

# Inbetriebnahme von PV-Anlagen bei gleichzeitiger Erzielung maximaler Leistung

Trotz hervorragender Technik ist kein System ausfallsicher. Hier kommt die Inbetriebnahme ins Spiel, die eine Basis für die Betriebseigenschaften schafft, die von Kunden akzeptiert wird und für folgende Instandhaltung genutzt wird. Die Inbetriebnahme ist nicht nur für die Leistung der Photovoltaik-Anlage (PV-Anlage) wichtig, sondern auch für die Langlebigkeit der Anlage, die Sicherheit, die Rendite und die Gewährleistung.



## Schritt 1: Planung und Produktion von Photovoltaikanlagen

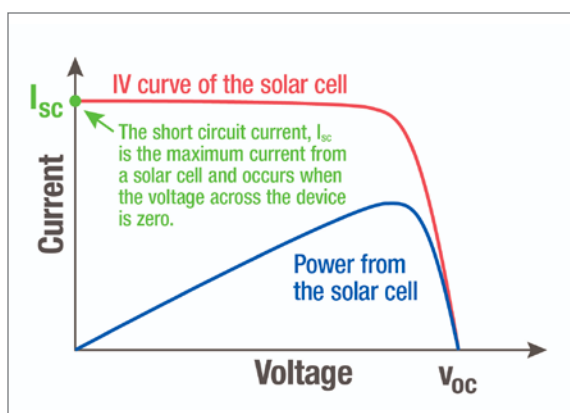
Um die an Ihrem Standort zu erwartende Produktion zu ermitteln, bestimmen Sie die Sonneneinstrahlung und berücksichtigen die Verschattung, die bei den Modulen auftreten könnte. Die Sonneneinstrahlung wird in vollen Sonnenstunden gemessen, was der Anzahl der Stunden entspricht, in denen Ihre Anlage pro Quadratmeter 1000 W erzeugt. In vielen Teilen Kaliforniens beispielsweise ist die Sonneneinstrahlung hervorragend: 6000 W pro Quadratmeter bzw. 6 volle Sonnenstunden. Verwenden Sie zur Ermittlung der tatsächlichen Einstrahlungsstärke ( $\text{W/m}^2$ ) und Verschattung an der Montagestelle das Einstrahlungsmessgerät Fluke IRR-1, um Referenzwerte ermitteln zu können.

Angenommen, Sie haben eine PV-Anlage mit 10 kW. Sie können die erwartete jährliche Produktion unter den in Kalifornien genannten Bedingungen durch Multiplikation berechnen: 10-kW-Anlage x 6 volle Sonnenstunden x 365 Tage pro Jahr x 0,85 (15 % Leistungsabfall aufgrund von Leistungsverlusten bei Leitungen und Wechselrichter). Diese Anlage sollte 18.615 kWh nutzbare Energie/Jahr bzw. 51 kWh/Tag produzieren.

## Schritt 2: Messung der Leistung einer PV-Anlage

Stellen Sie nach der Installation der Anlage sicher, dass sie wie vorgesehen funktioniert, indem Sie die elektrischen Eigenschaften und die tatsächliche Ausgangsleistung der Module messen.

Die Leistung einer PV-Anlage berechnet sich aus auf ihrer Strom-/Spannungskurve (IV-Kurve). Ein Wechselrichter wandelt nicht nur Gleichspannung in Wechselspannung, sondern maximiert seine Ausgangsleistung durch Erfassen des Stroms und der Spannung, bei dem der Strang (Reihenschaltung der Solarmodule) die höchste Leistung erzeugt. Der Kurzschlussstrom ( $I_{sc}$ ) ist der maximal von einer Zelle bereitgestellte Strom. Es wird keine Leistung erzeugt, weil es keinen Spannungsunterschied gibt: Die positiven und negativen Leitungen berühren sich. Die Leerlaufspannung ( $V_{oc}$ ) ist die maximal von einer Zelle bereitgestellte Spannung: Es wird keine Leistung erzeugt, weil der Stromkreis unterbrochen ist. Der Punkt, an dem das Modul die höchste Leistung erzeugt, wird als maximaler Leistungspunkt (MPP (MAXIMUM POWER POINT)) bezeichnet.



Strom-Spannungskennlinie (IV-Kurve) eines PV-Moduls.

Um zu wissen, ob eine Anlage wie vorgesehen funktioniert, müssen Sie  $V_{oc}$  und  $I_{sc}$  kennen, die auf dem Datenblatt des Moduls aufgeführt sind. Messen Sie  $V_{oc}$  und  $I_{sc}$  vor und nach der Installation.

$V_{oc}$  wird mithilfe der Strommesszange Fluke 393 FC gemessen, um die Spannung zwischen dem Plus- und Minuspol zu bestimmen. Die 393 FC bietet höchste Sicherheit gemäß den Messkategorien CAT III 1500 V/CAT IV 600 V und ist damit ideal für Messungen in CAT-III-Umgebungen bis 1500 V, wie bei modernen Solaranlagen. Verwenden Sie das IR-Thermometer Fluke 64 MAX, um die Temperatur des Moduls zu bestimmen und so den Einfluss der Temperatur auf  $V_{oc}$  zu berücksichtigen (je niedriger die Temperatur, desto höher die Spannung und umgekehrt). Die Strommesszange 393 FC erzeugt beim Messen von  $V_{oc}$  ein akustisches Warnsignal, wenn die Polarität invertiert ist. Bei falscher Polarität können der Anschlusskasten oder andere Schaltkreise unbeabsichtigt in Reihe geschaltet werden, was zu Spannungen über der maximalen Eingangsspannung des Wechselrichters führt.

Zum Messen von  $I_{sc}$  trennen Sie alle parallelen Stromkreise und schließen den Stromkreis sicher kurz. Messen Sie den Strom zwischen den Plus- und Minuspol mit einem Multimeter. Stellen Sie den Regler auf einen Stromwert ein, der größer als der erwartete ist. Notieren Sie die Werte von  $I_{sc}$  und  $V_{oc}$  in der Fluke Connect™-App, und speichern Sie sie zur Trenddarstellung und für Berichte.

Prüfen Sie den Isolationswiderstand Ihrer Leiter, die Verbindungen zwischen den Modulen sowie zwischen Modulen und Gestellen und den Erdwiderstand. Nutzen Sie die Erdschleifenmesszange Fluke 1630-2 FC, um den Erdungswiderstand zu messen, der weniger als 25 Ohm betragen muss.



Fluke 393 FC ist die weltweit einzige Strommesszange mit Sicherheit gemäß der Messkategorie CAT III 1500 V, sodass sie eine sichere und zuverlässige Anwendung in Solaranlagen gewährleistet.

### Schritt 3: Ermitteln von Abweichungen

Selbst bei korrekter Installation erzeugt eine PV-Anlage möglicherweise nicht die erwartete elektrische Leistung. Für ein Modul müssen unbedingt die elektrischen Eigenschaften spezifiziert sein, da ein Wechselrichter einen minimalen und maximalen Eingangsstrom besitzt, unter und über dem er keine Leistung am Ausgang bereitstellt.



Die Fluke 393 FC kann Spannung, Strom und Gleichspannung messen und liefert ein akustisches Warnsignal bei falscher Polarität von PV-Modulen.

### **Szenario 1: Leerlaufspannung oder Kurzschlussstrom sind höher oder niedriger als auf dem Datenblatt angegeben**

In diesem Fall umfasst Ihr Strang ein oder mehrere Module, deren Eigenschaften nicht den Spezifikationen entsprechen. Eine Leerlaufspannung außerhalb des zulässigen Bereichs bedeutet, dass der Wechselrichter möglicherweise keine Ausgangsleistung bereitstellt. Ein Kurzschlussstrom außerhalb des zulässigen Bereichs zeigt an, dass Module möglicherweise nicht zueinander passen. Das kann die Leistung Ihrer Anlage erheblich beeinträchtigen, da der Strom eines Strangs durch das Modul mit dem niedrigsten Strom begrenzt wird. Ermitteln und ersetzen Sie die Module.

### **Szenario 2: Niedrige Ausgangsleistung**

Wenn Sie feststellen, dass die Ausgangsleistung niedriger als erwartet ist, liegt möglicherweise ein Problem vor. Zwar ist mit einigen Schwankungen bei der Leistung zu rechnen, eine konstant geringere Leistung als erwartet könnte aber ein Zeichen für einen defekten Strang, einen Erdungsfehler oder eine Verschattung sein.

Ein Grund könnte eine kurzgeschlossene Zelle sein. Hier kann kein Strom mehr fließen, was zur Leistungsverringerung, Überhitzung und möglicherweise einem Brand führen kann. Mit Wärmebildkameras wie Fluke Ti480 PRO oder TiS75+ können heiße Bereiche schnell erkannt werden.

Erdungsfehler sind ein weiterer Grund. Diese sind allerdings schwieriger zu ermitteln und erfordern das Messen der Spannung und des Stroms jedes Leiters sowie des Geräteerdungsleiters,

der Streustrom zur Erde überträgt. Spannung und Strom am Geräteerdungsleiter weisen auf einen Erdungsfehler hin. Erdungsfehler können durch beschädigte Leiterisolierung, unsachgemäße Installation, eingeklemmte Drähte und Wasser auftreten, wodurch eine elektrische Verbindung zwischen einem Leiter und dem Geräteerdungsleiter entstehen kann. Ermitteln Sie die Ursache des Problems, und ersetzen Sie die beschädigten Kabel, oder schaffen Sie verbesserte Bedingungen.

Andere Gründe für eine niedrige Ausgangsleistung können Verschattungen sowie eine schlechte Ausrichtung des Neigungs- und Seitenwinkels an Ihren Standort sein. Verwenden Sie einen Solar Pathfinder, um neue Ursachen für eine Verschattung zu finden, und beseitigen Sie diese, falls möglich. Auch wenn es nicht möglich ist, die Ausrichtung des Neigungs- und Seitenwinkels der Anlage anzupassen, um die Module direkter auf die Sonne auszurichten, sollten Sie aber die Neigungs- und Seitenwinkel kennen, um eine Basis als künftige Referenz zu etablieren.

In großen PV-Systemen fließt die Energie einer Solaranlage, nachdem sie invertiert wurde, durch Transformatoren, um die Spannung zu erhöhen, und dann zu Schaltanlagen- und Mittelspannungskabeln, wo ein verringerter Isolationswiderstand ein häufiges Problem ist. Für Mittel- und Hochspannungskabel verwenden Sie das 10-kV-Isolationsmessgerät Fluke 1555 FC, das bis zu 10.000 V messen kann.

Vergleichen Sie bei Systemen mit Akkus die erwartete Akkuspannung und den Ladezustand mit dem tatsächlichen Wert mit dem Batterieanalysator der Serie Fluke 500.

**Fluke.** *Damit Ihre Welt intakt bleibt.®*

**Fluke Deutschland GmbH**  
In den Engematten 14  
79286 Glottertal  
Telefon: 0 69 2 2222 0203  
E-Mail: CS.Deutschland-ELEK@Fluke.com  
E-Mail: CS.Deutschland-INDS@Fluke.com  
www.fluke.de

**Technischer Beratung:**  
Beratung zu Produkteigenschaften,  
Spezifikationen, Messgeräte und  
Anwendungsfragen  
Tel.: +49 (0) 7684 8 00 95 45  
E-Mail: techsupport.dach@fluke.com

**Fluke Austria GmbH**  
Liebermannstraße F01  
2345 Brunn am Gebirge

Telefon: +43 (0) 1 928 9503  
E-Mail: roc.austria@fluke.nl  
www.fluke.at

**Fluke (Switzerland) GmbH**  
Industrial Division  
Hardstrasse 20  
CH-8303 Bassersdorf  
Telefon: +41 (0) 44 580 7504  
E-Mail: info@ch.fluke.nl  
www.fluke.ch

©2021 Fluke Corporation. Alle Rechte vorbehalten.  
Änderungen vorbehalten.  
8/2021 210732-de

Dieses Dokument darf nicht ohne die schriftliche Genehmigung der Fluke Corporation geändert werden.