

# Kennlinienmessung während des Betriebs

10.02.2021, 14:44 Uhr

Kommentare: 0

Prüfen



(Bildquelle: temis/iStock/Thinkstock)

**Damit Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung auch im Zuge sinkender Einspeisevergütungen vernünftige Renditen abwerfen, ist die fachgerechte Installation der Anlage wichtig. Entsprechende Messtechnik gibt hier die notwendige Sicherheit, alles richtig gemacht zu haben.**

## Überprüfung von PV-Anlagen - die Normensituation

Das Errichten von PV-Anlagen hat nach den bestehenden IEC-/DIN-EN-/VDE-Bestimmungen zu erfolgen.

Die sicherheitstechnischen Anforderungen, die Installation und die Systemdokumentation, Inbetriebnahmeprüfung und wiederkehrende Prüfung für netzgekoppelte PV-Anlagen sind nach folgenden Normen auszuführen:

- IEC 60364-1 (VDE 0100-100 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 1: Allgemeine Grundsätze“)
- IEC 60364-6 (VDE 0100-600 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 6: Prüfungen“)
- DIN EN 50110-1 (VDE 0105-100 „Betrieb von elektrischen Anlagen“)
- DIN EN 62305-3 (VDE 0185-3 „Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen“)
- IEC 60364-7-712 (VDE 0100-712 „Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme“)
- DIN EN 62446 (VDE 126-23 „Photovoltaik (PV)-Systeme – Anforderungen an Prüfung, Dokumentation und Instandhaltung“)

Die DIN EN 62446 (VDE 0126-23) definiert auch die durchzuführenden Prüfungen und Messungen zur Inbetriebnahme sowie der wiederkehrenden Prüfungen und Messungen.

Demnach sind folgende Prüfungen durchzuführen:

- Wechselstromsystem: Prüfung aller Wechselstromkreise nach den Anforderungen in IEC 60364-6
- Gleichstromsystem: Vor der Prüfung ist sicherzustellen, dass alle PV-Stränge gegeneinander isoliert sind sowie Trennvorrichtungen und Schaltgeräte „offen“ sein müssen. Die Schutz- (Funktionserder) und Potenzialausgleichsleiter sind auf Durchgängigkeit zu prüfen, inklusive Anschluss an der Haupterdungsklemme (Niederohmprüfung). Es ist eine Polaritätsprüfung aller Gleichstromleitungen durchzuführen und deren Anschluss sowie die korrekte Kennzeichnung zu prüfen. Es ist eine Prüfung/Messung der Leerlaufspannung jedes Strangs bei stabilen Einstrahlungsbedingungen durchzuführen, inklusive eines Vergleichs identischer Stränge. Prüfung/Messung des Kurzschlussstroms jedes Strangs bei stabilen Einstrahlungsbedingungen, inklusive Vergleich identischer Stränge, ist durchzuführen. Es sind Funktionsprüfungen der ordnungsgemäßen Montage und deren korrekte Anschlüsse sowie eine Netzausfallprüfung durchzuführen. Abschließend ist der Isolationswiderstand der Gleichstromkreise zu ermitteln.

Trotz sorgfältiger Installation können bei einer PV-Anlage im Betrieb Fehler auftreten – oder man wird von einem Kunden gerufen, dessen Anlage ein anderer Betrieb errichtet hat. Bei der anstehenden Fehlersuche sollte man mit einer gewissen Systematik an die Aufgabe herangehen, um den bzw. die Fehler möglichst genau eingrenzen und anschließend beseitigen zu können.

Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an die eingesetzte Messtechnik zur Kennlinienmessung.

## Funktionsprinzip des Kennlinienmessgeräts

Mit einem Kennlinienmessgerät kann man die Leistungsangaben von Herstellern mit der tatsächlich erbrachten Modul- und Strangleistung vergleichen.

In Abbildung 1 ist ein typisches Kennlinienmessgerät für den mobilen Einsatz dargestellt. Auf dem Display liest der Anwender die Kenndaten ab, die er anschließend im Gerät speichern kann. Um die Daten auszuwerten und Rückschlüsse daraus zu ziehen, muss er einen Computer zu Hilfe nehmen.



Abb. 1: Stand der Technik - Kennlinienmessgerät für den mobilen Einsatz (Quelle: HT Instruments)

Die wichtigste Funktion eines Kennlinienmessgeräts ist die Messung der aktuellen Leistung eines Moduls oder eines Strangs. Die Leistung, die ein Solargenerator erzeugt, ist das Produkt aus Strom (I) und Spannung (U). Für eine Kennlinie werden die beiden Größen in einem Koordinatensystem dargestellt. Auf der x-Achse wird die Spannung abgebildet, auf der y-Achse der Strom, der bei dieser Spannung am Modul fließt. Das Ergebnis der grafischen Darstellung ist die Stromspannungskennlinie. Dort, wo das Produkt aus Strom und Spannung maximal ist, befindet sich der „Maximum Power Point“ (MPP), der Punkt der maximalen Leistung. Die Eingangsregelungen des Wechselrichters haben die Aufgabe, Module bei Spannungen und mit Strömen zu betreiben, die möglichst nahe am MPP liegen.

Im Messgerät befindet sich ein zylinderförmiger Kondensator, der als kurzzeitiger Zwischenspeicher dient. Das Modul lädt den Kondensator auf. Der Kondensator lädt sich von null auf die Endspannung der Quelle auf. Bei diesem Aufladevorgang werden die Strom- und Spannungswerte gemessen. Zuerst ist die Spannung klein und der Strom groß. Mit zunehmender Aufladung steigt die Spannung und sinkt der Strom. Eine bestimmte Anzahl von Messwerten zwischen den Eckwerten ergibt die Kennlinie.

Das Kennlinienmessgerät kann nur die Leistung eines Moduls oder eines Strangs bei der gerade herrschenden Sonneneinstrahlung messen. Die Angaben der Hersteller basieren jedoch auf den sogenannten Standardtestbedingungen (STC). Die künstlich erzeugten Bedingungen sehen z.B. eine Sonneneinstrahlung von  $1.000 \text{ W/m}^2$  und eine Zelltemperatur von  $25 \text{ °C}$  vor. Diese Laborbedingungen werden in der Realität kaum erreicht. Um das Modul mit den Herstellerangaben vergleichen zu können, müssen die real gemessenen Werte deshalb nach Standardtestbedingungen umgerechnet werden. Hierfür liefern die Messgerätehersteller die entsprechenden Sensoren mit. Aus der Umrechnung erhält man die Nennleistung der realen Anlage, wenn sie unter Standardtestbedingungen betrieben würde.

Die Kennlinienmessung an PV-Generatoren (Modulen, Strings, Arrays) darf einerseits nicht zu schnell verlaufen (hohes  $dV/dt$ ), da bei schneller Messung ( $< 20 \text{ ms}$ ) durch kapazitive/induktive Eigenschaften des Generators bzw. Messaufbaus die gemessene Kennlinie verändert werden kann und nicht mehr allein die Charakteristik des PV-Generators wiedergibt. Auf der anderen Seite darf die Messung nicht zu langsam verlaufen

(> 1 Sek.), da sonst die Gefahr von Schwankungen der Einstrahlung während der Messung deutlich zunimmt, welche die Messergebnisse beeinflussen würden. Auch die Modultemperatur ist hiervon betroffen, die zwar relativ träge reagiert, sich aber innerhalb von Sekunden doch ändern kann.

## Durchführung einer Kennlinienmessung

In Abbildung 2 ist der Messaufbau zur Durchführung einer Kennlinienmessung während des Betriebs dargestellt

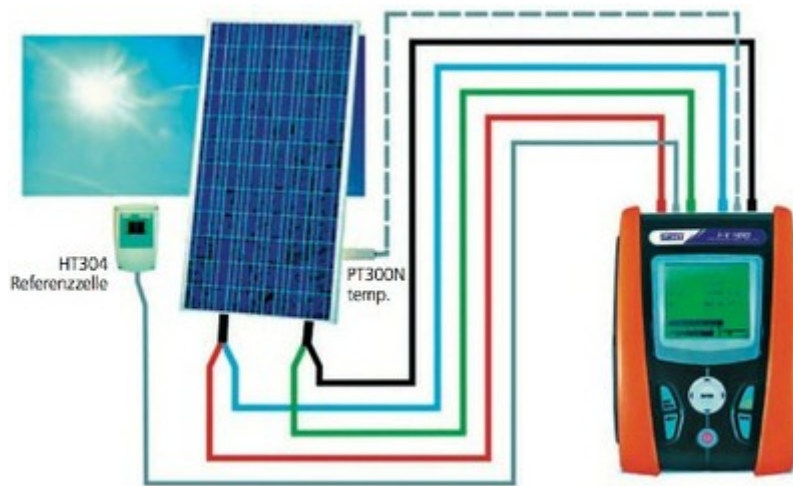


Abb. 2: Messaufbau zur Durchführung einer Kennlinienmessung während des Betriebs (Quelle: HT Instruments)

Der Messaufbau besteht aus dem eigentlichen Kennlinienmessgerät (hier z.B. I-V400 von HT-Instruments), Verkabelung zur PV-Anlage, einem Einstrahlungssensor für die Ermittlung der aktuellen Einstrahlung und einem Temperatursensor für die Ermittlung der aktuellen Modultemperatur.

Mit dem Kennlinienmessgerät lässt sich die Strom-Spannung-Kennlinie von PV-Modulen und von Strings bis 1.000 V und 10 A DC ermitteln.

## Durchführung einer Kennlinienmessung - Sicherheitsvorkehrungen

Das eingesetzte Kennlinienmessgerät sollte in Übereinstimmung mit den Sicherheitsstandards gemäß EN 61010-1 für elektronische Messinstrumente entwickelt worden sein.

Zu eigenen Sicherheit und der des Messgeräts sollten die in der jeweiligen Anleitung beschriebenen Abläufe befolgt werden.

Zu beachten sind die folgenden Hinweise vor und während der Messungen:

- Nie Spannung oder Strom in feuchter Umgebung messen.
- Nie in der Nähe von Gas, explosiven oder brennbaren Stoffen Messungen durchführen.
- Vermeiden Sie das Berühren des zu messenden Schaltkreises, auch wenn gerade keine Messung durchgeführt wird.
- Vermeiden Sie das Berühren blanker Metallteile, nicht belegter Messanschlüsse, Schaltkreise und so weiter.
- Benutzen Sie das Gerät nicht, wenn es Fehlfunktionen aufweist, wie z.B. Verformungen, Unterbrechungen, Undichtigkeiten, Fehlen von Meldungen in der

Anzeige und so weiter.

- Messen Sie nur mit zugelassenen Messleitungen bzw. Originalzubehör.

## Auswertung der Messergebnisse

Weicht z.B. die Form der Kennlinie von ihrem idealen Verlauf ab oder zeigt sie Knicke oder Beulen, ist dies meist ein Zeichen für defekte Zellen (z.B. durch Korrosion, Mikrorisse, gelöste Lötverbindungen, eingedrungenes Wasser etc.).

In Abbildung 3 ist die Auswertung einer Kennlinienmessung dargestellt.

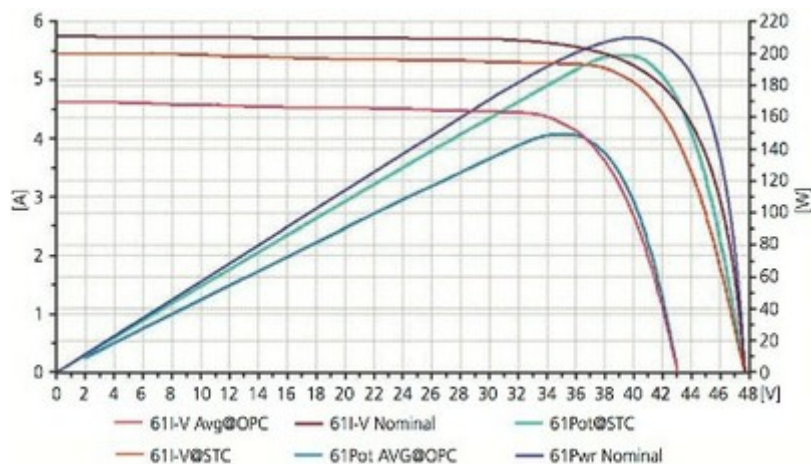


Abb. 3: Auswertung der I-U-Kennlinie am PC - Darstellung typischer Kennlinien (Quelle: HT Instruments)

Unregelmäßigkeiten fallen durch die grafische Darstellung auf dem Display sofort ins Auge. Die gemessenen Kenndaten der PV-Module werden direkt auf dem Bildschirm des I-V400 als Grafik und als Messwerte angezeigt.

Eine Duo-Referenzzelle, die zum Lieferumfang gehört, misst die Lichtverhältnisse am Einbauort. Durch einfachen Tastendruck werden dann die aktuelle Leistung, die Peakleistung, der Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung auf Standardtestbedingungen (AM 1,5; 1.000 W/m<sup>2</sup>; 25 °C) automatisch umgerechnet und als Grafik im Display dargestellt. Auch die gemessene und auf STC (Standardtestbedingungen) umgerechnete I-U- und Leistungskennlinie werden angezeigt. Aus dem Vergleich zwischen der gemessenen und der vorgegebenen Kennlinie des Herstellers - bis zu 35 Moduldaten können gleichzeitig in der Messgeräte-Datenbank hinterlegt werden - lassen sich sofort Rückschlüsse auf den aktuellen Qualitätszustand der PV-Module schließen.

In Abbildung 4 sind die angezeigten Messwerte des Kennlinienmessgeräts dargestellt. Dabei werden die Peakleistung (bei STC) und die aktuelle Leistung (MPP), Kurzschlussstrom („Isc“) und Leerlaufspannung („Uoc“) sowie „Impp“ und „Umpp“, Füllfaktor „FF“ in Prozent, Serienwiderstand Rs, Temperatur der Solarzelle, aktuelle Einstrahlung in W/m<sup>2</sup> dargestellt. Zusätzlich wird eine grafische Darstellung der I-U- und PWR-Kennlinie und das Gesamtergebn der Prüfung „OK“ bzw. „NOK“ abgebildet.

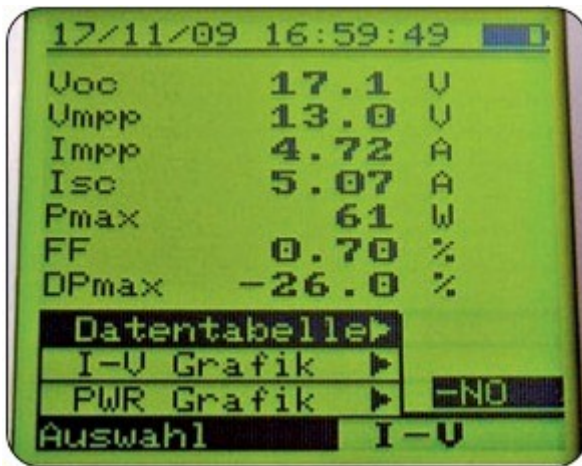


Abb. 4: Angezeigte Messwerte des Kennlinienmessgeräts (Quelle: HT Instruments)

Die Speicherung der Messdaten und der Kennlinie kann nach der Messung mit drei Referenznummern (Anlage, String, Modulnummer) und Textkommentar im Messgerät erfolgen. Zur weiteren Auswertung und Protokollerstellung werden die Daten über die USB-Schnittstelle auf den PC übertragen.

Eine Datenbank mit den Kenndaten der gängigsten PV-Module ist bereits im Gerät integriert. Diese Modul-Datenbank kann jederzeit durch den Anwender vor Ort und/oder über die PC-Schnittstelle erweitert bzw. aktualisiert werden.

## Fehleranalyse anhand der Kennlinienmessung

Hinweise auf mögliche Fehler in einer PV-Anlage geben v.a. Abweichungen in der Strom-Spannungs-Charakteristik (I-U-Kennlinie) sowie der Wert des Serieninnenwiderstands.

Die Strom-Spannungs-Kennlinie eines PV-Generators zeigt verschiedene Eigenschaften und Probleme des Generators und bildet Grundlage einiger wesentlicher Kennwerte. Des Weiteren stellt diese das Verhalten des PV-Generators bei unterschiedlichen Belastungszuständen in einem Diagramm dar. Die Charakteristik hängt von der aktuellen Bestrahlungsstärke sowie der Zelltemperatur ab.

So zeigen sich z.B. Teilabschattung als Diffus- oder Schlagschatten ebenso in der Kennlinie wie ein hoher Serieninnenwiderstand oder möglicherweise auch z.B. fehlende oder falsch montierte Bypass-Dioden. Typische Fehler und deren Einfluss auf die I-U-Kennlinie zeigen die Abbildungen 5 und 6.

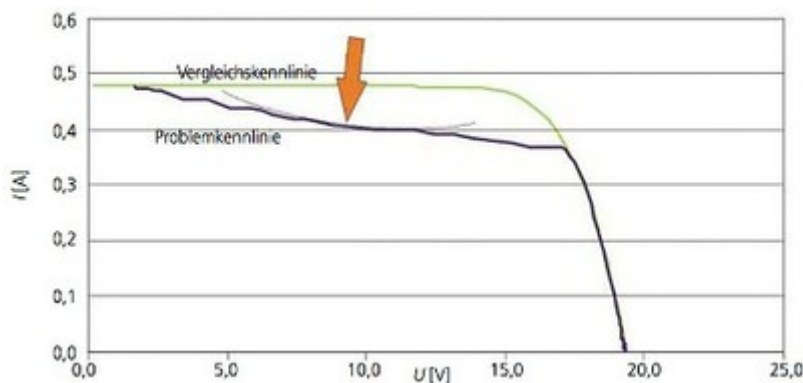


Abb. 5: Teilabschattung eines Moduls durch Teilverschmutzungen (z.B. Laub) (Quelle: PVE)

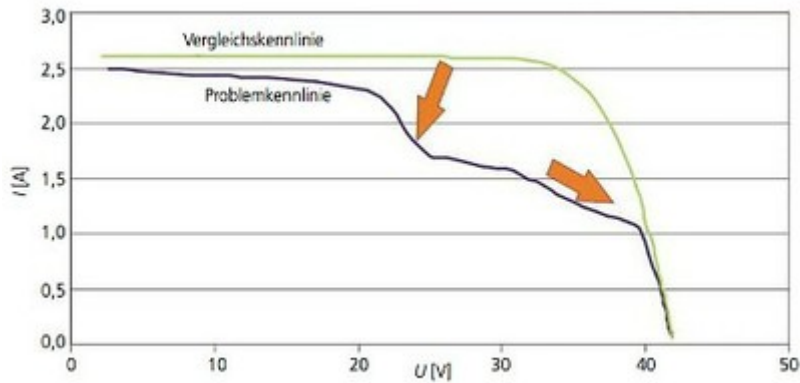


Abb. 6: Abschattung (linker Pfeil) und Matchverluste (rechter Pfeil) (Quelle: PVE)

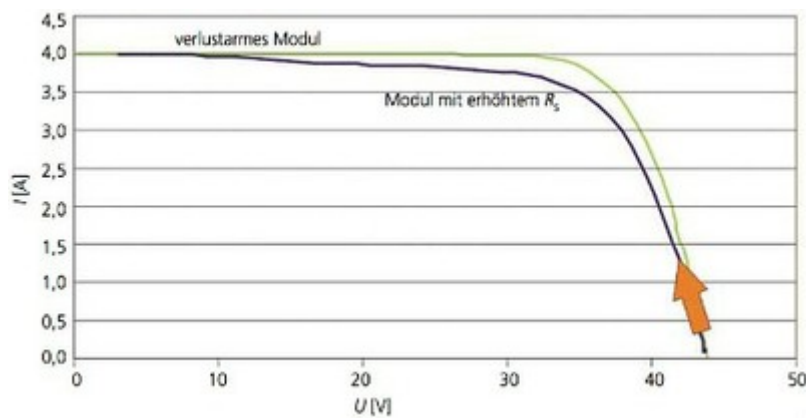


Abb. 7: Verluste durch zu hohen Serieninnenwiderstand, z.B. schlechte Kontakte (Quelle: PVE)

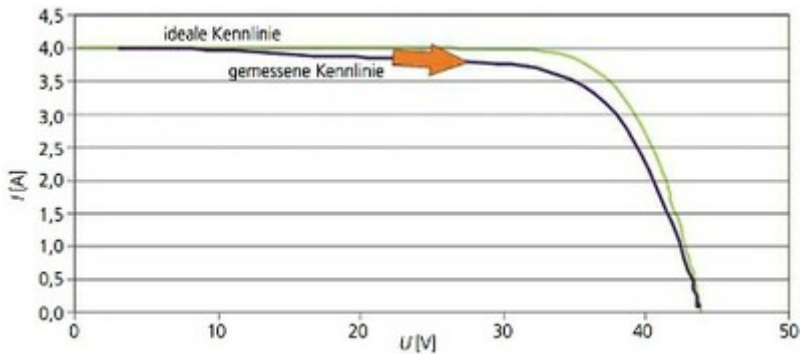


Abb. 8: Kleiner Parallelwiderstand, z.B. durch Anpassungsverlust (Quelle: PVE)

Beitrag aus dem Jahr 2012, geprüft am 10.02.2021

## Prüfung von Photovoltaik-Anlagen

Alles Wichtige zur Prüfung, Wartung und zum Betrieb von Photovoltaik-Anlagen erfahren Sie jetzt aktuell in den „Unterweisungen für die Elektrofachkraft“. Mit ausführlichen Verweisen zu den Normen und Vorschriften! Schauen Sie doch gleich mal rein.

## Tipp der Redaktion



Die komplette Unterweisung finden Sie ab sofort in unserem Unterweisungsprofi: Die moderne Foliensammlung

- Erfüllen Sie Ihre Unterweisungspflichten.
- Schulen Sie Ihre Elektrofachkräfte ansprechend und umfassend in wichtige Themen der Elektrosicherheit

[Jetzt testen!](#)

## Weitere Beiträge

- [Prüfung von PV-Anlagen nach DGUV-Vorschrift 3](#)
- [Sind Photovoltaik-Insulanlagen meldepflichtig?](#)
- [Durchführung von Erdungsmessungen](#)
- [Photovoltaik: rasanter Ausbau weltweit](#)
- [Arbeiten unter Spannung an PV-Anlagen](#)
- [Elektrische Sicherheit von PV-Anlagen](#)
- [PV-Anlagen: Anforderungen der DIN EN 62446](#)
- [EMV von Photovoltaikanlagen](#)
- [Blitz- und Überspannungsschutz bei Photovoltaikanlagen](#)

Weitere Beiträge zum Thema

- [Darf ein Auszubildener elektrotechnische Prüfungen durchführen?](#)
- [Messpraktikum: Schleifenimpedanz und Netzzinnenwiderstand](#)
- [Überziehen von Prüfzisten](#)
- [Prüfmittel rechtskonform auswählen und benutzen](#)
- [Elektroprüfungen nach Betriebssicherheitsverordnung](#)
- [Sprache von Prüfprotokollen](#)

---

**Autor:**

[Dr.-Ing. Florian Krug](#)

Technologiemanager und Sachverständiger im Bereich Erneuerbare Energien



Dr. Florian Krug ist Technologiemanager und Sachverständiger im Bereich Erneuerbare Energien sowie Autor von mehr als 100 Veröffentlichungen in nationalen und internationalen Zeitschriften.