

Konkurrenz für SMA

Mit Huawei steigt ein internationaler Player ins Wechselrichtergeschäft ein. Gleich mit dem ersten Gerät im Test erreicht der chinesische Konzern Platz drei im Gesamtranking – und das noch ohne Siliziumkarbid-Transistoren.

Wenn der chinesische Konzern Huawei Technologies Co. Ltd ein neues Geschäftsfeld erschließt, dann sicher nicht, um hundert oder auch tausend Geräte zu verkaufen. Mit einem Umsatz von 35,4 Milliarden Dollar im Jahr 2012, einem Gewinn von circa 2,48 Milliarden Dollar und

mehr als 150.000 Mitarbeitern taucht hier ein Unternehmen im Wechselrichtermarkt auf, das die finanziellen und personellen Ressourcen hat, dem aktuellen Marktführer SMA das Fürchten zu lehren. Entsprechend gespannt waren die Ingenieure im PHOTON-Testlabor, als sie am 6. Februar dieses Jahres im Rahmen einer Testvereinbarung ein Gerät aus der ersten Baureihe zur Verfügung gestellt bekamen.

Um es vorweg zu nehmen: Die Tester waren begeistert. Und zwar nicht nur aufgrund des sehr hohen Wirkungsgrades, der zudem noch mit Standard-Siliziumtransistoren erreicht wurde, sondern auch von der Gesamterscheinung. Immer wieder kommen im Labor, vor allem bei neuen Herstellern aus China, unsauber gearbeitete Geräte an, bei denen Bauteile mit Kleber befestigt wurden. Deren Inbetriebnahme ist oft kompliziert und klappt manchmal erst im zweiten Anlauf – und wenn dann die Testergebnisse endlich vorliegen, erhält man wochenlang keine Rückmeldung des Herstellers. All diese Faktoren sind sehr schwierig objektiv zu bewerten und fließen deshalb nicht in die Note ein, sondern werden im Testbericht beschrieben. Wenn dann aber mal ein Gerät all diese Probleme nicht hat, wie jetzt der Sun2000-20KTL von Huawei, ist ein »sehr gut +« sogar noch ein bisschen wertvoller.

Aufbau

Das vorliegende Gerät ist Teil der Sun-2000-Familie, die aus sechs Modellen von 8 bis 20 Kilowatt (kW) Ausgangsnennleis-

Photon	
DAS SOLARSTROM-MAGAZIN	
Huawei Technologies Sun2000-20KTL	
sehr gut +	
98,0 % für mittlere Einstrahlung	3/2013
www.photon.info/labor	

Photon	
DAS SOLARSTROM-MAGAZIN	
Huawei Technologies Sun2000-20KTL	
sehr gut +	
98,1 % für hohe Einstrahlung	3/2013
www.photon.info/labor	

Für Querleser

- Der Sun2000-20KTL ist mit 22,5 Kilowatt DC-Eingangleistung das größte Gerät der ersten Wechselrichterbaureihe des chinesischen Herstellers Huawei. Es handelt sich um einen dreiphasig einspeisenden, traflosen Wechselrichter mit drei MPP-Trackern.
- Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung liegt bei 98,0 Prozent. Damit ist der Sun2000-20KTL das vierte Gerät überhaupt, das in dieser Kategorie ein »sehr gut +« erhält. Im Gesamtranking liegt es an dritter Stelle.
- Die beiden besseren Geräte, der Sunny Tripower STP 2000TLHE-10 von SMA und der Refusol 020K-SCI von Refu, arbeiten beide mit Siliziumkarbid-Transistoren. Ersetzt Huawei seine Standardtransistoren durch diese Bauteile, dürfte er mit SMA gleichziehen.
- Wechselrichter von Huawei sind in Deutschland über die Huawei Technologies Düsseldorf GmbH erhältlich.

tung besteht. Die drei kleineren Geräte haben zwei MPP-Tracker, die übrigen haben drei. Allen gemein ist eine Schaltung ohne Netztrenntrafo.

Der Aufbau des Wechselrichters erstreckt sich über zwei Ebenen und benötigt sechs Leiterkarten – ist aber dennoch recht übersichtlich.

Der Leistungsteil ist in der unteren Ebene untergebracht, wo sich eine große Platine mit der kompletten Leistungselektronik befindet. Über eine Aussparung im Gehäuse wurde rückseitig ein Kühlkörper zur Wärmeabfuhr angeschraubt, welcher mit einer silikonartigen Dichtungsmasse eingefasst ist.

In der oberen Ebene sind auf einer gemeinsamen Leiterkarte die Eingangs- und Ausgangsfilter sowie das Netzgerät zur Hilfsenergieversorgung und Teile der Steuerelektronik zu finden. Über Abstandhalter ist eine kleine Platine mit weiteren Teilen der Steuerelektronik aufgesteckt. Die Leiterkarte wurde auf einem Aluminiumblech montiert, das wiederum am Gehäuse mit angeschweißten Winkeln befestigt ist. Das Blech kann ohne eine Demontage der Platine gelöst werden. Im oberen Bereich sind die sechs Drosseln direkt in das Gehäuse eingegossen. Im linken unteren Bereich befindet sich der interne DC-Trennschalter, mittig sind die Steckverbinder sowie ein DC-Lüfter montiert. Rechts ist der AC-Anschlussbereich angeordnet. An den Anschlussbereichen befindet sich jeweils eine kleinere Platine mit Kondensatoren. Im AC-Ausgangsbereich ist ein Gasableiter zu finden. Unter der Blechblende im AC-Anschlussbereich

befinden sich etwas versteckt drei zusätzliche kleine Drosseln.

Das aus Aluminium gefertigte Gehäuse besteht inklusive Kühlkörper aus vier Teilen und besitzt die Schutzart IP 65, lediglich der Fuß besteht aus Kunststoff. An den Lamellen des Kühlkörpers sind zwei Schienen zum Einhängen in die Wandhalterung montiert. Da der Sun2000-20KTL auf reine Konvektionskühlung setzt, gibt es zur Montage außerhalb eines Gebäudes keine Einschränkungen.

Das Gerät macht insgesamt einen sehr ordentlichen Eindruck. Die Elektrolytkondensatoren im Leistungsteil und auch auf der Displayleiterkarte gehören der Temperaturklasse 105 Grad Celsius an, sind also, bezogen auf die Umgebungstemperatur, gut ausgelegt. Die Anschlüsse für den Solargenerator und das Netz werden durch die Unterseite in das Gehäuse geführt. Für den DC-Anschluss stehen für jeden MPP-Trackereingang zwei Anschlusspärchen des Herstellers Amphenol zur Verfügung. Der AC-Anschluss erfolgt ebenfalls über einen Amphenol-Stecker. Der Wechselrichter besitzt einen USB-Port und zwei RS485-Schnittstellen.

Handhabung

Das Gerät kommt in einem Karton mit Schaumstoffhalbschalen verpackt gut geschützt beim Anwender an. An der Wand wird der Wechselrichter mithilfe einer Wandhalterung befestigt. Mit seinen 48 Kilogramm ist der Sun2000-20KTL bezogen auf die DC-Nennleistung ein Leichtgewicht. Ist der Solargenerator richtig ausgelegt und der interne DC-Freischalter eingeschaltet, kann der Wechselrichter an den Start. 63 Sekunden werden für verschiedene Tests benötigt, dann geht er ans Netz und beginnt mit der Arbeit.

Das mit grafischen Elementen ausgestattete Display liegt in der Ebene der Frontabdeckung, hat eine weiße Hinterleuchtung und ist gut ablesbar. Der Gerätezustand wird durch das Display sowie vier LEDs vermittelt.

Per Tastenbedienung lassen sich die Sprachen Englisch, Chinesisch, Deutsch, Französisch, Spanisch und Italienisch anwählen, allerdings werden nur die zwei erstgenannten dann auch tatsächlich angezeigt, bei der Auswahl der anderen Sprachen erfolgt die Ausgabe auf Englisch. Das Gerät wird aktiv, sobald Netzspannung anliegt.

Mithilfe der vier Tasten werden – schön übersichtlich – Einstellungen vorgenommen sowie Istwerte abgefragt, neben diversen Status- und Fehlermeldungen sind dies DC-Spannung und

DC-Strom (jeweils für jedes der drei Anschlusspärchen), AC-Spannung und AC-Strom (jeweils für jede Phase), AC-Leistung, Ertrag des Gerätes in der Gesamtbetriebszeit sowie Temperatur. Der Ertrag ist als Diagramm in Tageswerten oder auch Monatswerten darstellbar. Im Alarmbereich werden Fehler angezeigt, eine Fehlerhistorie kann abgefragt werden.

Bedienungsanleitung

Dem Gerät beigelegt ist ein sehr ausführliches Benutzerhandbuch in englischer Sprache. Neben allgemeinen Erläuterungen gibt es Informationen zur Montage, zum Anschluss, zum Betriebsverhalten, zur Anzeige und zu Störmeldungen. Zukünftig soll die Dokumentation auch auf Deutsch, Italienisch und Chinesisch zur Verfügung stehen.

Schaltungsaufbau

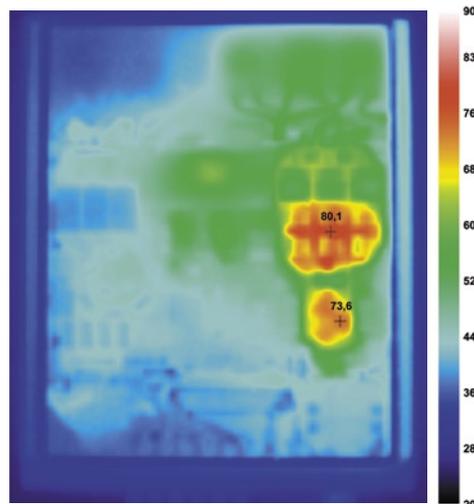
Es handelt sich um einen traflosen, dreiphasigen Wechselrichter mit drei gleich ausgelegten MPP-Trackern im Eingang. Zunächst gelangt die Energie des Photovoltaikgenerators über einen Funkentstörfilter in die Leistungsstufe. Über drei symmetrisch aufgebaute Hochsetzsteller mit »Soft Switching«-Technik wird die Eingangsspannung angepasst. »Soft Switching« heißt: Schalten bei Spannung oder Strom Null, also mit sehr viel geringeren Schaltverlusten.

Dabei entscheidet der Wechselrichter zu Beginn automatisch, ob die drei MPP-Tracker unabhängig arbeiten oder ob eine Parallelschaltung aller Strings erfolgt. Über einen aus einer Mischung von Elektrolytkondensatoren und Folienkondensatoren bestehenden Zwischenkreis werden die »3 Level T-Type«-Ausgangsbrücken gespeist (eine patentierte Eigenentwicklung). »3 Level T-Type« bezeichnet eine Dreipunkthalbbrücke mit einem Zweig vom Mittelpunkt der Transistorhalbbrücke zum Mittelpunkt der Kondensatorhalbbrücke des Spannungszwischenkreises, der zwei antiparallele Transistor-Dioden-Reihenschaltung enthält.

Die Transistoren und Dioden der Leistungselektronik befinden sich in sechs integrierten Modulen. Der nachfolgende Filter glättet die modulierten Spannungsböcke zu einem Sinus mit der Netzfrequenz von 50 Hertz.

Eine selbsttätige Schaltstelle trennt den Wechselrichter vom Netz, sobald die Netzspannung oder die Netzfrequenz von den vorgegebenen Grenzwerten abweichen.

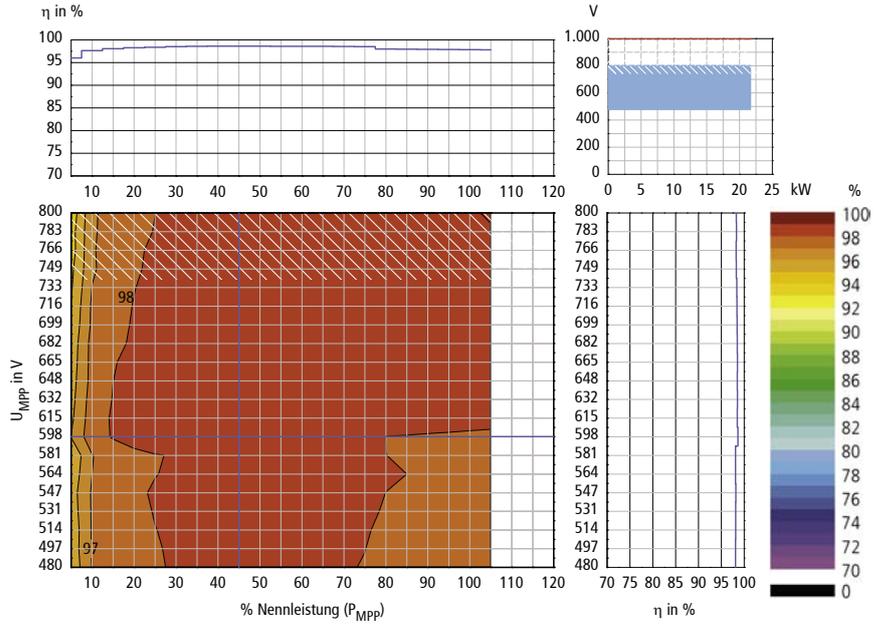
Fortsetzung auf Seite 51



▲ Der Sun2000-20KTL macht von außen wie innen einen überzeugenden Eindruck. Auch die Thermografie enthüllt keine Problemzonen; die Folienkondensatoren in den Filterbereichen liegen im grünen beziehungsweise im blauen Bereich der Temperaturskala.

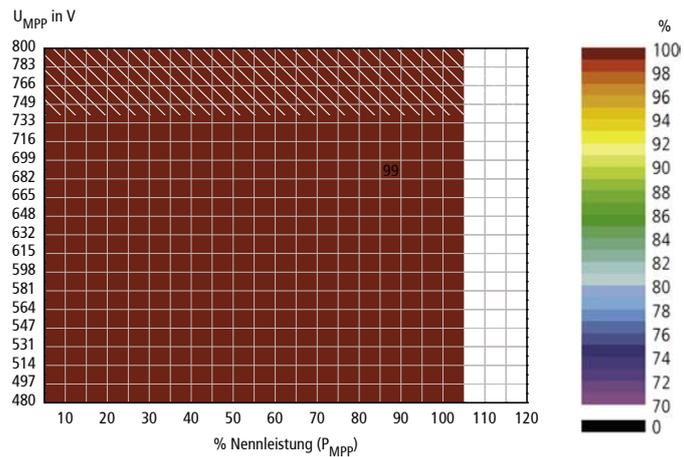
Umwandlungswirkungsgrad (symmetrisch)

► Fall 1, symmetrisch: Der Umwandlungswirkungsgrad bei symmetrischer Belastung der Tracker liegt fast im gesamten Arbeitsbereich über 98 Prozent. Das Wirkungsgradmaximum von 98,6 Prozent wird bei 45 Prozent Nennleistung einer MPP-Spannung von 598 Volt erreicht und entspricht exakt der Herstellerangabe.



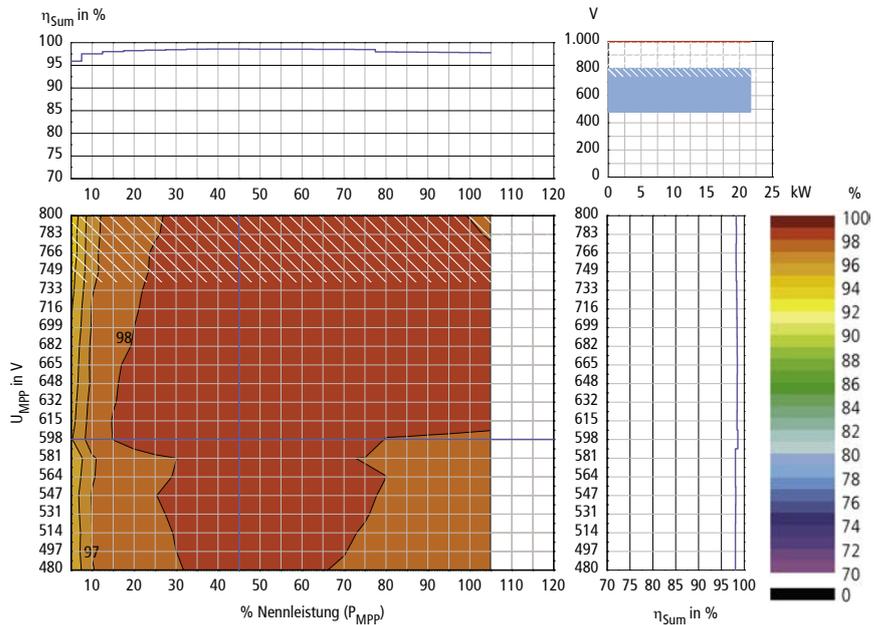
× MPPT-Anpassungswirkungsgrad (symmetrisch)

► Fall 1, symmetrisch: Der MPPT-Anpassungswirkungsgrad ist über den ganzen Arbeitsbereich schön gleichmäßig hoch, bei allen drei Trackern stets über 99,8 Prozent



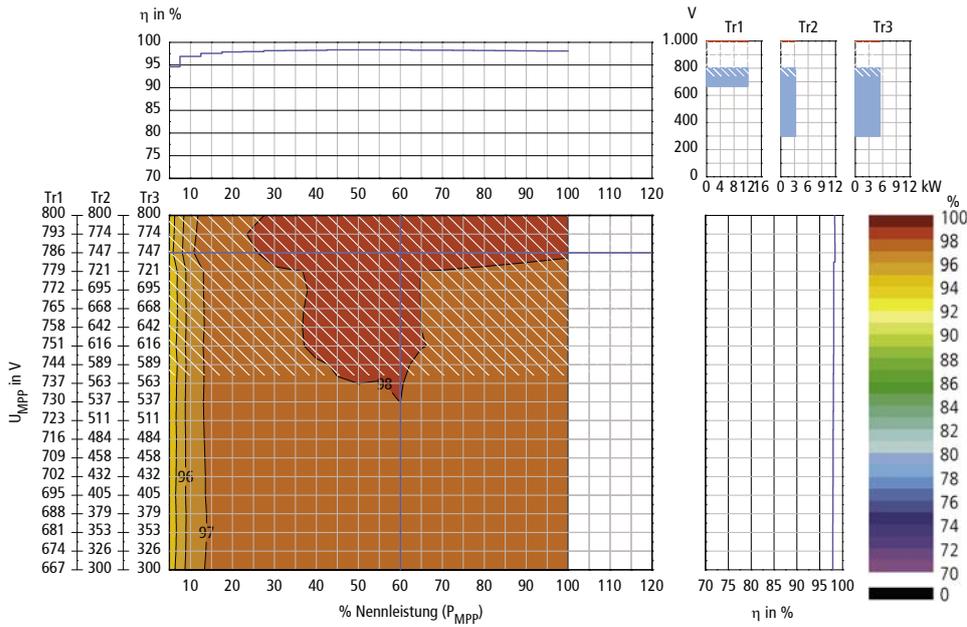
= Gesamtwirkungsgrad (symmetrisch)

► Fall 1, symmetrisch: Durch den hohen MPP-Anpassungswirkungsgrad sind kaum Unterschiede zum Umwandlungswirkungsgrad zu erkennen. Das Gesamtwirkungsgradmaximum erreicht 98,6 Prozent.



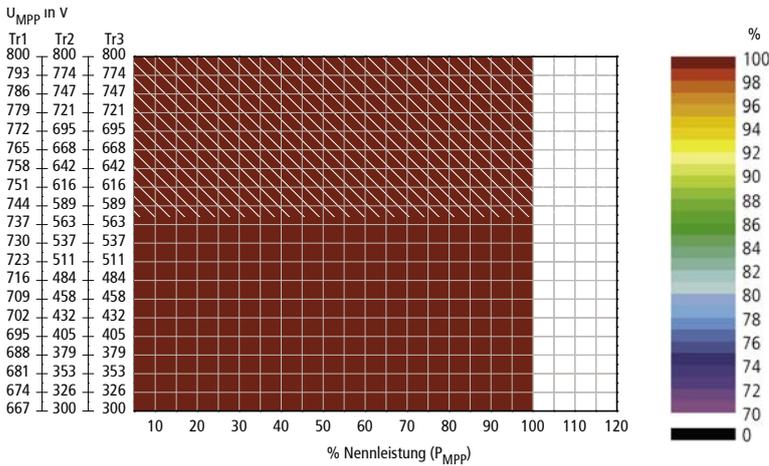
Umwandlungswirkungsgrad (asymmetrisch)

◀ Fall 2, asymmetrisch: Bei asymmetrischer Belastung der Tracker ähnelt der Verlauf des Umwandlungswirkungsgrades dem Verlauf bei symmetrischer Aufteilung. Allerdings ist das Plateau mit den Werten über 98 Prozent deutlich kleiner und in Richtung höherer MPP-Spannungen verschoben. Das Wirkungsgradmaximum von 98,3 Prozent liegt bei 60 Prozent Nennleistung und einer MPP-Spannung von 786 Volt (Tracker 1) sowie 747 Volt (Tracker 2 und 3). Anzumerken ist, dass die Schraffur auf Tracker 1 bezogen ist.



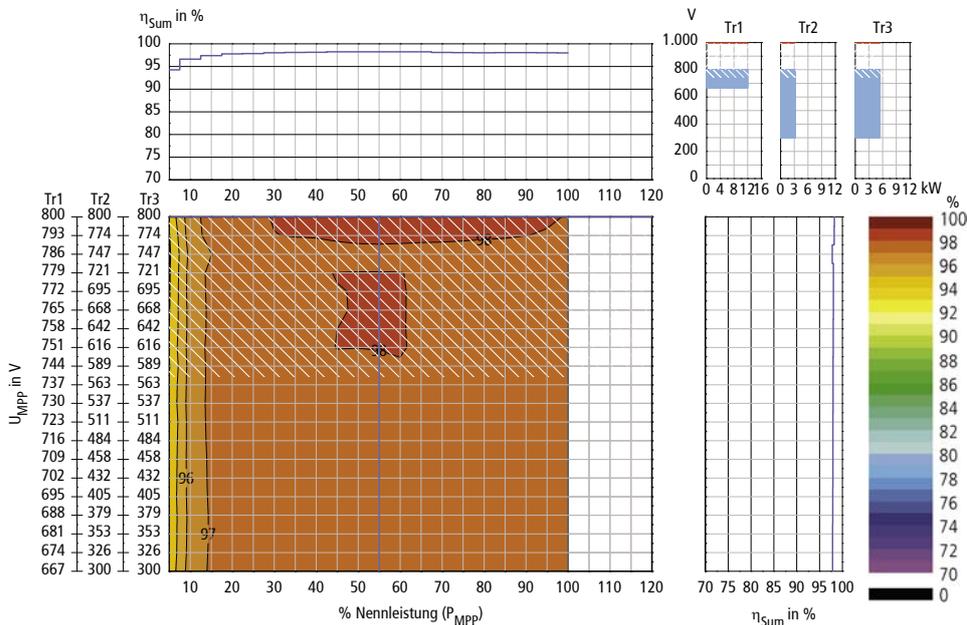
× MPPT-Anpassungswirkungsgrad (asymmetrisch)

◀ Fall 2, asymmetrisch: Auch hier liegt der MPPT-Anpassungswirkungsgrad insgesamt über alle drei Tracker im kompletten Arbeitsbereich immer über 99 Prozent. Lediglich Tracker 2 und 3 zeigen an einzelnen Messpunkten Werte unter 99 Prozent.



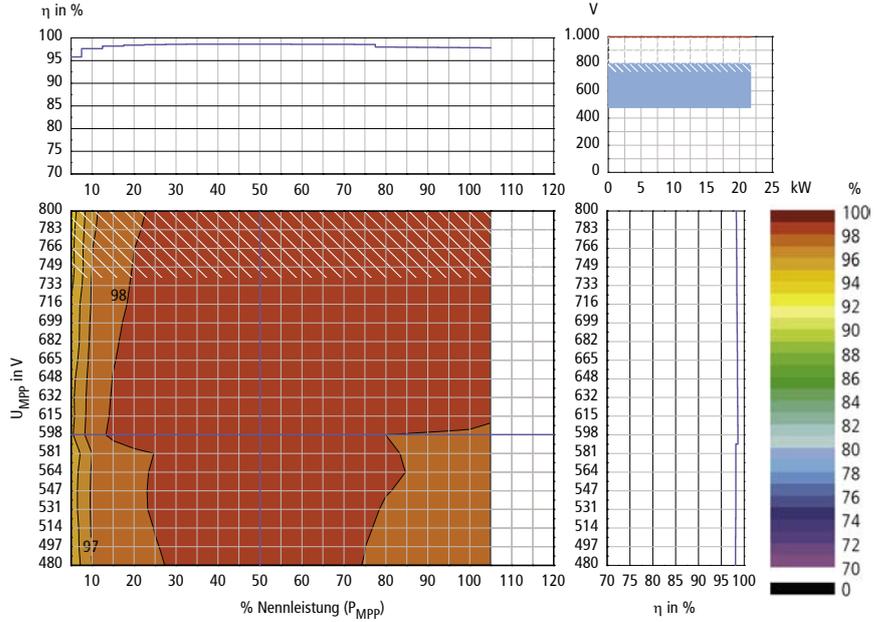
= Gesamtwirkungsgrad (asymmetrisch)

◀ Fall 2, asymmetrisch: Im Vergleich zum symmetrischen Fall ist der Bereich des Wirkungsgrades über 98 Prozent deutlich. Das Gesamtwirkungsgradmaximum von 98,2 Prozent liegt bei 55 Prozent und 800 Volt.



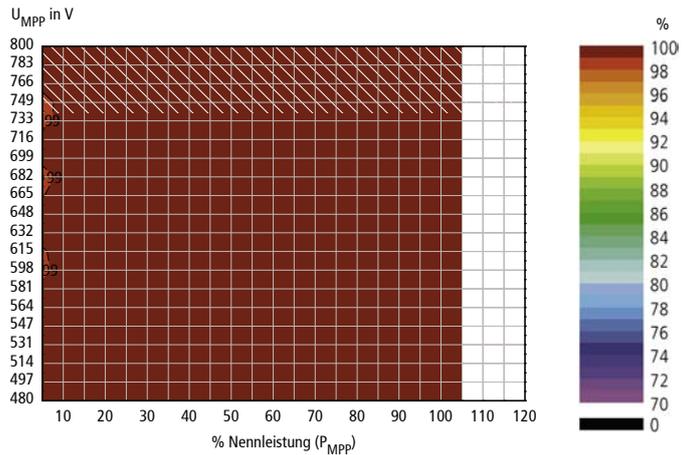
Umwandlungswirkungsgrad (parallel)

► Fall 3, parallel: Bei Parallelschaltung der Tracker wird der Wechselrichter als Ein-Tracker-Gerät genutzt. Auch hier ist der Wirkungsgradverlauf fast identisch zum symmetrischen Fall. Das Wirkungsgradmaximum von 98,6 Prozent wird bei 50 Prozent Nennleistung und einer MPP-Spannung von 598 Volt erreicht.



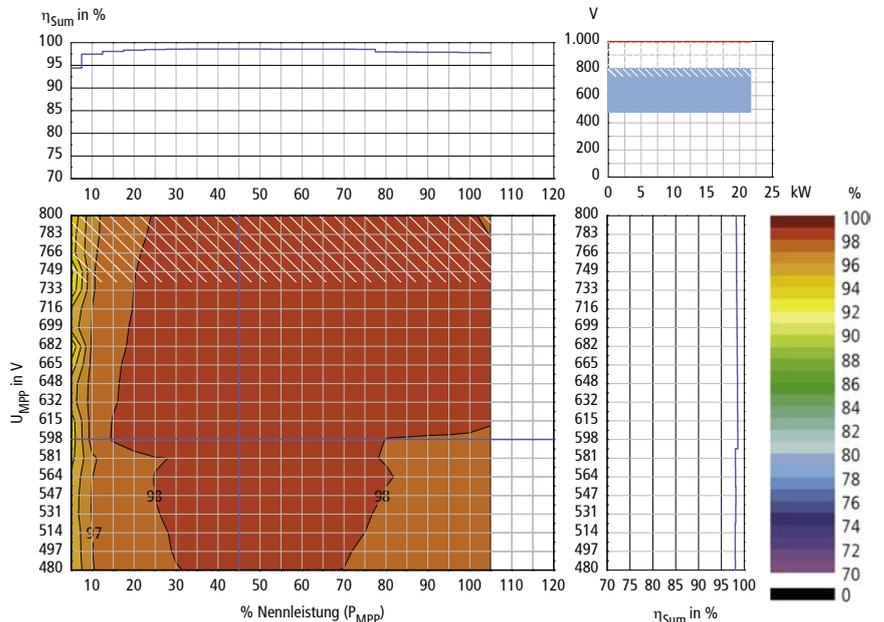
× MPPT-Anpassungswirkungsgrad (parallel)

► Fall 3, parallel: Der MPPT-Anpassungswirkungsgrad liegt fast immer über 99 Prozent, mit Ausnahme einiger Messpunkte bei fünf Prozent Last.



= Gesamtwirkungsgrad (parallel)

► Fall 3, parallel: Die senkrechte Linie bei 45 Prozent Nennleistung und die waagerechte bei 598 Volt MPP-Spannung gehen durch das Gesamtwirkungsgradmaximum von 98,6 Prozent und erreichen damit den gleichen Höchstwert wie im symmetrischen Belastungsfall.



Fortsetzung von Seite 47

Vor jedem Aufschalten auf das Netz wird der Isolationswiderstand zwischen den Anschlüssen des Solargenerators und der Erde gemessen. Auftretende Funkstörungen beseitigt ein Ausgangsfilter direkt vor den Netzklemmen.

Messungen

Alle nachfolgenden Messungen beziehen sich auf eine Netzspannung von 230 Volt. Die maximale DC-Spannung des Sun2000-20KTL beträgt 1.000 Volt, die DC-Nennleistung beträgt 20.600 Watt. Maximal lässt sich eine Generatorleistung von 22.500 Watt anschließen.

Da es sich um einen Multitracker-Wechselrichter handelt, ist die Definition zum MPP-Spannungsbereich mehrteilig.

Fall 1, symmetrisch: Ist die DC-Leistungsaufteilung auf die Anzahl der Tracker symmetrisch und ergibt in der Summe die DC-Systemnennleistung, trifft die Definition des MPP-Spannungsbereichs für Ein-Tracker-Wechselrichter zu. Bei jedem Spannungswert innerhalb dieses Bereichs kann der Wechselrichter 100 Prozent seiner DC-Systemnennleistung verarbeiten.

Fall 2, asymmetrisch: Kann die DC-Leistungsaufteilung asymmetrisch sein, müssen im Datenblatt die DC-Systemnennleistung und die maximale Leistung der einzelnen Tracker spezifiziert sein. Wird ein Tracker mit der maximal möglichen Leistung beansprucht, ergibt sich der MPP-Spannungsbereich, innerhalb dessen er bei jedem Spannungswert 100 Prozent dieser Leistung verarbeiten kann. Für den (oder die) mit reduzierter Leistung beanspruchten Tracker ergibt sich ein entsprechend erweiterter MPP-Spannungsbereich.

Fall 3, parallel: Ein weiterer Freiheitsgrad ist die Möglichkeit der Parallelschaltung von Trackern.

Die Ermittlung des PHOTON-Wirkungsgrades und damit auch die Benotung des Wechselrichters erfolgt bei symmetrischer Belastung der MPP-Tracker.

Auffinden des MPP: Zu Beginn der Messung waren die DC-Seite sowie die AC-Seite ausgeschaltet. Bei einer vorgegebenen Kennlinie mit Nennleistung und einer MPP-Spannung von 632 Volt benötigt der Wechselrichter etwa eine Minute, bis er sich auf das Netz aufschaltet. Nach weiteren 57 Sekunden erreicht der Wechselrichter den MPP. Beim Wechsel von 632 nach 615 Volt benötigt er 22 Sekunden, der Wechsel in den nächsthöheren MPP-Bereich von 648 Volt erfolgt nach 26 Sekunden.

MPP-Bereich: Der MPP-Bereich reicht von 480 bis 800 Volt und entspricht dem eines Weitbereich-Wechselrichters. Die

maximale MPP-Spannung von 800 Volt liegt in Bezug auf kristalline Module angenehm weit weg von der maximalen Eingangsspannung von 1.000 Volt. Für Dünnschichtmodule ist der Abstand etwas zu gering.

Wegen der verschiedenen Möglichkeiten zur Belastung der drei MPP-Tracker ergeben sich unterschiedliche MPP-Bereiche.

Fall 1, symmetrisch: Die drei Tracker werden mit jeweils einem Drittel der DC-Systemnennleistung belastet. Der MPP-Bereich reicht von 480 bis 800 Volt und entspricht dem eines Weitbereich-Wechselrichters.

Fall 2, asymmetrisch: Tracker 1 wird im Spannungsbereich von 667 bis 800 Volt mit bis zu 12.000 Watt belastet. Tracker 2 arbeitet im Spannungsbereich von 300 bis 800 Volt mit bis zu 3.200 Watt. Tracker 3 arbeitet im selben Spannungsbereich und erhält die übrigen 5.400 Watt.

Fall 3, parallel: Alle Tracker sind parallel geschaltet und arbeiten im Spannungsbereich von 480 bis 800 Volt mit der DC-Systemnennleistung von 20.600 Watt. Der Sun2000-20KTL erkennt diesen Betriebsmodus automatisch.

Umwandlungswirkungsgrad: Der Wechselrichter kann im MPP-Spannungsbereich von 480 bis 800 Volt mit 105 Prozent der Nennleistung arbeiten. Deshalb konnte für diesen Bereich der Wirkungsgrad ermittelt werden.

Bei einer maximalen DC-Spannung von 1.000 Volt gibt es einen im Diagramm schraffierten Bereich, der auf Einschränkungen des MPP-Spannungsbereichs beim Einsatz von Dünnschichtmodulen hinweist. Grund ist der zu geringe Abstand von maximaler MPP-Spannung und maximaler DC-Spannung.

Fall 1, symmetrisch: Der Bereich des maximalen Wirkungsgrades erstreckt sich ab 25 Prozent der Nennleistung über den kompletten MPP-Spannungsbereich von 480 bis 800 Volt. Lediglich bei Leistungen größer als 80 Prozent kann im Spannungsbereich kleiner als 615 Volt der Spitzenwert über 98 Prozent nicht gehalten werden.

Das Wirkungsgradmaximum von 98,6 Prozent wird bei 45 Prozent Nennleistung einer MPP-Spannung von 598 Volt erreicht und entspricht exakt der Herstellerangabe. Zu kleinen MPP-Spannungen nimmt der maximale Umwandlungswirkungsgrad um circa 0,5 Prozentpunkte ab, zu großen gehen maximal 0,4 Prozentpunkte verloren. Bei kleinen Leistungen (unter 15 Prozent der Nennleistung) fällt der Wirkungsgrad um 0,5 bis 4,3 Prozentpunkte. Es stellte sich bei Nennleistung ein Leistungsfaktor $\cos \varphi$ von circa 1 ein.

Fall 2, asymmetrisch: Im Diagramm sind die drei MPP-Spannungsbereiche eingetragen; die Arbeitspunkte lagen immer gleichzeitig an den Tracker-Eingängen an. Rechts oben sind die Arbeitsbereiche der drei Tracker bei dieser Lastunsymmetrie dargestellt.

Der Verlauf des Umwandlungswirkungsgrades ist vergleichbar mit dem Verlauf bei symmetrischer Aufteilung. Allerdings ist das Plateau mit den Werten über 98 Prozent deutlich kleiner und scheinbar in Richtung höherer MPP-Spannungen verschoben. Dies mag daran liegen, dass die Asymmetrie stark ausgeprägt ist. Auffällig ist, dass der Wechselrichter bei den drei höchsten MPP-Spannungen alle Tracker auf die gleiche Spannung einstellt. Das liegt daran, dass der Wechselrichter die Betriebsart automatisch auswählt und bei geringen Abständen der Leerlaufspannung zum Parallelmodus wechselt. So ist der Abstand der definierten MPP-Spannungen im oberen Spannungsbereich deutlich geringer als im unteren Spannungsbereich. Das Wirkungsgradmaximum von 98,3 Prozent liegt bei 60 Prozent Nennleistung und einer MPP-Spannung von 786 Volt (Tracker 1) sowie 747 Volt (Tracker 2 und 3). Anzumerken ist, dass die Schraffur auf Tracker 1 bezogen ist.

Fall 3, parallel: Auch hier ist der Wirkungsgradverlauf fast identisch zum symmetrischen Fall. Das Wirkungsgradmaximum von 98,6 Prozent wird bei 50 Prozent Nennleistung und einer MPP-Spannung von 598 Volt erreicht.

Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad: Der Europäische Wirkungsgrad ist maximal im Bereich von 598 bis 648 Volt MPP-Spannung und mit 98,3 Prozent identisch mit der Herstellerangabe. Die Differenz zwischen maximalem Umwandlungswirkungsgrad und maximalem Europäischem Wirkungsgrad beträgt lediglich 0,3 Prozentpunkte. Der maximale Kalifornische Wirkungsgrad ist mit 98,5 Prozent um circa 0,2 Prozentpunkte höher und maximal im Bereich von 598 Volt MPP-Spannung.

MPPT-Anpassungswirkungsgrad:

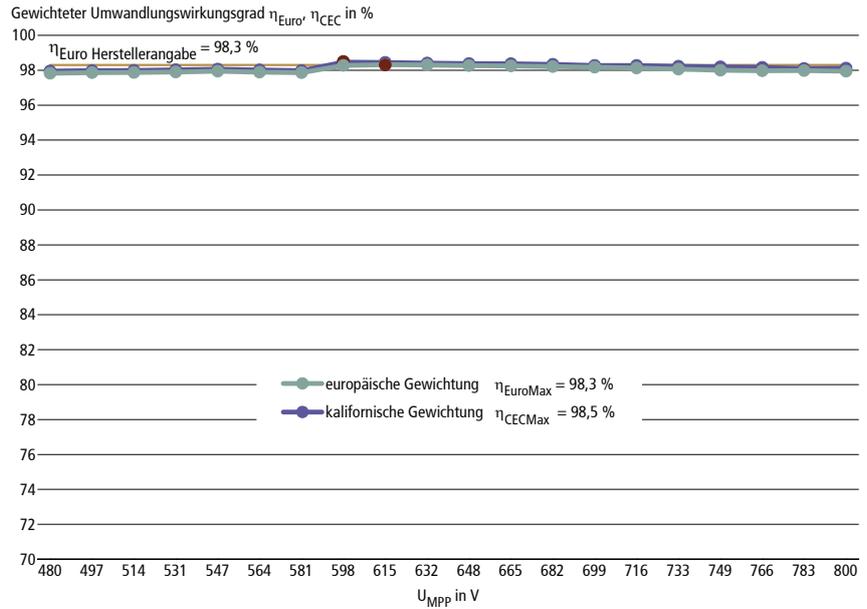
Fall 1, symmetrisch: Der MPPT-Anpassungswirkungsgrad ist über den ganzen Arbeitsbereich schön gleichmäßig hoch, bei allen drei Trackern stets über 99,8 Prozent.

Fall 2, asymmetrisch: Auch hier liegt der MPP-Anpassungswirkungsgrad insgesamt über alle drei Tracker im kompletten Arbeitsbereich immer über 99 Prozent. Lediglich Tracker 2 und 3 zeigen an einzelnen Messpunkten Werte unter 99 Prozent.

Fall 3, parallel: Der MPP-Anpassungswirkungsgrad liegt fast immer über 99 Prozent, mit Ausnahme einiger Messpunkte bei fünf Prozent Last.

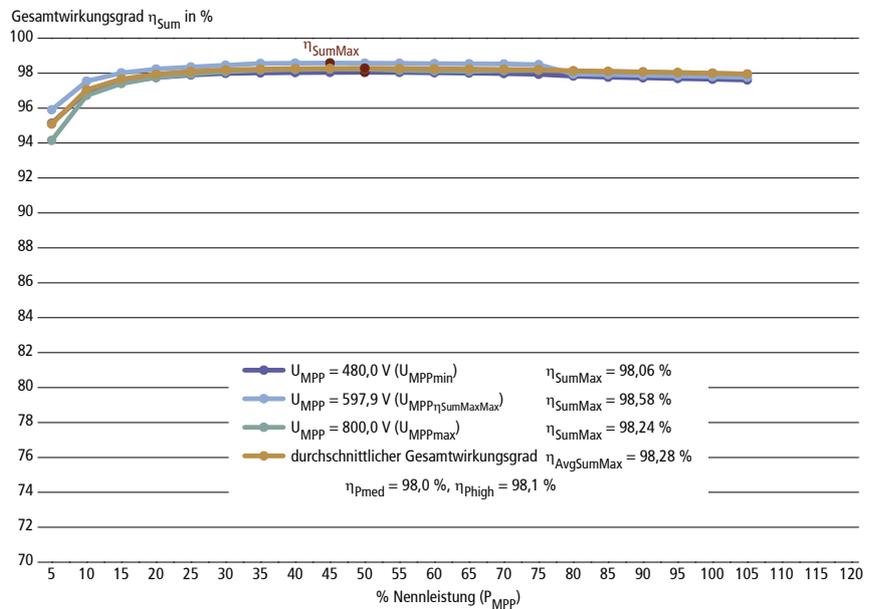
Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad

► Der Europäische Wirkungsgrad ist maximal im Bereich von 598 bis 648 Volt MPP-Spannung und mit 98,3 Prozent identisch mit der Herstellerangabe. Der maximale Kalifornische Wirkungsgrad ist mit 98,5 Prozent nur unwesentlich höher.



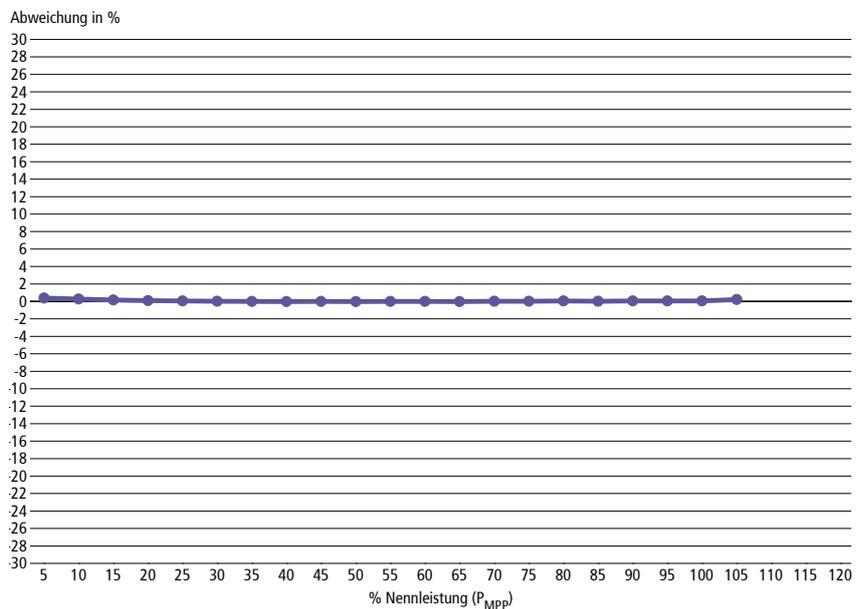
Gesamtwirkungsgrad bei unterschiedlichen Spannungen

► Die Verläufe der Gesamtwirkungsgrade werden für den symmetrischen Fall bestimmt. Sie liegen bei allen MPP-Spannungen sehr nah beieinander.



Genauigkeit der Wechselrichteranzeige

► Genauigkeit der Wechselrichteranzeige: Hier bleiben keine Wünsche offen



Gesamtwirkungsgrad: Der Gesamtwirkungsgrad ist das rechnerische Produkt aus Umwandlungswirkungsgrades und MPPT-Anpassungswirkungsgrad.

Fall 1, symmetrisch: Durch den hohen MPP-Anpassungswirkungsgrad sind kaum Unterschiede zum Umwandlungswirkungsgrad zu erkennen. Das Gesamtwirkungsgradmaximum erreicht 98,6 Prozent.

Fall 2, asymmetrisch: Im Vergleich zum symmetrischen Fall ist der Bereich des Wirkungsgrades über 98 Prozent deutlich. Das Gesamtwirkungsgradmaximum von 98,2 Prozent liegt bei 55 Prozent und 800 Volt.

Fall 3, parallel: Hier wird der Wechselrichter als Ein-Tracker-Gerät genutzt. Die senkrechte Linie bei 45 Prozent Nennleistung und die waagerechte bei 598 Volt MPP-Spannung gehen durch das Gesamtwirkungsgradmaximum von 98,6 Prozent und erreicht damit den gleichen Höchstwert wie im symmetrischen Belastungsfall.

Gesamtwirkungsgradverläufe, durchschnittlicher Gesamtwirkungsgrad und PHOTON-Wirkungsgrad: Die Verläufe der Gesamtwirkungsgrade werden für den symmetrischen Fall bestimmt. Die Bestimmung des PHOTON-Wirkungsgrades erfolgt dann aus den errechneten Werten zum durchschnittlichen Gesamtwirkungsgrad. Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung liegt bei 98,0 Prozent, für hohe Einstrahlung bei 98,1 Prozent.

Einspeisung der Nennleistung: Der Wechselrichter speist über den Eingangsspannungsbereich von 480 bis 800 Volt und bei einer Umgebungstemperatur von 25 Grad Celsius 100 Prozent der Nennleistung ein.

Angezeigte Ausgangsleistung: Unter konstanter MPP-Spannung von 632 Volt, also im mittleren Bereich, wurde bei unterschiedlichen Leistungen von 5 bis 105 Prozent der Nennleistung die vom Wechselrichter angezeigte Ausgangsleistung mit einem Leistungsanalysator abgeglichen.

Bei kleinen Leistungen weicht die Anzeige des Wechselrichters um bis zu plus 0,39 Prozent vom Messwert des Leistungsanalysators ab. Ab 20 Prozent Nennleistung liegt der Fehler im Bereich von plus/minus 0,1 Prozent, um dann im Überlastbereich wieder größer als 0,2 Prozent zu werden. Damit entspricht die Anzeigengenauigkeit dem eines Zählers der Genauigkeitsklasse B (ähnlich Genauigkeitsklasse 1).

Betrieb bei höherer Umgebungstemperatur: Bis zu einer Umgebungstemperatur von circa 59,2 Grad Celsius speiste der Wechselrichter mit 100 Prozent der Nennleistung ein (bei 632 Volt MPP-Spannung). Dann reduzierte er seine Leistung. Der Wirkungsgrad fiel über

diesem Temperaturbereich um circa 0,18 Prozentpunkte.

Überlastverhalten: Bietet man dem Sun2000-20KTL eine Überlast des 1,3-fachen der Eingangsnennleistung an, also 23.780 Watt, begrenzt er auf eine DC-Leistung von 22.406 Watt. Der gewählte Arbeitspunkt lag bei einer MPP-Spannung von 632 Volt, die Umgebungstemperatur bei 24 Grad Celsius. Dies entspricht einer Überlast von 8,8 Prozent bezogen auf die DC-Nennleistung von 20.600 Watt. Damit besitzt das Gerät 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 698 Volt ein.

Eigen- und Nachtverbrauch: Der Eigenverbrauch des Gerätes im getesteten Grundbauzustand beträgt circa 0,8 Watt auf der AC-Seite (der Hersteller gibt dafür keinen Wert an) und 21,9 Watt auf der DC-Seite. Nachts zieht der Wechselrichter rund 0,9 Watt Wirkleistung aus dem Netz. Hier gibt der Hersteller weniger als ein Watt an.

Thermografie: Wegen des zweilagigen Aufbaus sind nicht alle Bauteile des Wechselrichters für die Thermografiekamera sichtbar. Eine Draufsicht bei einer Umgebungstemperatur von 25 Grad Celsius und Betrieb mit Nennleistung zeigt Bauteiltemperaturen auf den Leiterkarten von bis zu 80,1 Grad Celsius. Hierbei handelt es sich um die Leiterbahnen im direkten Bereich der Ausgangsrelais. 73,6 Grad Celsius werden an der Ausgangsfilterdrossel gemessen. Deutlich erkennbar ist, dass der sichtbare DC-Bereich kühler ist als der sichtbare AC-Bereich. Die Folienkondensatoren in den Filterbereichen liegen im grünen beziehungsweise im blauen Bereich der Temperaturskala.

Fazit

Der Sun2000-20KTL macht einen hervorragenden Gesamteindruck. Der Aufbau ist trotz einer Realisierung über zwei Ebenen recht übersichtlich. Durch die Beschränkung auf Konvektionskühlung kann der Aufstellungsort sowohl innen als auch außen gewählt werden. Eine Leistungsreduzierung findet erst bei knapp 60 Grad Umgebungstemperatur statt, muss also nicht berücksichtigt werden. Die Überlastfähigkeit ist mit 8,8 Prozent eher gering.

Einschränkungen bei der Anlagenauslegung bestehen für kristalline Module gar nicht – die maximale MPP-Spannung von 800 Volt liegt angenehm weit weg von der maximalen Eingangsspannung von 1.000 Volt. Für Dünnschichtmodule ist der Abstand etwas zu gering, allerdings ist die

Kommentar des Herstellers

Die professionellen Messergebnisse des PHOTON-Labors decken sich unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit mit unseren eigenen Messergebnissen. Das Ergebnis zeigt, dass Wechselrichter mit Standard-Siliziumkomponenten, die für vielseitige Einsatzzwecke entwickelt wurden, die »sehr gut +«-Note für mittlere und hohe Einstrahlung erreichen können.

Nutzung dieser Modultypen laut Hersteller ohnehin nur möglich, wenn die Modulausgänge keine Verbindung zum Schutzleiter haben oder wenn auf der Ausgangsseite der Wechselrichters eine Potenzialtrennung eingerichtet wird.

Die vom Wechselrichter angezeigte Leistung weicht selbst bei kleinen Leistungen um maximal 0,39 Prozent vom Messwert des Leistungsanalysators ab. Ab 20 Prozent Nennleistung liegt der Fehler im Bereich von plus/minus 0,1 Prozent. Eine genauere Anzeige kann man sich wohl kaum wünschen.

Die Wirkungsgrade sind in allen drei untersuchten Betriebszuständen – symmetrische Tracker-Belastung, asymmetrisch und parallel – nahezu gleich hoch, wobei bei der asymmetrischen Belastung die vergleichsweise niedrigsten Werte erreicht werden.

Das Maximum des Umwandlungswirkungsgrades erreicht einen Wert von 98,6 Prozent, was exakt der Herstellerangabe entspricht. Der MPPT-Anpassungswirkungsgrad ist über den ganzen Arbeitsbereich schön gleichmäßig hoch, bei allen drei Trackern stets über 99,8 Prozent. Der Europäische Wirkungsgrad ist maximal im MPP-Bereich von 598 bis 648 Volt und mit 98,3 Prozent ebenfalls identisch mit der Herstellerangabe. Das Gesamtwirkungsgradmaximum erreicht 98,6 Prozent.

Für den PHOTON-Wirkungsgrad und somit für die Benotung werden die Ergebnisse im symmetrischen Betrieb zugrunde gelegt. Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung liegt bei 98,0 Prozent, für hohe Einstrahlung bei 98,1 Prozent. Damit ist der Sun2000-20KTL das vierte Gerät, welches für mittlere Einstrahlung ein »sehr gut +« erzielt. Im Gesamt ranking liegt es auf Platz drei, übertroffen nur von zwei Wechselrichtertypen, die bereits Siliziumkarbid-Transistoren verwenden, auf die Huawei bei diesem Gerät noch verzichtet hat. Dies ist der erste Wechselrichter aus China, der es unserer Ansicht nach mit dem Marktführer SMA aufnehmen kann.

| Heinz Neuenstein, Anne Kreutzmann

»Spitzentechnologie zu chinesischen Preisen«

Chinesische Wechselrichterhersteller konnten bislang noch keine nennenswerten Marktanteile in Deutschland erobern. Der Technologiekonzern Huawei will das jetzt ändern. Wie genau, erläutert Roland Hümpfer, Wechselrichter-Experte bei Huawei.

PHOTON Profi Huawei Technologies Co. Ltd. plant den Einstieg in den Solarbereich. Warum gerade solar?

Roland Hümpfer In der Photovoltaik gibt es viele Berührungspunkte mit dem Bereich Telekommunikation, in dem Huawei sehr stark ist. Beispielsweise müssen Basisstationen für Handynetze versorgt werden, die zum Teil an etwas unzugänglichen Orten sind. Huawei hat sich als Anbieter von Turnkey-Lösungen auch immer um die Stromversorgung einschließlich der Dieselgeneratoren und Batterien gekümmert. Auch Photovoltaik und Windkraftanlagen waren mit dabei.

PHOTON Profi Und warum gerade jetzt?

Roland Hümpfer Huawei ist verwöhnt von einem Umsatzwachstum, das in den letzten fünf Jahren bei jeweils knapp über 30 Prozent pro Jahr lag. Wachstum ist Unternehmensziel bei Huawei, und deshalb hat man sich gefragt: Wie können wir weiter wachsen? Aus diesem Grund geht Huawei artverwandte Energiebereiche an, und zwar mit vollem Einsatz. Photovoltaikwechselrichter und unterbrechungsfreie Stromversorgungen sind die beiden Produktbereiche, die wir jetzt neu auf den Markt bringen wollen. Die Entscheidung selbst ist jedoch ungefähr drei Jahre alt.

PHOTON Profi Und warum gerade Wechselrichter?

Hümpfer Das passt ganz gut zu Huawei, da auch im Telekom-Bereich moderne Leistungselektronik in Form von 48-Volt-Gleichrichtern zum Einsatz kommen. In der Leistungselektronik hat man also schon mal eine fundierte Basis. Ziel ist es, technologisch führend zu sein, weshalb Huawei in Nürnberg in das »European Research Center Energy« investiert hat. Da gibt's eine gute Infrastruktur, eine ganze Menge Zulieferer, Halbleiterhersteller für das Spektrum der Leistungselektronik und so weiter.



▲ Roland Hümpfer ist Leiter des »European Research Center Energy« von Huawei in Nürnberg und Vizepräsident »UPS and Inverter Product Line«

PHOTON Profi Ist denn die Wechselrichter-Technologie in Nürnberg entwickelt worden?

Hümpfer Bei der Entwicklungsarbeiten wir in Nürnberg sehr eng mit unseren Kollegen in China zusammen. Bei der konzeptionellen Entwicklung der Sun2000-Reihe waren wir maßgeblich beteiligt. Diese wurde von uns zusammen mit unseren chinesischen Ingenieuren fertiggestellt und produktionsreif gemacht.

PHOTON Profi Jetzt ist es ja nicht der erste China-Wechselrichter, den wir hier im Labor haben – viele davon mit sehr hohen Wirkungsgraden. Auch Huawei will beim Wirkungsgrad in der obersten Liga mitspielen.

Hümpfer Huawei ist ein Anbieter, von dem man viel erwartet. In der Telekom-Industrie sind unsere Produkte inzwischen als »Worldclass« anerkannt. Bei dem Ruf können wir es uns nicht leisten, mit einem durchschnittlichen Chi-

na-Wechselrichter auf den Markt zu kommen, das geht nicht. Huawei setzt sehr stark auf Innovation: Von weltweit insgesamt 140.000 Mitarbeitern arbeitet ein sehr großer Teil, 44 Prozent, im F&E-Bereich. Huawei investiert zwölf Prozent des Umsatzvolumens in Forschung und Entwicklung. Das Ziel ist, sich mit kostengünstigen, aber auch technologisch in der Spitzenklasse platzierten Geräten an die Marktspitze zu setzen.

PHOTON Profi Wo Sie gerade das Stichwort »kostengünstig« geben, was soll er denn kosten pro Watt, so ein 20-Kilowatt-Wechselrichter?

Hümpfer Huawei wird sich an den Marktdurchschnitt anpassen. Der Anteil des Wechselrichters am Gesamtsystem beträgt zwischen zehn und 15 Prozent, je nach Anlagengröße. Dieses Verhältnis wird sich auch in Zukunft nicht groß verschieben. Wenn irgendwann ein Gesamtsystem für 1.000 Euro pro Kilowatt

an den Endkunden angeboten wird, liegt der Wechselrichter auch in einem entsprechenden Bereich. Insofern kann die Marke zehn Cent pro Watt kann als Hausnummer gelten.

PHOTON Profi Für den Installateur, nehme ich an?

Hümpfner Für uns ist es ein Problem, Preise für den Installateur zu prognostizieren, da wir über Großhändler verkaufen werden. Ich denke aber, als mittel-, langfristiges Ziel sollten wir die zehn Cent je Watt für den Installateur im Auge behalten.

PHOTON Profi Statt Siliziumkarbid-Transistoren findet sich in dem Huawei-Wechselrichter, den wir im Labor haben, noch der klassische IGBT («Insulated-Gate Bipolar Transistor»). Hat das einen speziellen Grund?

Hümpfner Wir haben das sorgfältig untersucht. Siliziumkarbid-Schalter sehen wir noch nicht als serienreif für große Stückzahlen an, zumal wir auch ohne Siliziumkarbid-Schalter beim Wirkungsgrad in der selben Liga spielen wie Geräte mit. Somit sehen wir derzeit keine Notwendigkeit, diese Technologie einzusetzen.

PHOTON Profi Die geringe Zahl der Bezugsquellen macht Ihnen Sorge?

Hümpfner Genau. Wenn heute alle Wechselrichterhersteller auf Siliziumkarbid umstellen würden, würde das die Siliziumkarbid-Industrie gar nicht verkraften. Zudem sind Siliziumkarbid-Transistoren noch teurer, weil es technologisch wohl nicht ganz einfach ist, eine gute Ausbeute zu erzielen. Sollte der Siliziumkarbid-Schalter kostengünstig und in großen Stückzahlen von vielen Anbietern verfügbar sein, dann werden wir uns dem nicht sperren.

PHOTON Profi Unserer Beobachtung nach werden Siliziumkarbid-Schalter zwar bereits vereinzelt eingesetzt, allerdings bislang vor allem als ein relativ simpler Ersatz des IGBT. Die Hersteller nehmen ihre IGBT-Topologie mit denselben Schalt-

frequenzen und nutzen die Siliziumkarbid-Transistoren, um dann einen halben Prozentpunkt mehr Wirkungsgrad zu haben. Es wird aber eben nicht die Möglichkeit genutzt, beim Siliziumkarbid-Transistor mit der Taktfrequenz nach oben zu gehen, um dann bei den Bauteilkosten zu sparen.

Hümpfner Es wird sicherlich eine technologische Weiterentwicklung geben, und da muss man halt schauen, was der Markt fordert. Mehr Wirkungsgrad oder mehr Zugeständnisse im Preis?

PHOTON Profi Sie werden wahrscheinlich trotzdem sehr günstig produzieren können, weil Sie die Komponenten günstig einkaufen.

Hümpfner Natürlich hat Huawei mit vielen Lieferanten große Volumina zu verhandeln. Wir haben aber auch deshalb zunächst auf Standardbauteile zurückgegriffen, um auch auf jeden Fall lieferfähig zu sein.

PHOTON Profi Was ist denn der angestrebte Marktanteil?

Hümpfner Wir wollen in die Spitzengruppe der Lieferanten. Langfristig wollen wir unter den Top drei sein. Wie lange wir dafür brauchen, wie schnell, ob wir das mit der ersten Generation schaffen – all das wird sich zeigen.

PHOTON Profi Haben Sie sich denn eine bestimmte Absatzmenge für dieses oder für nächstes Jahr vorgenommen?

Hümpfner Ja, aber das können wir hier nicht diskutieren.

PHOTON Profi Wo liegt denn Ihre Produktionskapazität für Wechselrichter?

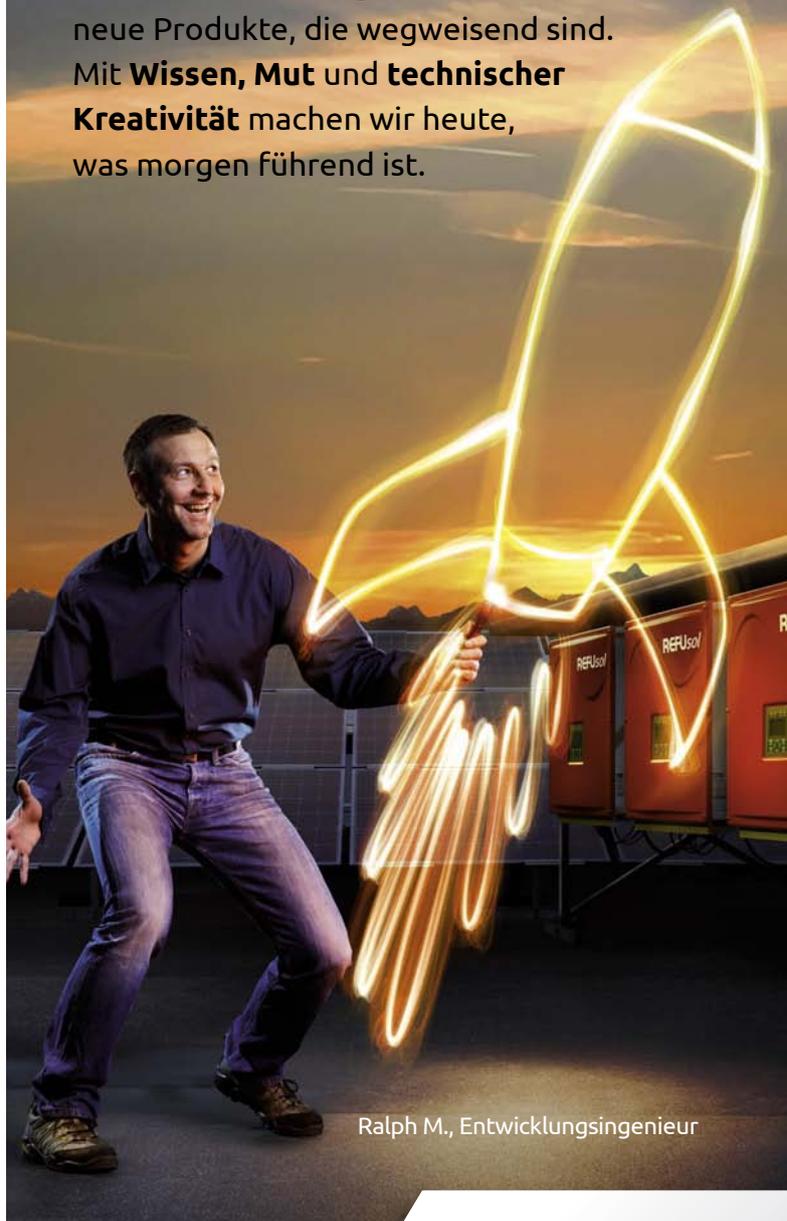
Hümpfner Wir wollen schon in den Mehrere-Hundert-Megawatt-Bereich vordringen. Produziert wird in Songshan Lake in Dongguan, etwa 30 Kilometer nördlich von Shenzhen.

PHOTON Profi Was ist denn Ihre Erwartung, wie sich die Wechselrichterpreise entwickeln?

Hümpfner Einige Hersteller sind heute schon unter Druck, das heißt, man kann jetzt deren Margen noch ein bisschen mehr unter Druck bringen. Im Photovoltaiksektor gibt es

Ideen, die zünden.

Wir entwickeln aus glänzenden **Ideen** neue Produkte, die wegweisend sind. Mit **Wissen, Mut** und **technischer Kreativität** machen wir heute, was morgen führend ist.



Ralph M., Entwicklungsingenieur

Electrifying Innovations

REFUSOL

**SILICON
CARBIDE**
INSIDE

Gutes noch besser: Innovative Technologie für maximale Performancesteigerung macht unseren Stringwechselrichter noch effizienter.

Als Technologieführer liefern wir Spitzenprodukte in höchster Qualität. Unser Anspruch: innovative Produkte schaffen, die immer einen Tick besser sind.



Vorwärtsgen, made by REFUSOL.

www.refusol.com

eine ganze Menge Wettbewerb, und da wird es einen technologischen Wettlauf geben. Letztendlich kann man ganz einfach sagen, die Produktionskosten eines Wechselrichters sind mit Gewicht und Volumen sehr eng verknüpft. Mit höheren Leistungsdichten können die Preise in der Zukunft noch weiter nach unten gehen.

PHOTON Profi Wie wollen Sie Installateuren Ihr Gerät schmackhaft machen, insbesondere auch, wenn es um Aspekte wie Service und Support geht?

Hümpfner Wir werden die übliche Servicestrategie, die der Markt fordert, bereitstellen, bei der der Installateur, der Großhändler und Hersteller eng zusammenarbeiten. Huawei hat ein weltweites Service-Netz. In Deutschland zum Beispiel gibt es eine sehr gute Abdeckung. Zudem versuchen wir, das für den Benutzer relevante Wissen so zu vereinfachen, dass man dieses sehr schnell vermitteln kann. Und wenn es mal ein Problem gibt, werden wir unkompliziert mit einem Austauschgerät weiterhelfen. Wenn wir uns nicht anstrengen, den Einsatz für den Endverbraucher und für den Installateur möglichst einfach zu machen, können wir nicht erfolgreich sein. Das ist uns bewusst.

PHOTON Profi Und das machen Sie mit Ihren eigenen Servicekräften?

Hümpfner Das sind teilweise eigene Mitarbeiter, teilweise ist das outgesourct. In Deutschland hat Huawei eine eigene Service GmbH. Die haben da ganz tolle Infrastrukturen, relativ niedrige Antrittszeiten, können also sehr schnell vor Ort Hilfe leisten. Schneller, als es bei der Solartechnik eigentlich üblich ist. Im Telekommunikationsbereich muss man innerhalb von Stunden Abhilfe schaffen.



Huawei Technologies Deutschland GmbH

▲ Baugruppenfertigung bei Huawei Technologies

So als Hausnummer hat man zwei bis vier Stunden, bis ein Teil von der Zentrale aus irgendwohin bewegt wird.

PHOTON Profi Immer mehr Wechselrichterhersteller bieten Geräte an, in denen ein Akku integriert ist oder nachgerüstet werden kann.

Hümpfner Das ist eine interessante Idee, gefällt mir sehr gut. Wir haben mit unseren Batteriesystemen sehr große Erfahrungen durch den Einsatz von Mobilfunkmasten in Gebieten ohne oder mit schlechtem Versorgungsnetz. Hier sind circa 180.000 batteriegestützte Energieversorgungen im Einsatz, teilweise sind diese bereits mit Solargenerator ausgerüstet. Diese Systeme haben eine extrem hohe Verfügbarkeit und wir werden sie in der Zukunft auch außerhalb der Telekommunikation anbieten.

PHOTON Profi Stichwort Netzstabilität: Wie wichtig ist dieses Thema für Huawei, und was sollten Ihre Wechselrichter dazu beitragen?

Hümpfner Beim Thema Smart Grid ist Huawei mit dabei. Wir machen uns Gedanken darüber, welchen Zusatznutzen man im Wechselrichter realisieren kann. Wechselrichter können ohne große Zusatzinvestitionen das Netz stabil halten, da gibt es eine ganze Menge Möglichkeiten. So kann man die Spitzenleistung unter bestimmten Bedingungen begrenzen. Wenn man dann noch eine gewisse Leistungsreserve übrig lässt, also nicht alle Energie direkt ins Netz abgibt, sondern sagen wir mal zehn Prozent weniger, dann haben wir ja schon virtuell zehn Prozent Regelleistung. Damit kann man das Netz gut stabilisieren, und das sehr wirtschaftlich.

PHOTON Profi Nehmen wir mal an, ich bin Installateur in Deutschland, ich habe seit 20 Jahren SMA-Geräte eingesetzt. Wie wollen Sie mich davon überzeugen, dass ich jetzt mal ein Huawei-Gerät ausprobiere?

Hümpfner Wir haben mit dem einen oder anderen Installateur gesprochen. Die Leute sind da recht offen, mal was Neues anzuschauen. Da sind viele recht experimentierfreudig. Und da haben wir mit dem Namen Huawei eigentlich einen ganz guten Stein im Brett. Wenn wir sagen: »Wir sind von Huawei«, dann redet man mit uns, und sagt: »Ja, okay. Klingt gut.« Es ist grundsätzlich ein Klima da, in dem auch chinesische Hersteller jetzt in Betracht gezogen werden – von vielen, vielen Installateuren. Zum anderen erwartet man von Huawei, dass wir zu chinesischen Preisen liefern, Geräte auf internationalem Standard mit Spitzentechnologie. Ich bin überzeugt, dass wir diesem Anspruch gerecht werden können.

| Interview: Anne Kreutzmann

Derzeit befindet sich der Wechselrichter Sun2000-20KTL im PHOTON-Testlabor. Die Ergebnisse werden in der Juni-Ausgabe von PHOTON Profi veröffentlicht.

Das 20-Kilowatt-Gerät von Huawei im Test

Ende Februar hat Huawei dem PHOTON-Labor im Rahmen der üblichen Testvereinbarung ein Exemplar des 20-Kilowatt-Geräts Sun2000-20KTL zur Verfügung gestellt. Der erste Eindruck ist positiv: Statt der bei chinesischen Herstellern häufiger vorkommenden unsauberen Verarbeitung mit großzügiger Verwendung von Montagekleber macht der Sun2000-20KTL einen sehr professionellen Eindruck. Der Aufbau ist durchdacht und offensichtlich auf Massenproduktion optimiert. Die spannende Frage ist nun, ob die Messergebnisse die Angaben zum Wirkungsgrad im Datenblatt bestätigen können – immerhin verspricht Huawei einen Spitzenwirkungsgrad von 98,6 Prozent und einen Europäischen Wir-



Frank Schuberth / photon-pictures.com

▲ Heinz Neuenstein, Leiter des PHOTON-Testlabors, mit dem Huawei Sun2000-20KTL

kungsgrad von 98,3 Prozent. Sollte dies der Fall sein, wird sich der Sun2000-20KTL im Spitzenfeld aller bisher getesteten Wechselrichter wiederfinden. Die Testergebnisse veröffentlichen wir in der Juni-Ausgabe von PHOTON Profi. ak

Wechselrichter: Testergebnisse im Überblick

Hersteller	Wechselrichter	Firmware	frequenzabhängige Wirkleistungssteuerung ¹⁾	Einhaltung der neuen Niederspannungsrichtlinie ²⁾	DC-Nennleistung ¹⁾ (kW)	Spannungsbereich ²⁾ (V)	Wirkungsgrad _{PMU} ³⁾ (%)	Note	alte Note ⁴⁾	Platz	Ausgabe ⁵⁾
Aros	Sirio 4000 ⁷⁾ , 9)	k. A.	nein	nein	4,0	250 - 450	95,1	gut	sehr gut	66	12-2008
B&B Power	SF 3000TL	V100V100	nein	nein	3,1	250 - 450	96,3	gut	–	50	4-2013 (Profi)
	SF 4600TL	V100V120	ja	ja	4,8	250 - 500	96,8	sehr gut	–	28	in Planung
Carlo Gavazzi Automation	ISMG150DE	k. A.	nein	nein	4,0	200 - 450	94,1	befriedigend	gut	85	3-2010 (Profi)
Chint Power Systems	CPS SC20KTL-0	9.0030.0007.G0	nein	nein	20,8	500 - 800	97,1	sehr gut	–	17	9-2011 (Profi)
Conergy / Voltwerk Electronics	IPG 5 S ⁷⁾	Version 2.1.0	nein	nein	5,0	275 - 750	95,0	gut	sehr gut	69	8-2009 (Profi)
	IPG 5000 vision ⁷⁾	k. A.	nein	nein	5,0	301 - 706	94,0	befriedigend	gut	87	7-2007
	IPG 15 T	k. A.	nein	nein	15,0	450 - 800	96,6	sehr gut	sehr gut +	38	6-2010 (Profi)
Danfoss Solar Inverters	ULX 1800 HV IN ⁷⁾	SW 1.65	nein	nein	1,8	260 - 500	89,2	mangelhaft	mangelhaft	120	2-2010 (Profi)
	TLX 10k	SW 1.06	nein	nein	10,3	430 - 800	96,5	sehr gut	sehr gut +	44	6-2010 (Profi)
	TLX 15k	SW 1.06	nein	nein	15,5	430 - 800	96,7	sehr gut	sehr gut +	32	4-2010 (Profi)
Dasstech	DSP-123K2	8.1	nein	nein	3,0	200 - 450	95,1	gut	–	66	1-2011 (Profi)
	DSP-123KH ⁷⁾	8.1	nein	nein	3,3	350 - 600	93,0	ausreichend	befriedigend	103	8-2010 (Profi)
Delta Energy Systems (Germany)	SI 3300 ⁷⁾	0.03	nein	nein	3,6	150 - 435	93,9	befriedigend	gut	91	5-2008
	Solivia 20 EU G3 TL	DSP-Version 1.84, RED-Version 1.17	ja	nein	20,4	350 - 800	97,0	sehr gut	–	19	11-2011 (Profi)
Diehl AKO	Platinum 2100 S	k. A.	nein	nein	1,9	206 - 390	92,8	ausreichend	befriedigend	105	9-2009 (Profi)
	Platinum 4600 S	k. A.	nein	nein	4,1	320 - 628	92,9	ausreichend	befriedigend	104	4-2008
	Platinum 6300 TL ⁷⁾	k. A.	nein	nein	5,7	350 - 710	96,8	sehr gut	sehr gut +	28	2-2009 (Profi)
	Platinum 16000 R3	V2.1.0.0 Beta / freigegeben als 2.1.0.1	ja	ja	15,3	350 - 720	98,0	sehr gut +	–	3	3-2013 (Profi)
Donauer Solartechnik	High Efficiency 3.6 (baugleich: Steca Elektronik Stecagrid 3600)	PU FBL Protected: 0.5.1, ENS Protected: 0.5.1, SYS BFAPI 32: 2.3.0, SYS FBL:1.0.2	nein	nein	3,7	350 - 650	97,8	sehr gut	–	5	12-2012 (Profi) (12-2011 (Profi))
Eaton Phoenixtec MMPL	PVG 2800	überarbeitete Version, ab 5-2008	nein	nein	2,9	250 - 450	94,4	befriedigend	gut	78	5-2008
	PVG 2800	Q3000 V.06 ⁷⁾	nein	nein	2,9	255 - 435	78,4	mangelhaft	mangelhaft	126	2-2008
	PVG 10000	k. A.	nein	nein	10,4	320 - 720	91,8	mangelhaft	ausreichend	114	4-2010 (Profi)
	Sunville SV 20000s	Ver.SV.01-00.01	ja	ja	20,6	450 - 850	96,5	sehr gut	–	44	5-2013 (Profi)
Effekta Regeltechnik	ES5000	PV00113L	nein	nein	4,6	150 - 450	94,2	befriedigend	–	84	10-2011 (Profi)
	ES5000	k. A.	nein	nein	4,6	150 - 450	91,7	mangelhaft	–	115	10-2011 (Profi)
Ehe New Energy Tech.	EHE-N2K5	V 1.60 532 10	nein	nein	2,7	200 - 400	87,4	mangelhaft	–	123	5-2011 (Profi)
	EHE-N5K	2.0 532	nein	nein	5,4	300 - 650	80,3	mangelhaft	–	125	5-2011 (Profi)
Eltek Valere (jetzt Eltek)	Theia 4.4HE-t	V1.01	nein	nein	4,6	230 - 480	96,5	sehr gut	–	44	9-2011 (Profi)
Eversolar New Energy ¹⁰⁾	Eversol-TL 4600	V1.00	nein	nein	4,1	290 - 500	96,7	sehr gut	–	32	7-2011 (Profi)
	Eversol-TLC 17K ¹¹⁾	Version 1.00	nein	nein	17,4	550 - 720	96,9	sehr gut	–	21	4-2012 (Profi)
Fronius International	IG 30	IG Ctrl = 2.06.01.0, DC/DC-Platine = 2.02.04.0	nein	nein	2,7	150 - 397	91,4	mangelhaft	ausreichend	117	1-2007
	IG Plus 50	IG Brain = 4.03.07, Display = 1.00.10.0, PINCI = 1.01.06.0	nein	nein	4,2	230 - 500	94,5	befriedigend	gut	76	8-2008
	IG TL 5.0	Cerbo = 1.0.2.0, TL-5kW = 1.0.2.0, Print SSP = 0.6.0.0	nein	nein	4,7	350 - 700	95,9	gut	sehr gut	58	7-2010 (Profi)
	IG Plus 100 ⁷⁾	IG Brain = 4.28.29, Display = 1.1.0.8, PINCI PS00 = 1.4.36, PINCI PS01 = 1.4.36	nein	nein	8,4	230 - 500	94,8	befriedigend	gut	70	10-2010 (Profi)
	IG Plus 150 V-3	IG Brain = 5.5.1.0 / Display = 1.4.6.0 / PINCI = 3.4.6.0	ja	ja	12,6	230 - 500	94,6	befriedigend	–	72	10-2012 (Profi)
Global Mainstream Dynamic Energy Technology	Soldate 318KTLE	Soldate 318 KTLE-V0.01	nein	nein	18,4	490 - 800	97,3	sehr gut	–	12	in Planung
Goodwe Power Supply Technology	GW4000-SS	V1.00	ja	ja	4,2	280 - 500	96,9	sehr gut	–	21	12-2012 (Profi)
Growatt New Energy	Growatt 5000TL ⁷⁾	G.1.4	nein	nein	4,8	280 - 500	96,0	gut	sehr gut	57	12-2010 (Profi)
	Growatt 5000MTL; alte Firmware	S.2.0	nein	nein	5,2	250 - 550	96,2	gut	–	51	7-2012 (Profi)
	Growatt 5000MTL; neue Firmware (baugleich: Growatt 5000MTL; alte Firmware)	S.2.1	ja	nein	5,2	250 - 540	96,8	sehr gut	–	28	12-2012 (Profi) (7-2012 (Profi))

Wechselrichter: Testergebnisse im Überblick (Fortsetzung)

Hersteller	Wechselrichter	Firmware	frequenzabhängige Wirkleistungssteuerung ¹⁾	Einhaltung der neuen Niederspannungsrichtlinie ²⁾	DC-Nennleistung ¹⁾ (kW)	Spannungsbereich ²⁾ (V)	Wirkungsgrad _{PMDF} ³⁾ (%)	Note	alte Note ⁴⁾	Platz	Ausgabe ⁵⁾
Helios Systems	HSI20	Firmware V13.9, DSP-Version 1.81, RED-Version 1.17, Comm-Version 2.04	nein	nein	20,5	350 - 800	96,2	gut	–	51	11-2011 (Profi)
Huawei Technologies	Sun2000-20KTL	V100R001C00B028	ja	ja	20,6	480 - 800	98,0	sehr gut +	–	3	6-2013 (Profi)
Ingeteam Energy	Ingecon Sun Lite 3,3TL	AAP1080XX	nein	nein	3,5	159 - 414	93,4	ausreichend	befriedigend	101	8-2007
Kaco New Energy	Powador 2500xi DCS ⁷⁾	k. A.	nein	nein	2,7	350 - 600	94,3	befriedigend	gut	80	11-2009 (Profi)
	Powador 2500xi ⁷⁾	K216.32 DE Powador 2500xi KW43/06	nein	nein	2,7	350 - 597	92,5	ausreichend	befriedigend	108	12-2007
	Powador 3501xi ⁷⁾	k. A.	nein	nein	3,5	125 - 391	92,6	ausreichend	befriedigend	107	6-2007
	Powador 4202	k. A.	nein	nein	3,7	200 - 510	94,0	befriedigend	gut	87	7-2010 (Profi)
	Powador 4000 supreme (18 kHz) ⁷⁾	k. A.	nein	nein	4,6	350 - 510	95,7	gut	sehr gut	59	11-2009 (Profi)
	Powador 4000 supreme (9 kHz) ⁷⁾	k. A.	nein	nein	4,6	350 - 510	96,2	gut	sehr gut	51	11-2009 (Profi)
	Powador 8000xi ⁷⁾	neue Firmware, ab 1-2010	nein	nein	8,3	350 - 600	94,4	befriedigend	gut	78	1-2010 (Profi)
	Powador 8000xi ⁷⁾	alte Firmware, bis 1-2010	nein	nein	8,3	350 - 600	94,0	befriedigend	gut	87	1-2010 (Profi)
Kinglong New Energy Technology (KLNE)	Sunteams 5000	V5.02	nein	nein	5,0	280 - 440	96,6	sehr gut	–	38	5-2012 (Profi)
	Solartec D 15000	Main Ver: 2.00, DSP Ver: 2.17, EMC Ver: 2.00, ENS Ver: 1.02	ja	ja	15,6	480 - 750	96,6	sehr gut	–	38	3-2013 (Profi)
Kostal Industrie Elektrik	Piko 10.1	3.03	nein	nein	9,7	400 - 850	94,0	befriedigend	gut	87	7-2009 (Profi)
Kstar New Energy	KSG-3K	V2.0	nein	nein	3,3	190 - 440	96,1	gut	–	55	8-2012 (Profi)
	KSG-5K	V2.03	nein	nein	5,3	280 - 480	96,2	gut	–	51	12-2012 (Profi)
	KSG-5K	k. A.	nein	nein	5,3	280 - 480	95,1	gut	–	66	12-2012 (Profi)
Mastervolt Solar	Sunmaster QS 2000 ⁷⁾	k. A.	nein	nein	1,8	212 - 366	92,3	ausreichend	befriedigend	109	1-2008
	Sunmaster XS 6500	k. A.	nein	nein	5,3	180 - 480	93,6	befriedigend	gut	99	12-2009 (Profi)
	Sunmaster CS20TL	k. A.	nein	nein	20,4	350 - 800	96,9	sehr gut	–	21	3-2011 (Profi)
Mitsubishi Electric	PV-PNS06ATL-GER	CPU 1.13.11, DSP 1.13.14	nein	nein	4,8	260 - 650	93,9	befriedigend	gut	91	6-2008
Motech Industries	PVMate 5000E	SEQU 1.41, CURR 1.19	nein	nein	5,2	200 - 550	94,3	befriedigend	–	80	6-2013 (Profi)
Oelmaier Technology	PAC 4	Version 3.6	nein	nein	4,3	330 - 600	93,6	befriedigend	gut	99	10-2009 (Profi)
Omnik New Energy	Omniksol-2k-TL	AU1202003	nein	nein	2,0	120 - 450	95,2	gut	–	65	1-2012 (Profi)
Omron	KP100L (OD-EU)	V1.20	ja	ja	10,3	320 - 825	95,5	gut	–	62	1-2013 (Profi)
Opti-Solar International	GT 4000	V2.07	nein	nein	4,2	250 - 400	92,1	ausreichend	–	112	4-2011 (Profi)
	GT 4000	V1.09	nein	nein	4,2	200 - 450	87,8	mangelhaft	–	122	4-2011 (Profi)
Powercom	SLK-4000	k. A.	nein	nein	4,0	200 - 400	92,0	ausreichend	befriedigend	113	8-2010 (Profi)
	SLK-4000	V2.07	nein	nein	4,1	250 - 450	91,1	mangelhaft	–	118	4-2011 (Profi)
Power-One	Aurora PVI-2000-OUTD ⁷⁾	DSP Booster = D905, DSP Inverter = E905, Micro = F134	nein	nein	2,1	210 - 530	92,8	ausreichend	befriedigend	105	12-2009 (Profi)
	Uno-2.5-I-OUTD-S	Fwrel. CO73, Update Ver. 53012	ja	ja	2,6	200 - 470	94,6	befriedigend	–	72	4-2013 (Profi)
	Aurora PVI-6000-OUTD-S ⁷⁾	DSP Booster = A016, DSP Inverter = B01B, Micro = C011	nein	nein	6,2	180 - 530	95,4	gut	sehr gut	64	3-2009 (Profi)
	Aurora PVI-12.5-OUTD-FS ⁷⁾	DSP Booster = A053, DSP Inverter = B062, Micro = C005	nein	nein	13,0	360 - 750	96,4	gut	sehr gut	48	2-2010 (Profi)
	Trio-20.0-TL-OUTD-S2-400	C09F	ja	ja	20,5	410 - 800	96,7	sehr gut	–	32	9-2012 (Profi)
	Trio-27.6-TL-OUTD-S2-400	C09F	ja	ja	28,2	500 - 800	96,9	sehr gut	–	21	2-2013 (Profi)
Refusol	Refusol 011K ⁷⁾	RFP-800R011-22-14-S	nein	nein	11,0	380 - 800	96,9	sehr gut	sehr gut +	21	9-2008
	Refusol 013K	RFP-802R013-26-18-S	nein	nein	12,7	420 - 850	97,3	sehr gut	sehr gut +	12	10-2010 (Profi)
	Refusol 017K	RFP-802R017-26-18-S	nein	nein	16,8	460 - 850	97,4	sehr gut	sehr gut +	10	10-2010 (Profi)
	Refusol 020K	RFP-802R020-27-14S	ja ⁹⁾	nein	19,6	480 - 850	97,3	sehr gut	–	12	3-2012 (Profi)
	Refusol 020K-SCI	29-6-S	ja	ja	20,3	490 - 800	98,2	sehr gut +	–	2	7-2012 (Profi)
Riello UPS	HP 4065REL ⁷⁾ 9)	k. A.	nein	nein	4,0	255 - 435	91,7	mangelhaft	ausreichend	115	9-2007
Samil Power	Solarriver SR4K4TLA1	1.00	nein	nein	4,2	200 - 500	96,5	sehr gut	–	44	6-2011 (Profi)
	Solarlake 15000TL	1.27 (Control CPU) / 1.26 (Redundant CPU) / 1.26 (Communication CPU)	nein	nein	15,6	380 - 800	96,7	sehr gut	–	32	6-2012 (Profi)
Sanjing Electric	Sununo-TL5K	Control Firmware Version 1.11, Display Firmware Version 1.00	nein	nein	5,2	200 - 440	95,5	gut	–	62	5-2012 (Profi)
Siemens	Sitop solar 1100 Master ⁷⁾	k. A.	nein	nein	1,1	200 - 552	90,2	mangelhaft	ausreichend	119	5-2007
	Sinvert PVM10	26	nein	nein	10,2	380 - 850	97,0	sehr gut	sehr gut +	19	11-2010 (Profi)

Wechselrichter: Testergebnisse im Überblick (Fortsetzung)

Hersteller	Wechselrichter	Firmware	frequenzabhängige Wirkleistungssteuerung ¹⁾	Einhaltung der neuen Niederspannungsrichtlinie ²⁾	DC-Nennleistung ¹⁾ (kW)	Spannungsbereich ²⁾ (V)	Wirkungsgrad _{PHOTON} ³⁾ (%)	Note	alte Note ⁴⁾	Platz	Ausgabe ⁵⁾
Siemens	Sinvert PVM13	26	nein	nein	12,6	420 - 850	97,3	sehr gut	–	12	2-2011 (Profi)
	Sinvert PVM17	26	nein	nein	16,8	460 - 850	97,4	sehr gut	–	10	2-2011 (Profi)
	Sinvert PVM20	26	nein	nein	19,6	480 - 850	97,5	sehr gut	–	7	2-2011 (Profi)
SLD Power	SLS5KH65 (DE)	Main DSP 016 Slave DSP 010	ja	nein	5,2	225 - 500	96,4	gut	–	48	5-2013 (Profi)
SMA Solar Technology	Sunny Boy SB 1100 ⁷⁾	2.60	nein	nein	1,1	139 - 320	89,1	mangelhaft	mangelhaft	121	9-2009 (Profi)
	Sunny Boy SB 2100TL	1.70/1.70	nein	nein	2,0	200 - 480	93,7	befriedigend	gut	97	5-2009 (Profi)
	Sunny Boy SB 3000HF-30	2.10	nein	nein	3,2	210 - 560	94,7	befriedigend	–	71	10-2011 (Profi)
	Sunny Boy SB 3800 ⁷⁾	2.66/2.66	nein	nein	4,0	208 - 395	93,2	ausreichend	befriedigend	102	2-2007
	Sunny Boy SB 5000TL-20 ⁷⁾	1.60.00	nein	nein	4,8	175 - 440	95,7	gut	sehr gut	59	4-2009 (Profi)
	Sunny Mini Central SMC 7000TL ⁷⁾	3.12/3.12	nein	nein	7,2	333 - 500	96,6	sehr gut	sehr gut +	38	4-2010 (Profi)
	Sunny Mini Central SMC 7000HV ⁷⁾	1.66/1.66	nein	nein	7,4	335 - 560	93,9	befriedigend	gut	91	8-2009 (Profi)
	Sunny Mini Central SMC 8000TL ⁷⁾	2.87/2.87	nein	nein	8,3	335 - 487	96,9	sehr gut	sehr gut +	21	10-2007
	Sunny Tripower STP 10000TL-10	FW 02.22.16R	nein	nein	10,2	320 - 800	97,1	sehr gut	–	17	8-2011 (Profi)
	Sunny Mini Central SMC 11000TL-10 ⁷⁾	1.12/1.12	nein	nein	11,4	333 - 500	96,9	sehr gut	sehr gut +	21	5-2010 (Profi)
	Sunny Tripower STP 17000TL-10	02.06.00	nein	nein	17,4	400 - 800	97,3	sehr gut	sehr gut +	12	9-2010 (Profi)
	Sunny Tripower STP 20000TLHE-10 ⁷⁾	FW Pack 1.01.1 HP 1.01	ja	ja	20,3	580 - 800	98,5	sehr gut +	–	1	12-2011 (Profi)
	Solon Inverters	Satis 40/750 IT ^{7), 8)}	k. A.	nein	nein	4,0	375 - 575	92,3	ausreichend	befriedigend	109
Sputnik Engineering	Solarmax 2000C ⁷⁾	12.4	nein	nein	2,0	165 - 515	93,8	befriedigend	gut	94	4-2007
	Solarmax 6000S	1.5.2255	nein	nein	4,8	220 - 550	94,3	befriedigend	gut	80	10-2009 (Profi)
	Solarmax 13MT ¹²⁾	1.0.7325	nein	nein	13,2	280 - 750	96,8	sehr gut	–	28	7-2011 (Profi)
Steca Elektronik	Stecagrid 3000	Leistungsteil (PU): 2.6.0, ENS: 3.6.0, Anzeige (SYS): 2.0.0	ja	ja	3,1	350 - 700	97,5	sehr gut	–	7	9-2012 (Profi)
	Stecagrid 3600	Leistungsteil (PU): 1.2.0, ENS: 2.8.0, Anzeige (SYS): 1.67.0	ja	nein	3,7	350 - 600	97,7	sehr gut	–	6	12-2011 (Profi)
	Stecagrid 9000 3ph ⁷⁾	V2009_03_09	nein	nein	9,5	350 - 680	93,8	befriedigend	gut	94	5-2010 (Profi)
Sungrow Power Supply	SG3KTL	DSP-SG3KTL-V1-A, LCD-SG3KTL-V1-B-M	nein	nein	3,0	180 - 420	94,5	befriedigend	–	76	6-2011 (Profi)
	SG3KTL	k. A.	nein	nein	3,0	180 - 420	93,7	befriedigend	–	97	6-2011 (Profi)
	SG4KTL	k. A.	nein	nein	4,0	210 - 420	95,6	gut	sehr gut	61	11-2010 (Profi)
	SG15KTL	LCD_SG15KTL_V1_D_M, DSP-SG15KTL-V11-B	nein	nein	15,3	380 - 800	96,6	sehr gut	–	38	2-2012 (Profi)
	SG30KTL	LCD: LCD_SG30KTL_V1_A_M, DSP: DSP_SG30KTL_V11_A	ja	ja	32,0	480 - 800	97,5	sehr gut	–	7	2-2013 (Profi)
Sunny Swiss	SSP-6000	k. A.	nein	nein	6,2	250 - 480	86,8	mangelhaft	mangelhaft	124	12-2010 (Profi)
Sunways	NT 2600 (oberer V-Bereich) ⁷⁾	k. A.	nein	nein	2,6	476 - 749	92,3	ausreichend	befriedigend	109	11-2007
	NT 2600 (unterer V-Bereich) ⁷⁾	k. A.	nein	nein	2,6	350 - 623	93,8	befriedigend	gut	94	11-2007
	AT 2700	k. A.	nein	nein	2,8	181 - 600	94,3	befriedigend	gut	80	7-2009 (Profi)
	NT 4200	k. A.	nein	nein	4,4	340 - 750	96,7	sehr gut	sehr gut +	32	1-2010 (Profi)
	AT 4500	k. A.	nein	nein	4,7	250 - 600	94,6	befriedigend	gut	72	7-2008
	NT 11000	Kommunikation: 2.2005, Regelung: 3.003, Überwachung: 3.003	ja	ja	11,3	340 - 750	96,6	sehr gut	–	38	11-2012 (Profi)
	PT 33k	COM 4.2, Control 3.2	ja	ja	34,5	460 - 800	96,7	sehr gut	–	32	6-2012 (Profi)
Tranergy Power Electronics	PV14600TL	V1.00	nein	nein	4,1	300 - 500	96,1	gut	–	55	8-2012 (Profi)
Xantrex Technology (jetzt Schneider Electric Industries)	Xantrex GT 5.0 - SP ¹⁾	3.03	nein	nein	5,0	240 - 550	94,1	befriedigend	gut	85	1-2009 (Profi)
Yisun New Energy Tech	Yisun-2K-TL (baugleich: Omnik New Energy Omniksol 2k-TL)	DE1202005	nein	nein	2,0	120 - 450	94,6	befriedigend	–	72	12-2012 (Profi) (1-2012 (Profi))

¹⁾ bei einer optimal ausgerichteten Anlage entspricht die DC-Leistung (Gleichstromleistung) des Wechselrichters ungefähr der Leistung des Solargenerators; bei Abweichungen kann die Generatorleistung über der DC-Nennleistung des Wechselrichters liegen, ²⁾ gemessener Spannungsbereich, auf den sich die Note bezieht, ³⁾ PHOTON-Wirkungsgrad für den Einsatz in Ländern mit mittlerer Einstrahlung (zum Beispiel Deutschland), ⁴⁾ nach altem Benotungsschema bis Ende 2010, ⁵⁾ gültig ist die neue Richtlinie seit dem 1. Januar 2012 (PHOTON 3-2011, Seite 132). Einige Hersteller lieferten ihre Wechselrichter bereits im Jahr 2011 mit einer frequenzabhängigen Wirkleistungssteuerung aus. ⁶⁾ im Ländercode Deutschland ENS, ⁷⁾ Gerät wird nicht mehr produziert, ⁸⁾ Vorseriengerät, ⁹⁾ die baugleichen Solarwechselrichter der Marken Helios Power (Riello UPS) und Sirio (Aros) werden zukünftig unter dem einheitlichen Markennamen Aros Solar Technology angeboten und über die Aros GmbH in Neufahrn vertrieben, ¹⁰⁾ Eversolar New Energy und Zof New Energy haben sich Ende 2011 zu Zeversolar New Energy zusammengeschlossen, ¹¹⁾ Zeversolar nennt das Gerät jetzt Eversol TL17K, seine Leistungsdaten weichen jedoch vom getesteten Eversol-TLC 17K ab, ¹²⁾ Umbenennung in Solarmax 13MT3 seit April 2012, ¹³⁾ wenn zu einem baugleichen oder nur geringfügig veränderten Gerät bereits ein Testbericht erschienen ist und deshalb nur ein Kurzbericht veröffentlicht worden ist, wird die Ausgabe mit dem ursprünglichen Test in Klammern vermerkt