

Cartoon: Michael Hüter

# Drehzahlmesser für PV-Generatoren

Bei der Generatorleistung einer installierten Anlage muss man sich nicht allein auf die Angaben der Modulhersteller verlassen. Schnelle und unabhängige Aussagen zu dieser wichtigen Größe können Kennlinienmessgeräte liefern.

**O**bwohl die zur Verfügung stehende Installationszeit pro Dach immer kürzer wird, haben gewisse Qualitätsstandards, beispielsweise Inbetriebnahme-Protokolle, in der Branche Einzug gehalten. Die Norm DIN EN 62446 fordert hierbei zur Vermessung des PV-Generators lediglich eine Messung der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstroms. Diese sind aber nur die beiden Endpunkte der vollständigen Messkurve, die ein Kennlinienmessgerät aufzeichnet. Einer solch eindimensionalen Überprüfung der Eckpunkte können manchmal wichtige Informationen und Fehler entgehen. Als Käufer

eines Autos würde man sich nicht allein mit der Angabe der maximalen Motordrehzahl und des Drehmoments zufrieden geben. Erst die komplett aufgezeichnete Arbeitskurve lässt auch hier eine Aussage zur tatsächlichen, ausschlaggebenden Leistung zu. Daher sollte man sich auch als PV-Kunde nicht mit weniger zufrieden geben. Dem Installateur helfen die Geräte nicht nur dabei, die Qualität seiner Arbeit zu dokumentieren. Erfahrene Anwender können mit Hilfe der Kennlinien Fehlerquellen genauer und schneller einkreisen und damit korrigieren. Das spart Zeit.

## Was verrät die Kennlinie?

So schlicht wie eine Kennlinie auf den ersten Blick aussieht, so viel lässt sich bei genauerem Hinsehen aus ihr herauslesen. Die beiden Endpunkte der I-U-Kennlinie – die Leerlaufspannung und der Kurzschlussstrom – wurden bereits angesprochen. Beide sind auch mit einem Multimeter messbar. Sie geben allerdings nur eine grobe Orientierung zum Generatorverhalten.

- Der Kurzschlussstrom  $I_{sc}$  (short circuit) ist direkt proportional zur eingestrahelten Leistung auf Generatorebene. Daher muss die Einstrahlung immer mit bestimmt werden, zum Beispiel über ein Handeinstrahlungsmessgerät. Bleibt er hinter der Erwartung zurück können beispielsweise Brüche oder Shunts in den Zellen die Ursache sein.

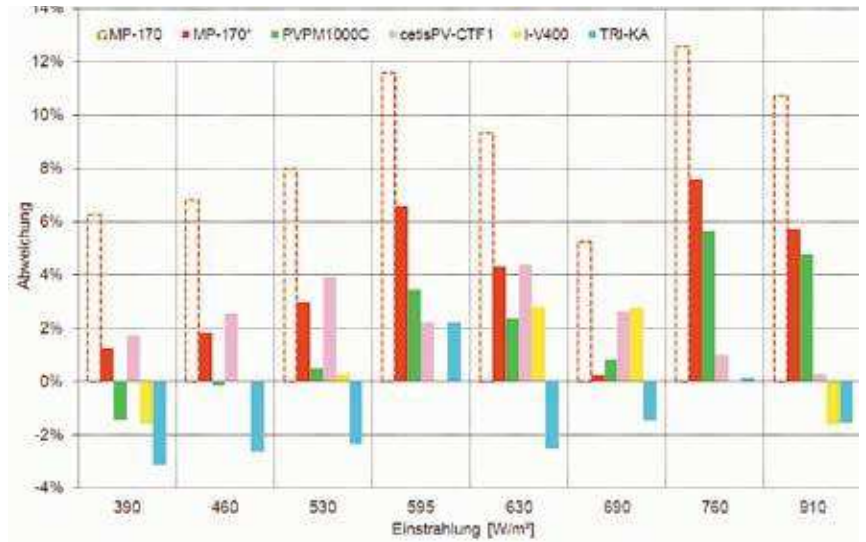
- Die Leerlaufspannung  $U_{oc}$  (open circuit) variiert auch mit der Zelltemperatur, weswegen diese für genaue Aussagen zusätzlich zu bestimmen ist. Erreicht die Strangspannung nicht den errechneten Wert kann das beispielsweise ein Hinweis auf ein nicht eingebundenes Modul oder eine aktive Bypassdiode sein.

- Der dritte wichtige Punkt auf der Kennlinie ist der MPP (Maximum Power Point) also der Arbeitspunkt, an dem ein Modul die höchste Leistung abgibt. Für die Bestimmung des MPPs reicht ein Multimeter schon nicht mehr aus, dies kann nur ein Kennlinienmessgerät leisten.

Mehr noch erfährt man von der nicht immer idealen Form der Kennlinie. Es gibt eine Vielzahl an Deformationen wie Änderungen der Steigungen und Knicke in der Kurve. Je nach Umfang und Position deuten sie auf unterschiedliche Probleme hin. Zu nennen sind hier beispielsweise abgeflachte Kurven durch höhere Serien- oder niedrigere Parallelwiderstände oder Absätze aufgrund unterschiedlich langer paralleler Stränge, Abschattungen oder geschalteter Bypassdioden.

## Widerstands- oder Kondensator-Messmethode

Obwohl alle Kennlinienmessgeräte am Markt prinzipiell denselben Zweck erfüllen, gibt es bei Preis, Arbeitsbereich, Genauigkeit, Handhabbarkeit und Auswertungssoftware sehr große Unterschiede, die vor einem Kauf zu berücksichtigen sind. Für die Aufnahme einer Kennlinie gibt es technisch zwei Möglichkeiten: Die Widerstandsmethode und die Kondensator-



methode. Bei ersterer wird das Modul oder das Modulfeld mit einem variablen Ohmschen Widerstand belastet, bei der zweiten wird die Aufladung eines Kondensators als variierende Last verwendet. In beiden Fällen werden der Spannungsabfall über der Last sowie der fließende Strom gemessen. Prinzipiell steuert man über diese elektrische Last den Generator vom Kurzschluss bis in den Leerlauf und nimmt dabei sowohl die Stromstärke  $I$  als auch die Spannung  $U$  auf. Daraus ergibt sich die I-U-Kennlinie. Mit der Kondensatormessmethode ist es prinzipiell möglich, höhere Ströme zu messen. Die Kondensatoren benötigen im Aufbau aber auch viel Platz, weswegen diese Geräte meist größer, um nicht zu sagen unhandlicher sind.

Die Abweichungen eines jeden Sensors gegenüber dem Referenzsensor sollen zeigen, wie unterschiedlich die Einstrahlung bewertet wird. Abweichungen von 2 % können vernachlässigt werden. Gut erkennbar sind die Auswirkungen eines fehlerhaften Korrekturfaktors beim MP-170. Quelle (4): Solarschmiede

## Einstrahlung, Temperatur und Hochrechnung

Für die letztendliche Bestimmung der Spitzenleistung eines PV-Generators werden außer der I-U-Kennlinie aber noch weitere Werte benötigt. Wie angeführt,

Photovoltaik Fachgroßhandel: Erstklassige Module – Top Konditionen

BESUCHEN SIE UNS!  
inter solar  
connecting solar business | EUROPE  
HALLE A6 · STAND 370

www.jms-solar.com

# Mehr Energie für Ihre Projekte.

Verwirklichen Sie Ihre Solaranlagen unter optimalen Bedingungen: Module, Wechselrichter, Gestelle von jms und aufeinander abgestimmte Komponenten namhafter Markenhersteller zu hervorragenden Konditionen. Bauen Sie auf die Spezialisten für Qualität und Wirtschaftlichkeit!

Infos unter:

www.jms-solar.com

Tel. 08821-730 630-25

MIT UNS  
KÖNNEN SIE  
RECHNEN!



**jms**  
solar handel gmbh

jms solar handel leistet mehr:

- Planungs- und Preissicherheit
- Faire Preise
- Hochwertige Module (Schott, Day4, ...)
- Wechselrichter (SMA, Solarmax, ...)
- Gestellsysteme
- Komplettanlagen
- Kompetente Beratung
- Partnersystem für Solarfachhändler
- Schulungen/jms Erfolgsakademie
- Know-how und Service ohne Ende...

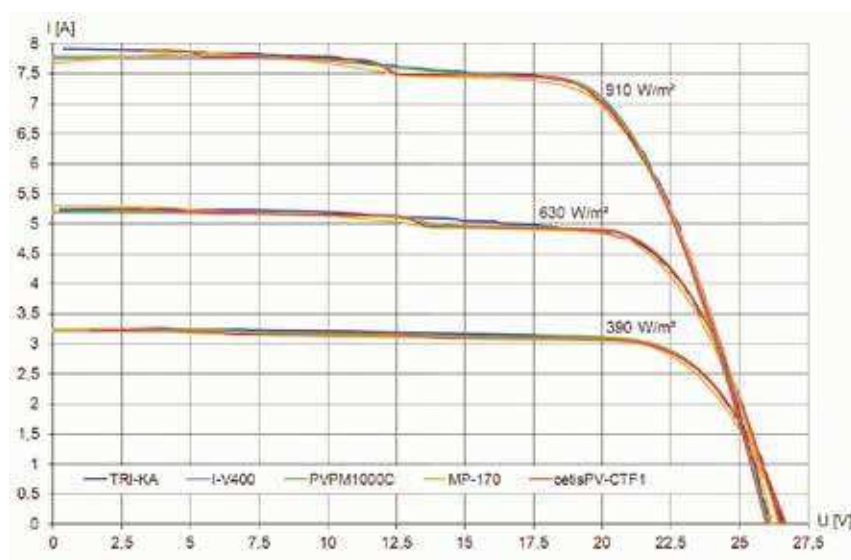
Finkenstraße 1 · 82467 Garmisch-Partenkirchen · Tel. 08821-730 630-25 · info@jms-solar.com



muss man für eine Beurteilung des Generatorstroms die Einstrahlung auf den Generator und für die Spannung zusätzlich die Zell-Temperatur bestimmen. Unterschiede bei den Geräten ergeben sich dabei durch die Art der Einstrahlungs- und Temperaturmessung. Beide Messwerte sind für die Hochrechnung der gemessenen auf die ideale I-U-Kennlinie unabdingbar. Erst diese Hochrechnung liefert die gesuchte Nennleistung, die im besten Fall in gleicher Größe auch auf dem Datenblatt des Herstellers als Leistung bei „Standard Test Conditions“ (STC) angegeben ist. STC definiert vergleichbare Rahmenbedingungen für eine Vermessung: nämlich eine Einstrahlung von  $1.000 \text{ W/m}^2$  auf Generatorebene, eine Zelltemperatur von  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  und das Sonnenspektrum, den so genannten Airmass (AM) mit 1,5. Da diese Referenz-Werte gleichzeitig nur zu wenigen Augenblicken im Jahr anzutreffen sind, ist eine Umrechnung von realen Messbedingungen auf ideale STC Referenzbedingungen erforderlich. Trotzdem gilt, je näher man an den Referenzbedingungen liegt, desto genauer ist die Hochrechnung. Deswegen wird meist eine Mindesteinstrahlung von  $700 \text{ W/m}^2$  für Messungen gefordert.

Prinzipiell sind alle Sensoren unter STC-Bedingungen kalibriert und sollten gleiche Ergebnisse liefern. Tatsächlich ergeben sich aber Abweichungen, wenn man mit unterschiedlichen Sensoren Einstrahlungen misst. Ursache sind unterschiedliche spektrale Empfindlichkeiten, die Verwendung von Temperaturkorrekturen und die vergangene Zeit seit der letzten Kalibrierung des jeweiligen Sensors. Fast alle im Test verwendeten Messgeräte haben einen polykristallinen Einstrahlungssensor und sind damit baugleich zu der am häufigsten verwendeten Modultechnologie. Im Idealfall entspricht die Sensortechnologie der Modultechnologie. Ein weiterer entscheidender Punkt für eine zuverlässige Einstrahlungsmessung ist die Handhabbarkeit des Sensors. Dieser muss eine schnell montierbare Aufhängung besitzen, die eine Befestigung in Generatorebene an verschiedenen Rahmenformen zulässt.

So sehen die I-U-Kennlinien eines PV-Moduls bei unterschiedlichen Bestrahlungsstärken aus. Eine höhere Einstrahlung bedeutet einen höheren Strom, die Spannungen sind sich dagegen sehr ähnlich.



## Temperaturmessung ist oft schwierig

Die Temperaturkoeffizienten eines Moduls beschreiben die Temperaturabhängigkeiten des Stroms und vor allem der Spannung. Damit hat auch die Temperatur einen großen Einfluss auf das Messergebnis und am Ende auf die gemessene Leistung. Je nach Gerät gibt es verschiedene Möglichkeiten der Temperaturmessung. Temperaturabhängige Widerstände (z.B. Pt100) sind die gängigsten Varianten, aber auch eine Messung mittels Thermoelement ist möglich. Bei diesen Messvarianten müssen die Temperaturfühler zentral hinter einer Zelle auf die Modulrückseite geklebt werden. Die Praxistauglichkeit dieser Variante hängt stark von der Zugänglichkeit der Modulrückseite ab. Bei der Montage sollte die Inhomogenität der Temperaturverteilung im Modul und im Generator berücksichtigt werden. Es sollte also im Idealfall weder eine Zelle bzw. Modul im Rand noch im Zentralbereich des Generators verwendet werden. Weiter muss bei einer Befestigung mit Klebefilm auf eine gute thermische Kopplung des Sensors zur Zelle geachtet werden. Eine andere Möglichkeit ist die Messung mit einem Infrarotsensor wie er auch in Thermografiekameras verwendet wird. Er ermittelt durch Messung der empfangenen Wärmestrahlung die Temperatur.

Die aufgenommene Temperatur und Einstrahlung müssen auch zum Messgerät übertragen und sekundengenau der I-U-Messung zugeordnet werden. Dabei sind die Messgeräte mit zwei unterschiedlichen Übertragungsmöglichkeiten ausgerüstet: Kabel und Funk, wobei die zweite Variante die deutlich bessere ist. Vor allem, wenn die Geräte auch nach einem Abriss des Funksignals die Daten später über synchronisierte Uhren austauschen können. Bei der Übertragung mit Kabeln ist die Länge der Messleitungen ein entscheidender Punkt. Ist die Leitung zu kurz, kann keine Verbindung zwischen dem Messgerät im Keller und den Sensoren auf dem Dach aufgebaut werden und es ist keine Messung möglich. Bei einer langen Leitung ist eine Übertragung über Vierleitermessung wichtig, da der Strom und die Spannung separat gemessen und äußere Einflüsse minimiert werden, vor allem der Leitungswiderstand bei hoher Umgebungstemperatur.

## Voreinstellungen über Software

Alle getesteten Geräte verfügen über eine zugehörige Software mit der die Daten ausgewertet und Messprotokolle gedruckt werden können. Im Vorfeld der Messung sind zum Teil auch Einstellungen wie der Modultyp und die Anzahl der Module in Reihe und parallel vorzunehmen. Teilweise besteht sogar die Möglichkeit, einen kompletten Messtermin vorab einzugeben und mit allen Daten zu planen, sodass beim Vor-Ort-Termin nur noch gemessen werden muss. Mit einer solchen Vorausplanung kann man sich kostbare Zeit sparen, denn gerade bei Kennlinienmessung und der Spitzenleistungsbestimmung ist man bei wechselnder Bewölkung auf einen schnellen Messeinsatz

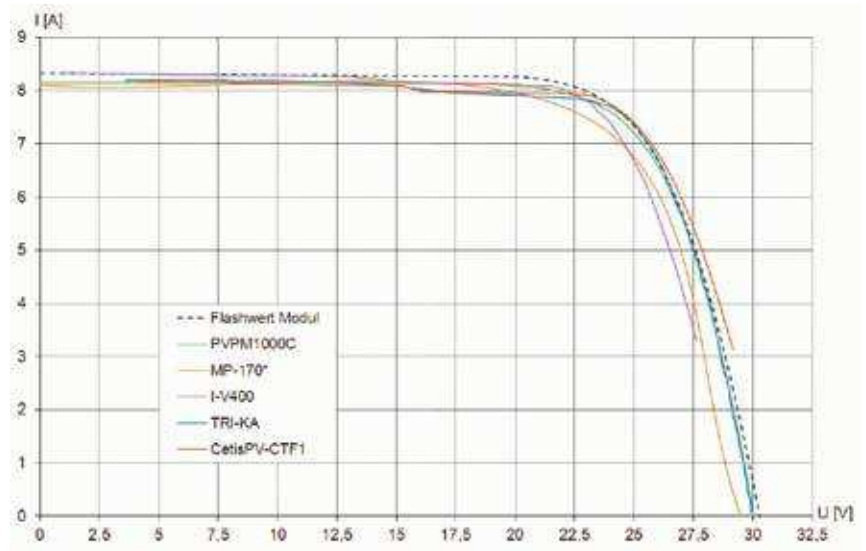
angewiesen. Bei der Auswertung der Messungen werden die Daten mittels PC oder Laptop ausgelesen und können anschließend bearbeitet oder ausgedruckt werden. Die Datenübertragung erfolgt über eine serielle Schnittstelle, USB oder über eine auswechselbare SD-Speicherkarte.

## Testbedingungen

Die Durchführung von I-U-Kennlinienmessungen ist mit etwas Übung relativ einfach. Für den Vergleich der Genauigkeit der getesteten Geräte sind allerdings gleichbleibende Bedingungen für alle Messgeräte die Grundvoraussetzung. Diese findet man nur in einem Dauerlicht-Sonnensimulator vor. Hierbei müssen für genaue Ergebnisse zusätzliche Faktoren beachtet werden.

Die Messungen fanden an einem einzelnen handelsüblichen polykristallinen 185-W-Modul mit 48 x 6-Zoll-Zellen statt, das vorher ausführlich, sowohl im Flasher (186,9 W gemessen) als auch in der Elektrolumineszenz-Kammer auf einwandfreies, stabiles Verhalten überprüft wurde. Für möglichst reproduzierbare Ergebnisse, sind die Rahmenbedingungen zusätzlich über Temperatur und Einstrahlungssensoren dokumentiert worden.

Zur Überprüfung der Temperaturmessung der Kennlinienmessgeräte wurde ein Messaufbau zur Erfassung der Rückseitentemperatur des Moduls mit vier Sensoren an unterschiedlichen Positionen instal-



liert. Damit sollte eine Messabweichung von kleiner  $\pm 1^\circ\text{C}$ , wie in der Norm IEC 60904-1 gefordert, eingehalten werden.

Als Referenzsensor für die Einstrahlungsmessung kam ein zusätzlicher temperaturkorrigierter, kristalliner Sensor zum Einsatz, der damit näherungsweise dieselbe spektrale Empfindlichkeit wie das polykristalline Modul und die kristallinen Sensoren der Messgeräte aufwies. Alle verglichenen Sensoren wurden bei den Messungen nacheinander an der gleichen Stelle montiert, um auch hier gleiche Bedingungen zu gewährleisten.

Bei der Bestimmung der STC-Werte wird die Kennlinie neu berechnet. Mit Hilfe der Temperaturmesswerte werden die STC-Spannungen bestimmt, mittels Einstrahlungsmesswerten der STC-Strom. Je näher die Kennlinie an den Datenblattwerten liegt, desto genauer war die Messung.

## SOLARENERGIE IST BEGREIFBAR

Ob Business-Geschenk oder Verkaufshilfe. Mit diesen Produkten machen Sie das Thema Photovoltaik bei Ihren Kunden begreifbar.



## WERTOBJEKTE.com

Kunden binden mit Präzisionsmodellen

Besuchen Sie uns auf der INTERSOLAR, München 8.-10. Juni 2011, Halle B6, Stand 115





Ihr Photovoltaikgroßhandel



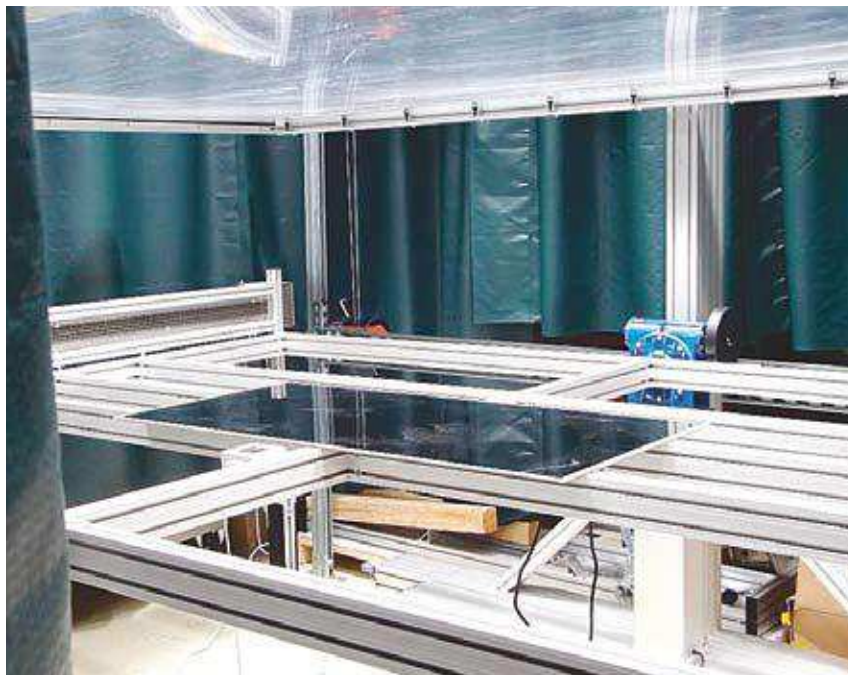
**AUF GUTE  
PARTNERSCHAFT!**

„Unsere Aufgabe ist es,  
Ihnen beste Qualität  
zum vereinbarten  
Zeitpunkt zu liefern.“

**Besuchen Sie uns auf  
der Intersolar 2011  
Halle B6 | Stand 415**

Werden auch Sie  
Aton-Partner.  
Wir freuen uns auf Sie!

**Aton-Solar GmbH**  
Großhandel für PV-Systeme  
D - 89150 Laichingen  
Tel: +49 (0) 73 33-9 50 98-0  
www.aton-solar.de



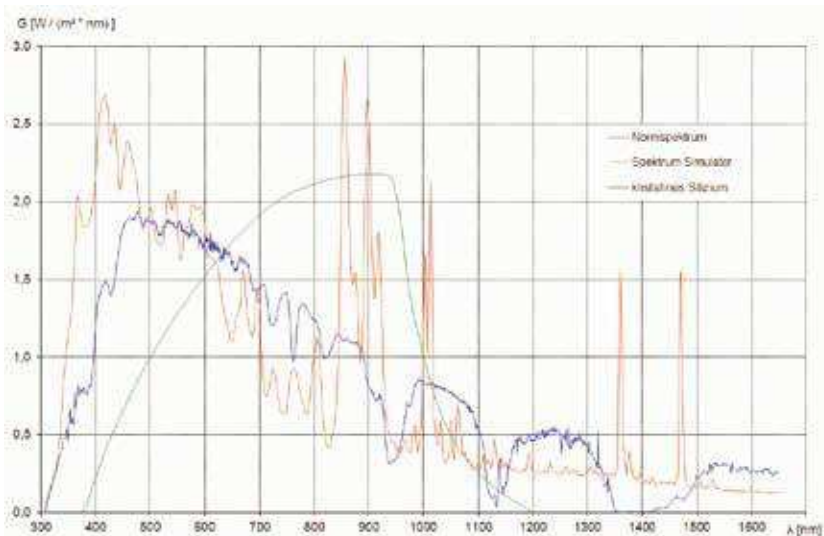
Blick in den für die Messungen  
benutzten Dauerlichtsimulator:  
Die Scheibe oberhalb soll das  
Modul und die Leuchtmittel  
thermisch trennen. Der Simula-  
tor ist nach außen abgeschirmt,  
um Spiegelungen und damit  
Inhomogenitäten der Einstrah-  
lung zu vermeiden.

Foto: Solarschmiede

Der Sonnensimulator besteht aus Leuchtmitteln,  
die das natürliche Sonnenlicht mit all seinen Eigen-  
schaften nachbilden sollen. Diese Eigenschaften wer-  
den genauer in der Norm IEC 60904-9 beschrieben.  
Der für die Messungen verwendete Simulator ist mit  
der Qualitätseinstufung B-B-A klassifiziert. Vor den  
eigentlichen Vermessungen sind die folgenden Rah-  
menbedingungen zusätzlich überprüft und dokumen-  
tiert worden: das Spektrum des Simulators, die  
Homogenität der Einstrahlung im Bereich der Modul-  
fläche und die temporäre Stabilität im Rahmen zweier  
Langzeitmessungen.

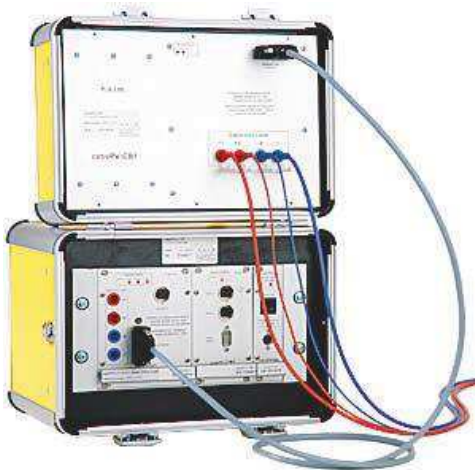
## Die Messgeräte

Das CetusPV-CTF1 hat den größten Strommessbe-  
reich, die umfangreichste Software und hochpräzise  
Sensoren. Kennlinien lassen sich sehr exakt messen  
und auswerten. Nachteil ist, dass während der Mes-



Das verwendete künstliche Sonnenlicht war anders zusammengesetzt als natürliches  
Sonnenlicht. Das machte es den Messsensoren zusätzlich schwer, die richtigen Messwerte  
zu ermitteln.

sung ein externer Laptop angeschlossen werden muss. Mit dem umfangreichen Zubehör und einer Vielzahl an Ergänzungsmöglichkeiten lässt es kaum Wünsche offen. Lediglich eine Klemmvorrichtung zur Befestigung des Einstrahlungssensors wird man vermissen. Es können eigene kalibrierte Messzellen angeschlossen werden, und man kann voreinstellen, mit welchem Algorithmus die STC-Werte berechnet werden sollen. Für die meisten Anwendungen ist dieses Messgerät eigentlich schon überdimensioniert. Wer aber wissenschaftlich arbeitet oder Anlagenteile mit bis zu 100 kW auf einmal messen möchte, könnte dazu bereit sein, den höheren Preis in Kauf zu nehmen.



An das CetisPV-CTF1 können eigene kalibrierte Messzellen angeschlossen werden.

Foto: Halm Elektronik GmbH:

Das Tri-Ka mit der zugehörigen Sensoreinheit Trisen ist bereits in der zweiten Geräte-Generation und überzeugt mit innovativer Technik. Durch eine Funkverbindung entfallen die Datenkabel zwischen Messgerät und dem Sensor. Die Sensoreinheit ist mit Hilfe einer Modulklemmung schnell fixiert, der integrierte Neigungswinkelsensor zeigt gleichzeitig die Elevation an. Im Tri-Sen befindet sich auch ein Infrarotsensor, der die Temperatur sehr genau misst. Die Software ist praktisch und intuitiv bedienbar. Eine



Durch eine Funkverbindung entfallen beim Tri-Ka die Datenkabel zwischen Messgerät und Sensor. Foto: Tritec



DEHN + SÖHNE

# Doppelt sicher

## Überspannungsschutz und Brandschutz für Photovoltaikanlagen

Bei jedem Gewitter sichert DEHN die Verfügbarkeit Ihrer PV-Anlage.

Durch die **integrierte Sicherung** sorgen die Überspannungsschutzgeräte von DEHN für zusätzliche Sicherheit in jedem Betriebszustand.

### DEHNGuard® M YPV SCI zum Schutz der DC-Seite



### DEHNGuard® M/S ... CI zum Schutz der AC-Seite



Jetzt auch spezielle Versionen für

- DC-seitig geerdete Anlagen
- Inselsysteme mit kleinen PV-Spannungen

Mehr Info: [www.dehn.de/anz/2102](http://www.dehn.de/anz/2102)

DEHN + SÖHNE

**Überspannungsschutz  
Blitzschutz / Erdung  
Arbeitsschutz**

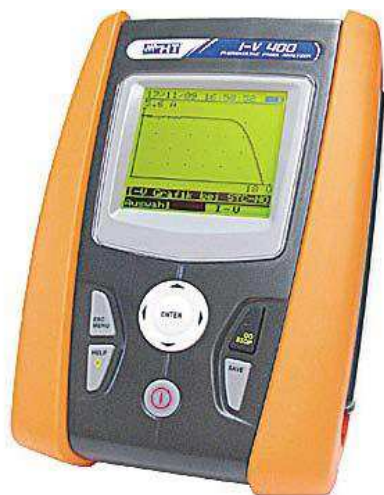
Postfach 1640 · 92306 Neumarkt  
Tel.: 09181 906-123 · Fax: 09181 906-478  
[www.dehn.de](http://www.dehn.de) · [info@dehn.de](mailto:info@dehn.de)





Das MP-170 misst hohe Leistungen mit geringem Aufwand.

Foto: Eko Instruments



Das I-V499 ist besonders gut für Messungen auf dem Dach geeignet.

Foto: HT-Instruments



Als einziges Gerät ermittelt der PVPM1000C aus der Kennlinie die Spitzenleistung.

Foto: PV-Engineering

sehr große Moduldatenbank ist bereits im Gerät hinterlegt. Modul und Verschaltung können im Vorfeld der Messung, während der Messung oder im Nachhinein benannt und geändert werden. Der Eingangsstrom von 15 A ist ausreichend für die meisten Anwendungen. Nachteilig ist die lange Messdauer von bis zu 30 Sekunden, besonders dann, wenn leichter Wolkenzug vorhanden ist. Das Messgerät bildet über den Zeitraum der Messung den Mittelwert. Schwankt die Einstrahlung zu sehr, wird die Messung automatisch abgebrochen.

Das MP-170 ist ein handliches und durchdachtes Messgerät mit einem Eingangsstrombereich von 20 A. Damit sind ohne weiteres auch Messungen zweier paralleler Stränge mit 6-Zoll-Zellen bei voller Einstrahlung möglich. Die Stärke dieses Gerätes sind Messungen hoher Leistungen mit geringem Aufwand. Nach kurzer Einarbeitungszeit in die Menüführung kann es leicht bedient werden. Die Sensoreinheit verfügt über eine abnehmbare Skala mit deren Hilfe man den Einstrahlungssensor genau ausrichten kann. Es verwendet als einziges der fünf Geräte ein Silizium-Pyranometer zur Einstrahlungsmessung sowie ein Thermoelement zur Temperaturmessung. Im Test kam es zu höheren Abweichungen bei der Einstrahlungsmessung und daraus resultierend zu abweichenden Spitzenleistungen. Aufgrund des abweichenden Messprinzips des Sensors war mit einem Unterschied zu rechnen – dessen Größenordnung hat aber überrascht. Der Hersteller nahm daraufhin eine Rekalibrierung vor und stellte + 5 % Abweichung fest. Dies macht deutlich, von welcher Wichtigkeit eine regelmäßige Wartung der Geräte durch den Hersteller ist.

Das I-V400 ist ein weit verbreitetes und sehr bedienerfreundliches Messgerät. Durch seine Bauform und die geringen Abmessungen ist es besonders gut für Messungen auf dem

Dach geeignet. Es enthält eine große interne Moduldatenbank, aus der das zu messende Modul ausgewählt wird. Je nachdem ob mono- oder polykristalline Module gemessen werden sollen, kann der entsprechende Sensor ausgewählt werden. Um die richtige Ausrichtung sowie die Neigung des Sensors einzustellen, sind eine Halterung und ein mechanisches Inclinometer im Lieferumfang enthalten. Eine Funkübertragung der Messdaten ist optional möglich. Mit Hilfe der übersichtlichen Software können Messprotokolle erstellt und Einstellungen vorgenommen werden. Die genauen Messwerte können jedoch nicht als Datensatz exportiert werden.

Das PVPM1000C hat als einziges Messgerät eine eigene Methodik entwickelt, um aus der gemessenen I-U-Kennlinie die Spitzenleistung zu ermitteln (Peak-Leistung- und Serien-Innenwiderstand-Messung unter natürlichen Umgebungsbedingungen). Es ist ein einfach zu bedienendes und genaues Messgerät. Messungen mit bis zu 40 A sind möglich, und die Sensoren sind austauschbar. Es handelt sich um den Pionier der Kennlinienmessgeräte, der aber vor allem in Sachen Handlichkeit in die Jahre gekommen ist, weswegen inzwischen ein Nachfolger erschienen ist. Dieser kann mit Farbdisplay, geringerem Gewicht und der gleichen Messtechnik überzeugen.

## Kein Sieger

Keines der Messgeräte kann als Testsieger mit ausschließlichen Vorteilen benannt werden. Speziell die Handhabung, die Baugröße und die Einsatzgeschwindigkeit waren sehr unterschiedlich. Deshalb werden am Ende individuelle Präferenzen und der Einsatzbereich – sei es Labor oder Dach – entscheidend sein. Die Bedienbarkeit sollte dagegen kein bedeutendes Kriterium sein, denn wer oft mit einem der Geräte arbeitet, lernt in jedem Fall schnell damit umzugehen.

Was die Genauigkeit der Geräte anbelangt, so können die Ergebnisse aus dem Sonnensimulator nicht zu 100 % in die Praxis übersetzt werden können, da sich die Bedingungen im Freien, hauptsächlich das Spektrum des Lichtes, leicht unterscheiden. Ein wissenschaftlicher und genauer Vergleich war allerdings nur unter den für alle Geräte reproduzierbaren Bedingungen eines Sonnensimulators möglich, weshalb dieser Ansatz gewählt wurde. Alle Messgeräte haben dabei ihre Toleranzen in den angegebenen Bereichen eingehalten und damit ihre Aussagekraft bestätigt.

Peter Fritze, Bernhard Weinreich

Die Autoren sind Mitarbeiter der Engineering-Abteilung der Solarschmiede GmbH in München. Ihr Aufgabenbereich umfasst die Fehleranalyse und Anlagenabnahme von PV-Kraftwerken.

### Weitere Informationen:

Datenblätter zu den Messgeräten können auf den Homepages der Hersteller heruntergeladen werden.

Halm Elektronik GmbH: [www.halm.de/products/cetispv-ct-f1.html](http://www.halm.de/products/cetispv-ct-f1.html)

Tritec GmbH: [www.tri-ka.com/de/kontakt](http://www.tri-ka.com/de/kontakt)

Eko Instruments Co., Ltd.: [www.eko-usa.com/products](http://www.eko-usa.com/products)

HT-Instruments GmbH: [www.ht-instruments.de/video/I-V400](http://www.ht-instruments.de/video/I-V400)

PV-Engineering GmbH: [www.pv-engineering.de/de/pvpm.htm](http://www.pv-engineering.de/de/pvpm.htm)