

ZIEL
Untersuchung des Einflusses partieller Verschattung

AUFGABEN

- Messung und Analyse der *I-U*-Kennlinie und der *P-R*-Kennlinie einer Reihenschaltung zweier Photovoltaikmodule.
- Messung und Analyse der Kennlinien bei partieller Verschattung mit und ohne Schutz durch Bypass-Dioden.
- Nachweis der Sperrspannung am ungeschützten verschatteten Modul.
- Bestimmung der Leistungsverluste durch partielle Verschattung.

ZUSAMMENFASSUNG

In Photovoltaikanlagen werden üblicherweise mehrere Module zu einem Strang in Reihe geschaltet. Die Module sind ihrerseits Reihenschaltungen aus vielen Solarzellen. In der Praxis treten partielle Verschattungen auf. Einzelne Elemente der Anlage werden dann mit geringerer Stärke bestrahlt und liefern nur einen kleinen Photostrom, der den Strom durch die gesamte Reihenschaltung begrenzt. Dies wird durch den Einsatz von Bypass-Dioden vermieden. Im Experiment stellen zwei Module aus je 18 Solarzellen eine einfache Photovoltaikanlage dar. Sie werden wahlweise ohne oder mit zusätzlichen Bypass-Dioden in Reihe geschaltet und mit dem Licht einer Halogenlampe bestrahlt.

BENÖTIGTE GERÄTE

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	SEG Solarenergie (230 V, 50/60 Hz)	1017732 oder
	SEG Solarenergie (115 V, 50/60 Hz)	1017731

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

In Photovoltaikanlagen werden üblicherweise mehrere Module zu einem Strang in Reihe geschaltet. Die Module sind ihrerseits Reihenschaltungen aus vielen Solarzellen.

Die Berechnung von Strom und Spannung in einer solchen Reihenschaltung folgt den Kirchhoff'schen Gesetzen unter Beachtung der Strom-Spannungs-Charakteristik der Solarzellen. Durch alle Module der Reihenschaltung fließt der gleiche Strom *I* und die Gesamtspannung

$$(1) \quad U = \sum_{i=1}^n U_i$$

n: Anzahl der Module

ist die Summe aller Spannungen *U_i* zwischen den Anschlüssen der einzelnen Module. Die Strom-Spannungs-Charakteristik einer Solarzelle bzw. eines Moduls lässt sich gut mit Hilfe einer Ersatzschaltung erklären, die als Antiparallelschaltung aus einer den Photostrom liefernden Konstantstromquelle und einer „Halbleiterdiode“ aufgebaut ist. Auftretende ohmsche Verluste entsprechen einem zusätzlich parallel geschalteten Widerstand (siehe Experiment UE8020100 und Fig. 1). Der Photostrom ist proportional zur Bestrahlungsstärke des Lichts. Bei gleicher Bestrahlungsstärke verhalten sich alle Module gleich und bauen die gleiche Einzelspannung auf. Dann wird aus Gl. 1:

$$(2) \quad U = n \cdot U_1$$

In der Praxis können jedoch partielle Verschattungen in einer Photovoltaikanlage auftreten. Einzelne Module der Anlage werden dann mit geringerer Stärke bestrahlt und liefern nur einen kleinen Photostrom, der den Strom durch die gesamte Reihenschaltung begrenzt. Diese Strombegrenzung führt dazu, dass sich unterschiedliche Spannungen *U_i* an den einzelnen Modulen aufbauen.

Im Extremfall erreichen die Spannungen an den voll ausgeleuchteten Modulen selbst bei Kurzschluss (*U* = 0) Werte bis hin zur Leerlaufspannung, siehe auch Fig. 2. Die Summe dieser Spannungen liegt in Sperrrichtung an den verschatteten Modulen. Dies kann massives Aufheizen verursachen und die Verkapselung oder gar die Solarzellen selber zerstören. Zum Schutz werden Photovoltaikanlagen mit Bypass-Dioden ausgerüstet, die den Strom am verschatteten Element vorbeiführen können.

Im Experiment stellen zwei Module aus je 18 Solarzellen eine einfache Photovoltaikanlage dar. Sie werden wahlweise ohne oder mit zusätzlichen Bypass-Dioden in Reihe geschaltet und mit dem Licht einer Halogenlampe bestrahlt. Zunächst werden beide Module gleich stark beleuchtet und später ein Modul so verschattet, dass es nur den halben Photostrom liefert.

In allen Fällen werden die *I-U*-Kennlinien vom Kurzschluss bis zum Leerlauf aufgezeichnet und verglichen. Außerdem werden die Leistungen als Funktionen des Lastwiderstandes berechnet, um die Leistungsverluste durch Verschattung und den Einfluss der Bypass-Dioden zu bestimmen.

Für den Kurzschlussfall wird außerdem separat die Spannung am verschatteten Modul gemessen. Sie erreicht -9 V, wenn das Modul nicht durch eine Bypass-Diode geschützt ist.

AUSWERTUNG

Liefert ein Modul z.B. nur den halben Photostrom, bestimmt dieser den Kurzschlussstrom der Reihenschaltung, wenn keine Bypass-Diode eingesetzt wird.

Mit Bypass-Diode wird erreicht, dass das voll ausgeleuchtete Modul seinen höheren Strom liefert, bis dieser abnimmt, weil die Leerlaufspannung des einzelnen Moduls erreicht wird.

Das mathematische Modell zur Anpassung der Messwerte in Abb. 3 und 4 berücksichtigt die Kirchhoff'schen Gesetze und verwendet die in Experiment UE8020100 ermittelte Strom-Spannungs-Kennlinie der einzelnen Module mit den Parametern *I_s*, *U_T* und *R_p*. Zur Berücksichtigung der Bypass-Dioden wird deren Kennlinie eingesetzt.

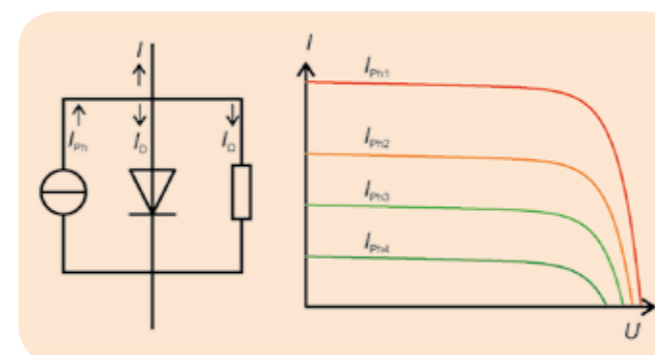


Abb. 1: Ersatzschaltbild und Kennlinien einer Solarzelle

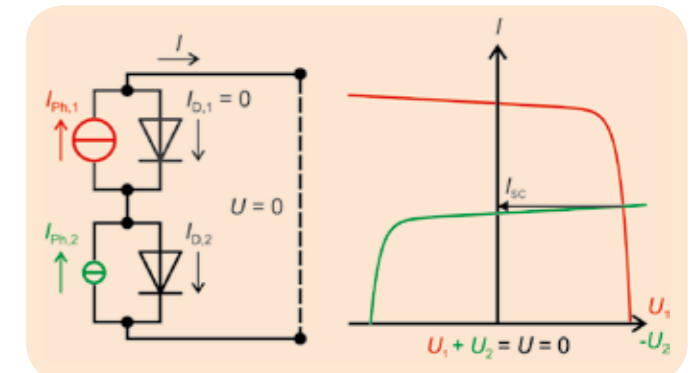


Abb. 2: Schematische Betrachtung einer partiellen Verschattung der Reihenschaltung zweier Module ohne Bypass, bei Kurzschluss (*U* = 0). Die Kennlinie des verschatteten Moduls (grün) ist gespiegelt dargestellt. Hier stellt sich eine Spannung *U₂* in Sperrrichtung ein.

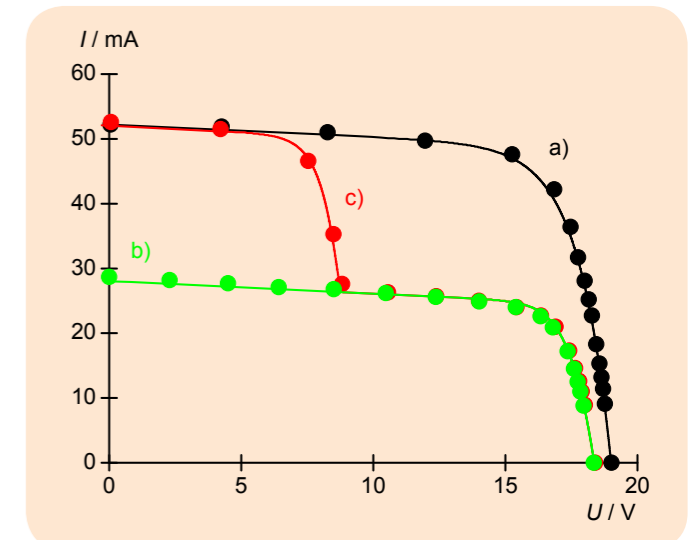


Abb. 3: *I-U*-Kennlinie der Reihenschaltung zweier Module. a) ohne Verschattung, b) partielle Verschattung, ohne Bypass, c) partielle Verschattung, mit Bypass

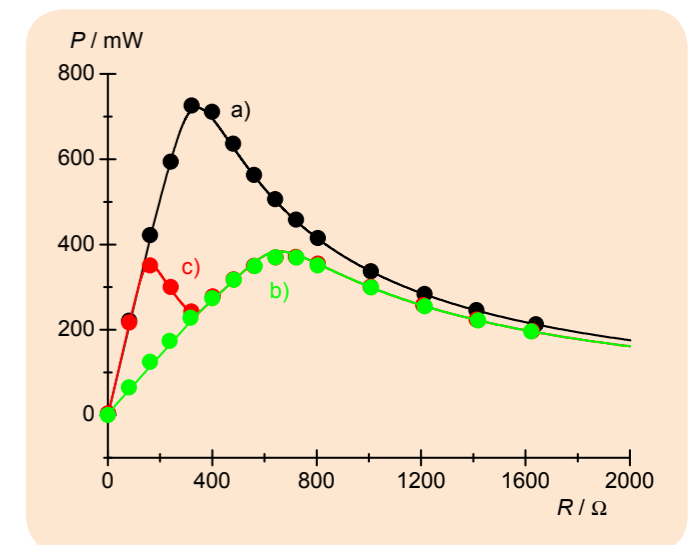


Abb. 4: *P-R*-Kennlinie der Reihenschaltung zweier Module. a) ohne Verschattung, b) partielle Verschattung, ohne Bypass, c) partielle Verschattung, mit Bypass

Technische Informationen zu den Geräten finden Sie unter 3bscientific.com

