

# Ursachen

## für Minder-Leistung und -Ertrag von PV-Generatoren

Fehler	Erkennbar durch:	Mögliche Ursache / Abhilfe
Anlagenkonfiguration nicht optimal gewählt	Messung von Matchverlusten	Planungsfehler / <i>Neukonfiguration</i>
Fehlerhafte Anpassung von Strings an Wechselrichter	Eingespeiste Leistung für Standort und Leistung des Generators zu gering	Planungsfehler / <i>Neukonfiguration, Austausch der Wechselrichter</i>
<b>Abschattung mit Schlagschatten</b>	I-U-Kennlinie hat "Beulen", <b>Peakleistung</b> zu gering, optische Kontrolle	Hindernis in direkter Nähe zum Modul (z.B. Vogelkot) / <i>Hindernis beseitigen</i>
<b>Abschattung diffus</b> (möglicherweise mit bloßem Auge nicht erkennbar!)	I-U-Kennlinie ist "eingedrückt", <b>Peakleistung</b> zu gering	Hindernis in einiger Entfernung (diffuser Lichtanteil hoch) / <i>Hindernis beseitigen</i>
Korrosion an Steckern/Klemmen	<b>Serieninnenwiderstand Rs</b> zu hoch	Material-, Planungs-, Montagefehler / <i>Reinigen, Austausch</i>
Ablösung der Zelleinbettung	wie <b>Abschattung diffus</b>	Material-, Herstellungsfehler / <i>Austausch</i>
Blasenbildung in Harz	wie <b>Abschattung diffus</b>	Materialfehler / <i>Austausch durch Lieferanten</i>
Blindwerden des transparenten Deckmaterials (Glas, Kunststoff, Harz)	Optische Kontrolle, <b>Peakleistung</b> zu gering (s.a. Abschattung diffus)	Materialfehler / <i>Austausch durch Lieferanten</i>
Verfärbung des transparenten Deckmaterials (Kunststoff, Harz)	Optische Kontrolle, <b>Peakleistung</b> zu gering (s.a. <b>Abschattung diffus</b> )	Materialfehler / <i>Austausch durch Lieferanten</i>
Eindringen von Feuchtigkeit zwischen das Laminat, führt zu anderen Schäden (Korrosion, Verfärbung)	Optische Kontrolle	Material-, Herstellungsfehler / <i>Austausch durch Lieferanten</i>
Fehler in einzelnen Zellen durch Micro-Shunts (Hot-Spot-Effekt)	wie <b>Abschattung diffus</b>	Herstellungsfehler / <i>Preisminderung, Austausch durch Lieferanten</i>
Verschmutzung des Moduls durch Staub	Optische Kontrolle, wie <b>Abschattung diffus</b>	Hohe Staubbelastung (In Deutschland meist kein Problem). Module regelmäßig kontrollieren / <i>Reinigung</i>
Moos-/Algenbewuchs des Moduls, Vogelkot	wie <b>Abschattung mit Schlagschatten</b>	Je nach Region und Lage normal / <i>Reinigung</i>
Bruch des Deckglases, führt zu anderen Schäden (Korrosion, Verfärbung)	Optische Kontrolle	Hagelschlag, Montagefehler, Transportschaden / <i>Austausch d. Liefer.</i>
Bruch von Einzelzellen im Modul	<b>Peakleistung</b> zu gering, eventuell Verformung der I-U-Kennlinie	Materialfehler / <i>Austausch durch Lieferanten</i>
Mangelhafte elektrische Verbindungen im Modul	<b>Peakleistung</b> zu gering, <b>Serieninnenwiderstand Rs</b> höher als berechnet	Fehler in Lötung, Materialfehler, Korrosion / <i>Austausch durch Lieferanten</i>
Bypassdiode defekt (Kurzschluss)	<b>Peakleistung</b> des Strings um Modulleistung verringert	Überlastung, Materialfehler / <i>Reparatur</i>
Bypassdiode falsch herum montiert	<b>Peakleistung</b> des Strings um Modulleistung verringert	Montagefehler / <i>Reparatur</i>
Keine Bypassdiode montiert oder Diode defekt (hochohmig)	Abschattung eines Moduls kann Leistung des Strings dramatisch verringern	Planungs-, Montagefehler / <i>Reparatur</i>
Verkabelung zu klein dimensioniert	<b>Serieninnenwiderstand Rs</b> zu hoch	Planungsfehler / <i>Austausch der Verkabelung</i>
Kabel defekt (z.B. Bruch, Korrosion)	<b>Serieninnenwiderstand Rs</b> zu hoch	Montagefehler / <i>Reparatur</i>
Mangelhafte Anschluss von Steckverbindern	<b>Serieninnenwiderstand Rs</b> zu hoch	Montagefehler / <i>Reparatur</i>
Korrosion in Schraub- oder Steckverbindern	<b>Serieninnenwiderstand Rs</b> zu hoch	Montagefehler / <i>Reinigung, Reparatur</i>
Mangelhafte Vorauswahl von Modulen nach Peakleistung (gute/schlechte Module jeweils in einen String)	<b>Peakleistung</b> der Anlage zu gering	Planungs-, Montagefehler (Matchverluste) / <i>Neuzusammenstellung der Module nach Peakleistungsmessung</i>
Mangelhafte Vorauswahl von Einzelzellen nach Leistung bei Modulherstellung	<b>Peakleistung</b> des Moduls zu gering	Herstellungsfehler / <i>Preisminderung, Austausch durch Lieferanten</i>
Kurzschluss zwischen Einzelzellen im Modul	<b>Peakleistung</b> der Anlage zu gering, Leerlaufspannung $U_{oc}$ zu klein, Kennlinienverlauf	Herstellungsfehler / <i>Austausch durch Lieferanten</i>
Herstellungstoleranzen in Zellproduktion	<b>Peakleistung</b> zu gering, Kennlinienverlauf	Herstellungsfehler / <i>Preisminderung, Austausch durch Lieferanten</i>
PID – Potentialinduzierte Degradation	<b>Peakleistung</b> zu gering, Spannung zu gering, Kennlinienverlauf	Planungsfehler, Materialfehler / <i>Nachbesserung, Austausch</i>

Bitte beachten: Fehler zeigen sich unter Umständen nur bei bestimmten Betriebszuständen, z.B. hohen Modultemperaturen

Diese Aufstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Fehlerfreiheit.



## *Messgeräte der Serie PVPM -*

### *mehr als „nur“ Kennlinien!*

#### **Der Serieninnenwiderstand $R_s$**

Dieser Widerstand ergibt sich physikalisch aus dem für die Modulherstellung verwendeten Material und dem Aufbau des Moduls sowie seines Kabelanschlusses und hat im Normalfall einen konstanten Wert. Dieser beträgt z. B. bei kristallinen Modulen etwa 1 Ohm, bei Dünnschichtmodulen mehr als 2 Ohm.

Die Messung des Serieninnenwiderstands ist neuerdings mit den Messgeräten der Serie PVPM möglich. Dazu muss nur eine einzelne I-U-Kennlinie des Moduls gemessen werden. Aus dieser Kennlinie berechnet das Gerät automatisch den  $R_s$  sowie auch die Peakleistung  $P_{pk}$  und den Parallelwiderstand  $R_p$ .

Der theoretisch zu erwartende Wert des Serieninnenwiderstands  $R_s$  lässt sich berechnen. Dies können Sie z.B. mit der Software PVPM:disp ausführen, wenn Sie die STC-Kennwerte  $U_{oc}$ ,  $I_{sc}$ ,  $U_{Mpp}$  und  $I_{Mpp}$  des Moduls kennen.

Den berechneten  $R_s$  können Sie nun mit dem gemessenen Wert vergleichen, den ein PVPM-Messgerät nach der Kennlinienmessung ausgibt. Ist der gemessene zu hoch, muss die Verkabelung auf Bruch, Korrosion, Verbindungsfehler oder Minderdimensionierung geprüft werden.

#### **Die Peakleistung $P_{pk}$**

Um die Vergleichbarkeit von Leistungsangaben bei PV-Modulen zu gewährleisten wurde allgemein vereinbart, dass die Nennleistung eines Moduls bei den Randbedingungen Zelltemperatur  $25^\circ\text{C}$ , Einstrahlung  $1000\text{W}/\text{m}^2$  und einem Lichtspektrum entsprechend  $AM=1,5$  gemessen und „Peakleistung“ genannt wird. Diese Randbedingungen heißen Standard Test Conditions (STC).

Leider sind die STC in der Natur nur sehr selten anzutreffen, so dass die entsprechenden Messungen bisher im Labor durchgeführt wurden, wo eben diese Bedingungen unter hohem Aufwand hergestellt werden mussten.

Mit den neuen Verfahren der Peakleistungs- und Kennlinienmessgeräte der Serie PVPM ist es nun möglich, die Messungen unter aktuellen Umweltbedingungen durchzuführen und vom Messgerät auf die STC umrechnen zu lassen. Damit stehen nach nur einer Kennlinienmessung als Ergebnis sofort die Peakleistung  $P_{pk}$ , der Serieninnenwiderstand  $R_s$  und der Parallelwiderstand  $R_p$  zur Verfügung. Diese Werte stellen, verglichen mit den Sollwerten für die gemessene Anlage, ein Indiz für unterschiedliche Fehler im PV-Generator dar und vereinfachen die Leistungskontrolle und Fehlersuche.