

# Prüfung von Photovoltaikanlagen

nach BetrSichV, DGUV Vorschrift 3, DIN VDE 0126-23  
DIN VDE 0100-712, DIN VDE 0100-600, DIN VDE 0105-100, DIN VDE 0701-0702

---

<b>1 Rechtsgrundlagen .....</b>	1
1.1 Verantwortung und Pflichten des Betreibers elektrischer Anlagen und Betriebsmittel .....	1
1.2 Anforderungen nach Energiewirtschaftsgesetz (EnWG).....	14
<b>2 Netze (Niederspannung &lt; 1kV) .....</b>	1
2.1 Kennzeichnung der Netze.....	1
2.2 TN-Netzsystem.....	2
2.3 TT-Netzsystem .....	4
2.4 IT-Netzsystem .....	4
2.5 Symptome in den Netzen.....	7
2.5.1 Vagabundierende Betriebsströme.....	8
2.5.1.1 Erläuterungen zu vagabundierenden Betriebsströmen.....	8
2.5.2 PEN-/Neutralleiterbelastung .....	10
<b>3 Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag.....</b>	1
3.1 Allgemeines .....	1
3.2 Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag nach DIN VDE 0100-410 .....	7
3.3 Berührungsspannung in fehlerbehafteten Netzen.....	43
<b>4 Technik der PV-Anlagen .....</b>	1
4.1 Begriffe und Grundgrößen der Photovoltaik.....	1
4.2 PV-Generatoren .....	3
4.3 PV-Wechselrichter.....	18
4.4 Selbsttätige Schaltstelle in einer PV-Anlage (VDE V 0126-1-1) .....	19
4.5 Netz- und Anlagenschutz (NA-Schutz) gemäß VDE-AR-N 4105.....	24
4.6 Gestaltung der DC-Seite (PV-Anlage) nach VDE-AR-E 2100-712 .....	38
4.7 Trenneinrichtungen.....	41
<b>5 Errichten von PV-Anlagen nach DIN VDE 0100-712.....</b>	1
5.1 Anwendungsbereich und Begriffe .....	1
5.2 Schutzmaßnahmen .....	3
5.3 Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel .....	6
5.4 Funktionserdung auf der DC-Seite .....	9
5.5 Blitz- und Überspannungsschutz nach VDE 0185-305-3, Bbl. 5 .....	13
<b>6 Prüfen von Photovoltaik-Anlagen.....</b>	1
6.1 Prüfung von PV-Anlagen nach technischen Regeln .....	1
6.2 Prüfung netzgekoppelter PV-Systeme .....	4
6.3 Systemleistung des PV-Generators .....	14
6.4 Prüfen des PV-Wechselrichters .....	19
6.5 Prüfbericht nach DIN VDE 0126-23 .....	28

<b>7 Prüfungen elektrischer Anlagen nach DIN VDE 0100-600 und DIN VDE 0105-100 .....</b>	<b>1</b>
7.1 Zweck und Umfang elektrischer Anlagenprüfungen .....	1
7.2 Prüfschritte .....	3
7.3 Besichtigen .....	3
7.4 Überstromschutzorgane .....	6
7.5 Kabel und Leitungen.....	15
7.6 Auswahl von Schalt- und Steuergeräten (Schutzeinrichtungen).....	46
7.7 Schutzzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene .....	47
7.8 Potentialausgleich und Erdungsanlagen .....	48
7.9 Unfallverhütung und Brandschutz .....	48
7.10 Elektrothermografie .....	48
7.11 Prüfungen durch Erproben und Messen .....	53
7.12 Technische Unterlagen und Kennzeichnungen .....	56

## **8 Messungen an elektrischen Anlagen, Geräten u. elektrischen Ausrüstungen von Maschinen .1**

8.1 Schutzleiterwiderstand .....	1
8.2 Schleifenimpedanz .....	12
8.3 Messverfahren für das Isoliervermögen .....	17
8.4 Prüfung des Isolationswiderstandes.....	21
8.5 Ersatzableitstrommessverfahren.....	36
8.6 Ableitstrommessverfahren.....	37
8.7 Ableit- und Fehlerstrommessung bei Drehstromverbrauchern .....	46
8.8 Schutz durch sichere Trennung (Schutztrennung, Kleinspannung SELV/PELV) .....	48
8.9 Prüfung bei Verwendung von RCD-Schutzeinrichtungen .....	50
8.10 Spannungspolarität und Phasenfolge der Außenleiter.....	56
8.11 Spannungsfall.....	57
8.12 Erdungswiderstand.....	59

## 6 Prüfen von Photovoltaik-Anlagen

### 6.1 Prüfung von PV-Anlagen nach technischen Regeln

Eine Photovoltaikanlage (PV-Anlage), ist eine Solarstromanlage, in der mittels Solarzellen ein Teil der Sonnenstrahlung in elektrische Energie umgewandelt wird. Eine größere Solarstromanlage ist ein Solarkraftwerk. Die dabei typische direkte Art der Energiewandlung bezeichnet man als Photovoltaik. Die Leistung von üblichen Photovoltaikanlagen reicht von niedrigen einstelligen Kilowatt-Bereich, wie er für Hausdachanlagen üblich ist, bis hin zu einigen MW für gewerbliche Dachanlagen, während Freiflächensolaranlagen üblicherweise im MW-Bereich angesiedelt sind.

Die PV-Anlage ist eine elektrische Anlage und demnach im Gültigkeitsbereich der DIN VDE 0100 und der DGUV Vorschrift 3. Ebenfalls ist die PV-Anlage ein Arbeitsmittel im Sinne der BetrSichV. Die elektrotechnischen Teile einer PV-Anlage sind elektrische Betriebsmittel und somit nach den allgemein gültigen Regeln der Technik zu betreiben, zu warten und zu prüfen.

Die elektrische Anlage ist nach der DIN VDE 0100-600 zu prüfen. Die elektrischen Betriebsmittel sind nach der DIN VDE 0701-0702 zu prüfen. Die mit der Prüfung befasste Elektrofachkraft muss befähigt sein, um die Entscheidung zu treffen, welche der allgemein gültigen Regeln der Technik zur Prüfung anzuwenden ist.

In der DIN VDE 0126-23 wird auf die Errichtung und Komponentenauswahl nach VDE 0100-712 sowie die Prüfung nach DIN VDE 0100-600 und DIN VDE 0105-100 verwiesen.

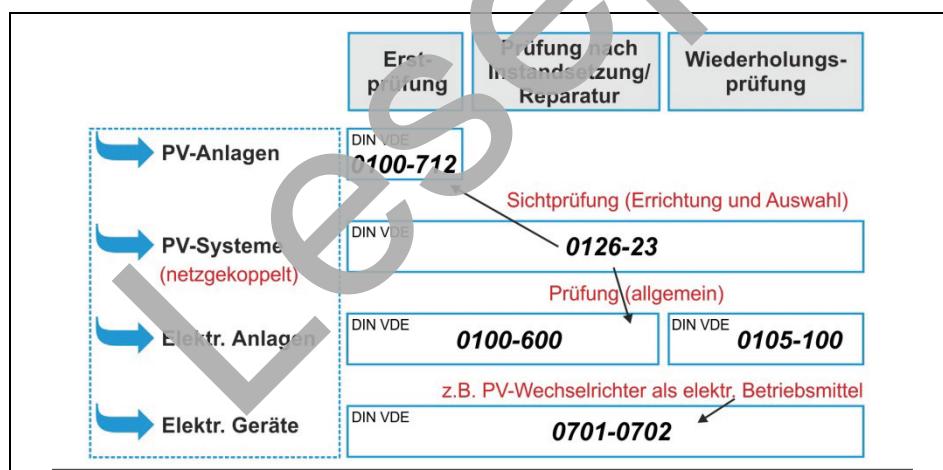


Bild 1: Prüfen von PV-Anlagen nach DIN VDE-Regeln

Netzgekoppelte PV-Systeme, die im Mittelpunkt dieser Ausführungen stehen, werden nach der DIN VDE 0126-23 errichtet und geprüft. Im Wesentlichen werden

- die Anforderungen an die Systemdokumentation  
(Mindestanforderungen, welche Informationen, Protokolle, Datenblätter die Dokumentation enthalten muss, die dem Kunden nach der Installation eines netzgekoppelten PV-Systems übergeben wird)
- und

## Prüfumfang

Der Basis-, Fehler- und, sofern möglich, der zusätzliche Schutz sind bei PV-Anlagen zu prüfen, messtechnisch und/oder rechnerisch nachzuweisen. Dies schließt alle elektrotechnischen Teile einer PV-Anlage ein: die Installationsanlage der AC-Seite, den PV-Wechselrichter und die Installationsanlage der DC-Seite mit dem PV-Generator.



Bild 2: Schutz gegen elektrischen Schlag bei PV-Anlagen

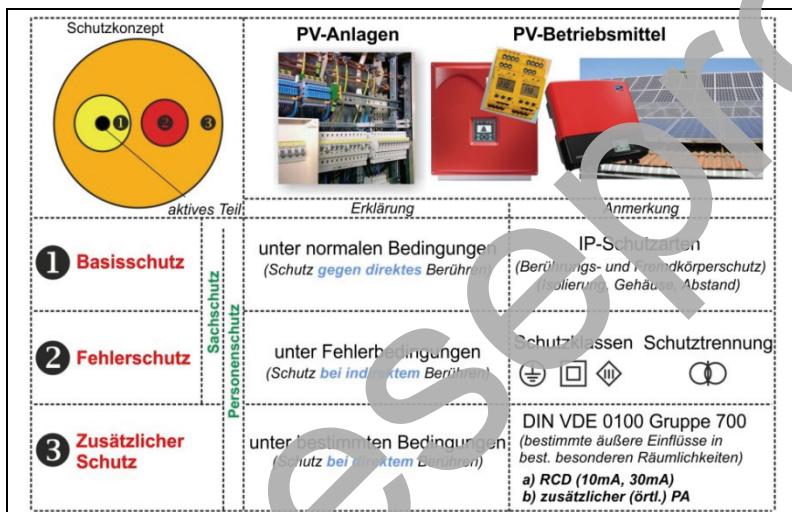


Bild 3: Schutz gegen elektrischen Schlag bei PV-Anlagen/Betriebsmitteln

## Prüfablauf

- Prüfen durch Besichtigen:** Sichtprüfung des Anlageninstallations- und Gerätezustand, einschließlich der Vollständigkeit, Aktualität und Plausibilität der technischen Dokumentation, der Prüf- und Messprotokolle sowie der Aufzeichnungen zu dem Betriebsverhalten der Anlage.
- Prüfen durch Erproben und Messen:** Erproben und Messen der PV-Anlage zur Beurteilung des Fehler- und zusätzlichen Schutzes (Schutzmaßnahmen, Abschaltbedingungen und Dimensionierung). Eine messtechnische und thermografische Analyse der elektrotechnischen Anlage und Betriebsmittel unter Lastbedingungen ist durchzuführen. Dies ermöglicht die frühzeitige Erkennung kritischer Befunde und lässt eine Beurteilung des Anlagen- und Gerätezustand zu.
- Dokumentation:** Kritische Befunde sind nachvollziehbar zu dokumentieren und zu kommentieren. Die messtechnisch erfassten Werte sind zu verifizieren – fachkundig zu bewerten – und in einem Prüfprotokoll quantitativ festzuhalten.

Das Besichtigen des DC-Installationssystems muss den folgenden Nachweis erbringen:

- das DC-Installationssystems ist im sowohl nach den Anforderungen der DIN VDE 0100-600 und als auch nach den Anforderungen in DIN VDE 0100-712 ausgelegt, ausgewählt und errichtet worden.
- alle DC-Komponenten sind für den Gleichstrombetrieb und der höchstmöglichen Spannung des DC-Systems sowie für den höchstmöglichen Bemessungsstrom ausgelegt ( $U_{oc\ stc}$ , passend für den örtlichen Temperaturbereich und den Modultyp; Strom bei  $1,25 \times I_{sc\ stc}$  nach DIN VDE 0100-712)
- Errichtung der PV Anlage in Schutzklasse II oder einer gleichwertigen Isolation auf der DC-Seite t
- PV-Strangkabel, PV-Generator-Kabel und PV-Gleichstromhauptkabel sind so ausgewählt und errichtet worden, dass das Risiko von Erdschlüssen und Kurzschläßen auf ein Minimum verringert ist (DIN VDE 0100-712). Dies wird üblicherweise mit der Anwendung von Kabeln mit Schutzisolierung/verstärkter Isolierung erreicht.
- das Verkabelungssystem ist so ausgewählt und errichtet, dass es den erwarteten äußeren Umgebungseinflüssen (Wind, Eisbildung, Temperatur und Sonnenstrahlung) standhält (DIN VDE 0100-712)
- die Systeme ohne Strang-Überstrom-Schutzeinrichtungen so bemessen sind, dass die Bemessung des Modulrückstroms  $I_r$  größer ist als der mögliche Rückstrom und die Strangkabel so ausgelegt sind, dass sie den höchsten zusammengefassten Fehlerstrom von Parallelsträngen aufnehmen können (DIN VDE 0100-712)
- die Systeme mit Strang-Überstrom-Schutzeinrichtungen so aufgebaut sind, dass die Strang-Überstromschutzeinrichtungen korrekt eingebaut und nach den örtlichen technischen Anschlussbedingungen oder nach den Herstelleranweisungen zum Schutz von PV-Modulen nach der Anmerkung von DIN VDE 0100-712 festgelegt sind
- dass ein DC-Lasttrennschalter auf der Gleichstromseite des Wechselrichters eingebaut ist (DIN VDE 0100-712)
- wenn Sperrdioden eingebaut sind, ob deren Rückspannung mindestens  $2 \times U_{oc\ stc}$  des PV-Strangs beträgt, in den sie eingebaut sind (DIN VDE 0100-712)
- wenn ein Gleichstromleiter geerdet ist, ob mindestens eine einfache Trennung zwischen Wechselstrom- und Gleichstromseite besteht und die Erdanschlüsse korrosionsgeschützt sind (DIN VDE 0100-712).

Das Besichtigen des DC-Systems erfordert Kenntnisse über die höchste Systemspannung ( $U_{max}$ ) und den höchsten Systemstrom ( $I_{max}$ )

- die maximale Systemspannung ist eine Funktion der Strang-/ PV-Generator-Konstruktion, der Leeraufspannung ( $U_{oc}$ ) der Module und einem Faktor, mit dem Temperatur- und Bestrahlungsstarkeschwankungen berücksichtigt werden.
- der maximale Bemessungsstrom ist eine Funktion der Strang-/PV-Generator-Konstruktion, des Kurzschlussstromes ( $I_{sc}$ ) der Module und einem Faktor, mit dem Temperatur- und Bestrahlungsstarkeschwankungen berücksichtigt werden (DIN VDE 0100-712).

Ist vom Hersteller kein Modul-Rückstromwert  $I_r$  angegeben, sollte dieser als 1,35-facher Überstromschutz-Bemessungswert angenommen werden. Als Modul-Überstromschutz-Bemessungswert sollte der vom Hersteller nach den Anforderungen von IEC 61730-1 angegebene Wert übernommen werden

### b) Besichtigen des Schutzes gegen Überspannung und elektrischen Schlag

Das Besichtigen des PV-Systems muss den folgenden Nachweis erbringen:

- sofern eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) im Wechselstromkreis installiert ist, muss diese vom Typ B sein und es sich um einen PV-Wechselrichter ohne einfache Trennung zwischen der AC-Seite und der DC-Seite nach IEC 60755 handelt (DIN VDE 0100-712) handeln

- alle Stromkreise, Schutzeinrichtungen, Schalter und Anschlussklemmen sind beschriftet.
- alle Aufschriften und Kennzeichnungen sind dauerhaft und geeignet befestigt.
- alle DC-Anschlusskästen (Teilgenerator, Generator) enthalten einen Warnhinweis, dass die im Anschlusskasten befindlichen aktiven Teile von einem PV-Generator gespeist werden und nach der Abschaltung vom PV-Wechselrichter und von der öffentlichen Versorgung noch spannungsführend sein können.
- der AC-Haupttrennschalter ist eindeutig beschriftet.
- am Punkt der Zusammenschaltung sind Warnhinweise für die Doppelversorgung vorhanden.
- vor Ort ist ein Prinzipstromlaufplan angebracht.
- vor Ort sind die Schutzeinstellungen des Wechselrichters und Einzelheiten der Installation vorhanden.
- vor Ort sind die Verfahren für die Notabschaltung angegeben.

- Aufschriften: Stromkreise, Schutzeinrichtungen, Schalter, Anschlussklemmen
- DC-Anschlusskästen: Warnhinweis --> Spannung
- AC-Haupttrennschalter: Eindeutig gekennzeichnet ?
- Ort der Zusammenschaltung: Warnhinweis --> Doppelversorgung
- Prinzipstromlaufplan vor Ort vorhanden ?
- Schutzeinrichtungen des Wechselrichters vor Ort vorhanden ?
- Verfahren für die Notabschaltung vor Ort vorhanden ?
- Aufschriften und Kennzeichnungen dauerhaft ?

Bild 8: Mindestumfang beim Besichtigen der Aufschriften und der Kennzeichnungen nach VDE 0126-23

## 6.2.2 Prüfen durch Erproben und Messen

**Erproben & Messen: Empfohlene Reihenfolge**

a) Prüfung aller **AC-Stromkreise**  
 b) Prüfung aller **DC-Stromkreise**

b1) Durchgängigkeit der Schutz- und Potentialausgleichsleitern (sofern angebracht)  
 b2) Polaritätsprüfung  
 b3) Messung der Leerlaufspannung eines Stranges  
 b4) Messung des Kurzschlussstroms eines Stranges  
 b5) Funktionsprüfungen  
 b6) Prüfung des Isolationswiderstandes eines PV-Generators



Bild 9: Erproben und Messen nach VDE 0126-23

### a) Prüfung der AC-Stromkreise

In der VDE 0126-23 wird herausgestellt, dass die Prüfung der elektrischen Anlage nach den Anforderungen der DIN VDE 0100-600 (IEC 60364-6) durchzuführen ist. Die Messgeräte und Überwachungseinrichtungen sowie die Verfahren sind wie in allen Prüfnormen entsprechend DIN VDE 0413 (IEC 61557) auszuwählen (oder höherwertiger). Die Prüfverfahren, die in der VDE 0126-23 beschrieben werden, werden als Bezugsverfahren angegeben. Andere Verfahren werden nicht ausgeschlossen, vorausgesetzt, sie führen zu gleichwertigen oder besseren Ergebnissen.

Die folgenden Prüfungen sind (soweit zutreffend) durchzuführen und sollten vorzugsweise wie folgt nacheinander vorgenommen werden:

## b4) Messung des Stroms eines PV-Stranges

Die Messungen sollen nachweisen, dass keine Fehler in der Verdrahtung des PV-Generators vorhanden sind.

Die Messwerte sind mit den Erwartungswerten zu vergleichen. Der Vergleich mit den erwarteten Werten ist als Kontrolle der korrekten Installation zu verstehen und nicht als Bewertungsmaßstab für die Leistungsfähigkeit des Moduls oder des PV-Generators.

Es gibt zwei Prüfverfahren, die die Leistungsfähigkeit des PV-Stranges nachweisen. Sofern durchführbar, ist die Kurzschlussprüfung zu bevorzugen, da mögliche Beeinflussungen durch den Wechselrichter ausgeschlossen werden können.

### b 4.1) Messung des Kurzschlussstroms eines PV-Stranges

Das Ein-/Ausschalten von Kurzschlussströmen im PV-Strang kann gefährlich sein. Die Messwerte sind mit den Erwartungswerten zu vergleichen.

#### Stabile Bestrahlungsstärkebedingungen

Bei Systemen mit mehreren identischen PV-Strängen und bei stabilen Bestrahlungsstärkebedingungen müssen die Ströme der PV-Stränge miteinander verglichen werden. Diese Werte sollten bei stabilen Bestrahlungsstärkebedingungen üblicherweise bei  $\pm 5\%$  liegen.

#### Instabile Bestrahlungsstärkebedingungen

Bei instabilen Bestrahlungsstärkebedingungen kann wie folgt verfahren werden:

- Die Prüfungen dürfen mit mehreren Messgeräten durchgeführt werden, wobei sich ein Messgerät an einem Bezugsstrang befindet.
- Zum Einstellen der Stromwerte darf ein Skalenwert des Bestrahlungsmessgerätes verwendet werden.

Bei besonders ungünstigen Bedingungen ist die Prüfung zu einem anderen Zeitpunkt durchzuführen.

#### Kurzschluss-Prüfverfahren

Es ist sicherzustellen, dass alle PV-Stränge gegeneinander isoliert und alle Schaltgeräte und Trennvorrichtungen offen sind. In dem zu prüfenden PV-Strang ist ein zeitweiliger Kurzschluss herzustellen. Dies kann wie folgt realisiert werden:

- a) In der Schalteinrichtung für die Lastabschaltung, die im Stromkreis des Stranges installiert ist, wird zeitweilig ein Kurzschlusskabel angeschlossen.

Ein "Kurzschluss-Prüfschaltkasten" ist ein Teil einer Prüfeinrichtung, der sowohl für Kurzschlussprüfungen als auch für PV-Generator-Isolationsprüfungen eingesetzt werden kann.

- b) Anwendung eines "Kurzschluss-Prüfschaltkastens" - ein für die Lastabschaltung bemessenes Schaltgerät, das zeitweilig in einen Stromkreis eingeschleift werden kann, um einen geschalteten Kurzschluss herzustellen.

In jedem Fall müssen die Schalteinrichtung und der Kurzschlussleiter höher als der mögliche Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung bemessen sein.

Der Kurzschlussstrom kann dann entweder mit einer Strommesszange oder einem eingeschleiften Strommessgerät gemessen werden.

## Prüfverfahren zur Messung des Isolationswiderstandes

Diese Prüfung hat an jedem PV-Generator zu erfolgen. Erforderlichenfalls sind einzelne Stränge zu prüfen. Zwei Prüfverfahren sind möglich:

Prüfverfahren 1: Prüfung zwischen der negativen Elektrode des PV-Generators und Erde; danach erfolgt die Prüfung zwischen der positiven Elektrode des PV-Generators und Erde.

Prüfverfahren 2: Prüfung zwischen Erde und den miteinander kurzgeschlossenen negativen und positiven Elektroden des PV-Generators.

Die Plus- und Minus-Anschlusskabel des PV-Generators sollten mit einer Kurzschluss-Einrichtung kurzgeschlossen werden, um das Risiko von elektrischen Lichtbögen zu vermeiden. Eine derartige Einrichtung enthält einen Gleichstrom-Lasttrennschalter, der die Kurzschlussverbindung herstellen kann, nachdem die PV-Generator-Kabel sicher angeschlossen worden sind.

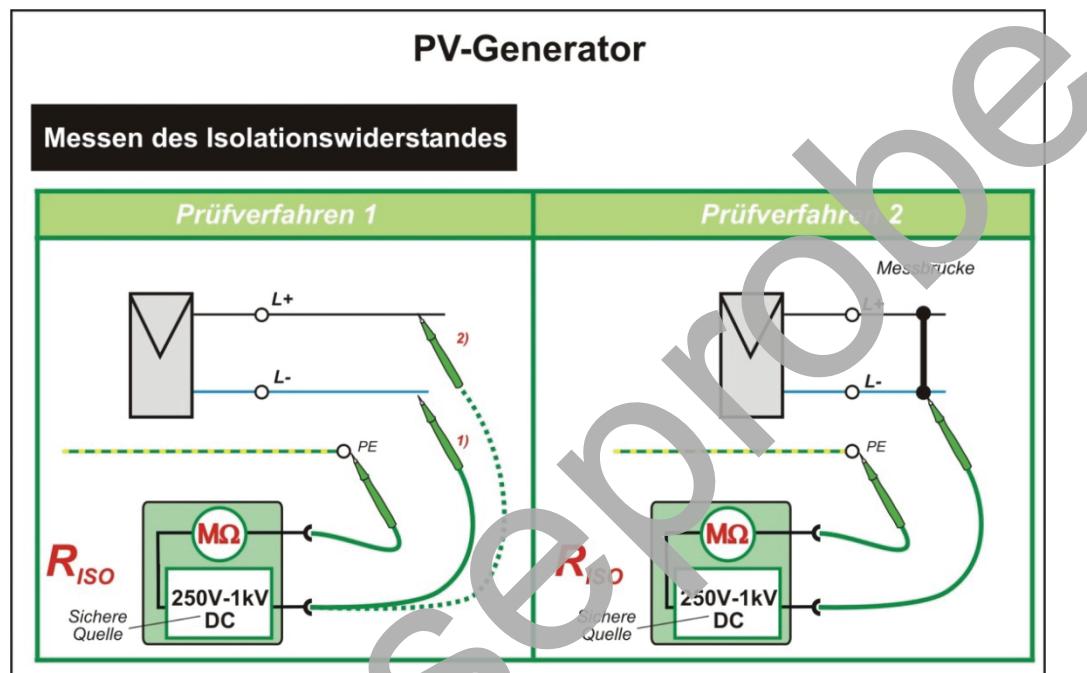


Bild 10: Messen des Isolationswiderstandes nach VDE 0126-23

Ist die Installation in Schutzklasse I ausgeführt, sind das Montagegerüst bzw. die Modulrahmen elektrisch leitend mit der Erde zu verbinden. Die Erdverbindung kann an jedem geeigneten Erdanschluss oder am Rahmen des PV-Generators erfolgen. Ein guter elektrischer Kontakt und die Durchgängigkeit über den gesamten metallischen Rahmen sind sicherzustellen.

Ist die Installation in Schutzklasse II ausgeführt, sind folgende Isolationsprüfungen möglich:

- zwischen den PV-Generator-Kabeln und Erde und einer zusätzlichen Prüfung
- zwischen den PV-Generator-Kabeln und Rahmen.

Bei PV-Generatoren, die keine berührbaren leitfähigen Teile besitzen (z.B. PV-Dachplatten), ist die Prüfung zwischen den PV-Generator-Kabeln und der Gebäudeerde durchzuführen.

## Prüfablauf

Bevor mit der Prüfung begonnen wird, ist die Trennung des PV-Generators vom Wechselrichter (üblicherweise am PV-Generator-Lasttrennschalter), und Trennung jedes Ausrüstungsteiles, welches einen Einfluss auf die Isolationsmessung haben könnte (z.B. Überspannungsschutz) vorgenommen werden.

- die Auffälligkeiten thermografieren und nicht eine Reflexion
- den Temperaturgradienten sichtbar machen – hot/cold Spot lokalisieren
- den Emissionsgrad und insbesondere die reflektierte Temperatur der Umgebung beachten
- das Thermogramm mit der Level und Span Einstellung optimieren
- die Messfleckgröße beachten – Abstand Kamera zum Messobjekt
- bei Messungen durch ein Schutzfenster zur Inspektion von Mittel- und Hochspannungsanlagen Transmissionsverluste und Strahlungskegel beachten
- eine für die Aufgabenstellung geeignete Messfunktion wählen
- das Thermogramm zur detaillierten Auswertung und Berichterstellung einfrieren
- das Thermogramm mit dem Auftraggeber vorbesprechen
- einen strukturierten Bericht mit Basis- und Auswertungsdokumentation anfertigen

In Abhängigkeit vom Modulaufbau und der Befestigungsart ist festzustellen, auf welcher Modulseite die Prüfung durchzuführen ist. Die Prüfung ist möglicherweise an mehreren Seiten der PV Anlage zu wiederholen.

### Fokus – PV-Modul

Die Modultemperatur sollte relativ gleichmäßig sein, und es sollte keine Flächen mit übermäßiger Temperaturerhöhung geben. Es ist jedoch zu erwarten, dass das Modul an den Anschlussdosen vergleichsweise heißer ist als an den übrigen Stellen, da die Wärmeübertragung an die Umgebung eingeschränkt ist. Bei PV-Modulen können an den Kanten und Geräteträgern Temperaturgefälle auftreten.

### Fokus – Bypass-Dioden

Wenn Bypass-Dioden Strom führen (eingeschaltet sind), ist der PV-Generator auf augenfällige Fehler, z.B. Schattenbildung oder Verschmutzung auf dem durch die Dioden geschützten PV-Modul zu überprüfen. Gibt es keine augenfälligen Fehler, ist von einem fehlerhaften PV-Modul auszugehen.

### Fokus – Kabelanschlüsse

Die Anschlüsse der Verbindungskabel zwischen den PV-Modulen sollten nicht wesentlich heißer sein als das Kabel selbst. Sind die Anschlüsse heißer, ist zu überprüfen, ob der Anschluss sich gelöst hat oder korrodiert ist.

Wenngleich es bei der Zustandsanalyse nur um die  $\Delta T$  Bestimmung und das Auffinden von thermischen Auffälligkeiten geht, müssen Sie die Einfluss nehmenden Faktoren erkannt und berücksichtigt werden. Dazu gehören:

- die möglichen thermischen Reflexionen
- der thermische Einfluss von Strahlungen aus der Umgebung auf das Messobjekt
- der Abstand zum Messobjekt unter Berücksichtigung der geometrischen Auflösung der verwendeten Kamera
- der Emissionsgrad der betrachteten Oberfläche

Diese thermografische Untersuchung darf als Bestandteil einer Erstprüfung oder wiederkehrenden Prüfung aufgefasst werden, um zu erwartende Mängel in einem PV-Modul, PV-Strang oder PV-Generator aufzudecken.

Leerlauf bis Kurzschluss aufgezeichnet. Daraus können dann bereits erste Anhaltspunkte für mögliche Fehler eruiert werden. Diese Messung wird pro Modul, String oder Wechselrichter durchgeführt.

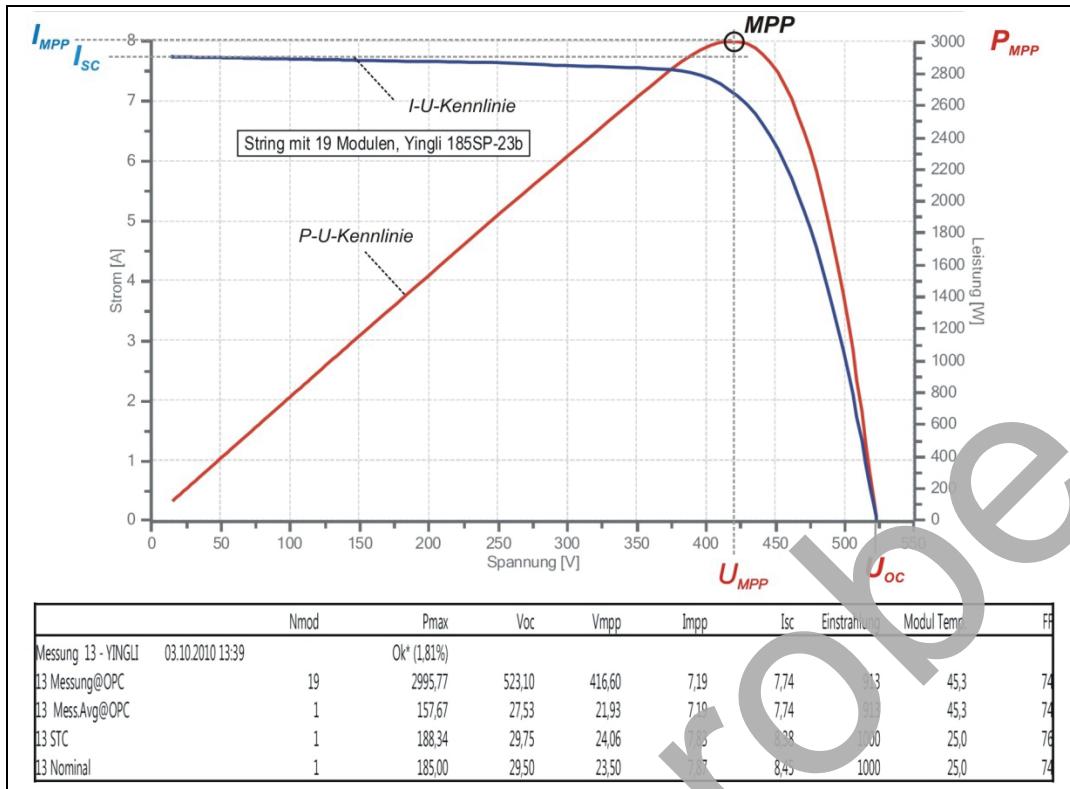


Bild 11: Beispiel für I-U-Kennlinie und P-U-Kennlinie (Strang mit 19 Modulen) mit HT 1M-400



Bild 12: Beispiel für I-U-Kennlinien eines Testmoduls (fehlerfrei)