

# Altbekannter Knackpunkt

Wechselrichter mit zwei Trackern zu bauen, ist keine Geheimwissenschaft. Sie gut zu steuern offensichtlich schon eher. Der Trannergy PVI4600TL zeigt vielversprechende Ansätze, braucht aber noch Entwicklungsarbeit.

Es ist noch gar nicht so lange her, da war es schwierig, Solarwechselrichter mit weniger als fünf Kilowatt Leistungen zu finden, die mehr als einen Tracker aufwiesen. Und wenn man sie fand, ging die erhöhte Flexibilität bei der Auslegung einer Photovoltaikanlage meistens auf Kosten des Wirkungsgrades. Inzwischen bieten eine Reihe von Herstellern kleine Wechselrichter an, in denen zwei Tracker nach den optimalen Arbeitspunkten suchen. Das junge chinesische Unternehmen Trannergy Power Electronics Co. Ltd. aus Shanghai will ebenfalls in diesen Markt vorstoßen und bietet mit dem PVI4600TL ein Gerät, das zudem seine Tracker in allen drei Betriebszuständen

(symmetrisch, asymmetrisch und parallel) laufen lassen kann. Der Einsatz von zwei Hochsetzstellern sorgt außerdem für einen relativ weiten Eingangsspannungsbereich. Allerdings zeigte sich im PHOTON-Labor, das das Testgerät im Rahmen einer Standardtestvereinbarung erhalten hatte, dass es beim Trackingverhalten noch Optimierungsbedarf gibt.

## Aufbau

Der Wechselrichter ist Teil der PVI-Familie, deren einphasige Geräte AC-Nennleistungen von 1.500 bis 4.600 Watt umfassen und ohne Netztrafo arbeiten. Der PVI4600TL speist auf einer Phase ein und bietet zwei unabhängige MPP-Tracker. Er ist übersichtlich aufgebaut und fertigungsfreundlich. Der Leistungsteil findet sich auf einer großen Leiterkarte und trägt alle Komponenten bis auf die Steuerungsleiterkarte und die Displayleiterkarte. Die Steuerungsleiterkarte ist senkrecht auf der Leistungsteilleiterkarte montiert und an der Oberseite mit der Displayleiterkarte verbunden, welche senkrecht zur Steuerungsleiterkarte befestigt ist. So befindet sich das Display in der Ebene der Geräteabdeckung. Die einzigen Kabelverbindungen reichen von der Leistungsleiterkarte zum internen DC-Trenner, zum AC-Steckverbinder, zu einem Temperatursensor auf dem Kühlkörper sowie zu den vier Drosseln. Die Leistungshalbleiter sind von der Lötseite der Leistungsteilleiterkarte bestückt und werden durch Klammern auf dem Kühlkörper gehalten. Die zwei Speicherdrosseln der beiden Hochsetzsteller und die beiden Drosseln des Sinusfilters befinden sich auf der linken Geräteseite



und sind genauso wie die Leistungsteilleiterkarte auf dem Kühlkörper montiert, der als Montageplattform dient. Das Gerät wird passiv, also ohne Lüfter gekühlt.

Das Gehäuse besteht aus vier Teilen: dem Strangziehkühlkörper aus Aluminium, einem Gehäuserahmen aus Stahlblech sowie der Abdeckung und einem Zierrahmen, ebenfalls aus Stahlblech. Es besitzt die Schutzart IP 65 und eignet sich somit für die Außenmontage. Für die Sicherheit sorgt eine selbsttätige Freischaltstelle, die das Netz auf korrekte Spannungs-, und Frequenzverhältnisse überprüft. Zusätzlich findet eine Prüfung des Isolationswiderstandes des Solargenerators und des netzseitigen Ableitstroms statt.

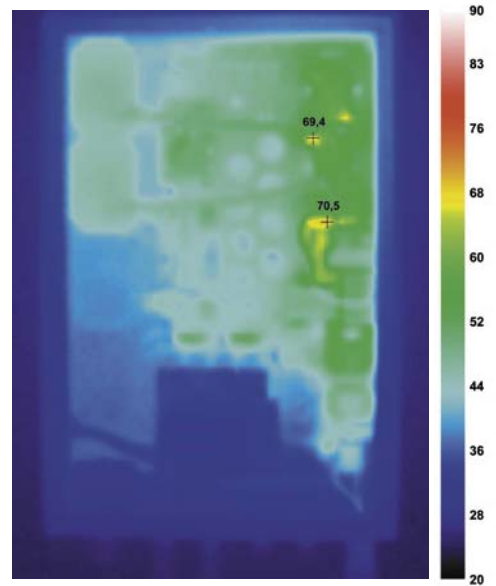
Das Display und drei LED vermitteln den Betriebszustand des Wechselrichters. Die eingesetzten Elektrolytkondensatoren im Leistungsteil und in der Steuerelektronik gehören der Temperaturklasse 105 Grad Celsius an und sind damit, bezogen auf die Umgebungstemperatur, gut ausgelegt. Der Solargenerator wird durch zwei Paar Photovoltaiksteckverbinder und einen dreipoligen Stecker der Firma Wieland verbunden. Der Wechselrichter besitzt einen DC-Trennschalter. Für eine direkte Verbindung zu einem Computer steht eine RS232-Schnittstelle zur Verfügung. Eine RS485-Schnittstelle dient der Verbindung mehrerer Wechselrichter untereinander oder einem Datenlogger für die Anlagenüberwachung.

## Handhabung

Der Wechselrichter wird mithilfe einer mitgelieferten Wandhalterung montiert. Mit seinen 28 Kilogramm ist

### o Für Querleser

- Der Trannergy PVI4600TL ist ein trafoloser, einphasiger Wechselrichter mit einer AC-Nennleistung von 4,1 Kilowatt. Es lässt sich ein Solar-generator mit bis zu 4,6 Kilowatt Leistung anschließen.
- Mit zwei Hochsetzstellern und zwei Trackern bietet das Gerät viel Flexibilität. Allerdings finden die Tracker nicht in allen Fällen zuverlässig den MPP, was sich besonders im Parallelbetrieb bemerkbar macht.
- Das kompakte Gerät kommt ohne Lüfter aus und eignet sich zur Montage im Freien. Dabei muss beachtet werden, dass es ab 53,4 Grad Celsius Umgebungstemperatur in die Leistungsbegrenzung geht.



▲ Schlicht von außen, unkritische Temperaturen im Inneren: Die sichtbaren Bauteile im Trannergy PVI4600TL erwärmen sich nicht über Gebühr. Am wärmsten wird die netzseitige Sicherung mit 70,5 Grad Celsius.

der Trannergy PVI4600TL gemessen an seiner DC-Nennleistung kein Leichtgewicht. Das Gerät benötigt 43 Sekunden für Tests, dann geht es ans Netz und beginnt mit der Arbeit. Das zweizeilige LCD-Display liegt in der Ebene der Frontabdeckung, hat eine weiße Hinterleuchtung und ist gut ablesbar. Drei LED signalisieren den Betriebszustand des Wechselrichters, eine Taste dient zur Funktionsauswahl. Als Sprachoptionen stehen Deutsch, Englisch, Französisch, Spanisch und Italienisch zur Verfügung. Neben diversen Status- und Fehlermeldungen werden die wichtigsten Messwerte angezeigt.

## Bedienungsanleitung

Dem PVI4600TL liegt eine englischsprachige Beschreibung bei, eine deutsche Version war zum Zeitpunkt des Tests in Arbeit. Die Anleitung umfasst neben Beschreibungen zu Aufbau und Funktion auch die Montage und den Anschluss sowie Erläuterungen zum Betriebsverhalten, zur Anzeige und zu Störmeldungen. Auf der Webseite des Herstellers lassen sich die Bedienungsanleitungen auch herunterladen.

## Schaltungsaufbau

Der Wechselrichter ist zweistufig aufgebaut und verfügt über zwei unabhängige Tracker im Eingang. Zunächst gelangt die Energie der Photovoltaikanlage über einen Funkentstörfilter in die Hochsetzsteller, die die Eingangsspannung auf eine interne Zwischenkreisspannung hochsetzen. Sie wird durch einen Kondensator

glättet. Die folgende H6-Ausgangsbrücke zerhackt die Eingangsgleichspannung in pulsweitenmodulierte rechteckförmige Spannungsböcke. Innerhalb der Ausgangsbrücke und vor den Sinusdrosseln befinden sich zwei Freilaufzweige, die dafür sorgen, dass der Blindstrom der Drosseln nicht in den Zwischenkreiskondensator zurückfließt. So werden die Schaltverluste der Ausgangsbrücke sowie die Ummagnetisierungsverluste der Ausgangsdrosseln reduziert und der Wirkungsgrad steigt. Durch die Verwendung der Hochsetzsteller ergibt sich ein MPP-Spannungsbereich von 300 bis 500 Volt. Die Spannungshöhe im Zwischenkreis ist so gewählt, dass der Wechselrichter immer ins Netz einspeisen kann. Ab einer DC-Spannung von 125 Volt arbeitet das Gerät, im asymmetrischen Lastfall deckt es somit einen weiten DC-Spannungsbereich ab. Der Sinusfilter aus den Sinusdrosseln und weiteren Kondensatoren glättet die oben genannten Spannungsböcke zur sinusförmigen Kurve mit der Netzfrequenz von 50 Hertz.

Eine selbsttätige Schaltstelle trennt den Wechselrichter vom Netz, sobald die Netzspannung, die Netzfrequenz oder ein netzseitiger Gleichstrom von den vorgegebenen Grenzwerten abweicht. Zusätzlich wird der Isolationswiderstand des Solargenerators überwacht. Funkstörungen beseitigt ein Ausgangsfilter, der sich direkt vor den Netzklemmen befindet.

## Messungen

Die nachfolgenden Messungen beziehen sich auf eine Netzspannung von

230 Volt. Die maximale DC-Spannung des Trannergy PVI4600TL beträgt 550 Volt, die DC-Nennleistung 4.100 Watt. Es kann eine Photovoltaikleistung von maximal 4.600 Watt an den Wechselrichter angeschlossen werden. Für MPP-Spannungen größer als 447 Volt musste die Leerlaufspannung des Simulators begrenzt werden, da diese bei einem Kennlinienfüllfaktor von 75 Prozent schon größer als 550 Volt ist. Die maximale DC-Spannung des Trannergy PVI4600TL beträgt 550 Volt.

Es handelt sich bei dem Wechselrichter um ein Multitrackergerät, für das die mehrteilige Definition des MPP-Spannungsbereichs zutrifft.

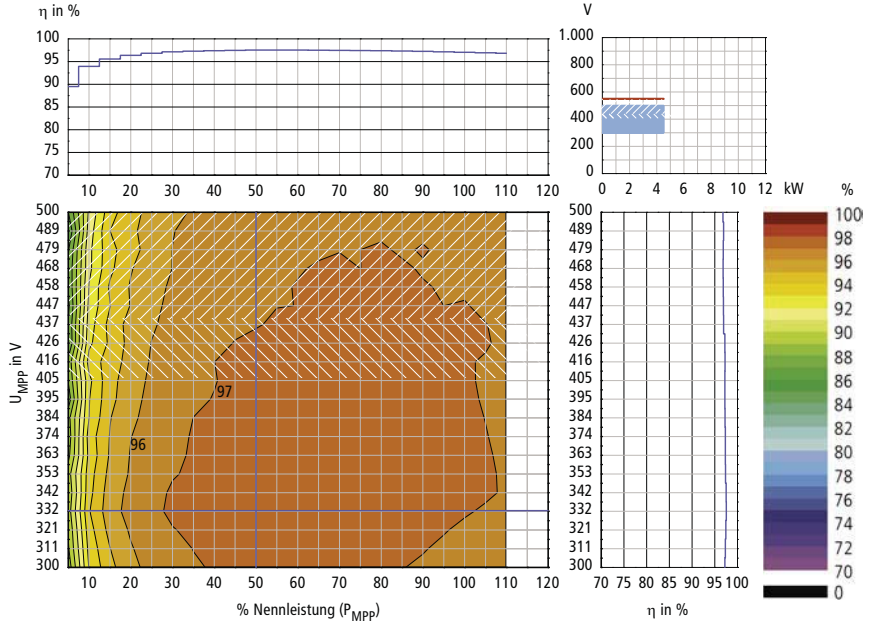
Fall 1: Ist die DC-Leistungsaufteilung auf die Tracker symmetrisch und ergibt in der Summe die DC-Systemnennleistung (oder im Verhältnis der Tracker-Nennströme eine arithmetische Aufteilung der DC-Nennleistung), trifft die Definition des MPP-Spannungsbereichs für Eintracker-Wechselrichter zu. Bei jedem Spannungswert innerhalb dieses Bereichs kann der Wechselrichter somit 100 Prozent der DC-Systemnennleistung verarbeiten.

Fall 2: Kann die DC-Leistungsaufteilung auf die Anzahl der Tracker asymmetrisch sein, müssen im Datenblatt die DC-Systemnennleistung und die maximale Leistung der Tracker spezifiziert sein. Arbeitet einer der Tracker mit seiner vollen Leistung, ergibt sich für den anderen eine entsprechend reduzierte Leistung, sodass insgesamt die DC-Systemnennleistung nicht überschritten wird. Der mit maximaler Leistung betriebene

*Fortsetzung auf Seite 17*

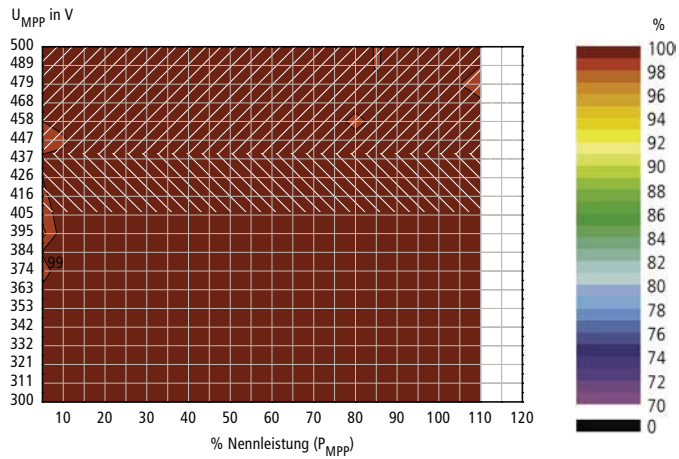
## Umwandlungswirkungsgrad (symmetrisch)

► In einem weiten Bereich liegt der Umwandlungsgrad über 97 Prozent, verfehlt aber das vom Hersteller versprochene Maximum von 97,5 Prozent um 0,3 Prozentpunkte



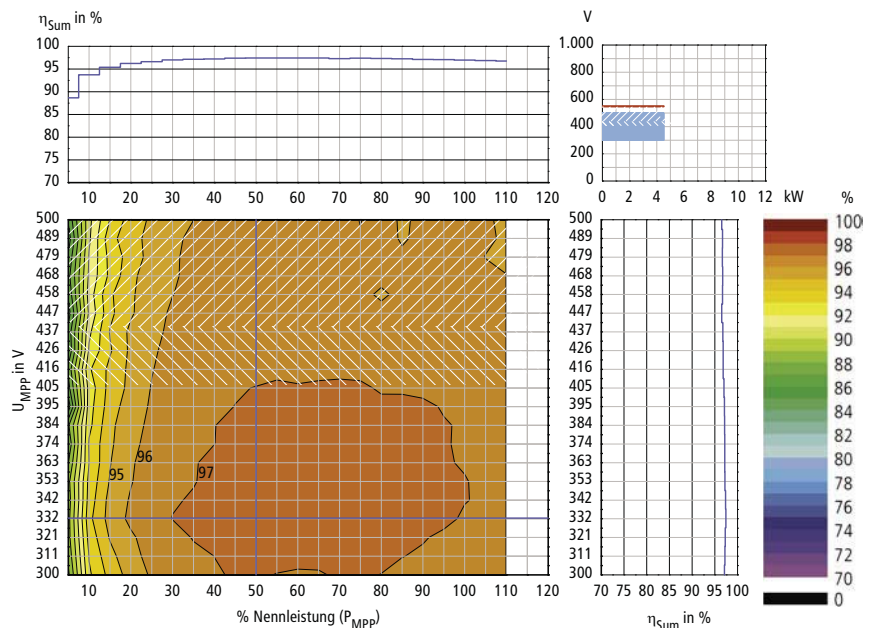
## × MPPT-Anpassungswirkungsgrad (symmetrisch)

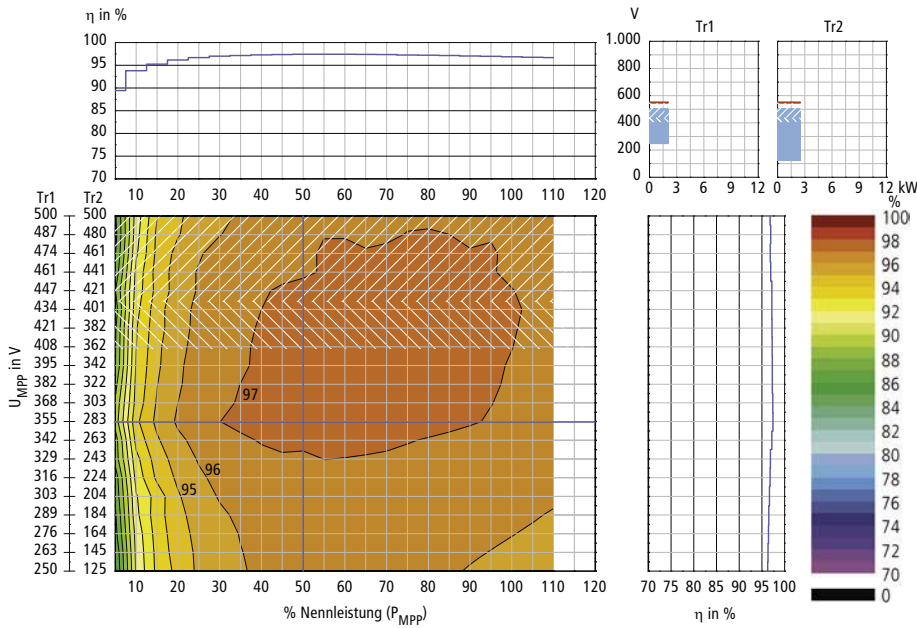
► Über den gesamten Arbeitsbereich liegt der Anpassungswirkungsgrad bei über 99 Prozent. Die erkennbaren Schwächen sind in diesem Betriebszustand zu vernachlässigen.



## = Gesamtwirkungsgrad (symmetrisch)

► Der Bereich des maximalen Gesamtwirkungsgrades findet sich bei kleinen Spannungen und mittleren Leistungen. Das Maximum liegt bei 97,4 Prozent.





## Umwandlungswirkungsgrad (asymmetrisch)

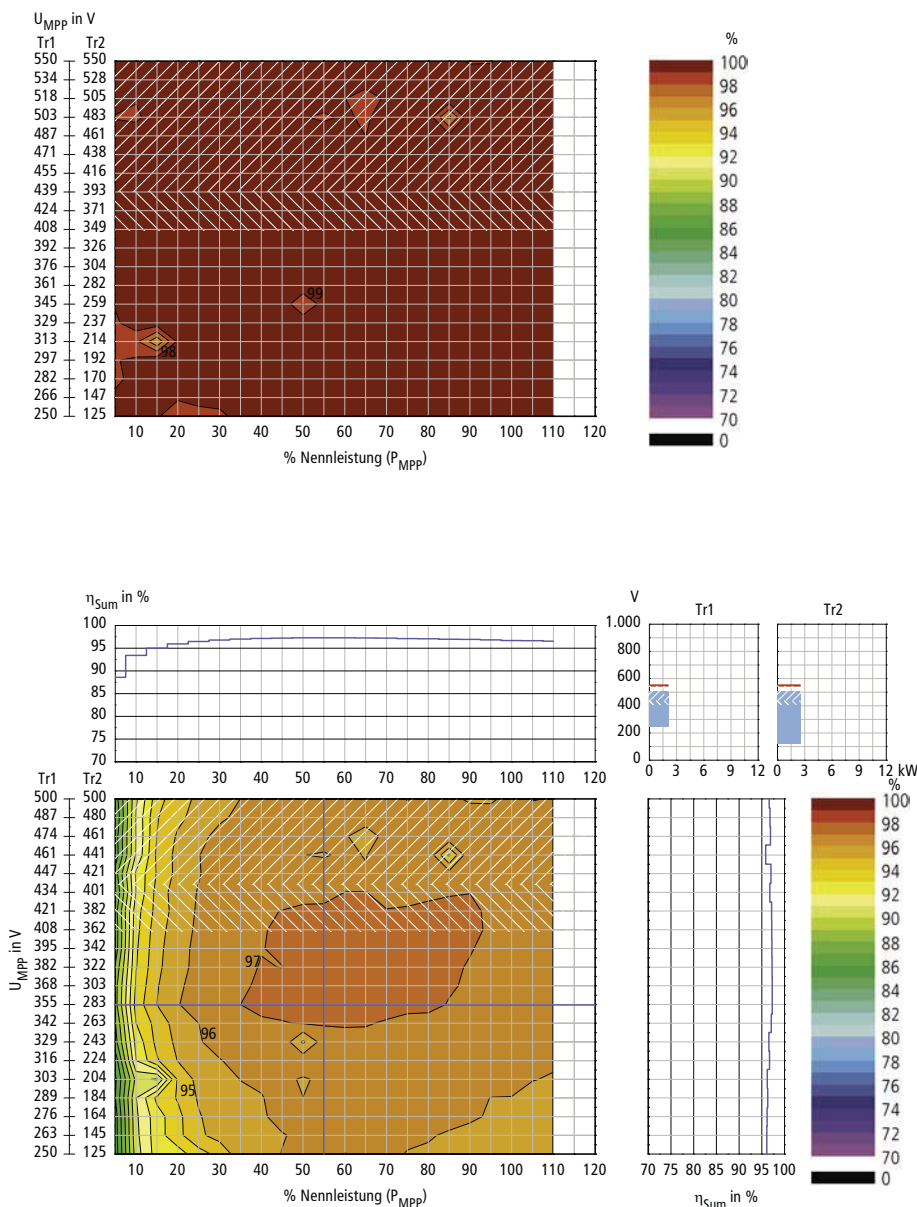
◀ Bei asymmetrischer Leistungsaufteilung ist der Bereich der höchsten Umwandlungswirkungsgrade deutlich hin zu höheren Leistungen verschoben. Das Optimum von 97,4 Prozent findet sich bei 50 Prozent Nennleistung und einer MPP-Spannung von 355 Volt (Tracker A) beziehungsweise 283 Volt (Tracker B).

## × MPPT-Anpassungswirkungsgrad (asymmetrisch)

◀ Auch in diesem Betriebsfall liegt der MPPT-Anpassungswirkungsgrad weitgehend über 99 Prozent, die Bereiche mit niedrigen Wirkungsgraden werden jedoch häufiger

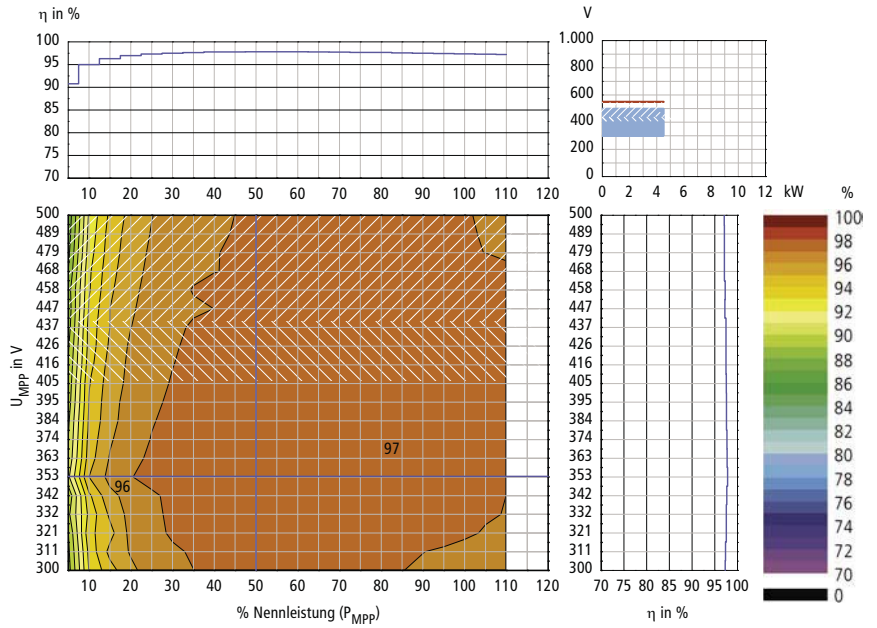
## = Gesamtwirkungsgrad (asymmetrisch)

◀ Mit einem Maximum von 97,3 Prozent ist der Gesamtwirkungsgrad im asymmetrischen Belastungsfall etwas schwächer als im symmetrischen. Auch der Bereich, in dem er über 97 Prozent liegt, ist geschrumpft.



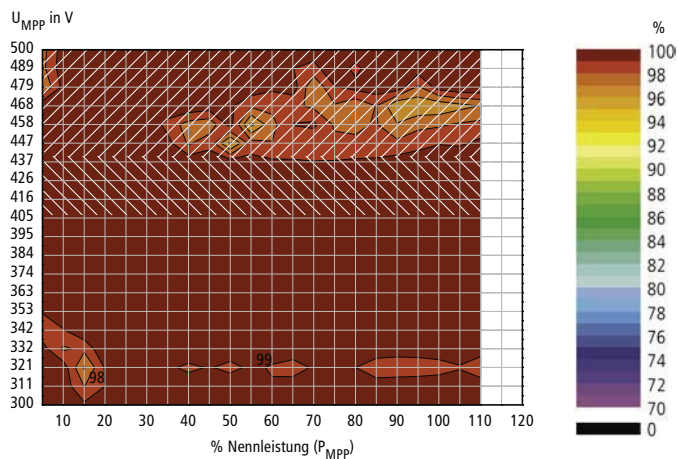
## Umwandlungswirkungsgrad (parallel)

► Mit 97,8 Prozent ist der Umwandlungswirkungsgrad im Parallelbetrieb der Tracker am höchsten. Auch der Bereich, in dem die Umwandlungseffizienz bei über 97 Prozent liegt, ist am weitesten.



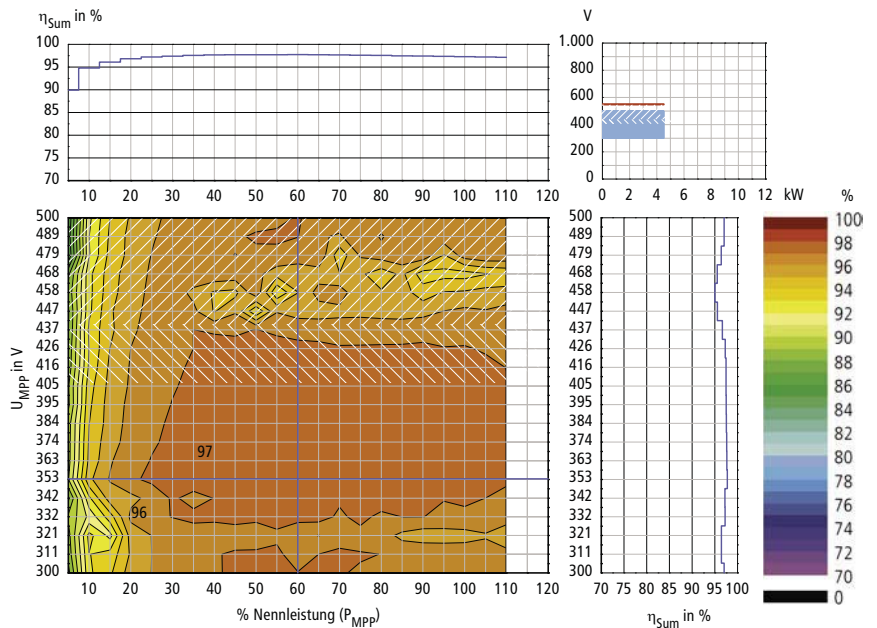
## × MPPT-Anpassungswirkungsgrad (parallel)

► Allerdings treten im parallelen Betriebszustand die Trackingschwächen auch am deutlichsten zutage. Besonders bei hohen Spannungen und mittleren bis hohen Leistungen liegen die Anpassungswirkungsgrade unter 99 Prozent.



## = Gesamtwirkungsgrad (parallel)

► Das obere Drittel des Spannungsbereiches ist nicht nutzbar, insgesamt bietet sich ein – durch die Trackingschwächen bedingtes – unruhiges Bild. Das Gesamtwirkungsgradmaximum liegt bei 97,7 Prozent und wird bei 60 Prozent Nennleistung sowie einer MPP-Spannung von 353 Volt erreicht.



Fortsetzung von Seite 63

Tracker-Eingang hat dann einen kleineren MPP-Spannungsbereich als der mit geringer Leistung laufende.

Fall 3: Ebenfalls möglich ist die Parallelschaltung von Trackern, die der Trannergy PVI4600TL auch anbietet. Die Benotung des Wechselrichters erfolgt nach Fall 1 (symmetrische Belastung).

**Auffinden des MPP:** Bei einer vorgegebenen Kennlinie mit Nennleistung und einer MPP-Spannung von 369 Volt benötigt der Wechselrichter 43 Sekunden, bis er sich auf das Netz aufschaltet. Dabei waren zu Beginn der Messung DC- und AC-Seite ausgeschaltet. Nach weiteren sieben Sekunden erreichen beide Tracker den MPP. Beim Wechsel von 369 Volt zu 353 Volt benötigt Tracker A 55 Sekunden und Tracker B 29 Sekunden. Der Wechsel in den nächsthöheren MPP-Bereich von 386 Volt dauert bei Tracker A 64 Sekunden und bei Tracker B 26 Sekunden.

**MPP-Bereich:** Der MPP-Bereich reicht von 300 bis 500 Volt und entspricht dem eines Normalbereich-Wechselrichters. Die maximale MPP-Spannung von 500 Volt liegt, bei heutigen Füllfaktoren, zu nah an der maximalen Eingangsspannung (550 Volt). Es müssen – wie oben beschrieben – drei Belastungsfälle unterschieden werden:

**Fall 1, symmetrisch:** Die beiden Tracker werden mit jeweils der halben DC-Systemnennleistung von 4.100 Watt belastet: Der MPP-Bereich reicht dann von 300 Volt bis 500 Volt und entspricht dem eines Normalbereich-Wechselrichters.

**Fall 2, asymmetrisch:** Tracker A wird im Spannungsbereich von 250 Volt bis 500

Volt mit 100 Prozent Leistung (1.850 Watt) belastet. Tracker B wiederum wird im Spannungsbereich von 125 Volt bis 500 Volt mit 100 Prozent Leistung (2.250 Watt) betrieben.

**Fall 3, parallel:** Beide Tracker sind parallelgeschaltet und arbeiten im Spannungsbereich von 300 Volt bis 500 Volt mit der DC-Systemnennleistung, was dem symmetrischen Betriebsfall entspricht ohne dessen Flexibilität zu bieten.

**Umwandlungswirkungsgrad:** Der Trannergy PVI4600TL kann im MPP-Spannungsbereich von 300 bis 500 Volt mit 110 Prozent seiner Nennleistung arbeiten, für diesen Diagrammbereich wurde der Wirkungsgrad ermittelt. Bei einer maximalen DC-Spannung von 550 Volt lässt sich ein oberer schraffierter Bereich erkennen, der auf Einschränkungen des MPP-Spannungsbereichs beim Einsatz von kristallinen Modulen hinweist. Ein weiterer Bereich mit entgegengesetzter Schraffur beschreibt die Einschränkungen beim Einsatz von Dünnschichtmodulen auf Grund des zu geringen Spannungsabstandes von maximaler MPP-Spannung und maximaler DC-Spannung.

**Fall 1, symmetrisch:** Der Bereich des maximalen Wirkungsgrades bildet ein großes Plateau auf hohem Niveau, das sich zwischen den MPP-Spannungen von 300 bis 479 Volt erstreckt und ab einer Leistung von 30 Prozent beginnt. Die senkrechte Schnittlinie bei 50 Prozent Nennleistung und die waagerechte Schnittlinie bei 332 Volt MPP-Spannung gehen durch das Wirkungsgradmaximum von 97,5 Prozent. Zu großen MPP-Spannun-

## Kommentar des Herstellers

Wir haben keine Einwände gegen die Ergebnisse des Tests. Der PVI4600TL ist nicht für den Betrieb zusammen mit Dünnschichtmodulen gedacht, wir arbeiten derzeit an einem neuen Wechselrichtertyp für solche Anwendungen. Die Trannergy-Wechselrichter können an dem vereinfachten Einspeisemanagement teilnehmen und unterstützen die Überwachung durch das Solar-Log-System.

gen hin nimmt der maximale Umwandlungswirkungsgrad um 0,7 Prozentpunkte ab, zu kleinen um 0,3 Prozentpunkte.

Die Herstellerangabe für den maximalen Wirkungsgrad von größer als 97,8 Prozent wurde somit verfehlt. Bei kleinen Leistungen unter 15 Prozent der Nennleistung fällt der Wirkungsgrad um acht bis zehn Prozentpunkte. Es stellte sich bei Nennleistung ein Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  von circa eins ein.

**Fall 2, asymmetrisch:** In diesem Betriebsfall ist der Bereich mit den höchsten Umwandlungswirkungsgraden deutlich kleiner. Die senkrechte Schnittlinie bei 50 Prozent Nennleistung und die waagerechte Schnittlinie bei einer MPP-Spannung von 355 Volt (Tracker A) beziehungsweise 283 Volt (Tracker B) gehen durch das Wirkungsgradmaximum von 97,4 Prozent. Die DC-Systemnennleistung des Gerätes beträgt auch hier 4.100 Watt.

**Fall 3, parallel:** Der Bereich mit den höchsten Umwandlungswirkungsgraden ist in diesem Betriebsfall am größten. Die senkrechte Schnittlinie bei 50 Pro-

## Zwei starke Montagesysteme:

### SDT VarioTwin Large und SDK Modulträger K1

NEU!



SDT VarioTwin Large

SCHNELLE UND EINFACHE MONTAGE

GERINGE TRANSPORT- & LAGERKOSTEN

KEINE DACHHAUTDURCHDRINGUNG

WENIG BALLAST ERFORDERLICH

WINDKANALGESTESTET

MADE IN GERMANY

Jetzt bestellen:  
+49 5971-804050



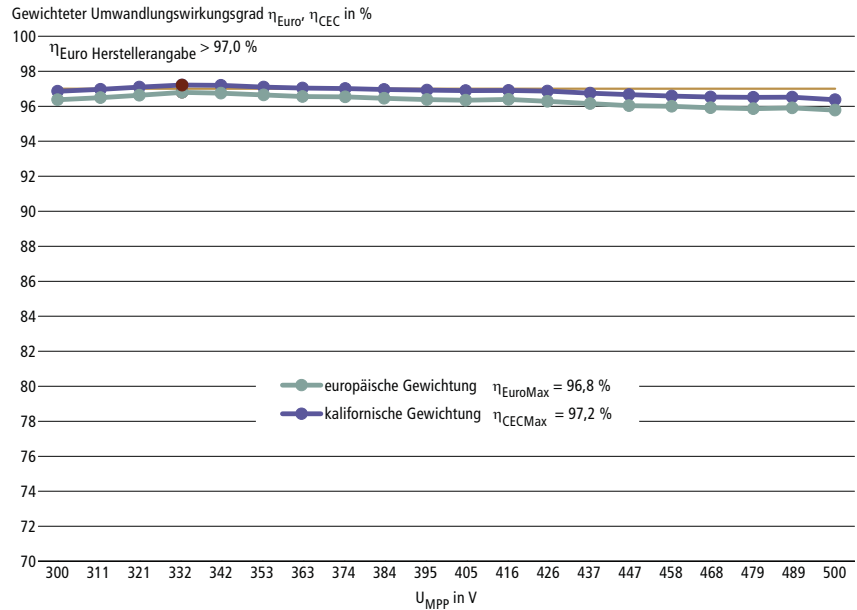
SDK Modulträger K1

SOLARDIREKT ENERGY GmbH & Co.KG Fon: +49 5971 804 05-0 Fax: +49 5971 804 05-29  
Landersumer Weg 40 · D-48431 Rheine E-Mail: info@solardirekt.com Web: www.solardirekt.com

**SOLARDIREKT**  
ENERGY

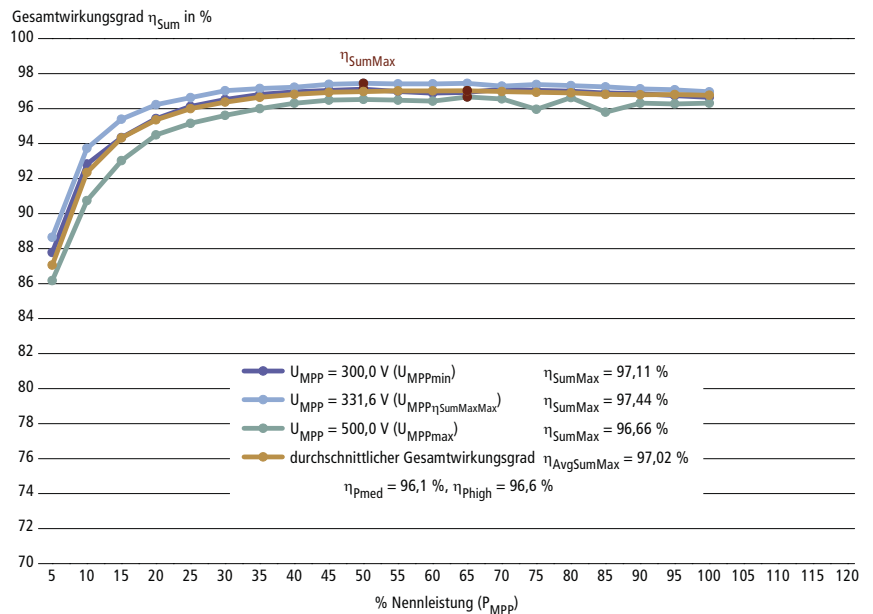
## Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad

► Sowohl bei europäischer als auch bei kalifornischer Gewichtung findet sich das Maximum bei einer MPP-Spannung von 332 Volt. Nach kalifornischer Gewichtung liegt der Umwandlungswirkungsgrad dabei um 0,4 Prozentpunkte höher.



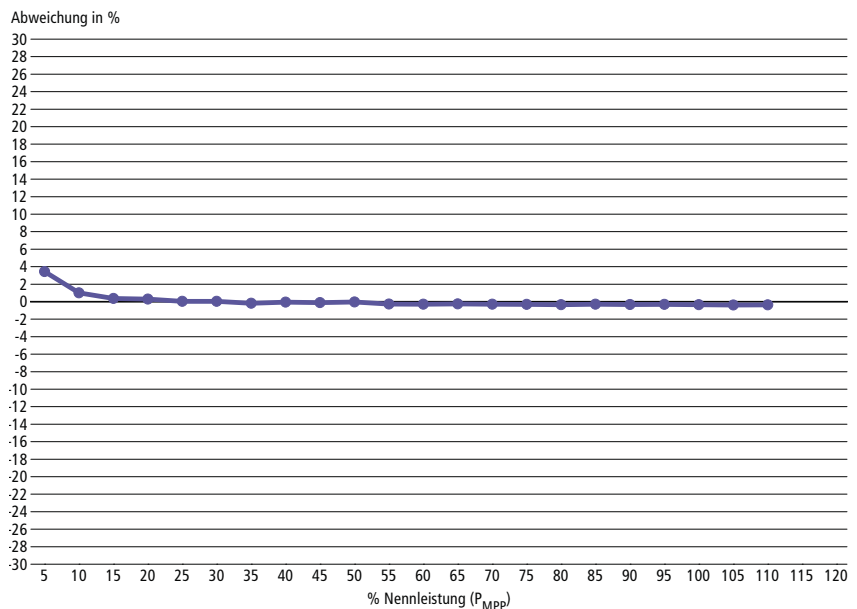
## Gesamtwirkungsgrad bei unterschiedlichen Spannungen

► Bei geringen Leistungen von bis zu 15 Prozent arbeitet der Wechselrichter noch nicht sehr effizient. Auch bei hohen Spannungen gibt es bei 75 und 85 Prozent der Leistung Unregelmäßigkeiten.



## Genauigkeit der Wechselrichteranzeige

► Ab einer Leistung von 15 Prozent zeigt der Wechselrichter mit hoher Genauigkeit an, wie viel er tatsächlich einspeist. Bei weniger Leistung übertreibt er um bis zu vier Prozent.



zent Nennleistung und die waagerechte Schnittlinie bei einer MPP-Spannung von 353 Volt gehen durch das Wirkungsgradmaximum von 97,8 Prozent. Sie fällt somit höher aus als im symmetrischen Belastungsfall und entspricht exakt der Herstellerangabe.

**Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad:** Der maximale Europäische Wirkungsgrad findet sich bei einer MPP-Spannung von 332 Volt und liegt mit 96,8 Prozent 0,2 Prozentpunkte unter der Herstellerangabe. Die Differenz zwischen maximalem Umwandlungswirkungsgrad und maximalem Europäischem Wirkungsgrad beträgt 0,7 Prozentpunkte. Der maximale Kalifornische Wirkungsgrad fällt mit 97,2 Prozent um 0,4 Prozentpunkte höher aus und tritt ebenfalls bei einer MPP-Spannung von 332 Volt ein.

**MPPT-Anpassungswirkungsgrad, Fall 1, symmetrisch:** Bis auf wenige Ausnahmen ist er über den ganzen Arbeitsbereich schön gleichmäßig hoch und erreicht über 99 Prozent der vorgegebenen Leistung. Ausnahmen gibt es nur bei kleinsten DC-Leistungen.

**Fall 2, asymmetrisch:** In diesem Betriebsfall gibt es ebenfalls einzelne verstreute Arbeitspunkte mit einem MPP-Anpassungswirkungsgrad von weniger als 99 Prozent.

**Fall 3, parallel:** Die Schwächen beim Tracking treten in diesem Betriebsfall am deutlichsten zutage. Sie fallen besonders bei einer MPP-Spannung von 321 Volt sowie im MPP-Spannungsbereich von 447 bis 479 Volt ins Auge.

**Gesamtwirkungsgrad:** Bei einer maximalen DC-Spannung von 550 Volt gibt es – wie oben beschrieben – einen schraffierten Bereich, der auf Einschränkungen des MPP-Spannungsbereichs beim Einsatz von kristallinen Modulen hinweist. Ein zweiter Bereich mit entgegengesetzter Schraffur beschreibt die Einschränkungen beim Einsatz von Dünnschichtmodulen aufgrund des zu geringen Spannungsabstandes von maximaler MPP-Spannung und maximaler DC-Spannung.

**Fall 1, symmetrisch:** Der Bereich des maximalen Gesamtwirkungsgrades ist bei kleinen Spannungen und mittleren Leistungen zu finden. Die senkrechte Schnittlinie bei 50 Prozent Nennleistung und die waagerechte Schnittlinie bei einer MPP-Spannung von 332 Volt gehen durch das Gesamtwirkungsgradmaximum von 97,4 Prozent.

**Fall 2, asymmetrisch:** Die senkrechte Schnittlinie bei 55 Prozent Nennleistung und die waagerechte Schnittlinie bei ei-

ner MPP-Spannung von 355 Volt (Tracker A) beziehungsweise 283 Volt (Tracker B) gehen durch das Gesamtwirkungsgradmaximum von 97,3 Prozent. Es fällt damit etwas niedriger aus als im symmetrischen Belastungsfall.

**Fall 3, parallel:** Sowohl bei hohen als auch bei niedrigen MPP-Spannungen sind deutliche Schwächen erkennbar. Die senkrechte Schnittlinie bei 60 Prozent Nennleistung und die waagerechte Schnittlinie bei einer MPP-Spannung von 353 Volt gehen durch das Gesamtwirkungsgradmaximum von 97,7 Prozent. Es liegt damit 0,3 Prozentpunkte höher als im symmetrischen Belastungsfall.

**Gesamtwirkungsgradverläufe, durchschnittlicher Gesamtwirkungsgrad und PHOTON-Wirkungsgrad:** Ein Kurvenverlauf, der die Schwächen des Trackings bei kleinen Leistungen und bei bestimmten MPP-Spannungen widerspiegelt: Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung liegt bei 96,1 Prozent, der PHOTON-Wirkungsgrad für hohe Einstrahlung beträgt 96,6 Prozent.

**Einspeisung der Nennleistung:** Der Wechselrichter speist über den Eingangsspannungsbereich von 300 bis 500 Volt und bei einer Umgebungstemperatur von 25 Grad Celsius 100 Prozent der Nennleistung ein.

**Angezeigte Ausgangsleistung:** Die vom Wechselrichter gemessene und angezeigte Ausgangsleistung weicht bei kleinen Leistungen bis zu plus 3,4 Prozent vom Messwert des Leistungsanalyzers ab. Ab 15 Prozent Nennleistung liegt der Fehler im Bereich von weniger als plus/minus 0,4 Prozent. Damit entspricht die Anzeigegenauigkeit der eines Zählers der Genauigkeitsklasse B (früher Genauigkeitsklasse 1).

**Betrieb bei höherer Umgebungstemperatur:** Bis zu einer Umgebungstemperatur von 53,4 Grad Celsius speist der Trannergy PVI4600TL mit 100 Prozent seiner Nennleistung ins Netz ein, danach reduziert er seine Leistung. Das Gerät wählt den Arbeitspunkt 4.100 Watt bei einer MPP-Spannung von 369 Volt, der Wirkungsgrad fiel über diesem Temperaturbereich um 0,2 Prozentpunkte. Der Wechselrichter kann dank seines sehr weiten Temperaturbereichs von minus 20 bis plus 60 Grad Celsius und der Schutzart IP 65 unter dem Dach oder auch draußen montiert werden. Dabei ist aber die Leistungsreduzierung bei einer Umgebungstemperatur von 53,4 Grad Celsius zu berücksichtigen.

**Überlastverhalten:** Bietet man dem Trannergy PVI4600TL bei einer MPP-

Spannung von 369 Volt und einer Umgebungstemperatur von 25 Grad Celsius eine Überlast des 1,3-Fachen der Eingangsnennleistung an (5.330 Watt), begrenzt Tracker A auf 1.509 Watt und Tracker B auf 2.663 Watt, also insgesamt auf 4.172 Watt. Dies entspricht einer Überlast von 101,8 Prozent bei einer DC-Nennleistung von 4.100 Watt. Laut Definition besitzt das Gerät somit einen geringen Überlastbereich. Bei dieser Leistungsbegrenzung verschiebt das Gerät den Arbeitspunkt auf der Kennlinie in Richtung höhere Eingangsspannung. Die DC-Spannung stellt sich auf einen Wert von 426 Volt (Tracker A) beziehungsweise 370 Volt (Tracker B) ein. Dabei kann die Verteilung der DC-Leistung auf die jeweiligen Tracker wechseln, die Summe bleibt jedoch stets gleich.

**Eigen- und Nachtverbrauch:** Im getesteten Grundbauzustand verbrauchte der Trannergy PVI4600TL 0,8 Watt auf der AC-Seite und acht Watt auf der DC-Seite (Herstellerangabe: weniger als sechs Watt). Nachts zieht der Wechselrichter 0,84 Watt Wirkleistung aus dem Netz, hierfür gibt der Hersteller weniger als 0,2 Watt an.

**Thermografie:** Die Wärmebildkamera zeigt eine Draufsicht des Wechselrichters, während er bei einer Umgebungstemperatur von 25,8 Grad Celsius mit Nennleistung arbeitet. Dabei steigen die Temperaturen im Bereich der für die Kamera sichtbaren Bauteile auf bis zu 70,5 Grad Celsius. Diese Oberflächentemperatur erreichte die netzseitige Sicherung. Auf 69,4 Grad Celsius erwärmten sich die SMD-Widerstände im Bereich der H6-Ausgangsbrücke. Die Elektrolytkondensatoren im Leistungsteil lagen im unkritischen Bereich der Temperaturskala.

## Fazit

Vermutlich gibt es ein chinesisches Äquivalent für die deutsche Weisheit, derzufolge noch kein Meister vom Himmel gefallen ist. Trotzdem können die Ingenieure des Trannergy PVI4600TL darauf verweisen, dass sie im ersten Anlauf bereits einen Wechselrichter entwickelt haben, der sich im PHOTON-Labor ein »gut« verdient hat. Der junge chinesische Hersteller baut ein grundsolides Gerät, dem zu einem »sehr gut« auch bei mittlerer Einstrahlung nur ein besseres Tracking-Verhalten fehlt. Ein Makel, den der Wechselrichter mit vielen seiner asiatischen Konkurrenten teilt, der aber nicht allzu schwer zu beheben ist.



Unter dem Strich ist der Aufbau des Testkandidaten sehr übersichtlich und fertigungsfreundlich.

Der Umwandlungswirkungsgrad weist seine höchsten Werte von 97,5 Prozent im Bereich kleinerer MPP-Spannungen auf, wobei die Differenz zu höheren Spannungen bei circa 0,7 Prozentpunkten, zu niedrigeren Spannungen bei circa 0,3 Prozentpunkten liegt. Damit ist die Spannungsabhängigkeit des Umwandlungswirkungsgrades relativ gering, die Leistungsabhängigkeit ist aber schon höher. Der Gesamtwirkungsgradverlauf entspricht – bedingt durch den guten MPPT-Anpassungswirkungsgrad – mit kleineren Abweichungen dem Verlauf des Umwandlungswirkungsgrades. Der vom Hersteller spezifizierte MPP-Spannungsbereich hat allerdings keinen ausreichenden Abstand zur maximalen DC-Spannung des Wechselrichters und ist für kristalline Module nicht voll nutzbar. Für Dünnschichtmodule eignet sich der Wechselrichter laut Hersteller nicht.

Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung fällt mit 96,1 Prozent gut aus, der Wert für den PHOTON-Wirkungsgrad für hohe Einstrahlung liegt bei 96,6 Prozent und erreicht damit sogar ein »sehr gut«. Diese Differenz erklärt sich aus dem Abfallen der Wirkungsgrade bei kleiner Leistung, was bei Bewertung nach hoher Einstrahlung nicht so stark gewichtet wird. Die Differenz zum maximalen Umwandlungswirkungsgrad von 1,4 Prozentpunkten zeigt die vorhandene Leistungsabhängigkeit an. Für die Auslegung des MPP einer Photovoltaikanlage sollte möglichst die untere Hälfte des Spannungsbereichs gewählt werden.

Der Wechselrichter besitzt nur einen geringen Überlastbereich. Die Anzeige seiner Ausgangsleistung weist eine gute Genauigkeit auf. Der Temperaturbereich des Trannergy PVI4600TL ist sehr weit. Allerdings regelt er seine Leistung beim Überschreiten einer Umgebungstemperatur von 53,4 Grad Celsius ab. Die Abhängigkeit des Um-

wandlungswirkungsgrades von der Temperatur ist mit 0,2 Prozentpunkten sehr gering. Das Zwei-Tracker-Gerät mit Hochsetzsteller ist variabel einsetzbar, im asymmetrischen und parallelen Belastungsfall lässt jedoch der MPP-Trackingwirkungsgrad deutlich nach. Im parallelen Belastungsfall fallen zwar die höchsten Umwandlungswirkungsgrade an, wirken sich aber durch das schlechtere Tracking nicht so positiv auf den Gesamtwirkungsgrad aus. Zum Zeitpunkt des PHOTON-Tests war der Hersteller gerade dabei, sich die Kompatibilität seiner Geräte mit der neuen Niederspannungsregelung zertifizieren zu lassen. Seit Beginn dieses Jahres soll der Wechselrichter der Baureihe PVI4600TL zudem in der Lage sein, am vereinfachten Einspeisemanagement teilzunehmen. Am Ende fällt die Bewertung des Trannergy PVI4600TL trotz der Schwächen beim Tracking gut aus, er findet sich im oberen Drittel der Testkandidaten wieder.

| Heinz Neuenstein, Matthias B. Krause

## Erläuterungen zu Messungen und Grafiken

Die Diagramme zu MPPT-Wirkungsgrad, Umwandlungswirkungsgrad und Gesamtwirkungsgrad stellen die Abhängigkeit dieser Größen von der Eingangsspannung  $U_{MPP}$  und der Eingangsleistung  $P_{DC}$  dar. Der MPP-Spannungsbereich ist dabei jeweils in 20 Schritte, der DC-Leistungsbereich in 24 Schritte unterteilt. Der Solargeneratorsimulator im PHOTON-Labor erzeugt also 480 verschiedene Kennlinien, alle mit einem Füllfaktor von 75 Prozent.

Die in dieser Messreihe ermittelten 480 Werte dienen als Basis für die dreidimensionale Darstellung. Die dritte Dimension ist dabei die Farbe, sie zeigt den bei einem bestimmten Verhältnis von  $U_{MPP}$  und  $P_{DC}$  jeweils erreichten Wirkungsgrad an. Das Farbspektrum mit den zugehörigen Werten ist neben den Diagrammen abgebildet. Die y-Achse gibt die Eingangsspannung  $U_{MPP}$  gemäß dem vom Hersteller des jeweiligen Geräts deklarierten Bereich an. Auf der x-Achse findet sich die vorgegebene Leistung  $P_{MPP}$  in relativen Werten, normiert auf die Nenneingangsleistung  $P_{DCNenn}$  des Wechselrichters und angegeben in Prozent der  $P_{MPP}$ -Nennleistung. Wie weit dieser Bereich die 100-Prozent-Marke überschreitet, richtet sich ebenfalls nach den Herstellervorgaben.

Liegt die vom Hersteller angegebene maximale MPP-Spannung nah an der maximalen DC-Spannung, zeigt ein schraffierter Bereich die entsprechenden Einschränkungen beim Einsatz von kristallinen Modulen und darunter ein weiterer Bereich mit entgegengesetzter

Schraffur die Einschränkungen beim Einsatz von Dünnschichtmodulen an.

Der **MPPT-Anpassungswirkungsgrad** bezeichnet das Verhältnis zwischen vorgegebener DC-Leistung  $P_{MPP}$  und der aufgenommenen DC-Leistung des Wechselrichters. Er gibt somit Aufschluss über das statische MPP-Tracking des Geräts, also darüber, wie viel der vom Solargenerator vorgegebenen  $P_{MPP}$ -Leistung der Wechselrichter auch tatsächlich übernimmt.

Der **Umwandlungswirkungsgrad** ist das Verhältnis der vom Wechselrichter gelieferten AC-Leistung  $P_{AC}$  zu der auf seiner Gleichstromseite aufgenommenen Leistung  $P_{DC}$ . Über dem Diagramm sowie rechts daneben zeigen Querschnitte durch die dreidimensionale Darstellung die Abhängigkeiten des Wirkungsgrades von der normierten Leistung beziehungsweise von der Spannung  $U_{MPP}$ . Rechts oben ist eine Einordnung des Arbeitsbereichs des Wechselrichters bezogen auf den MPP-Spannungsbereich und die MPP-Leistung zu finden.

Der **Gesamtwirkungsgrad** wird errechnet und ist die Multiplikation des Umwandlungswirkungsgrades und des MPPT-Anpassungswirkungsgrades für alle 480 Messpunkte. Die Grafik ist analog derjenigen zum Umwandlungswirkungsgrad aufgebaut.

Das Diagramm zum **gewichteten Umwandlungswirkungsgrad** zeigt den für mittlere Sonneneinstrahlung (Europäischer Wirkungsgrad) sowie den gemäß der Definition der California Energy Commission (CEC) für hohe Einstrahlung

(Kalifornischer Wirkungsgrad) ermittelten Wirkungsgrad jeweils über den gesamten MPP-Spannungsbereich.

Das Diagramm zum **Gesamtwirkungsgrad bei unterschiedlichen Spannungen** zeigt dessen Verlauf über die Nennleistung  $P_{MPP}$  jeweils für die minimale und die maximale MPP-Spannung ( $U_{MPPmin}$  und  $U_{MPPmax}$ ) sowie für den kleinsten und den größten Wert der MPP-Spannung, bei der ein Wechselrichter seinen maximalen Wirkungsgrad erreicht ( $U_{MPP\eta SumMaxMin}$  und  $U_{MPP\eta SumMaxMax}$ ). Die jeweiligen maximalen Werte ( $\eta_{SumMax}$ ) sind im Diagramm notiert. Falls die Kurven für  $U_{MPP\eta SumMaxMin}$  und  $U_{MPPmin}$  beziehungsweise  $U_{MPP\eta SumMaxMax}$  und  $U_{MPPmax}$  identisch sind, wird im Diagramm nur eine Kurve mit den entsprechenden Werten eingetragen (nämlich  $U_{MPPmin}$  oder  $U_{MPPmax}$ ).

Im selben Diagramm ist auch der **durchschnittliche Gesamtwirkungsgradverlauf** dargestellt und sein höchster Wert ( $\eta_{AvgSumMax}$ ) notiert. Der durchschnittliche Gesamtwirkungsgrad ergibt sich, indem bei der jeweiligen Stufe des MPP-Nennleistungsbereichs der Mittelwert aller Gesamtwirkungsgrade über den vom Hersteller ausgewiesenen MPP-Spannungsbereich errechnet wird. Entlang den Leistungsstufen von 5 bis 100 Prozent der MPP-Nennleistung ergibt sich hieraus eine Kurve. Wird der Verlauf dieser Kurve für mittlere ( $\eta_{Pmed}$ ) beziehungsweise hohe Einstrahlung ( $\eta_{Pmax}$ ) gewichtet, ergibt sich der jeweilige **PHOTON-Wirkungsgrad**. Er ist ebenfalls im Diagramm notiert.