch von anderen Ländern genutzt wird, gibt es für die genannten deutschen Normen auch entsprechende IEC-Ausgaben.

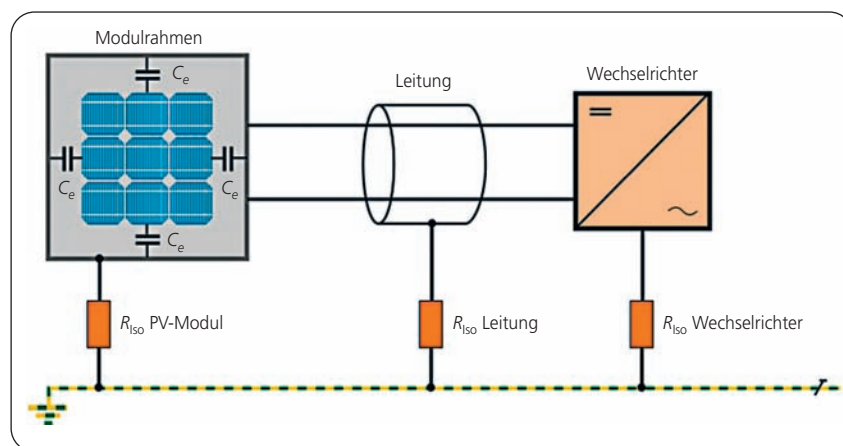


Bild 1: Isolationswiderstand einer PV-Anlage

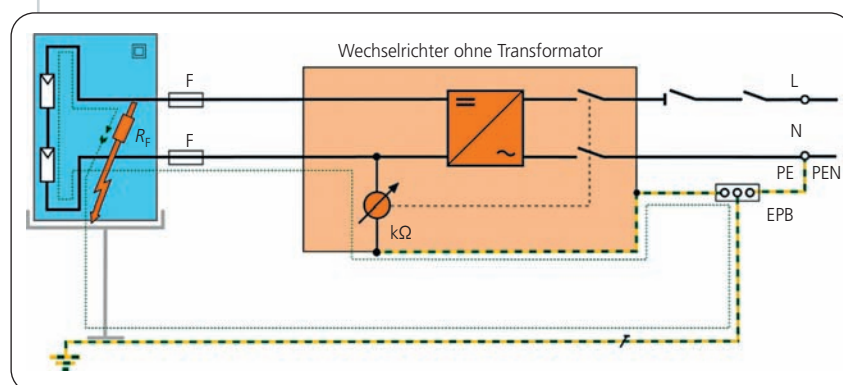


Bild 2: Wechselrichter mit integrierter Messung des Isolationswiderstandes vor Aufschalten auf das Netz

Anforderungen an PV-Module

Die Anforderungen an PV-Module beschreiben die im Kasten genannten Produktnormen DIN EN 61215 (VDE 0126-31) und DIN EN 61646 (VDE 0126-32). Für die elektrische Sicherheit ist DIN EN 61646 (VDE 0126-32), 10.3.5, »Prüfanforderungen« von Bedeutung. Sie definiert u.a. die Mindest-Isolationswiderstandswerte.

Die Anforderungen an die elektrische Sicherheit von PV-Anlagen sind vielfältig und erfordern eine genaue Koordination der Netzformen mit den notwendigen Schutzmaßnahmen. Durch die Anwendung moderner Überwachungseinrichtungen kann jedoch ein nahezu unterbrechungsfreier Betrieb einer PV-Anlage erreicht werden, was Rendite und Amortisation der Anlage erhöht.

Für eine Modulfläche von $\leq 0,1 \text{ m}^2$ ist ein Isolationswiderstand von $R_{\text{iso}} \geq 400 \text{ M}\Omega$ gefordert. Für Modulflächen $\geq 0,1 \text{ m}^2$ gilt $R_{\text{iso}} \cdot \text{m}^2 \geq 40 \text{ M}\Omega \text{m}^2$, d.h. ein Modul mit einer Fläche von 2 m^2 hat einen Mindest-Isolationswiderstand von $\geq 20 \text{ M}\Omega$.

In der PV-Anlage stellen die Isolationswiderstände aller Module eine Parallelschaltung gegen Erde dar, das heißt, sie addieren sich nach dem ohm-

schen Gesetz reziprok. Sind die Module baugleich, vereinfacht sich die Rechnung zu $R_{\text{Iso}} = R_{\text{Modul}} / \text{Modulanzahl}$. Dies ist zunächst der rechnerische Wert des Isolationswiderstandes der Anlage, der sich aber unter Betriebsbedingungen verändert (Bild 1).

Messung des Isolationswiderstandes vor Aufschaltung

Bei Wechselrichtern ohne einfache Trennung zwischen Netz und dem PV-Generator fordert die DIN V VDE 0126 (VDE V 0126-1-1) eine Messung des generatorseitigen Isolationswiderstands vor Aufschalten des PV-Generators. Als Mindestwert sind dabei $R_{\text{Iso}} \geq 1 \text{ k}\Omega/\text{V}$, mindestens $500 \text{ k}\Omega$ gefordert (Bild 2).

Mit zunehmender Größe einer PV-Anlage und damit der Parallelschaltung vieler Module verringert sich der »natürliche« Isolationswiderstand der Anlage jedoch immer weiter. Die Angaben der Werte des Isolationswiderstands differieren zwischen den Normen.

Für eine typische PV-Anlage mit einer Systemspannung von 700 V und Modulfläche von 60 m^2 fordert DIN V VDE 0126 (VDE V 0126-1-1) einen Isolationswiderstand von $700 \text{ k}\Omega$.

Nach der DIN EN 61215 (VDE 0126-31) und DIN EN 61646 (VDE 0126-32) ist bei einer Fläche von 60 m^2 aber »nur« ein Isolationswiderstand von $40 \text{ M}\Omega/\text{m}^2 / 60 \text{ m}^2 = 667 \text{ k}\Omega$ erforderlich.

Hinweis: Der Isolationswiderstand kann unter Betriebsbedingungen andere Werte annehmen.

Errichten der PV-Seite

Zur PV-Seite des Wechselrichters fordert bzw. empfiehlt die Errichtungsbestimmung DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712), 712.413.2, die PV-Module in Schutzklasse II einzusetzen und auch die Verkabelung entsprechend auszuführen. Wird die PV-Seite vom übrigen Netz durch den Transformator galvanisch getrennt, reicht die Anwendung der doppelten Isolierung als alleinige Schutzmaßnahme nach DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410), 412.1.3, nicht aus. Es wird eine entsprechende Überwachung gefordert.

Diese Forderung entspricht der Praxis. Denn in einem weitläufigen Areal eines PV-Kraftwerkes lässt sich eine Beschädigung nicht ausschließen, z. B.



Quelle: Bender

Bild 3: Isolationsüberwachungsgerät für PV-Anlagen

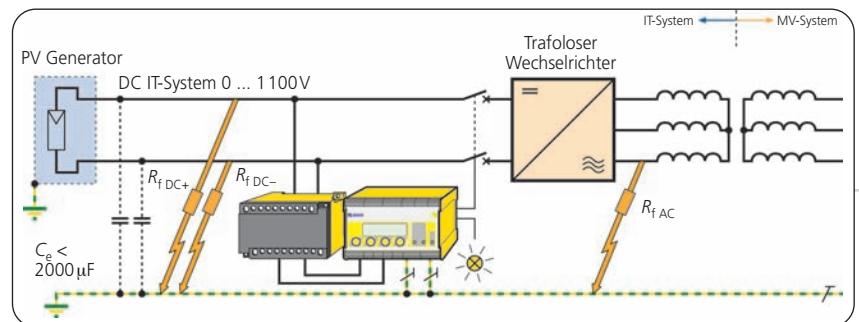
ein Verbiss der Kabel und Leitungen durch Nagetiere. Dies gilt auch für Beschädigungen von Kabeln durch Quetschungen, Übertemperaturen, Versprödung des Kunststoffs usw.

Insofern ist eine Isolationsüberwachung sinnvoll, sogar »lebensnotwendig«, denn es gilt nicht nur Sach-

schäden sowie Brände zu vermeiden, sondern auch Personen zu schützen. Jede Betriebsunterbrechung eines PV-Kraftwerkes kostet viel Geld, wenn kein Strom generiert werden kann. Auch ist das Glas der Module relativ dünn und im Gegensatz zu allen anderen Geräten der Schutzklasse II permanent Umweltbedingungen (Wetter, Witterung, Klima) ausgesetzt.

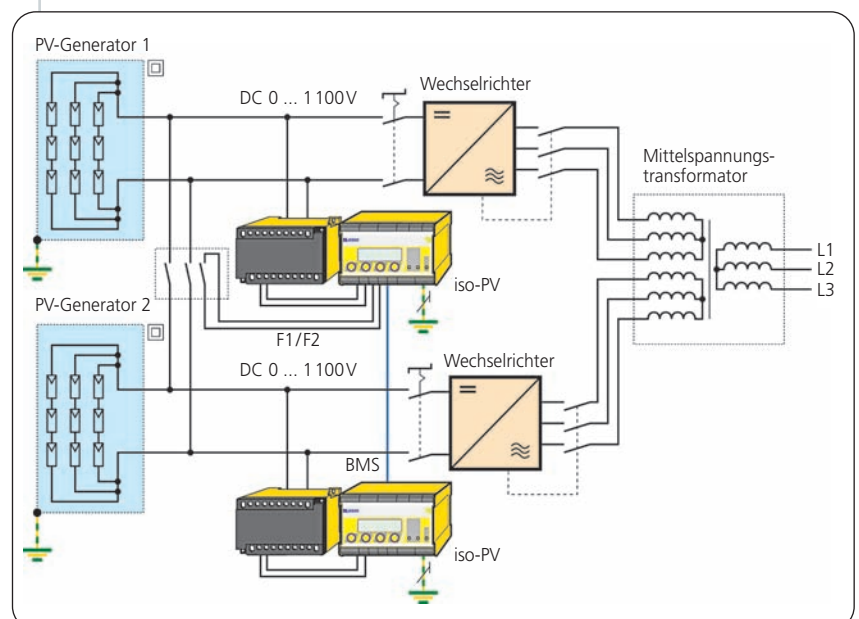
Dies erschwert den langfristigen Schutz des aktiven Teils der Anlage. In der Praxis sind daher weitere Sicherheitsmaßnahmen gefordert, entweder

- durch einen ungeerdeten Betrieb des PV-Generators mit permanenter Isolationsüberwachung oder
- durch einen geerdeten Betrieb mit entsprechender Fehlerstromüberwachung.



Quelle: Bender

Bild 4: Wechselrichter mit externem Transformator und ungeerdeter PV-Seite mit Isolationsüberwachung



Quelle: Bender

Bild 5: Einspeisung von mehreren Wechselrichtern auf einen Mittelspannungstransformator

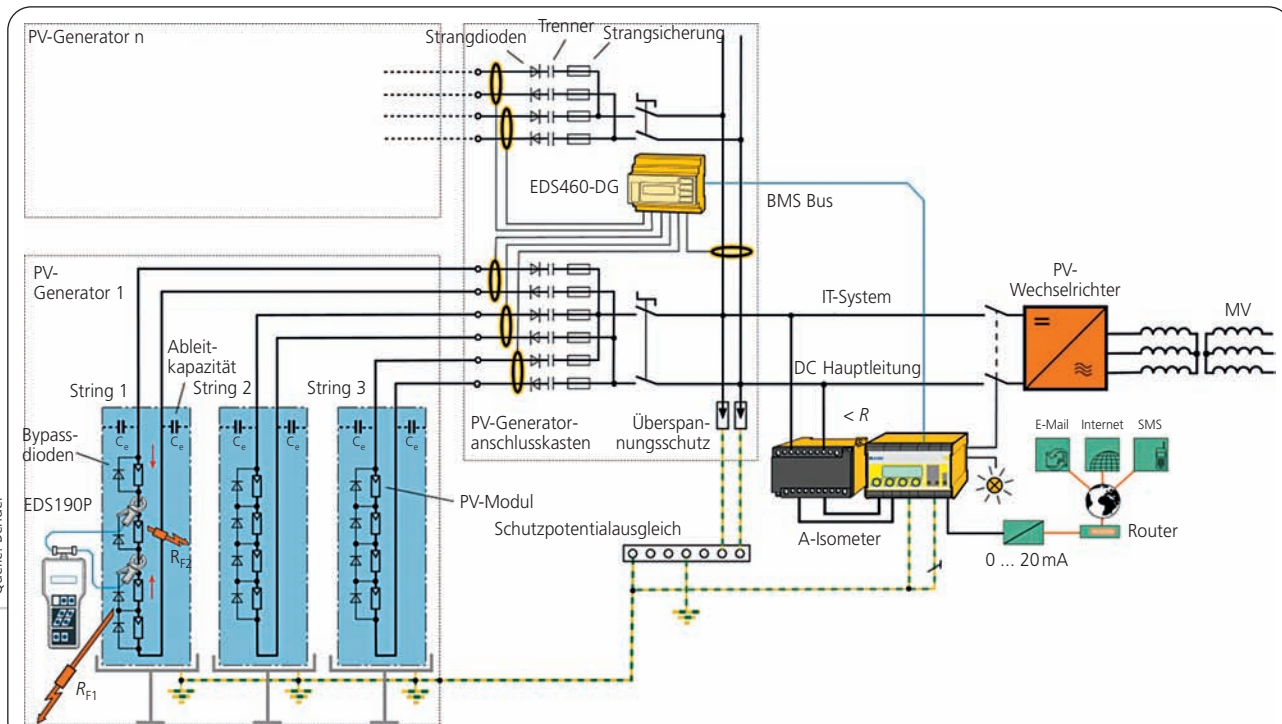


Bild 6: PV-Großanlage mit Einrichtung zur Isolationsfehlersuche

Auch wenn die Überwachung von Schutzklasse-II-Installationen auf den ersten Blick ungewöhnlich scheint, so macht dennoch die Isolationsüberwachung in Bezug auf Betriebssicherheit der Anlage Sinn.

Anforderungen an Wechselrichter

Die Anforderungen an die Wechselrichter definiert der Normentwurf E DIN EN 62109-2 (VDE 0126-14-2). Hierbei handelt es sich um eine Produktnorm, d.h. es sind die Anforderungen festgelegt, die ein Produkt erfüllen muss, um dessen Gebrauchstauglichkeit sicherzustellen.

Im Gegensatz dazu sind die Normen der Reihe DIN VDE 0100 sogenannte Errichtungsbestimmungen, die definieren, wie die (PV-)Anlage errichtet werden muss. Für PV-Anlagen überschneiden sich diese Anforderungen der Produktnormen insofern, dass Schutzmaßnahmen, die für die Installation von Bedeutung sein können, bereits im Wechselrichter integriert sein können und dadurch auch in der Produktnorm des Wechselrichters beschrieben werden.

Umgekehrt bedeutet das aber auch, dass die im Wechselrichter integrierten Schutzmaßnahmen unter Umständen den Anforderungen der Errichtungs-

bestimmungen entsprechen müssen. Insofern ist also der Errichter der PV-Anlage in der Verantwortung, dass Schutzmaßnahme bzw. Netzform koordiniert und normgerecht ausgeführt werden.

Grundsätzlich unterscheiden sich die Wechselrichter durch Ausführungen mit und ohne Transformator. Dies spielt für die Auswahl der Schutzmaßnahme eine wichtige Rolle, denn Wechselrichter mit Transformator bewirken eine galvanische Trennung zwischen der DC- und AC-Seite und damit zwischen PV-Generator und Netzeinspeisung.

Der Transformator kann auch außerhalb des Wechselrichters angeordnet

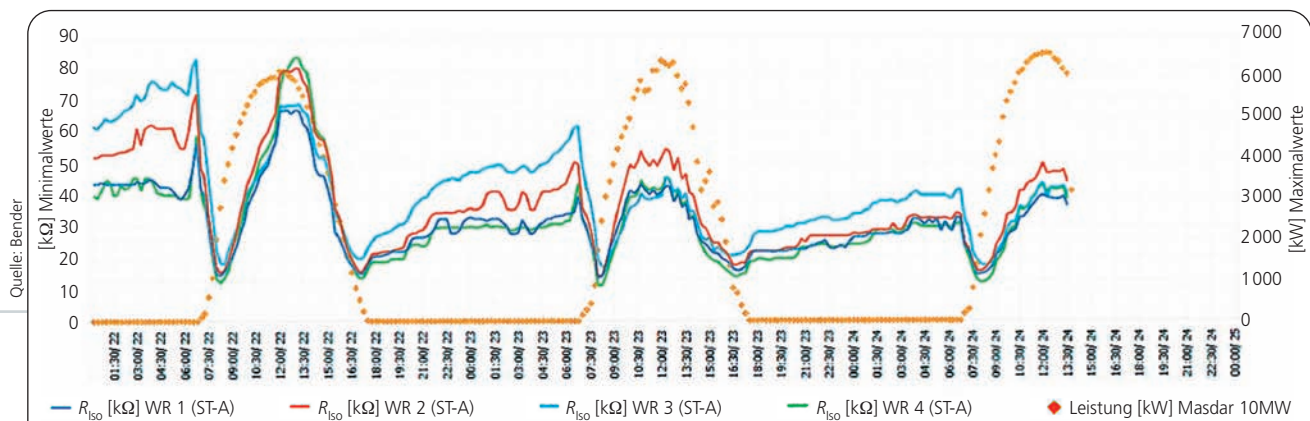
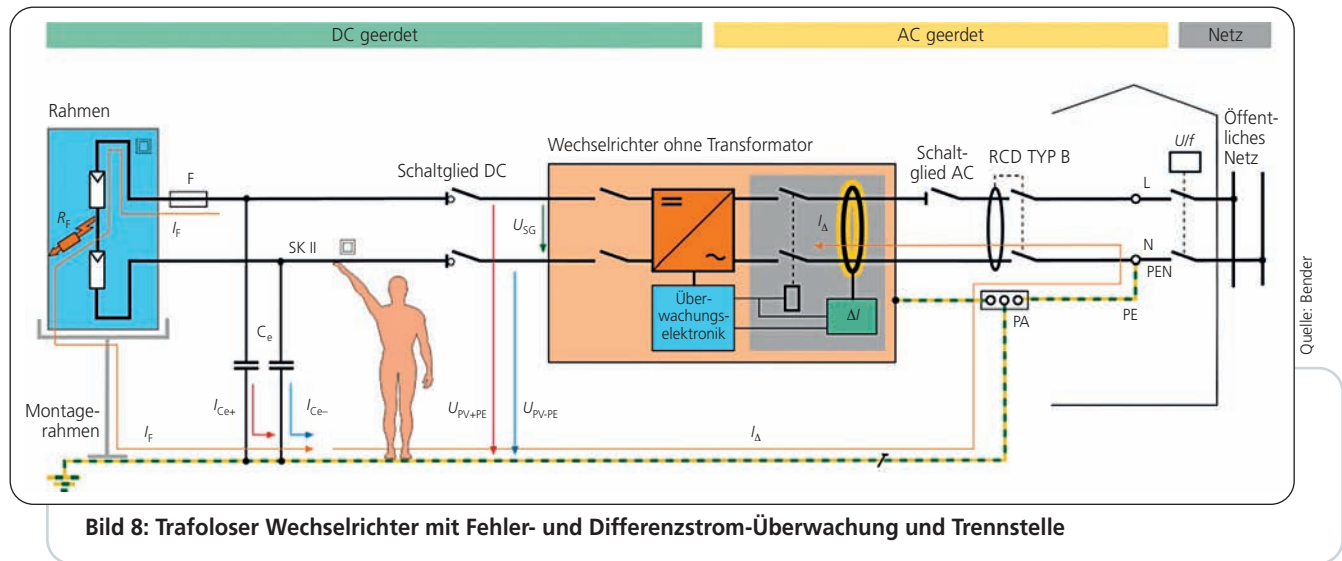


Bild 7: Beispielhafter Verlauf des Isolationswiderstandes einer PV-Großanlage (WR = Wechselrichter)



sein, wie dies zum Beispiel bei PV-Kraftwerken der Fall ist, wo der Transformator in ein Mittelspannungsnetz einspeist.

Wechselrichter mit Transformator

Wenn die PV-Seite ungeerdet betrieben wird, empfiehlt es sich, diese Seite als IT-System mit Isolationsüberwachung auszuführen. Entsprechend fordert DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410) den Einsatz eines Isolationsüberwachungsgeräts (**Bild 3**). Der entscheidende Vorteil durch das IT-System: Ein erster Isolationsfehler führt nicht zur Betriebsunterbrechung, sondern lediglich zur Meldung, und es kann weiter Strom produziert werden (**Bild 4**).

Damit erhält der Betreiber den notwendigen Informationsvorsprung, um den Fehler zu einem passenden Zeitpunkt zu lokalisieren bzw. zu beseitigen. In dem weitläufigen Areal eines PV-Kraftwerkes kann die Fehlerortlokalisierung natürlich sehr zeit- und kostenaufwendig werden (**Bild 5**). Aus diesem Grund empfiehlt z.B. die französische Norm ab einer Kraftwerksleistung von 100kWp den Einsatz einer Einrichtung zur Isolationsfehlersuche (**Bild 6**).

Bei den heute üblichen Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche erfolgt die Fehlerortlokalisierung automatisch unter Spannung, d.h. im Betriebszustand, damit es im PV-Kraftwerk zu keiner Betriebsunterbrechung kommt. Die Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche müssen DIN EN 61557-9 (VDE 0413-9) entsprechen.

Isolationsüberwachung im Betrieb

Im Gegensatz zur kurzzeitigen Messung des Isolationswiderstandes vor Aufschalten überwacht das Isolationsüberwachungsgerät den Isolationswiderstand dauernd. DIN VDE 0100-600 (VDE 0100-600) »Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 6: Prüfungen« enthält eine Empfehlung zum notwendigen Ansprechwert von 100Ω/V.

DIN VDE 0105-100 (VDE 0105-100) empfiehlt für IT-Systeme im Betrieb einen Isolationswiderstand von mind. 50Ω/V. Bei einer Systemspannung von 700V bedeutet dies einen Ansprech-

wert von mind. 35kΩ bzw. 70kΩ. Welcher Isolationswiderstand der geeignete ist, hängt letztlich von der Anlage selbst ab.

In der Praxis hat sich z.B. gezeigt, dass der Isolationswiderstand gerade in den Morgenstunden gewissen Schwankungen unterworfen ist. Dies liegt u.a. an der Btauung und an den Eigenschaften der PV-Module. **Bild 7** zeigt den üblichen Verlauf des Isolationswiderstandes einer PV-Großanlage. Als Richtlinie kann hier auch E DIN EN 62109-2 (VDE 0126-14-2) »Sicherheit von Leistungsumrichtern zur Anwendung in photovoltaischen Energiesystemen – Teil 2: Besondere Anforderungen an Wech-

MEHR INFOS

Errichtungsbestimmungen und Produktnormen

PV-Module

- DIN EN 61215 (VDE 0126-31):2006-02: Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik-(PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung
- DIN EN 61646 (VDE 0126-32):2009-03: Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik-(PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung
- DIN EN 61730-1 (VDE 0126-30-1):2007-10: Photovoltaik-(PV)-Module – Sicherheitsqualifikation – Teil 1: Anforderungen an den Aufbau

Wechselrichter

- E DIN EN 62109-2 (VDE 0126-14-2):2010-01: Sicherheit von Leistungsumrichtern zur Anwendung in photovoltaischen Energiesystemen – Teil 2: Besondere Anforderungen an Wechselrichter (Entwurf)

Schnittstelle zum öffentlichen Netz

- DIN V VDE V 0126-1-1 (VDE V 0126-1-1):2006-02: Selbsttätige Schaltstelle zwischen einer netzparallelen Eigenerzeugungsanlage und dem öffentlichen Niederspannungsnetz

Errichtung

- DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06: Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag
- DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712):2006-06: Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Solar-Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme
- E DIN IEC 62548 (VDE 0126-42):2010-07: Installation und Sicherheitsanforderungen für photovoltaische Generatoren (IEC 82/592/CD:2009)

selrichter« dienen. Sie empfiehlt einen Grenzwert für den Isolationswiderstand bei PV-Anlagen $\geq 30\text{kVA}$. Der Isolationswiderstand berechnet sich zu:

$$R_{\text{iso}} [\text{k}\Omega] = 5000\text{V} \cdot U_{\text{max, PV}} [\text{V}] / S_{\text{max}} [\text{kW}]$$

Als Beispiel ergibt sich bei einer Anlage mit $U_{\text{max}} = 700\text{V}$ und $S_{\text{max}} = 600\text{kWp}$ der Isolationswiderstand zu:

$$R_{\text{iso}} = 5000\text{V} \cdot 700\text{V} / 600\text{kWp} = 5,8\text{k}\Omega$$

Isolationsüberwachungsgeräte müssen den Anforderungen von DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8) entsprechen. Diese fordert ein aktives Messverfahren. So genannte Erdschlussüberwachungsrelais, die als alleiniges Messkriterium die bei Auftreten eines Erdschlusses entstehende Unsymmetriespannung (Verlagerungsspannung) nutzen, sind im Sinne dieser Norm als Isolationsüberwachungsgerät nicht zulässig. Denn sie erkennen keine symmetrischen Isolationsfehler.

Bei der Auswahl eines adäquaten Isolationsüberwachungsgeräts ist zu beachten, dass in großen PV-Kraftwerken hohe Netzableitkapazitäten C_e auftreten können, die im Wesentlichen abhängen von der Generatorfläche, der Witterung und dem PV-Modul-Typ. In der Praxis ist hier mit Werten bis zu 1000mF und mehr zu rechnen. Moderne Isolationsüberwachungsgeräte nach DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8) können die Beeinflussung der Isolationsmessung durch Netzableitkapazitäten eliminieren und ein präzises Messergebnis liefern.

Wechselrichter ohne Transformator

Trafolose Wechselrichter haben keine einfache Trennung zwischen dem PV-Modul und dem ein-

ABSCHALTZEITEN

Effektivwert des Fehlerstroms [mA]	Abschaltzeit [s]
30	0,3
60	0,15
150	0,04

Tabelle 1: Maximal zulässige Abschaltzeiten

speisenden Netz. Deswegen sind sie auch in dieses Erdungssystem eingebunden. Nach DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712) ist an der Ausgangsseite des Wechselrichters eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) Typ B erforderlich (siehe 712.413.1.1.2). Auf die Ausführung als Typ B darf man nur verzichten, wenn sichergestellt ist, dass Gleichfehlerströme in der elektrischen Anlage nicht auftreten können.

Des Weiteren weist DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712) darauf hin, dass eine selbsttätige Schaltstelle für PV-Anlagen zu verwenden ist, um die Inselnetzbildung bei Umrichtern zu verhindern. Dies bedeutet, dass bei einer Anlage im Parallelbetrieb mit dem öffentlichen Niederspannungsnetz, im Falle fehlender Netzspannung die Einspeisung verhindert wird. Bei trafolosen Wechselrichtern ist eine kontinuierliche Messung des Isolationswiderstandes während des Betriebs nicht möglich, deshalb führt man vor Aufschaltung eine kurzzeitige Isolationsmessung durch (Bild 8).

DIN V VDE V 0126-1-1 (VDE V 0126-1-1) fordert, dass Wechselrichter ohne einfache Trennung zwischen PV-Generator und Netz eine Fehlerstrom-Überwachungseinheit (RCMU – residual current monitoring unit, Bild 9)

enthalten müssen.

Im Fehlerfall hängen Gleich- und Wechselanteil des Fehlerstroms von der Bauart des Wechselrichters und der Gleichspannung des PV-Generators ab. Bei Schaltstellen ohne integrierte Fehlerstrom-Überwachungseinheit (RCMU) ist ein externer Fehlerstromschutz erforderlich.

Der generatorseitige Isolationswiderstand vor der Netzaufschaltung muss $\geq 1\text{k}\Omega/\text{V}$ bezogen auf die maximale Wechselrichtereingangsspannung, aber mindestens $500\text{k}\Omega$ betragen. Ableitströme $> 300\text{mA}$ müssen innerhalb von $0,3\text{s}$ zur Abschaltung führen. Unabhängig von der Bemessungsleistung des Wechselrichters müssen plötzlich auftretende Fehlerströme nach Tabelle 1 zur Abschaltung führen.

Es ist zu beachten, dass sich der eigentliche Differenzstrom I_{Δ} aus dem kapazitiven Ableitstrom I_{ce} und dem eigentlichen Fehlerstrom I_f zusammensetzt. In der Praxis heißt das, dass die Netzableitkapazität C_e der Anlage zu beachten ist. Die Netzableitkapazität C_e hängt ab von der Generatorfläche, von der Witterung und vom PV-Modul-Typ. Typische Werte für die Netzableitkapazität C_e sind hier z. B. 1nF pro kWp (rahmenloses Glas-Glas-Modul) bzw. $1\mu\text{F}$ pro kWp (Modul mit metallisierter Rückseite, Dünnschicht).

Schaltstelle zum Netz

Nach DIN V VDE V 0126-1-1 (VDE V 0126-1-1) ist zwischen einer netzparallelen Eigenerzeugungsanlage und dem öffentlichen Niederspannungsnetz eine selbsttätige Schaltstelle erforderlich. An der Trennstelle zum öffentlichen Netz müssen entsprechend der »Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz« für Anlagen $\geq 30\text{kW}$ die in Tabelle 2 angeführten Parameter überwacht werden bzw. bei Unter- oder Überschreitung zur automatischen Trennung vom Netz führen.

Literatur

- [1] DIN EN 61215 (VDE 0126-31):2006-02: Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik-(PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung (IEC 61215:2005); Deutsche Fassung EN 61215:2005
- [2] DIN EN 61646 (VDE 0126-32):2009-03: Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik-(PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung (IEC 61646:2008); Deutsche Fassung EN 61646:2008

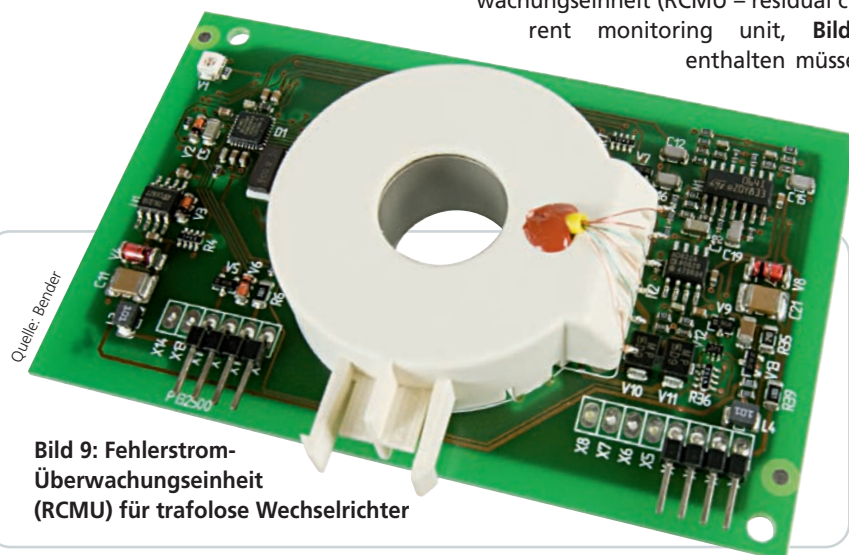


Bild 9: Fehlerstrom-Überwachungseinheit (RCMU) für trafolose Wechselrichter

ANLAGEN $\geq 30 \text{ kW}$

Parameter	erlaubte Werte
Spannungsrückgangsschutz (gemessen Außenleiter gegen Neutralleiter)	$\leq 0,80 \cdot U_n$
Spannungssteigerungsschutz (gemessen Außenleiter gegen Neutralleiter)	$\geq 1,15 \cdot U_n$
Frequenzrückgangsschutz	$< 47,5 \text{ Hz}$
Frequenzsteigerungsschutz	$> 50,2 \text{ Hz}$

Tabelle 2: Permanent zu überwachende Werte

- [3] DIN EN 61730-1 (VDE 0126-30-1):2007-10: Photovoltaik(PV)-Module – Sicherheitsqualifikation – Teil 1: Anforderungen an den Aufbau (IEC 61730-1:2004, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61730-1:2007
- [4] E DIN EN 62109-2 (VDE 0126-14-2):2010-01: Sicherheit von Leistungsumrichtern zur Anwendung in photovoltaischen Energiesystemen – Teil 2: Besondere Anforderungen an Wechselrichter (IEC 82/579/CDV:2009); Deutsche Fassung FprEN 62109-2:2009
- [5] DIN V VDE V 0126-1-1 (VDE V 0126-1-1):2006-02: Selbsttätige Schaltstelle zwischen einer netzparallelen Eigenerzeugungsanlage und dem öffentlichen Niederspannungsnetz
- [6] DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06: Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag (IEC 60364-4-41:2005, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-4-41:2007
- [7] DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712):2006-06: Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Solar-Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme (IEC 60364-7-712:2002, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-7-712:2005 + Corrigendum:2006
- [8] DIN VDE 0100-600 (VDE 0100-600):2008-06: Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 6: Prüfungen (IEC 60364-6:2006, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-6:2007
- [9] DIN VDE 0105-100 (VDE 0105-100):2009-10: Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 100: Allgemeine Festlegungen
- [10] DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8):2007-12: Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1000V und DC 1500V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen – Teil 8: Isolationsüberwachungsgeräte für IT-Systeme (IEC 61557-8:2007 + Corrigendum 2007-05); Deutsche Fassung EN 61557-8:2007
- [11] DIN EN 61557-9 (VDE 0413-9):2009-11: Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1000V und DC 1500V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen – Teil 9: Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in IT-Systemen (IEC 61557-9:2009); Deutsche Fassung EN 61557-9:2009
- [12] E DIN IEC 62548 (VDE 0126-42):2010-07 (Entwurf): Installation und Sicherheitsanforderungen für photovoltaische Generatoren (IEC 82/592/CD:2009)
- [13] UL 1741:2010-01-28: Inverters, converters, controllers and interconnection system equipment for use with distributed energy resources
- [14] UTE C 15-712-1:2010-07: Guide Pratique: Installations photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution – Installation électrique à basse tension(Photovoltaic installations connected to the public distribution network) (www.ute-fr.com)
- [15] Häring, Adrian: Sicherheit bei PV-Anlagen durch Erdung – trotz Erdung? Vortrag 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein. Dipl.-Ing. Adrian Häring, SMA, Kassel
- [16] Technische Information: Isolationswiderstand (Riso) von nicht galvanisch getrennten PV-Anlagen, SMA Kassel, Dokumentennummer: Riso-UDE093310, www.sma.de, Download-pdf
- [17] Technische Information: Kapazitive Ableitströme, SMA Kassel, Dokumentennummer: Ableitstrom-UDE092510, Versionsnummer: 1.0, www.sma.de, Download-pdf
- [18] Wolfgang Hofheinz: Schutztechnik mit Isolationsüberwachung, VDE-Schriftenreihe 114, 2. Auflage 2007, VDE-Verlag GmbH, Berlin – Offenbach

Dipl.-Ing. Wolfgang Hofheinz, CTO,
Dipl.-Ing. Harald Sellner,
Techn. Marketing, beide
Dipl.-Ing. W. Bender GmbH & Co. KG,
Grünberg (www.bender-regenerative.de)