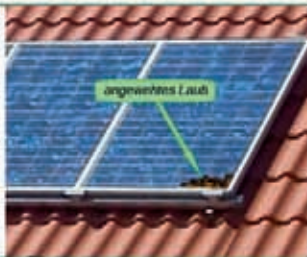
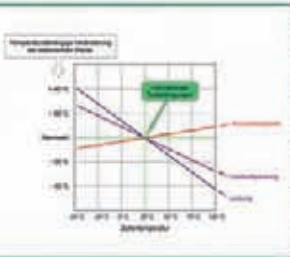


Solar-Dachanlagen Fehler finden und beheben



Störungen an Photovoltaik- und thermischen Solaranlagen beseitigen

Schwachstellen und Fehler finden und beheben

Störungen am Wechselrichter beseitigen

So erzielen Sie den vollen Ertrag
mit Ihrer Photovoltaikanlage

Defekte finden und beheben

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Vorwort | 7 |
| 1 Mangelhafte Funktionen und Defekte | 9 |
| 2 Defekte bei netzgekoppelten PV-Anlagen | 13 |
| 3 Mangelhafte Funktionen bei netzgekoppelten PV-Anlagen | 81 |
| 4 Mangelhafte Funktionen und Defekte bei autarken PV-Anlagen | 159 |
| 5 Mangelhafte Funktionen und Defekte bei solarthermischen Anlagen | 207 |
| Index | 221 |

2 Defekte bei netzgekoppelten PV-Anlagen

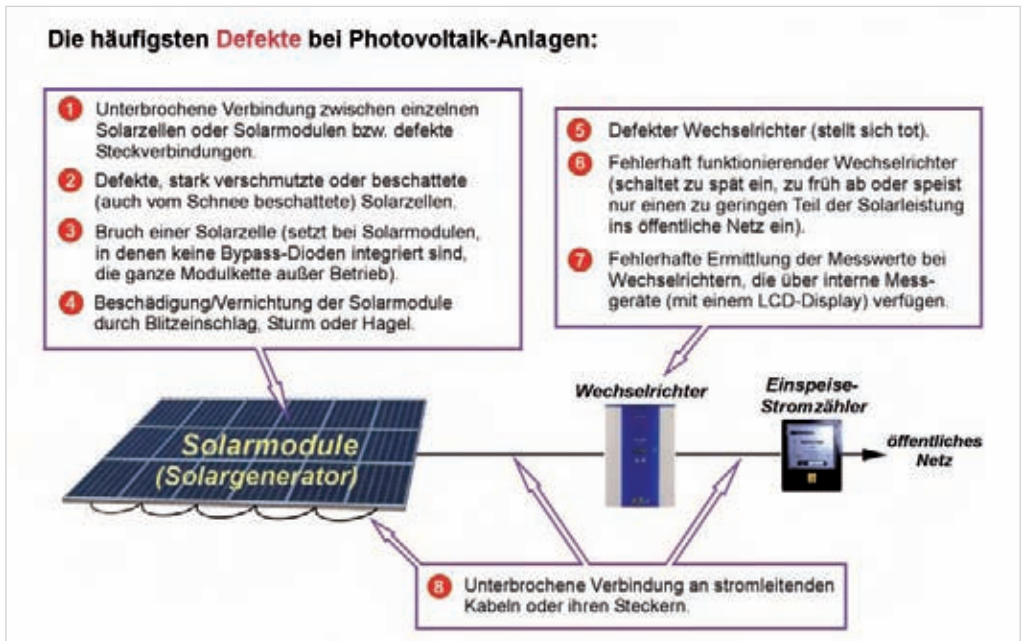


Abb. 2.1: Häufig vorkommende Defekte bei netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen

Vom technischen Standpunkt aus betrachtet gibt es zwar keine genau definierbare Schnittstelle zwischen einem Defekt und einer mangelhaften Funktion, aber aus Sicht eines Anwenders oder Anlagenbetreibers liegt der Unterschied darin, wie sich so etwas auf die Funktionsweise der Anlage auswirkt. Ein ausgesprochener Defekt macht sich immer bemerkbar und hat in den meisten Fällen entweder einen Stillstand der Anlage oder zumindest einen plötzlich auftretenden Rückgang ihrer Leistung zur Folge. Eine mangelhafte Funktion kann sich zwar auch durch einen auffallenden Rückgang der Anlagenleistung bemerkbar machen, wird aber vom Betreiber nicht immer bemerkt.

Viele der netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen funktionieren jedoch von Anfang an mangelhaft bzw. nur „relativ zufriedenstellend“, da sie nicht fachgerecht konzipiert wurden oder weil z. B. in das System mangelhafte Systembausteine (Solarmodule und Wechselrichter) ungetestet installiert wurden.

Dass ein Elektroinstallateur die ihm gelieferten Solarbausteine vor der Montage nicht testet, ist allerdings ganz normal und Tests sind bei herkömmlichen Elektroinstallationsarbeiten auch tatsächlich überflüssig. Es kommt in der täglichen Praxis nur relativ selten vor, dass z. B. ein neuer Schalter oder Leuchtkörper nicht gut funktioniert. Geschieht dies dennoch, lässt sich ein solcher Baustein bei Bedarf leicht demontieren und ersetzen.

Werden aber an fünf Dächern je 30 Solarmodule installiert und einige davon sind auf die eine oder andere Weise mangelhaft, wird es bei der Inbetriebnahme meist gar nicht entdeckt. Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass in fast allen Solarmodulen die Zellensektionen mit Bypass-Dioden überbrückt werden, die zwar als Schutz der Zellen vorteilhaft sind, aber Defekte in den Zellensektionen vertuschen. Sie überbrücken einfach die defekte Zellensektion und der ganze Solarmodulstrang funktioniert nach außen hin völlig intakt weiter. Die durch die Umleitung überbrückte Zellensektion ist dadurch allerdings für immer „aus dem Rennen“, ihre Leistung fehlt, aber der dadurch verursachte Leistungsunterschied fällt bei der wetterbedingt ständig schwankenden energetischen Ernte der ganzen Modulkette nicht auf. Der Betreiber hat in diesem Fall ein Solarmodul „überbezahlt“, weil z. B. von seinen drei Zellensektionen nur zwei arbeiten.

Gute Solarmodule werden beim Hersteller zwar sorgfältig getestet, aber selbstverständlich nur im Rahmen der Möglichkeiten. Man rüttelt sie dabei nicht so, wie es beim Transport auf einem Lkw geschieht, und sie werden beim Endtest auch nicht darauf geprüft, wie sie individuell auf interne mechanische Spannungen reagieren, denen sie bei größeren Temperaturschwankungen ausgesetzt sind. Das Gleiche trifft auch auf die Wechselrichter zu. Daher sollte grundsätzlich bei allen Bausteinen einer jeden Photovoltaik-Anlage noch vor der Montage eine Eingangskontrolle vorgenommen werden. Besondere Aufmerksamkeit verdient dabei die Überprüfung der Solarmodule, vor allem jener, die nach der Montage an einem schwer zugänglichen Standort (z. B. auf dem Dach) und auch noch durch ihre Anordnung nur sehr schwer erreichbar sind.

Ob auch die optimale Funktion des Wechselrichters noch vor der endgültigen Installation geprüft werden sollte, bleibt eine Ermessensfrage. Ein Test vor der Montage ist vor allem dann sinnvoll, wenn der Wechselrichter an einem schlecht zugänglichen Standort installiert werden soll.

Hinsichtlich einer eventuellen Wartung, Reparaturen oder auch nur Kontrollmessungen sollte jedoch der Wechselrichter nach Möglichkeit einen leicht zugänglichen und gut gelüfteten Standort erhalten. Wenn die PV-Anlage irgendwann nicht optimal funktioniert oder wenn auch nur ab und zu geprüft werden soll, ob alles in Ordnung ist, ist es von Vorteil, wenn man den Wechselrichter als das Herz der PV-Anlage jederzeit durchchecken kann. Ist der Wechselrichter am Dach installiert, erschwert das die Kontrollmessungen.

Eine gute Erreichbarkeit aller Anschlüsse, die bei einem Defekt als Messstellen benötigt werden, sollte grundsätzlich bei jeder Anlage angestrebt werden. So manches PV-System, das sich mithilfe eindrucksvoller Steckverbindungen „blitzschnell“ installieren und an den Wechselrichter anschließen lässt, kann bei einer Wartung problematisch sein, da Messungen an einzelnen Solarmodulen nur schwer durchführbar sind.

Solarmodule, die anstelle leicht zugänglicher Anschlussklemmen nur mit speziellen Steckern versehen sind, an denen mit normalen Messstiften eines normalen Multimeters gar nicht gemessen werden kann, erschweren die Kontrolle. Theoretisch ist eine Abhilfe relativ einfach: Man bastelt einen Zwischensteckeradapter, an dem die zwei elektrischen Modulanschlüsse (Ausgänge) für die Messstifte eines Multimeters oder eines anderen Messgeräts leicht erreichbar sind.

Davon, wie wartungsfreundlich eine Photovoltaik-Anlage konzipiert wurde, hängt ab, wie leicht oder schwierig sich die Suche nach einem Defekt gestaltet. Da fast jede netzgekoppelte Photovoltaik-Anlage anders ausgelegt und mit anderen Komponenten bestückt ist, müssen wir die Hinweise zur Fehlersuche und Fehlerbehebung allgemein gestalten. Die Umsetzung der Hinweise und Tipps in die Praxis wird daher in vielen Fällen etwas Flexibilität und Fantasie beanspruchen – wie jede Suche nach Defekten, die nicht durch einfaches Auswechseln eines Bauteils im Handumdrehen behoben werden können.

Sie werden in den folgenden Tabellen eine leichte und schnelle Übersicht der am häufigsten vorkommenden Defekte an netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen finden. Gehen Sie bei der Lokalisierung des Defekts systematisch vor und schließen Sie bei den ersten Schritten alle Anlagenteile aus, die mit dem Defekt eindeutig nichts zu tun haben können. Suchen Sie den Defekt erst gedanklich, dann in unserem Buch und zuletzt erst bei der Anlage selbst. Suchen Sie sich dabei aus den Grundkonzepten der PV-Anlagen in Abb. 2.2/2.3 das aus, das auf Ihr oder das von Ihnen betreute System zutrifft.

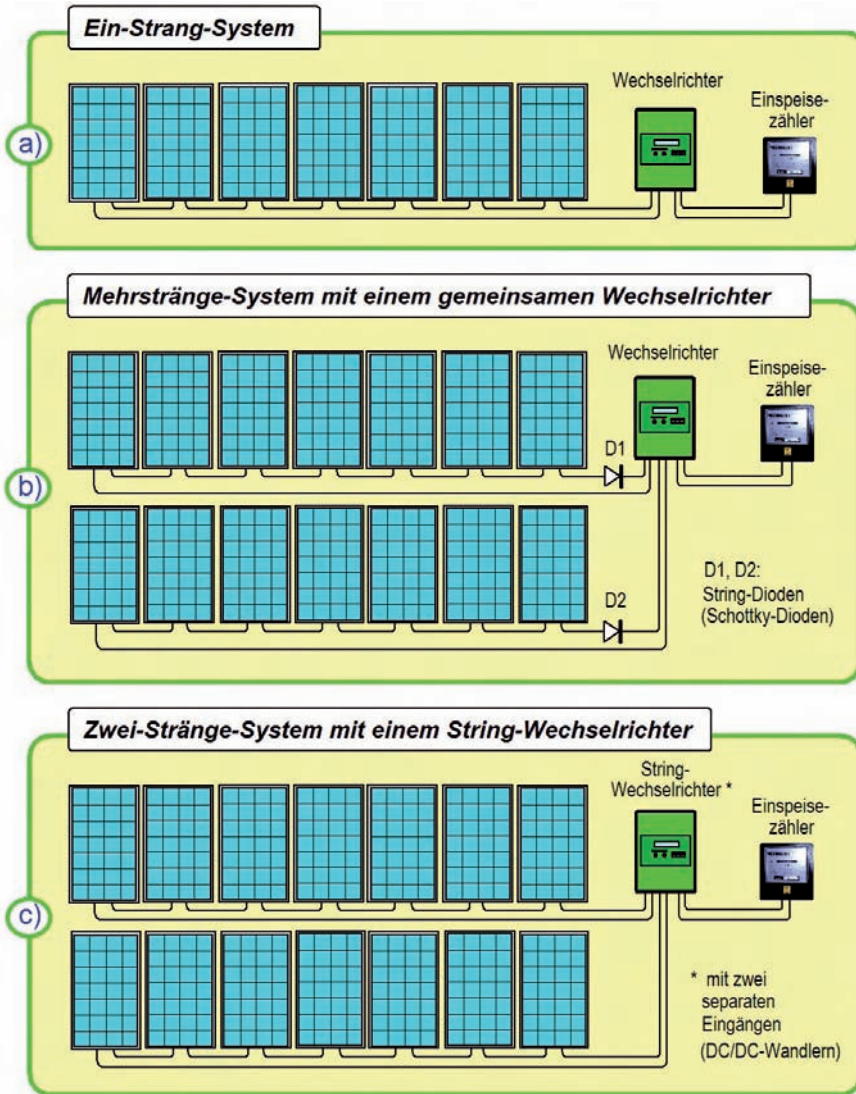


Abb. 2.2: Konzeptlösungen der gängigen netzgekoppelten PV-Anlagen mit je einem Wechselrichter: a) Bei einem Ein-Strang-System ist eine zusätzliche String-Diode unerwünscht; b) werden bei einem Zwei-Stränge-System die Solarmodulstränge an einen gemeinsamen Eingang angeschlossen, sind zusätzliche String-Dioden erforderlich; c) String-Dioden entfallen, wenn der verwendete Wechselrichter intern mit zwei separaten Eingängen (DC/DC-Wandlern) ausgelegt ist.

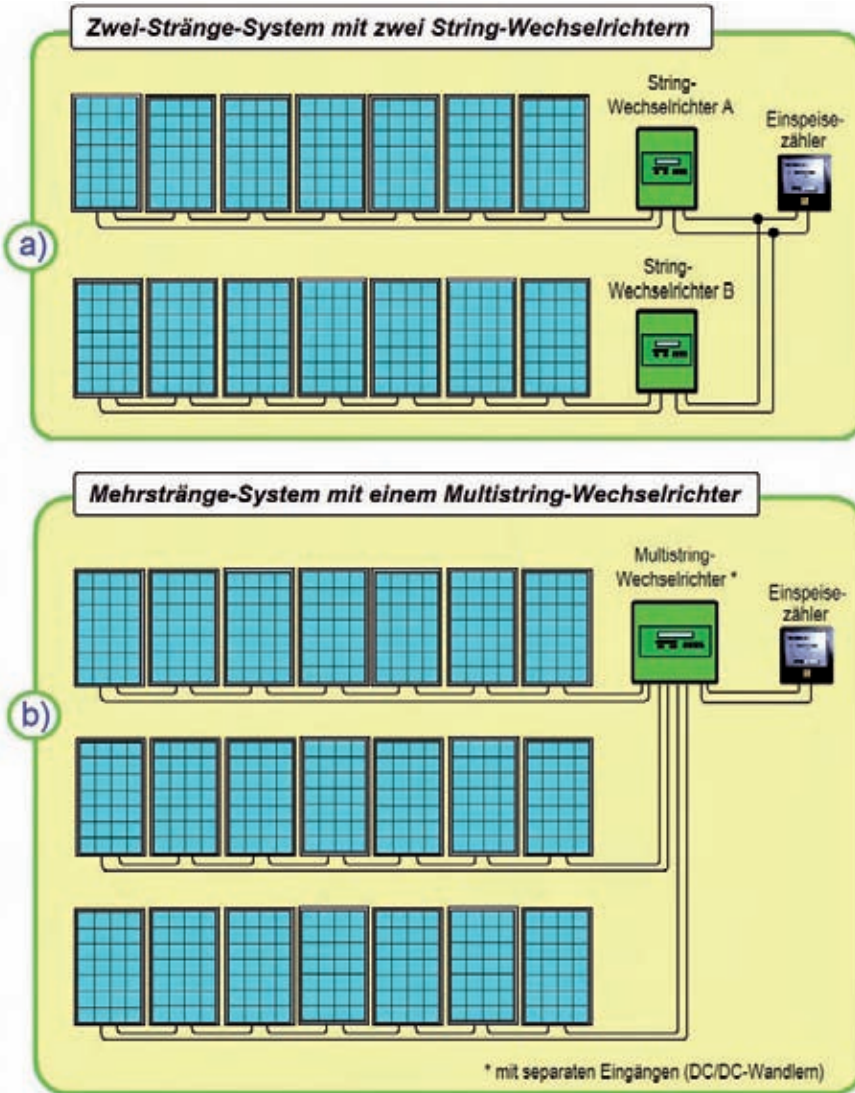


Abb. 2.3: Konzeptlösungen der gängigen netzgekoppelten PV-Anlagen mit zwei oder mehreren Wechselrichtern: a) Als String-Wechselrichter kann hier jeder beliebige Wechselrichter verwendet werden; b) hier muss der „String-Wechselrichter“ über drei unabhängige Eingänge (mit drei DC/DC-Wandlern) verfügen.

Da fast jede netzgekoppelte Photovoltaik-Anlage anders ausgelegt und unterschiedlich zugänglich ist, müssen bei der Suche nach einem Defekt – und vor allem bei den erforderlichen Kontrollmessungen – Kreativität und Fantasie eingesetzt werden.

Sie finden in der folgenden Tabelle Hinweise auf weitere Zusatzinformationen. Versuchen Sie Ihre Anlage so zu verstehen, als ob sie ein Lebewesen wäre. Die eigentlichen Zusammenhänge diverser Funktionen sind vom Prinzip her sehr einfach und leicht verständlich. Da für die jeweilige Funktion einer Photovoltaik-Anlage auch die Natur eine Rolle spielt, muss man sich ein Bild davon machen können, wie sich die Anlage mit dem Verhalten der Technik und den Witterungsbedingungen in einem brauchbaren Gleichgewicht gestalten und nutzen lässt.

| Art der Störung | Mögliche Ursachen | Vorgehensweise und Abhilfe |
|---|---|--|
| <p>1</p> <p>Obwohl die Sonne scheint, läuft der Einspeisezähler nicht.</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1) Defekt im Modulstrang 2) Defekt im Wechselrichter 3) Unterbrechung in den Leitungen und Verbindungen des PV-Generators 4) Unterbrechung in der Verbindung zwischen dem Wechselrichter und dem Einspeisezähler | <p>1a) Verfügt die Anlage nur über einen einzigen Wechselrichter, an dem als PV-Generator ebenfalls nur ein einziger Solarmodulstrang angeschlossen ist, lesen Sie weiter ab Punkt 1b).</p> <p>Sind an dem Einspeisezähler mehrere Wechselrichter angeschlossen und er speist trotzdem nicht ein, ist entweder die Stromleitung von der Wechselrichtersektion zum Einspeisezähler unterbrochen oder der Einspeisezähler ist defekt.</p> <p>Hat die PV-Anlage nur einen einzigen Wechselrichter, an dem aber zwei oder mehrere Solarmodulstränge angeschlossen sind und es erfolgt keine Stromeinspeisung, wird der Defekt höchstwahrscheinlich im Wechselrichter sein (siehe Punkt 2).</p> <p>1b) Zeigen die Messinstrumente am Wechselrichter eine Solarspannung und Solarleistung an? Wenn nicht, liegt der Defekt bei der Sektion der Solarmodule. Es kann sich dabei nur um eine gelockerte Verbindung zwischen zwei Solarmodulen oder bei dem Zuleitungskabel vom Modulstrang zum Wechselrichter handeln – siehe hierzu Punkt 3.</p> <p>Der Defekt kann jedoch auch in einem der Solarmodule liegen – was vor allem bei Solarmodulen vorkommt, in denen die Solarzellenstränge nicht mit Bypass-Dioden geschützt sind – siehe die Hinweise unter Punkt 1 a) im Anschluss an diese Tabelle.</p> |

Tab. 2.1: Störungen an netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen

| Art der Störung | Mögliche Ursachen | Vorgehensweise und Abhilfe |
|-----------------|-------------------|--|
| | | <p>2) Grundsätzlich muss ein Wechselrichter die ihm zugeführte solar-elektrische Leistung ins Netz einspeisen, sobald die ihm zugeführte Solarspannung die Einschaltswelle (untere Grenze des PV-Eingangsspannungsbereichs) überschritten hat. Eine Kontrolle der Eingangsspannung schafft Klarheit: Falls Ihr Wechselrichter über keine Messinstrumente verfügt, können Sie mit einfachen zusätzlichen Messinstrumenten die Solarspannung, den Solarstrom oder auch die elektrische Leistung kontrollieren – siehe hierzu die Hinweise unter Punkt 1 b) auf Seite 38. Ist die dem Wechselrichter zugeführte Solarspannung hoch genug und der Wechselrichter speist trotzdem nicht ein, ist entweder er defekt oder der Defekt liegt in der Zuleitung zum Einspeisezähler oder im Einspeisezähler selbst.</p> <p>3) Eine Kontrolle der Verbindungen zwischen einzelnen Solarmodulen im Strang kann nur dann leicht und schnell durchgeführt werden, wenn sowohl die Solarmodule als auch ihre Anschlussklemmen leicht zugänglich sind. Dies ist meist nur bei Solarmodulen der Fall, die auf dem Boden oder auf einem Flachdach stehen. Falls die Module nicht mit einfachen Anschlussklemmen, sondern mit schlecht zugänglichen Steckverbindungen ausgelegt sind, erschwert dies die Suche nach einem Defekt. Siehe hierzu die Hinweise unter Punkt 1 a).</p> <p>4) Wenn Ihnen der Umgang mit elektrischem Strom geläufig ist, können Sie (bei vorher abgeschalteter Spannung und abgeschaltetem Wechselrichter) an den Wechselrichterausgang einen 230-V-Verbraucher (z. B. einen Scheinwerfer oder ein kleines Heizgerät) anschließen, um sich zu vergewissern, dass der Defekt nicht im Wechselrichter liegt. Vorsicht: Der an den Wechselrichter angeschlossene Verbraucher darf nicht für eine höhere elektrische Leistung ausgelegt sein, als der Wechselrichter laut seiner technischen Daten verkräftet! Handelt es sich um einen größeren Dreiphasen-Wechselrichter, müsste auch der an ihn angeschlossene „Test-Verbraucher“ als Drehstromverbraucher (z. B. ein Drehstrom-Elektromotor) ausgelegt sein. Zu einer Unterbrechung der Verbindung zwischen dem Wechselrichter und dem Einspeisezähler kann es vor allem dann kommen, wenn das Verbindungskabel im Außenbereich verlegt wurde und in der Nähe des Kabels Erdarbeiten verrichtet wurden.</p> |

Tab. 2.1: Störungen an netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen (Fortsetzung)

| Art der Störung | Mögliche Ursachen | Vorgehensweise und Abhilfe |
|--|--|---|
| <p>2</p> <p>Der Wechselrichter schaltet die Netzeinspeisung plötzlich jeweils viel zu spät ein.</p> | <p>1) Defekt im Wechselrichter</p> <p>2) Defekt im Solar- modulstrang</p> | <p>1) Kontrollieren Sie, ob der Wechselrichter die Solarspannung auch tatsächlich zu dem Zeitpunkt ins öffentliche elektrische Netz an-koppelt, an dem diese (annähernd) auf den Wert ansteigt, der im Datenblatt des Wechselrichters als Eingangsspannungsminimum angegeben ist. Siehe hierzu die Hinweise unter Punkt 2 a) auf Seite 44.</p> <p>2) Ist der Spannungsbereich des PV-Generators (des Modulstrangs) auf den Eingangsspannungsbereich des Wechselrichters nicht ausreichend angepasst oder wurde für die Anlage ein Wechselrichter mit einem zu engen Eingangsspannungsbereich verwendet, kann ein Defekt in einem der Module die Spannung des PV-Generators derart verringern, dass sich dadurch der Einspeisezeitpunkt merkbar verschiebt. Siehe hierzu die Hinweise unter Punkt 2 b) auf Seite 56.</p> |
| <p>3</p> <p>Der Wechselrichter schaltet die Netzeinspeisung plötzlich jeweils viel zu früh ab.</p> | <p>1) Mögliche Ursachen wie in Punkt 2 oder:</p> <p>2) Wenn dieses frühzeitige Abschalten der Netzeinspeisung nur an sehr heißen Tagen stattfindet, schaltet der Wechselrichter wegen einer zu starken Überhitzung ab</p> | <p>2) Der Wechselrichter ist wahrscheinlich intern schlecht gekühlt. Sie können ihn während der heißen Tage zusätzlich kühlen.</p> <p>Wechselrichter sind intern mit einem oder mehreren Temperatursensoren ausgelegt, die im Sinne der Selbsterhaltung die Temperatur einiger der Bauteile überwachen, die sich betriebsbedingt stärker aufwärmen. Ein defekter Sensor oder ein Defekt in seiner Elektronik kann zur Folge haben, dass sich der Wechselrichter frühzeitig abschaltet. Auch ein kränkelder Baustein kann sich überproportional aufheizen und den Temperatursensor aktivieren. Siehe weiter die Hinweise unter Punkt 3 auf Seite 59.</p> |

Tab. 2.1: Störungen an netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen (Fortsetzung)

| Art der Störung | Mögliche Ursachen | Vorgehensweise und Abhilfe |
|---|---|--|
| <p>④</p> <p>Der Wechselrichter schaltet plötzlich die Netzeinspeisung zu spät ein und zu früh ab.</p> | <p>1) Defekt im Wechselrichter</p> <p>2) Defekt im PV-Generator</p> <p>3) Stark verschmutzte oder beschattete Solarmodule</p> | <p>1) Kontrollieren Sie, bei welcher Spannungsschwelle der Wechselrichter die Spannung ein- oder abschaltet. Er müsste die ihm zugeführte Solarspannung einschalten, sobald diese auf eine Höhe ansteigt, die im Wechselrichter-Datenblatt als Untergrenze des Eingangsspannungsbereichs angegeben ist. Dasselbe gilt ungefähr für die Spannungshöhe, bei der der Wechselrichter die Netzeinspeisung abschaltet. Kleinere Abweichungen verursacht die sogenannte Hysterese, die betriebsbedingt erforderlich ist. Siehe hierzu die Hinweise unter den Punkten ② und ③.</p> <p>2) Wenn die auffallend kürzeren Zeitspannen der Ankopplung des PV-Generators ans öffentliche Netz durch den PV-Generator verursacht werden, müsste dieser nachvollziehbar eine wesentlich niedrigere Solarspannung an den Wechselrichter liefern, als es seiner Standardspannung entspricht. Die Standardspannung ist hier eine Spannung, deren Höhe den jeweiligen Bestrahlungsbedingungen und den Erfahrungswerten entspricht, bei denen auch die Erwärmung der Solarzellen und die Toleranzklasse der verwendeten Solarmodule den jeweiligen Spannungswert bestimmen. Siehe hierzu auch die Hinweise unter Punkt ④ a) auf Seite 61.</p> <p>Wird festgestellt, dass die Solarspannung nicht mehr den ursprünglichen Pegel erreicht, deutet es auf einen Kurzschluss oder einen anderen Defekt in einem der Solarmodule hin. Siehe hierzu die Hinweise unter Punkt ④ b) auf Seite 68.</p> <p>3) Oft wird eine Beschattung der Solarzellenfläche durch angewehtes Laub oder angesammelten Schmutz in den Ecken der Solarmodule verursacht. Auch wenn nur eine halbe Solarzelle eines Solarmodule auf diese Weise beschattet ist, kann dies zur Folge haben, dass ein langer Zellenstrang im Modul durch die im Modul integrierte Bypass-Diode umgeleitet und damit die Modulausgangsspannung verringert wird. Siehe hierzu die Hinweise unter Punkt ④ c) auf Seite 70.</p> |

Tab. 2.1: Störungen an netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen (Fortsetzung)

| Art der Störung | Mögliche Ursachen | Vorgehensweise und Abhilfe |
|--|---|--|
| <p>5</p> <p>Die ins öffentliches Netz eingespeiste elektrische Leistung verzeichnet plötzlich einen auffallend großen Rückgang.</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1) Defekt im PV-Generator 2) Defekt im Wechselrichter 3) Wackelkontakt bei einer der Verbindungen 4) Bei PV-Anlagen mit mehreren Modulsträngen, die an einen gemeinsamen Wechselrichter-eingang über String-Dioden angeschlossen werden, kann eine dieser Dioden defekt sein 5) Oberflächenpolarisation der Solarzellen | <ol style="list-style-type: none"> 1) Kontrollieren Sie, welche Spannungs- und Leistungswerte der Wechselrichter eingangsseitig anzeigt. Verfügt der Wechselrichter nicht über interne Messgeräte oder bieten diese Messgeräte nicht alle erforderlichen Informationen, können Sie die Messungen mit zusätzlichen Messgeräten selbst durchführen. Siehe hierzu die Hinweise 5 a) auf Seite 74. 2) Kontrollieren Sie am Wechselrichter, ob er auffallend große Unterschiede zwischen der elektrischen Eingangs- und Ausgangsleistung aufweist. Der Unterschied zwischen diesen zwei Werten dürfte sich nur im Rahmen der vom Wechselrichterhersteller angegebenen Wirkungsgradverluste bewegen – allerdings mit Zugeständnissen, die Abweichungen vom Wirkungsgrad berücksichtigen, die nicht im optimalen Arbeitsbereich des Wechselrichters liegen. Siehe hierzu die Hinweise unter Punkt 1 b). 3) Ein Wackelkontakt gehört zu den unangenehmsten Defekten, solange er nur ab und zu eine Verbindung unterbricht, aber nicht ausreichend lange unterbrochen bleibt, um lokalisiert werden zu können. Durch Rütteln und Ziehen an den Verbindungen kann er nur dann entdeckt werden, wenn er sein Unwesen an zugänglichen Stellen treibt. Ist ein Wackelkontakt in einem der Solarmodule oder im Wechselrichter innen, gibt er sich oft bei größeren Temperatursprüngen zu erkennen. 4) Überprüfen Sie mit einem Multimeter die einzelnen String-Dioden nach den Hinweisen unter Punkt 5 b) auf Seite 76. 5) Zu einer Oberflächenpolarisation kommt es u.a. bei einigen Solarzellen und Solarmodulen von Sunpower. Hinweise zur Abhilfe finden Sie unter Punkt 5 c) auf Seite 78. |

Tab. 2.1: Störungen an netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen (Fortsetzung)

| Art der Störung | Mögliche Ursachen | Vorgehensweise und Abhilfe |
|--|---|--|
| <p>6</p> <p>Die Netzeinspeisung erfolgt mit ersichtlichen Unterbrechungen, während denen der Einspeisestrom stillsteht.</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1) Wackelkontakt bei einer der Verbindungen/Zuleitungen 2) Wackelkontakt in einem der Solarmodule 3) Wackelkontakt oder ein anderer Defekt im Schaltkreis des Wechselrichters 4) Überhitzung des Wechselrichters an sehr heißen Tagen 5) Die Maximumleistung des Wechselrichters wird überschritten | <ol style="list-style-type: none"> 1) Ein Wackelkontakt gehört zu den lästigsten Störungsursachen, denn er lässt sich nur während der Zeitspannen lokalisieren, in denen er sich in seinem nicht leitenden Zustand befindet. Das braucht etwas Geduld und Erfindungsgeist. Am leichtesten lässt sich ein Wackelkontakt bei leicht zugänglichen Verbindungen und Steckern durch sanftes Rütteln lokalisieren. 2) Ein Wackelkontakt in der Anschlussdose oder auf der Rückseite des Steckers eines Solarmoduls kann bei etwas Glück rein optisch ermittelt werden, wenn es sich um eine ersichtlich lockere Anschlussklemme oder um eine ersichtlich kalte Lötstelle handelt. Bei einem Modulstrang setzt die Suche nach einem Wackelkontakt sehr viel Geduld voraus. Der damit verbundene Zeitaufwand hängt u. a. davon ab, wie zugänglich die einzelnen Module sind. Rein messtechnisch lässt sich ein Wackelkontakt nur bei viel Glück oder erst dann ermitteln, nachdem sich die Verbindung derartig gelockert hat, dass die jeweiligen Unterbrechungen länger andauern. Wackelkontakte können auch durch kalte Löt- oder Schweißstellen in den Modulen entstehen. Eine Reparatur ist jedoch nur dann möglich, wenn sich der Wackelkontakt in der Anschlussdose des Moduls befindet. 3) Ein Wackelkontakt ist im Schaltkreis des Wechselrichters nur dann leicht auffindbar, wenn er an den Anschlussklemmen der Zuleitung vom Modulstrang oder des Verbindungskabels mit dem Stromzähler entstanden ist. Ansonsten entsteht ein Wackelkontakt öfter in Schaltungssektionen, die heiß werden. Dieser Defekt kann meist nur beim Hersteller des Wechselrichters behoben werden. Wenn Sie hier den Besuch eines Service-Technikers vereinbaren, sollten Sie fragen, ob der Techniker nicht gleich ein Leihgerät mitbringen könnte, das während der Reparatur den Betrieb der Anlage aufrechterhält. Auf dieser Zwischenlösung sollten Sie unbedingt bestehen, wenn der Wechselrichter noch in Garantie ist und wenn die Reparatur des Wechselrichters voraussichtlich länger dauern könnte. |

Tab. 2.1: Störungen an netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen (Fortsetzung)

| Art der Störung | Mögliche Ursachen | Vorgehensweise und Abhilfe |
|--|---|--|
| <p>7</p> <p>Bei einer PV-Anlage mit mehreren Wechselrichtern machen sich plötzlich bei den Spannungen und Strömen größere Unterschiede bemerkbar.</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1) In einem der Modulstränge ist ein Defekt aufgetreten 2) Eines der Module ist durch Schmutz oder durch angewehtes Laub beschattet 3) In einem der Wechselrichter ist ein Defekt aufgetreten | <ol style="list-style-type: none"> 4) Fast alle Wechselrichter sind intern gegen Überhitzung durch einen oder mehrere Temperatursensoren geschützt und schalten sich einfach ab, wenn sie zu heiß werden. Siehe hierzu die Hinweise unter Punkt 3 auf Seite 59. 5) In der Praxis wird manchmal die Leistung der Wechselrichter entweder durch einen Planungsfehler zu niedrig gewählt oder durch eine zusätzliche Nachrüstung der bestehenden Modulstränge überschritten. Siehe hierzu die Erläuterungen unter Punkt 6 auf Seite 78. <hr/> <ol style="list-style-type: none"> 1) Wenn die Solarzellensektionen (Ketten) in Ihren Solarmodulen mit Bypass-Dioden geschützt sind – was bis auf seltene Ausnahmen als eine Standardlösung praktiziert wird –, arbeitet das Modul weiterhin, aber seine Spannung und Leistung sinken. Siehe hierzu die Punkte 1 a) und 4 c). 2) Eine stärkere Beschattung einer einzigen Solarzelle kann zur Folge haben, dass, ähnlich wie im vorhergehenden Beispiel, die Bypass-Diode eine Zellensektion vorübergehend kurzschließt und somit die Leistung des Moduls verringert. Siehe hierzu Punkt 4 c). 3) Entsteht ein begründeter Verdacht, dass einer der Wechselrichter kränkelt, bietet sich als einfachste Kontrolle ein „Partnertausch“ von z. B. zwei nebeneinanderstehenden Wechselrichtern an. Siehe hierzu die Punkte 1 b) und 6. |

Tab. 2.1: Störungen an netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen (Fortsetzung)

Erläuterungen und Hinweise zur Tabelle 2.1:

1 a)

Zu einer Stromunterbrechung im Stromkreislauf des Solarmodulstrangs kann es entweder bei den Kabelverbindungen der einzelnen Solarmodule oder durch eine Stromunterbrechung in den Verbindungen der einzelnen Solarzellenketten in den Modulen kommen.

Manche der Verbindungskabel sind mit Steckern versehen, die sich unter Umständen (z. B. bei kräftigen Stürmen) lockern und die Verbindung des Stromkreises unterbrechen. Bei Kabeln, deren Stecker mit einer zusätzlichen Verschraubung versehen sind, besteht diese Gefahr zwar nicht, aber es kann zu einer Kontaktunterbrechung des internen Leiteranschlusses im Stecker oder in der Buchse kommen. Gefährdet sind vor allem Kabel, die kräftiger Wind bewegen kann. Manchmal kann auch eine zu kleine Kontaktfläche in der Steckverbindung zur Folge haben, dass sich der Stecker bei höherer Belastung zu sehr erhitzt. Der Übergangswiderstand der Kontaktfläche erhöht sich dann im Lauf der Zeit gleitend weiter und der Stecker heizt sich dadurch immer mehr auf, bis er eines Tages verkohlt und keinen Kontakt mehr hat.

Eine Unterbrechung des Stromkreises im Modul selbst kann im Prinzip an jeder Stelle des Moduls vorkommen. Bei Solarmodulen, in denen die Zellensektionen nach Abb. 2.4 a) nicht mit Schutzdioden (Bypass-Dioden) überbrückt sind, entstehen die Stromkreisunterbrechungen meist entweder durch eine Lösung der leitenden Verbindung(en) zwischen zwei Solarzellen oder durch einen Zellenbruch.

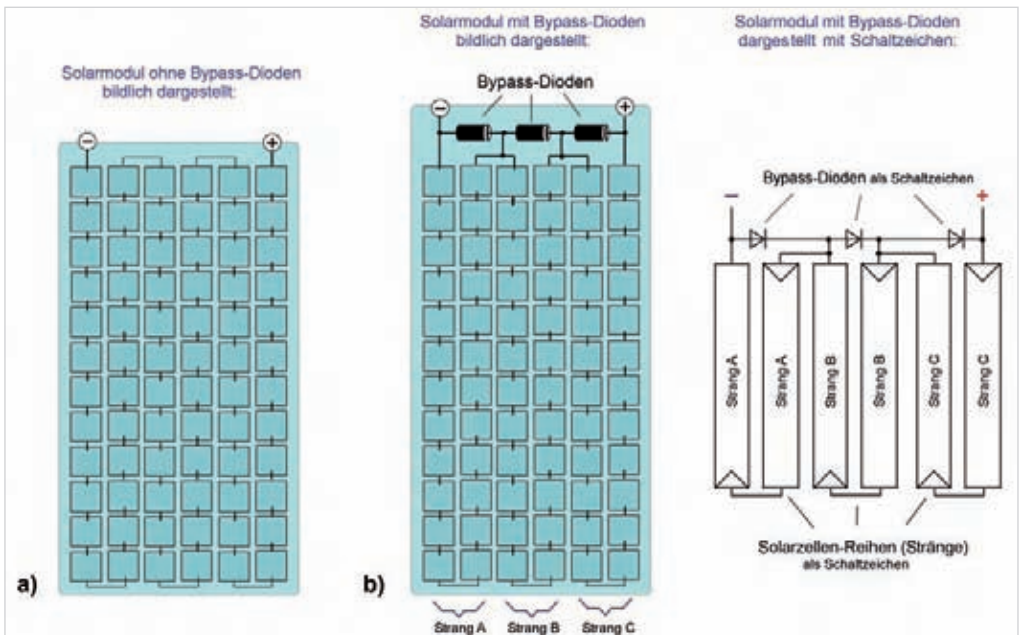


Abb. 2.4: Handelsübliche Solarmodule sind typenbezogen ohne oder mit intern angebrachten Bypass-Dioden bestückt: a) Solarmodul ohne Bypass-Dioden; b) Solarmodul mit Bypass-Dioden (links bildlich, rechts mit Schaltzeichen, wie es oft in den technischen Unterlagen dargestellt wird).

Die leitenden Verbindungen zwischen den einzelnen Solarzellen werden bei herkömmlichen Zellen meist mittels sehr dünner Lötflahn (Kupferstreifen) nach dem Beispiel aus Abb. 2.5 erstellt. Bei einigen Herstellern erfolgt dies in Handarbeit, bei anderen maschinell. In beiden Fällen kann eine zu lockere Löt- oder Schweißstelle – oder auch mehrere solcher Stellen – zur Folge haben, dass durch das Rütteln beim Transport, durch mechanische Strapazen oder durch interne Spannungen im Modul die Verbindung unterbrochen wird. In der Praxis entstehen viele solcher Defekte durch Temperaturschwankungen, die interne Spannungen in den Modulen verursachen.

Kleinere Solarzellen sind in der Regel nur mit einer Lötflahn, größere meist mit zwei Lötflahn oder mit Leitern anderer Form versehen. Entsteht beim Anlöten der Lötflahn bei einer einzigen Verbindung von der ganzen Zellenkette im Modul eine sogenannte kalte Lötstelle, ist eine solche Verbindung auf den dünnen Zellen-Stromsammelschienen nicht ausreichend fest angelötet, sondern nur leicht „angeklebt“. Sie kann dennoch den Endtest beim Hersteller erfolgreich bestehen und eventuell eine Zeit lang sogar zufriedenstellend im Solarmodul funktionieren – bis sie eines Tages unterbrochen wird.

Bei Rückkontaktzellen (Abb. 2.6) lassen sich die Verbindungen robuster und damit zuverlässiger erstellen, und die Gefahr einer Unterbrechung der Verbindung ist dadurch zumindest theoretisch geringer. Zum Glück sind jedoch in den meisten Solarmodulen die Zellensektionen durch Bypass-Dioden nach Abb. 2.8 geschützt. Kommt es zu einer Unterbrechung des Stromkreises in einer der drei hier abgebildeten Zellensektionen, übernimmt die Bypass-Diode die Umleitung bei der defekten Sektion, die sie dabei kurzschließt.

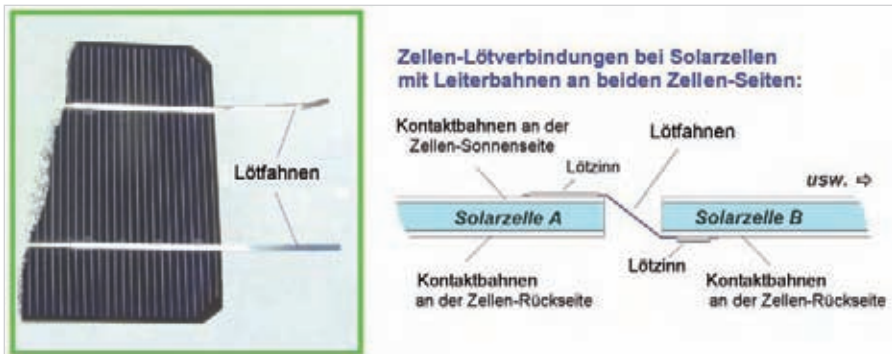


Abb. 2.5: Solarzellen werden in den Solarmodulen meist mit dünnen flachen Kupferlötflahn (Lötstreifen) zu Ketten (Strängen) verbunden.

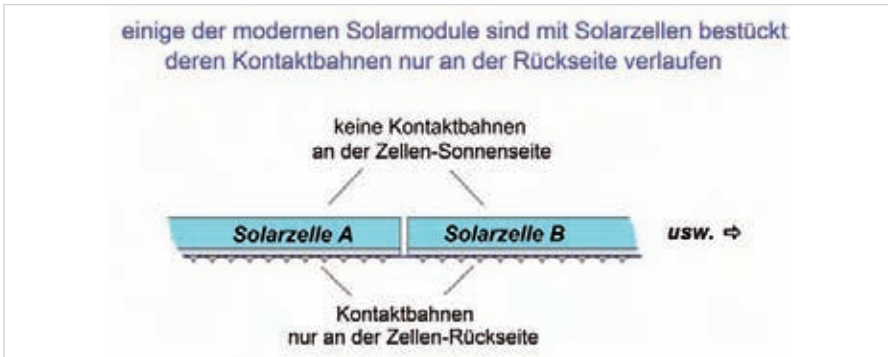


Abb. 2.6: Manche der modernen Solarzellen (die sogenannten Rückkontaktzellen) sind so ausgelegt, dass ihre leitenden Verbindungen nur an der Rückseite verlaufen: Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Solarzellen im Modul können dadurch kleiner gehalten werden.

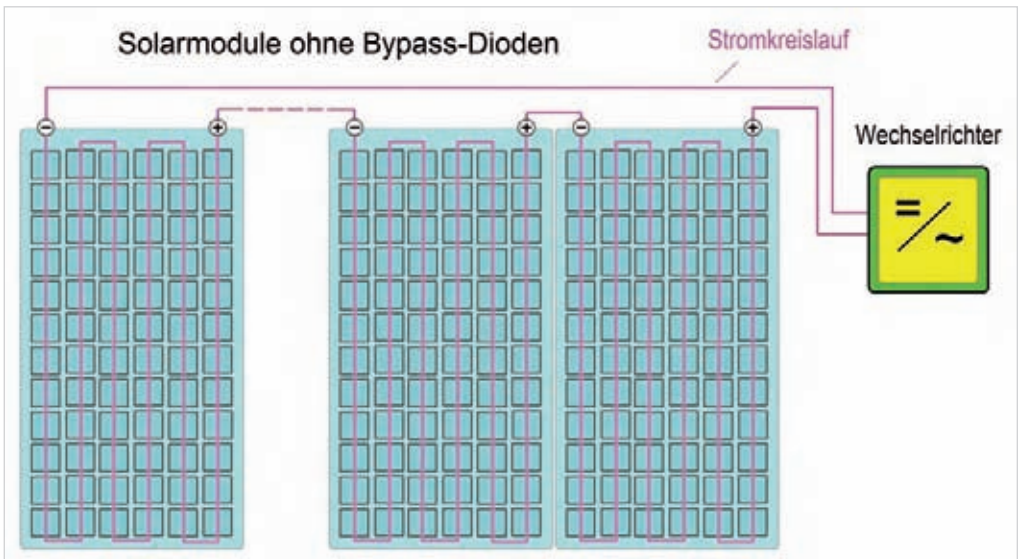


Abb. 2.7: Befinden sich in den verwendeten Solarmodulen keine Bypass-Dioden, kommt es bei der Unterbrechung einer der Verbindungen zwischen einzelnen Solarzellen ersichtlich zu einer Unterbrechung des ganzen Solarstromkreislaufs, der hier zeichnerisch verdeutlicht wird.

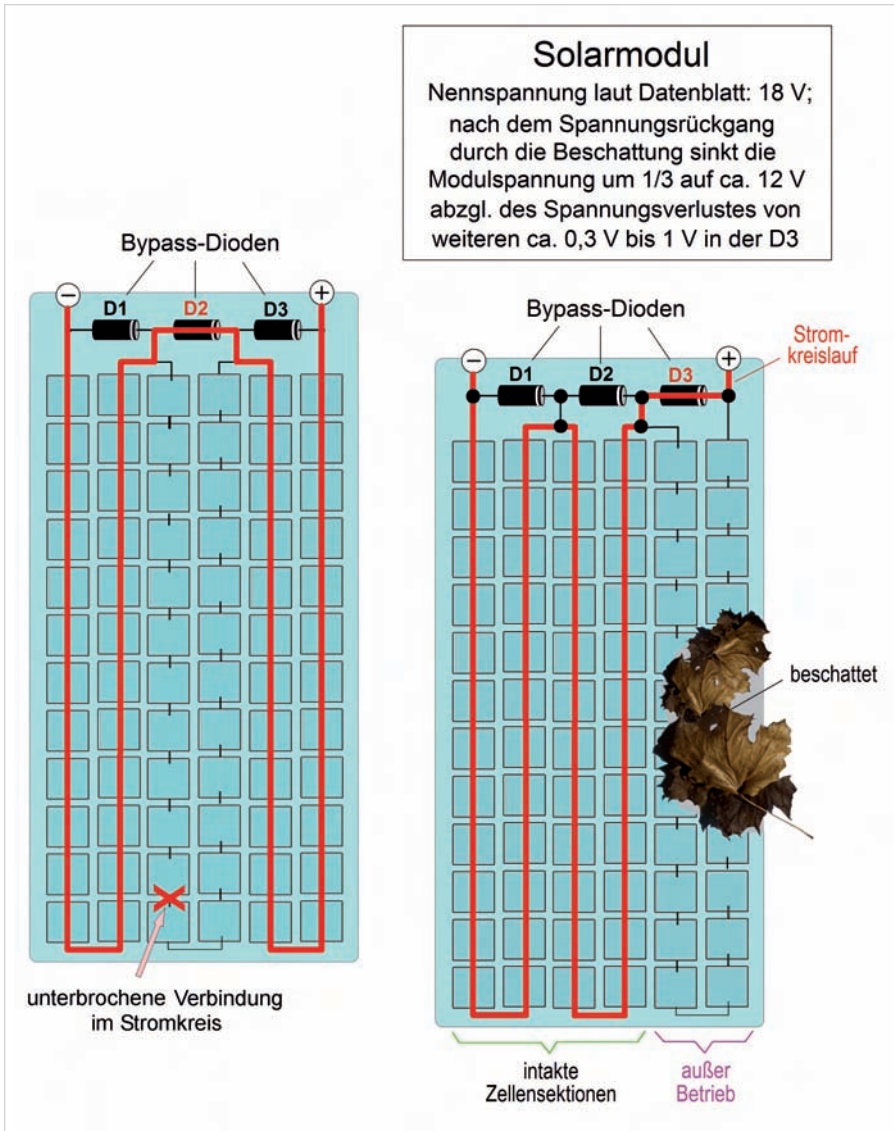


Abb. 2.8: Verfügt ein Solarmodul über integrierte Bypass-Dioden, übernimmt die zuständige Bypass-Diode (D2 oder D3) im Fall einer defekten Zellenverbindung, bei einer -beschädigung oder -beschattung die Funktion einer Umleitung.

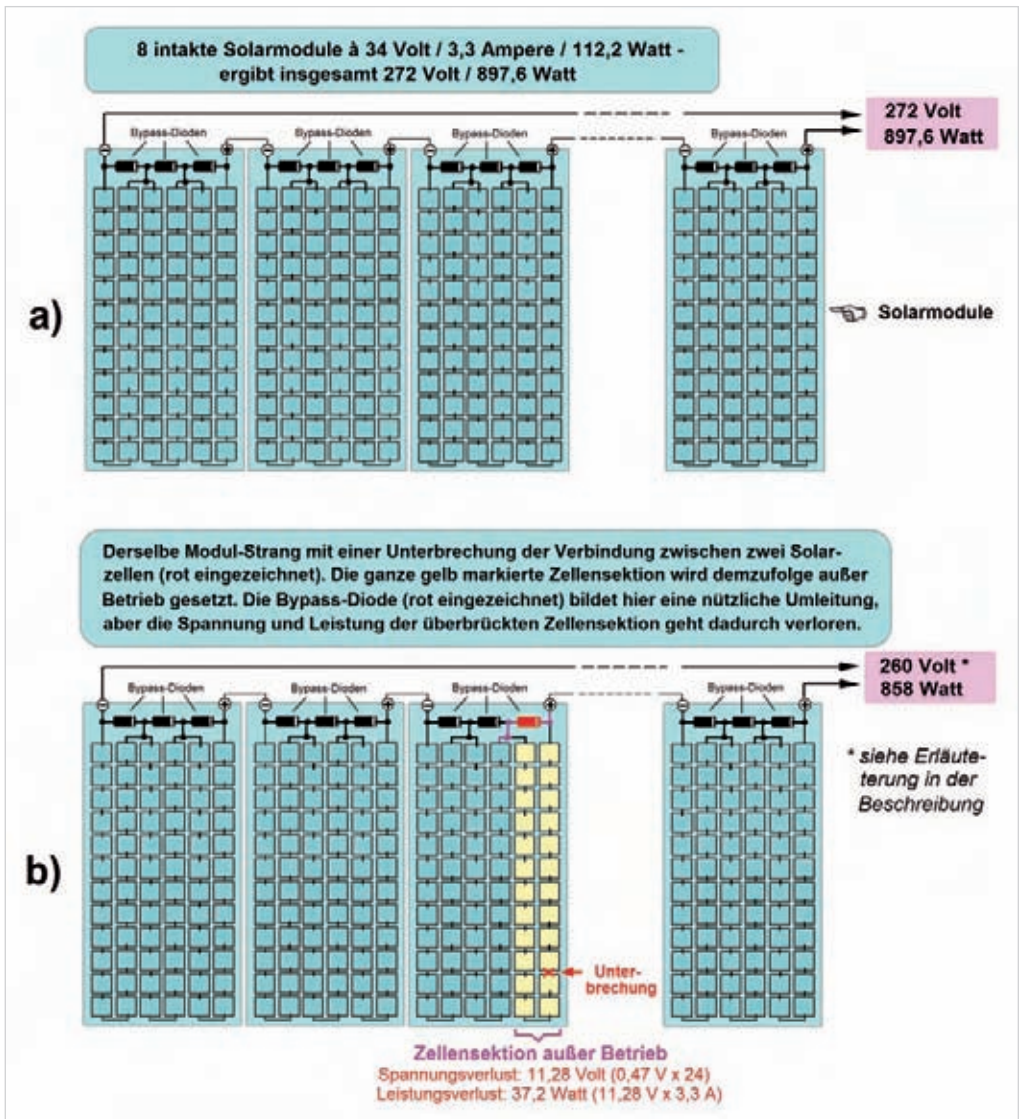


Abb. 2.9: Wird eine der Bypass-Dioden im Modul bei einer Störung oder Zellenbeschattung aktiv, verringert sich die Ausgangsspannung und die Ausgangsleistung des Modulstrangs um den Anteil der Spannung und Leistung der defekten – und von der Bypass-Diode umgeleiteten – Zellensektion.

Wenn in den verwendeten Solarmodulen herstellerseitig nach dem Beispiel in Abb. 2.7 keine Bypass-Dioden integriert wurden, verursacht eine Unterbrechung der Zellenverbindung verständlicherweise einen sofortigen Ausfall des ganzen PV-Strangs.


Sind in den Solarmodulen die Zellensektionen mit Bypass-Dioden überbrückt, wird über diese bei einer Unterbrechung des Stromkreislaufs der von ihnen geschützten Zellensektion der Solarstrom umgeleitet. Eine Unterbrechung der Zellenverbindung(en) wirkt sich in dem Fall nicht als Unterbrechung des ganzen Strangstromkreislaufs aus. Abb. 2.9 b) zeigt, wie der Solarstrom über die Umleitung (die rot eingezeichnete Bypass-Diode) ausweicht. Der ganze Modulstrang bleibt in diesem Fall nach außen hin völlig intakt – allerdings mit dem Unterschied, dass der Spannungs- und Leistungsanteil, der auf die defekte Zellensektion entfällt, die Ausgangsspannung und Ausgangsleistung des ganzen Solarmodulstrangs nach Abb. 2.9 verringert.

Die Ausgangsspannung des Modulstrangs in Abb. 2.9 b) müsste rein rechnerisch $272 \text{ V} - 11,28 \text{ V} = 260,72 \text{ V}$ betragen. Wir haben auf 260 Volt abgerundet, weil in der „Umleitungs-Bypass-Diode“ ein Spannungsverlust von ca. 0,3 Volt (je nach der Dioden-Type) entsteht. Daraus resultiert auch die hier aufgeführte „maximale Ausgangsleistung“ von nur 858 Watt, denn $260 \text{ V} \times 3,3 \text{ A} = 858 \text{ W}$.

Fazit: Wenn ein Solarmodulstrang nicht funktioniert und die Solarmodule herstellerseitig mit Bypass-Dioden versehen sind, kann die Ursache dieses Defekts höchstens in der Unterbrechung der elektrischen Anschlüsse an den Klemmen oder Buchsen, nicht aber bei den eigentlichen Zellenverbindungen liegen.

Sie finden in den technischen Unterlagen der Solarmodule in der Regel immer einen Hinweis darauf, ob Bypass-Dioden (Schutzdioden) integriert sind. Dies wird oft z. B. so vermerkt: „Bypass-Dioden: 3“

In manchen Moduldatenblättern ist das Innenleben des Moduls nach dem Beispiel aus Abb. 2.4 b) rechts dargestellt. Sowohl die Bypass-Dioden als auch die Solarzellenstränge sind hier meist nur in Form von Schaltzeichen eingezeichnet.

Das Schaltzeichen  wird in der technischen Literatur wahlweise sowohl für eine einzige Solarzelle als auch für einen beliebig langen Zellenstrang oder für ein komplettes Solarmodul verwendet, da es sich in allen Fällen um einen solarelektischen Generator handelt.

Die Suche nach einer Unterbrechung im Modulstrang kann messtechnisch erfolgen. Vergessen Sie dabei aber nicht, dass die Leerlaufspannung eines Solarmodulstrangs auch bei sehr schlechten Lichtverhältnissen recht hoch sein kann.

Was man sich darunter ungefähr vorstellen kann, zeigt Abb. 2.10.

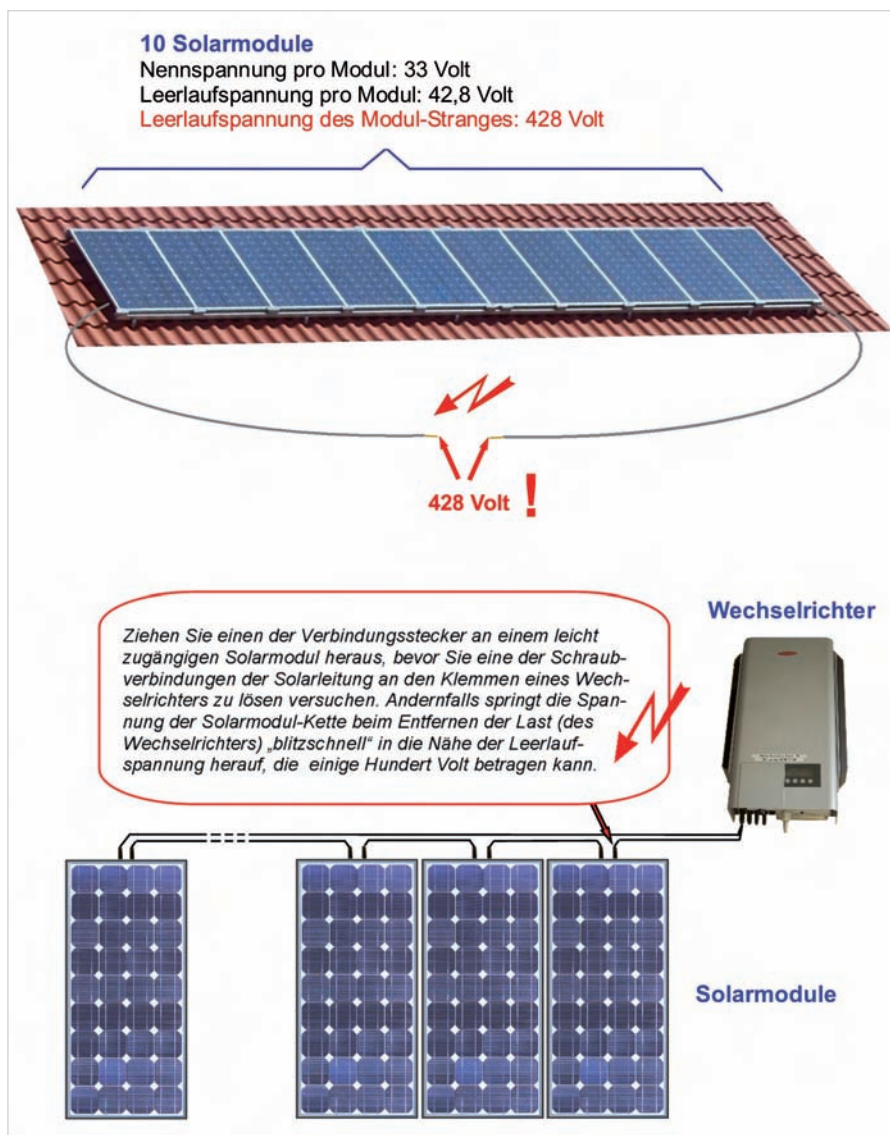


Abb. 2.10: Vorsicht: Die Leerlaufspannung eines Solarmodulstrangs kann auch an einem trüben Tag sehr hoch sein.

Index

A

- Angewehes Laub 73
- Anlagenbatterie 184, 197
 - Nachladen 198
- Anpassung des Wechselrichters an den PV-Generator 132
- Aufwärmen von Wasser 207
- Autarke PV-Anlagen 159
 - Defekte 180
 - Grundkonfiguration 160
 - mangelhafte Funktionen und Defekte 179

B

- Batterien
 - Elektroden 188
 - Innenwiderstand 191
 - Kapazität in Ah 173, 176, 185
 - Kapazität prüfen 185
 - Messung des Strombezugs 186
 - parallel betreiben 172
 - Selbstentladung 197
- Berechnung der Verluste in einem Kabel 157
- Beschattete oder verschmutzte Solarmodule 144
- Beschattung der Solarzellenfläche 21
- Blockschaltung eines Wechselrichters 47
- Bruch einer Solarzelle 13
- Bypass-Dioden 14, 21, 28, 29, 30, 195

D

- Das Prinzip des schwächsten Glieds einer Kette 71
- Defekte
 - bei netzgekoppelten PV-Anlagen 13
 - bei solarthermischen Anlagen 211
 - bei Bypass-Dioden 36
 - im Modulstrang 18, 139
 - im PV-Generator 140
 - im Wechselrichter 13, 18, 139
 - Solarmodule 196
- Diodentest 76, 77
- Direkte Stromversorgung 164

E

- Ein-Strang-System 16
- Einfache Testvorrichtung 137
- Einspeisung bei einem intakten Solarmodulstrang 58
- Elektrolyt 188
- Elektronischer Wachhund 149
- Entlade-Schlussspannung 170
- Ertrag einer Photovoltaik-Anlage 86

H

- Heizkessel
 - Solarthermische Unterstützung des Heizkessels 216
- Hot-Spot-Effekt 102

I

Indach-Module 96
 Innenwiderstand 194
 Inselanlagen 159
 Internationale Testbedingungen 64, 66
 Interne Messgeräte 74

K

Kalte Lötstellen 101
 Kontaktlose IR-Thermometer 68
 Kontrolle

- Kontroll-Spannungsmessung an den Anschlüssen belasteter Solarmodule 70
- der Kurzschlussströme 104
- der Kurzschlussströme unter improvisierten Bedingungen 109
- der Strangspannung 117
- des Strangstroms 115

L

Laderegler 168

- Kurzschluss 181
- Spannungskontrolle 190

 Ladespannung

- Höhe 193

 Ladestrom 176
 Ladestromquelle 192
 Leck in der Leitung 212
 Leerlaufspannung 31, 32, 75

- eines unbelasteten Solarmodulstrangs 52

 Leistungsverluste 158
 Leiterquerschnitte 154
 Lüftung der Modulrückwand 96
 Luftverschmutzung 73

M

Maximal-Power-Point (MP-Punkt) 120

- Ermittlung des 122

 Mehrstränge-System

- mit einem gemeinsamen Wechselrichter 16
- mit einem Multistring-Wechselrichter 17

 MPP-Tracking 46, 48

- Fehlfunktion 120

N

Nennstrom des Solarmoduls 205
 Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen

- Defekte 13
- Leistung 87
- Mangelhafte Funktionen 90
- Störungen 18

 NOCT-Testbedingungen 66
 Normtemperatur 81

O

Oberflächenpolarisation (Surface-Polarisation) 78

P

Photovoltaik-Anlage 9

- Durchschnittlicher Ertrag 11

 Photovoltaik-Steckverbindung 37
 PV-Ladestationen für Elektroautos 178
 PV-Offset-Boxen 78

R

Rückkontaktzellen 27

S

- Schaltzeichen 10, 25, 30
- Schottky-Diode
 - Vorteil 183
- Solarleistung 52, 201
- Solarmodule
 - Kurzschlussstrom-Messung 106
 - mit Bypass-Dioden 25
 - ohne Bypass-Dioden 25, 27
 - zusätzliche 204
- Solarthermie-Nutzung 215
- Solarthermische Anlagen 207
- Spannungsmessung an der Sperrdiode
 - im Modul 182
- Speicher Kondensator
 - (Gold-Cap) 165, 166
- Speicher Kondensatoren 165
- Störungen an netzgekoppelten
 - Photovoltaik-Anlagen 18
- String-Dioden 16
- Strommessung am Wechselrichtereingang 42
- Stromunterbrechung im Stromkreislauf 24
- Stromversorgung mit einem Akku als
 - Zwischenspeicher 167
- Stromzange 38

T

- Temperaturabhängigkeit der elektrischen Werte kristalliner Solarzellen und Solarmodule 62
- Toleranzbedingte Zellenstromabweichungen 83

U

- Umwecheln der Stranganschlüsse 40
- Unterbrechung des Stromkreises im Modul 25
- Unterbrechung in den Leitungen 18
- Unterbrochene Verbindung 13
- Unterdimensionierte Leitungen 153

V

- Vergleich der ermittelten Kurzschlussströme 110
- Vergleich der Modul-Leerlaufspannungen 112
- Vergleichsbeispiele des Nenn- und Kurzschlussstroms 105
- Verlauf der Solarleistung und ihre Einspeisung 45
- Verluste in einer Leitung 156
- Vernichtung der Solarmodule durch Blitzeinschlag 13
- Voltmeter 38

W

- Wackelkontakte 22
 - und kalte Lötstellen 148
- Wärmeträgermedium 208
- Warmwasser-Speicher 208
- Wechselrichter 11, 60
 - Dimensionierung 79
 - Kühlung 61
 - Leistung 24
 - Technische Daten 51
 - Überhitzung 23
- Wiedereinschalt-Spannungsschwelle 170

Z

Zellen-Lötverbindungen 26

Zellenbruch 101

Zusätzlicher Lüfter 60

Zwei-Stränge-System

 mit einem String-Wechselrichter 16

 mit zwei String-Wechselrichtern 17

Zwischensteckeradapter 15

Bo Hanus

Solar-Dachanlagen Fehler finden und beheben

Bei einer Solar-Dachanlage gestaltet sich die Suche nach einem Defekt oder einer Fehlfunktion meist sehr schwierig. Oft funktionieren ihre Komponenten entweder nur teilweise oder überhaupt nicht. Immer wieder kommt es vor, dass die Solarmodule gleich nach der Montage nicht einwandfrei arbeiten, ohne dass ihre Betreiber es überhaupt bemerken.

Mit diesem Buch finden Sie Schwachstellen an Photovoltaik- und thermischen Solaranlagen und erfahren, wie Sie einen „Check-up“ Ihrer Anlage selbst durchführen können. Wie Sie viele der beschriebenen Fehler bereits bei einer fachgerechten Planung und Installation Ihrer Anlage vermeiden können, zeigt Ihnen der Autor anhand diverser Abbildungen und Zeichnungen praxisnah.

Mithilfe zahlreicher anschaulicher Beispiele bekommen Sie die Probleme Ihrer Solaranlage in den Griff und können viele Fehler an Ihrer Anlage finden und beheben.

Zum Autor

Bo Hanus zählt zu den erfahrensten Autoren von Solar-Fachbüchern. Seine Ratgeber zum Thema regenerative Energien sind auf Bestsellerlisten immer wieder an erster Stelle zu finden.

Aus dem Inhalt

- **Störungen an Photovoltaik- und thermischen Solaranlagen beseitigen**
- **Defekte finden und beheben**
- **So erzielen Sie den vollen Ertrag mit Ihrer Photovoltaikanlage**
- **Störungen am Wechselrichter beseitigen**

