

Energieertragsmessungen von Photovoltaik Modulen – Erfahrungen aus Langzeitmessungen und bei der Bestimmung von Einstrahlungs- und Temperaturverhalten

T. Degner, P. Funtan, D. Tinarwo,
ISET e.V., Königstor 59, D-34119 Kassel,
Tel.: +49-561-7294-232, Fax +49-561-7294-200,
Email: tdegner@iset.uni-kassel.de, Internet: <http://pvtestlab.de>

1. Einleitung

Photovoltaikmodule werden am ISET nach verschiedenen Kriterien untersucht und getestet. Einen Schwerpunkt bilden Untersuchungen zum Energieertrag und Performance Ratio. Dazu wird der Energieertrag der Module, die z.B. mit einer geregelten Last im Punkt maximaler Leistung (MPP) betrieben werden, im Freifeld über einen hinreichend langen Zeitraum aufgezeichnet. Der so gemessene Energieertrag wird dann verglichen mit dem Energieertrag, den das PV Modul bei gleichen Einstrahlungsbedingungen aber einem Wirkungsgrad wie unter Standardtestbedingungen (STC) erreichen soll. Mit dem IEC Norm Entwurf 82/254/NP „Performance testing and energy rating of terrestrial photovoltaic (PV) modules“ gibt es einen neuen Vorschlag zur Vermessung und Bewertung des Energieertrags von PV Modulen. Hier werden systematisch verschiedene Faktoren gemessen, die den Energieertrag bzw. die Leistungsabgabe von PV-Modulen beeinflussen. Diese Faktoren sind u.a. die Einstrahlungsintensität, Modultemperatur und Reflexionsverluste. Nach Auswertung der Messungen wird die Leistung bzw. der Energieertrag der Module für definierte Referenzbedingungen berechnet.

2. Technische Infrastruktur am ISET

Für Untersuchungen zum Energieertrag von PV Modulen stehen am ISET Testmöglichkeiten für freiaufgestellte Module (südliche Ausrichtung, Neigung optimiert auf den Jahresenergieertrag am Standort), für vertikale Ausrichtung mit freier Ventilation oder integriert in eine experimentelle PV Fassade zur Verfügung. Ergänzend werden die meteorologischen Bedingungen (Umgebungstemperatur, Windgeschwindigkeit, Einstrahlung) erfasst. Derzeit befinden sich auf den Testständen über 40 Module die einzeln vermessen werden im Dauertest.

3. IEC Norm Entwurf zur Energieertragsbestimmung von PV Modulen

In dem IEC Norm Entwurf „Performance testing and energy rating of terrestrial photovoltaic (PV) modules“ wird ein Test und Bewertungssystem für PV Module vorgeschlagen, welches die Leistung (in W) und den Ertrag (in Wh) der PV Module im MPP Betrieb für einen bestimmten Umfang von Umgebungsbedingungen bzw. für spezielle, standardisierte Testtage liefert. Mit diesem Bewertungssystem soll die derzeit übliche Bewertung der PV Module bei STC Bedingungen ergänzt werden. Außerdem ergeben sich dabei Parameter für die Abhängigkeiten von Einstrahlung, Temperatur, Spektrum und Einfallswinkel.



Abb.1: Testfelder für PV Module am ISET (Teilansichten)

Aus dem im Normentwurf vorgesehenen umfangreichen Testverfahren haben wir uns näher mit der Messung von Einstrahlungs- und Temperaturverhalten von PV-Modulen beschäftigt. Der Normentwurf sieht hier die Messung im Solarsimulator oder alternativ unter natürlichen Einstrahlungsverhältnissen vor. Im einzelnen sollen gemessen werden:

- Der Kurzschlussstrom I_{sc} in Abhängigkeit von Einstrahlung E und Modul Temperatur T_{mod} bei den Werten $E=100,200,400,600,800,1000,1100 \text{ W/m}^2$ und $T_{mod}=5, 25, 45, 65^\circ\text{C}$.
- Die Leerlaufspannung V_{oc} , die Leistung im MPP P_{max} und die Spannung im MPP V_{max} jeweils in Abhängigkeit von Kurzschlussstrom I_{sc} und T_{mod} bei den Werten $I_{sc}=10,20,40,60,80,100,110\%$ von I_{sc} bei STC und $T_{mod}=5, 25, 45, 65^\circ\text{C}$.

Insgesamt ergeben sich so 4 Tabellen: $I_{sc}(E, T_{mod})$, $V_{oc}(I_{sc}, T_{mod})$, $P_{max}(I_{sc}, T_{mod})$ und $V_{max}(I_{sc}, T_{mod})$. Diese Tabellen bilden die Grundlage zur Bestimmung der Moduleigenschaften unter bestimmten Temperatur- bzw. Einstrahlungsbedingungen. Damit werden die Leistungs- und Energieerträge für definierte Testbedingungen und Testtage berechnet.

4. Messung von Temperatur und Einstrahlungsverhalten

Messaufbau: Zur Bestimmung des Temperatur- und Einstrahlungsverhaltens haben wir einen Messstand zur Messung unter natürlichen Einstrahlungsbedingungen aufgebaut. Entsprechend der Vorschläge im Normentwurf wurden die PV Module auf einem 2-achsigen Nachführsystem montiert. Damit werden Reflexionsverluste vermieden und die Änderung der Einstrahlung durch den sich ändernden Sonnenstand ist gegenüber einem System mit fester Ausrichtung relativ geringer. Die Einstrahlung wird mit einem Pyranometer sowie mit 2 weiteren Referenz Sensoren gemessen, die Modultemperatur wird auf verschiedenen Positionen auf der Modulrückseite gemessen. Zur Regulierung der Einstrahlung werden feinmaschige Drahtgitter verwendet. Die Module können durch eine Abdeckung abgeschattet und so temperiert werden. Die Kennlinien der Module werden mit einem Kennlinienmessgerät aufgezeichnet.

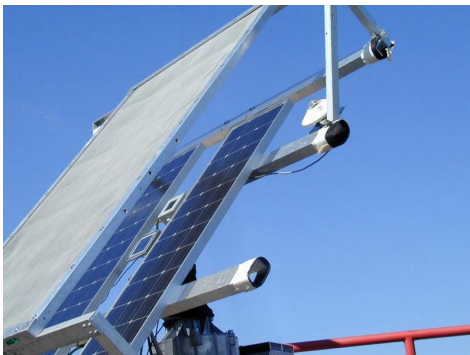


Abb. 2: Testaufbau zur Untersuchung von Einstrahlungs- und Temperaturverhalten von PV Modulen nach dem Norm Entwurf IEC 82/254/NP. Links: PV Module montiert auf einem 2-achsigen Nachführsystem. Rechts: Gitter zur Regulierung der Einstrahlungsintensität.

Messablauf: Die Module werden zunächst durch Abschatten auf Umgebungstemperatur temperiert. Nach Entfernen der Abschattungseinheit beginnt die Messung. Die Einstrahlung kann mit feinmaschigen Drahtgittern gezielt reduziert werden. Es werden IV Kurven bei nahezu konstanter Einstrahlung und verschiedenen Modultemperaturen aufgezeichnet.

Aufbereitung der Messdaten Zur Auswertung der Daten werden nur Messwerte herangezogen, bei denen die Airmass zwischen 1.25 und 1.75 liegt. Weiterhin werden Fehlmessungen aussortiert, indem nur Messungen mit einem Füllfaktor zwischen 0.68 und 1 berücksichtigt wurden. Aus den aufgezeichneten IV-Kurven werden I_{sc} , V_{oc} , V_{max} und P_{max} ermittelt. Anschließend werden die Messwerte in verschiedene Temperatur- und Einstrahlungsklassen sortiert, Mittelwerte und Varianzen berechnet. Klassen mit zu wenig Messwerten oder zu großer Streuung werden nicht weiter verwendet.

Ergebnisse: Es wurden Messungen an verschiedenen monokristalline PV-Modulen durchgeführt. Beispielhaft werden hier die Messungen an einem Siemens SM55 Modul vorgestellt. Die Messungen erfolgten an zwei aufeinanderfolgenden Tagen im September 2002 in Kassel. Für die Auswertung wurden etwa 1400 Einzelmessungen aufgezeichnet in 6 Stunden verwendet.

Einstrahlungsabhängigkeit: Abb. 3 zeigt beispielhaft die Einstrahlungsabhängigkeit von I_{sc} und P_{max} bei einer Temperatur von 25 °C.

Temperatur-Abhängigkeiten: Abb. 4 zeigt die Temperaturabhängigkeiten von I_{sc} , V_{oc} , V_{max} und P_{max} bei einer Einstrahlung von W/m^2 bzw. bei $I_{sc} =$ Nennstrom. Die daraus ermittelten Temperatur-Koeffizienten passen gut zu den Datenblattangaben (siehe Tab. 1).

Erfahrungen aus den Messungen:

- Die verwendeten Gitter eignen sich sehr gut zur Regulierung der Einstrahlung. Allerdings ist es schwierig genau die in der Norm vorgeschlagenen Werte einzustellen.

18. Symposium Photovoltaische Solarenergie, 12.-14.März 2003, Kloster Banz, Staffelstein

- Da die Temperatur nur durch Abschatten geregelt wird, ist der realisierbare Temperaturbereich beschränkt auf den Bereich zwischen Umgebungstemperatur und der Modultemperatur, die sich bei maximaler Einstrahlung einstellt. Auch hier können weder die in der Norm geforderten Werte genau eingestellt werden, noch wird der ganze geforderte Temperaturbereich (5°C – 65 °C) erfasst. Dadurch können die zuvor beschriebenen Tabellen nicht vollständig ausgefüllt werden.
- Die Abhängigkeiten von Einstrahlung und Temperatur können gut untersucht werden. Dabei ist es von Vorteil möglichst viele Messungen für die Auswertung zur Verfügung zu haben.

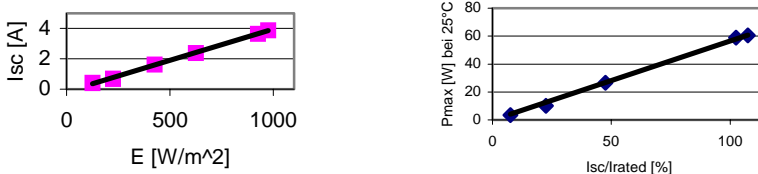


Abb. 3: Gemessene Abhängigkeit der Einstrahlung I_{sc} und P_{max} bei 25 °C

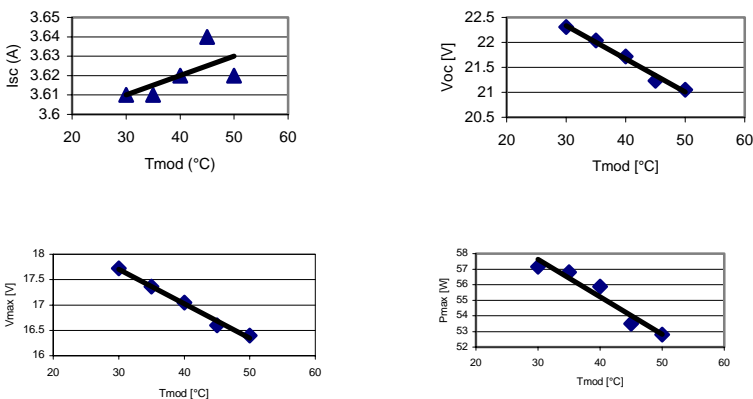


Abb. 4: Gemessene Temperaturabhängigkeiten von I_{sc} , V_{oc} , V_{max} und P_{max} bei 1000 W/m^2 (bzw. bei Nennstrom)

Temp. Koeff.	Einheit	Messung	Datenblattangabe
TK I_{sc}	[mA/K]	1.0	1.2
TK V_{oc}	[mV/K]	-67	-77
TK V_{max}	[mV/K]	-68	k.A.
TK P_{max}	[mW/K]	-240	k.A.

Tab. 1: Gegenüberstellung von gemessenen Temperaturkoeffizienten (bei 1000 W/m^2) und Datenblattangabe.

5. Langzeit Monitoring von PV Modulen

Bei den Langzeittest von PV Modulen am ISET sind die Module in Gestellen mit fester Ausrichtung montiert. Spezielle elektronische Lasten sorgen dafür, dass die Module immer in Punkt maximaler Leistung betrieben werden. Standardmässig werden am ISET DC Strom, Spannung und die Modultemperatur aufgezeichnet. Mit diesen Messungen können daher nur die Temperatur und Einstrahlungsabhängigkeiten von P_{max} und V_{max} untersucht werden.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen leider noch nicht genügend Daten vor, um einen direkten Vergleich der Messungen an dem SM55 Modul mit Messungen aus dem Langzeit Monitoring vorzunehmen. Exemplarisch zeigt Abb. 5 die Ergebnisse der Messungen an einem monokristallinem Modul eines anderen Herstellers. Langzeittest sind eine sinnvolle Ergänzung zur eben vorgestellten Vermessung nach Temperatur- und Einstrahlungsabhängigkeit. So können die Daten aus den Messungen zur Bestimmung der Modultemperatur nach dem Normvorschlag herangezogen werden. Darüber hinaus geben die Messungen einen Aufschluss über die Zuverlässigkeit und Alterung der Module über einen längeren Zeitraum.

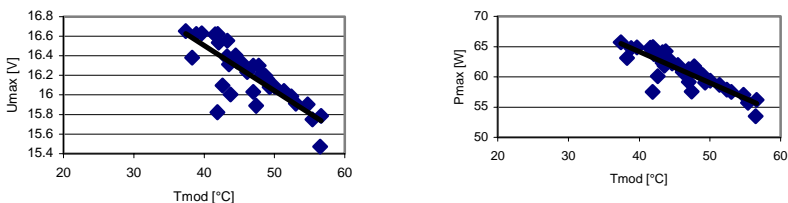


Abb. 5: Gemessene Temperaturabhängigkeiten von V_{max} und P_{max} eines monokristallinen Moduls im MPP Betrieb im Monat Mai, Einstrahlung 975 – 1025 W/m².

6. Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

In unserem Beitrag haben wir Untersuchungen zur Messung von Temperatur- und Einstrahlungsverhalten von PV Modulen vorgestellt. Der neue Normentwurf IEC 82/254 NP gibt einen systematischen Leitfadens zur Untersuchung dieser Parameter. Unter Freilandbedingungen ist es schwer die geforderten Messpunkte zu erhalten. Trotzdem können – genügend geeignete Messungen vorausgesetzt – aussagekräftige Auswertungen von Temperatur und Einstrahlungsverhalten in kurzer Zeit gemacht werden. Solche spezifischen Untersuchungen können durch Langzeitmonitoring von PV Modulen sinnvoll ergänzt werden. Entsprechende Testvorrichtungen und Erfahrungen sind am ISET vorhanden.