

Grundsolider Chinese

Dass Sungrow Wechselrichter mit guten Wirkungsgraden produzieren kann, hat das Vier-Kilowatt-Gerät des chinesischen Herstellers bewiesen. Der große Bruder macht eine noch bessere Figur, erlaubt sich aber auch Schwächen.

Solide Wechselrichter für die Umwandlung von Sonnenstrom herzustellen ist keine Hexerei. Und wer einmal den Dreh heraus hat, der wartet in der Regel gleich mit einer ganzen Reihe guter Geräte auf. Der chinesische Hersteller Sungrow Power Supply Co. Ltd. gehört zu jenen asiatischen Produzenten, die mit der größten Macht auf den europäischen Markt drängen. Nachdem sich die ersten kleinen Wechselrichter im PHOTON-Labor noch mit einem »befriedigend« begnügen mussten, durfte sich der Sungrow

o Für Querleser

- Der Sungrow SG15KTL ist ein trafoloser, dreiphasiger Wechselrichter mit einer AC-Nennleistung von 15 Kilowatt. Seine zwei MPP-Tracker, die sich symmetrisch oder parallel betreiben lassen, verleihen ihm Flexibilität.
- Es lässt sich laut Datenblatt eine maximale Photovoltaikleistung von 15,6 Kilowatt anschließen. Bei der Wahl des Montageortes muss beachtet werden, dass der Wechselrichter bereits ab einer Grenztemperatur von 47,6 Grad Celsius beginnt, seine Leistung abzuregeln.
- Bei hohen Spannungen überbrückt das Gerät die Hochsetzsteller, was die Verluste verringert. Mit einem PHOTON-Wirkungsgrad von 96,6 Prozent für mittlere Einstrahlung landet der Sungrow auf Platz 22 der Wechselrichterrangliste.

SG4KTL als erstes asiatisches Gerät mit einem »sehr gut« schmücken (PHOTON Profi 11-2010). Nach dem Anfang 2011 eingeführten neuen Bewertungsschema bedeutet das immer noch ein »gut«. Mit entsprechend hohen Erwartungen ging der große Bruder SG15KTL mit 15 Kilowatt Nennleistung in das PHOTON-Labor. Das Gerät, das Sungrow im Rahmen einer Standardtestvereinbarung zur Verfügung gestellt hat, versucht zudem mit einer guten Ausstattung zu punkten: Zwei unabhängige MPP-Tracker erleichtern die Auslegung der Photovoltaikgeneratoren, und der Einsatz von hochwertigen Folienkondensatoren im Leistungsteil verspricht eine lange Lebensdauer.

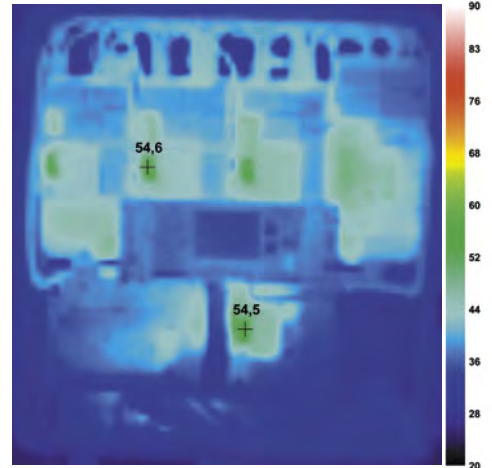
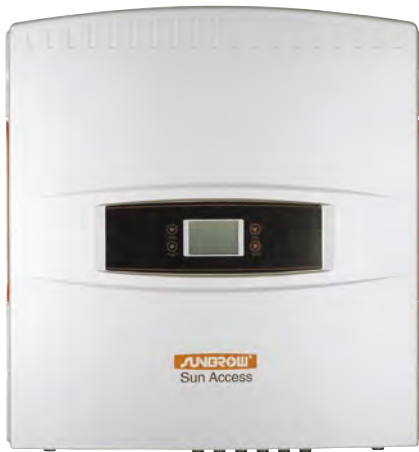
Aufbau

Der Sungrow SG15KTL gehört zu einer vierköpfigen Familie von dreiphasigen, trafolosen String-Wechselrichtern mit 10 bis 20 Kilowatt AC-Leistung. Der innere Aufbau des Testkandidaten ist sehr kompakt und trotz seiner acht Leiterkarten übersichtlich. Die DC- und AC-Filterplatine findet sich unterhalb der Steuerungsplatine, die Display- und eine kleine Steuerungsplatine sind im Vordergrund. Die beiden Hochsetzsteller der beiden MPP-Tracker sind oberhalb auf der rechten Seite auf einer eigenen Leiterkarte montiert. Die drei Leiterkarten links daneben beherbergen jeweils eine der drei Ausgangsbrücken. Die Hochsetzsteller- und die Sinusfilterdrosseln befinden sich unterhalb des Elektronikkompartiments auf dem Kühlkörper, der mit Außenluft gekühlt wird. Die Leistungs-transistoren und -dioden der Aus-



gangsbrücken sind in integrierten Gehäusen untergebracht, die der Hochsetzsteller diskret ausgeführt. Sie sind alle auf der Lötseite der Leiterkarten bestückt und auf den Kühlkörper auf der Hinterseite des Gerätes geschraubt. Hier hinten arbeiten vier drehzahlgesteuerte DC-Lüfter, die bei einem Ausfall nur mit großem Aufwand austauschbar sind. Weil sie den Umgebungsbedingungen ausgesetzt ist, sollte der Wechselrichter nicht in stark verschmutzter Umgebung betrieben werden, die Lüfter können sich sonst zusetzen und stehen bleiben. Der AC-seitige Fehlerstrom wird auf der Filterleiterkarte gemessen. Oberhalb der Leistungsteilleiterkarten sind das Display und zwei Taster montiert, alle Leistungskondensatoren wurden zusätzlich mit Silikon verklebt.

Das Gehäuse des Wechselrichters besteht aus drei Teilen. Ein Rahmen aus Stahlblech bildet zusammen mit der Gehäuseabdeckung aus Aluminiumdruckguss das geschützte Elektronikkompartiment. Eine Stahlblechplatte schließt die Hinterseite ab, dort befindet sich auch der hintere Bauraum für Kühlkörper, Filter und Lüfter. Das Gehäuse besitzt die Schutzart IP 65, der Wechselrichter eignet sich also auch für die Außenmontage. Für Sicherheit sorgt eine selbsttätige Freischaltstelle, die das Netz auf korrekte Spannung und Frequenz überprüft. Zudem finden eine Isolationsprüfung des Solargenerators und eine Überwachung des AC-seitigen Fehlerstroms statt. Das Display und vier LEDs geben über den Arbeitszustand des Gerätes Auskunft. Im Leistungsteil werden Folienkondensatoren eingesetzt, was der Lebensdauer des Wechselrichters zugutekommen



▲ Aufgeräumtes Innenleben: Im Sungrow SG15KTL werden insgesamt acht Leiterkarten verwendet, die zum Teil übereinander angeordnet sind. Entsprechend zeigt die Thermografie auch nur, was die Wärmebildkamera sehen kann. Die Werte liegen in jedem Fall in einem unkritischen Bereich.

sollte. Für die Steuerelektronik werden herkömmliche Elektrolytkondensatoren verwendet. Für den Anschluss des Solargenerators stehen zweimal drei Paar MC4-Steckverbinder der Firma Multi-Contact zur Verfügung. Der Netzanschluss erfolgt durch einen großen fünfpoligen Stecker von Amphenol. Der Wechselrichter besitzt einen internen mechanischen DC-Trenner, zwei RS485-Schnittstellen dienen der Kommunikation. Optional kann das Gerät mit einer Ethernet-Schnittstelle ausgestattet werden.

Handhabung

Der Sungrow SG15KTL wird mithilfe einer Wandhalterung montiert, mit 50 Kilogramm Gewicht ist er bezogen auf seine DC-Nennleistung ein Leichtgewicht. Ist der Solargenerator richtig ausgelegt und der interne DC-Freischalter betätigt, kann der Wechselrichter an den Start. Er benötigt circa 33 Sekunden für verschiedene Tests, dann geht er ans Netz und beginnt mit der Arbeit. Das grafikfähige LC-Display hat eine weiße Hinterleuchtung und ist schlecht ablesbar. Über die Taster lassen sich die Sprachen Deutsch, Englisch, Französisch und Italienisch wählen, insgesamt können neun verschiedene Ländereinstellungen aktiviert werden. Über das Menü lassen sich diverse Status- und Fehlermeldungen abrufen sowie eine Reihe von Istwerten, wie der zeitliche Verlauf der eingespeisten Energie zusammen mit der aktuellen AC-Leistung, der eingespeisten Energie des Tages, der in Summe eingespeisten Energie und Status, Tag und Uhrzeit. Des Weiteren lassen sich Anzeigen aufrufen,

die alle DC- und AC-Messwerte einzeln darstellen, es stehen also viele Messwerte übersichtlich zur Verfügung.

Bedienungsanleitung

Dem Wechselrichter lag eine Installations- und Betriebsanleitung in englischer Sprache bei, seit Oktober soll sie auch in Deutsch und Italienisch geliefert werden. Sie umfasst neben allgemeinen Erläuterungen die Montage, den Anschluss, Erläuterungen zum Betriebsverhalten, zur Anzeige und zu Störmeldungen und einige Blockschaltbilder zum Wechselrichter und von Anlagenkonfigurationen. Die Betriebsanleitung kann auch von der Website des Herstellers heruntergeladen werden.

Schaltungsaufbau

Der Sungrow SG15KTL ist ein trafoloser, dreiphasiger Wechselrichter mit zwei gleich ausgelegten Trackern im Eingang. Die Schaltung ist zweistufig aufgebaut: Zunächst gelangt die Energie des Photovoltaikgenerators über einen Funkentstörfilter in die beiden MPP-Tracker, die als symmetrische Hochsetzsteller ausgeführt sind. Ist die Eingangsspannung hoch, wird der Hochsetzstellertransistor ausgeschaltet und eine Bypass-Schaltung zur Überbrückung des Hochsetzstellers aktiviert, um Verluste bei höheren Spannungen zu reduzieren. Die Tracker speisen je eine Kondensatorhalbrücke, deren Mittelpunkt mit den einzelnen Freilaufdioden der Dreipunkthalbrücken verbunden ist. Die Formung der pulsweitenmodulierten Ausgangsspannung erfolgt

durch drei Dreipunkthalbrücken, deren Mittelpunkte jeweils einer Ausgangsphase entsprechen. Der nachfolgende Filter glättet die modulierten Spannungsböcke zur sinusförmigen Spannung mit der Netzfrequenz von 50 Hertz. Eine selbsttätige Schaltstelle trennt den Wechselrichter vom Netz, sobald die Netzspannung oder die Netzfrequenz von den vorgegebenen Grenzwerten abweicht. Sie reagiert ebenso, wenn auf der AC-Seite ein Fehlerstrom auftritt oder auf der Gleichspannungsseite ein zu geringer Isolationswiderstand gemessen wird. Funkstörungen beseitigt ein direkt vor den Netzklemmen angeordneter Ausgangsfilter.

Messungen

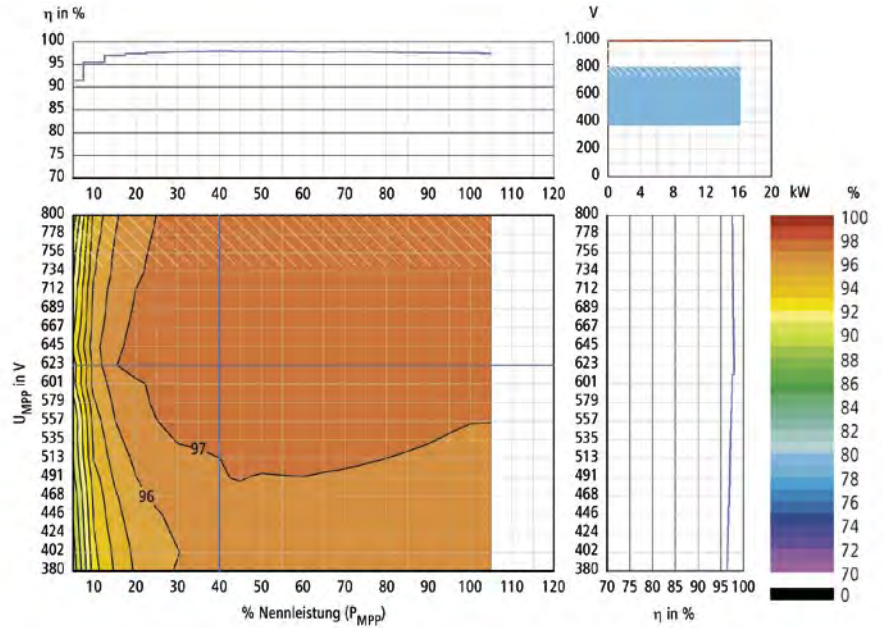
Alle nachfolgenden Messungen beziehen sich auf eine Netzspannung von 230 Volt. Laut Datenblatt des Herstellers lässt sich eine maximale Photovoltaikleistung von 15.600 Watt anschließen. Die maximale DC-Spannung des SG15KTL beträgt 1.000 Volt, die DC-Nennleistung zweimal 7.655 Watt. Beim Sungrow SG15KTL handelt es sich um einen Multitracker-Wechselrichter, somit kommt die mehrteilige Definition zum MPP-Spannungsbereich zum Tragen:

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 Ein-Tracker-Geräte zu. Bei jedem Spannungswert innerhalb dieses Bereichs

weiter auf Seite 101

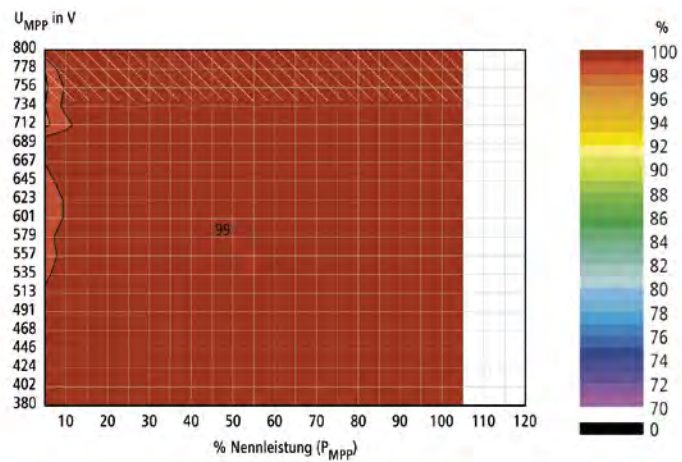
Umwandlungswirkungsgrad (symmetrisch)

► In einem weiten Bereich bei Spannungen zwischen 512 und 800 Volt und Leistungen zwischen 20 und 105 Prozent liegt der Umwandlungswirkungsgrad im symmetrischen Betrieb über 97 Prozent. Das Maximum von 97,9 Prozent findet sich im Schnittpunkt der Linien von 40 Prozent Nennleistung und 623 Volt MPP-Spannung.



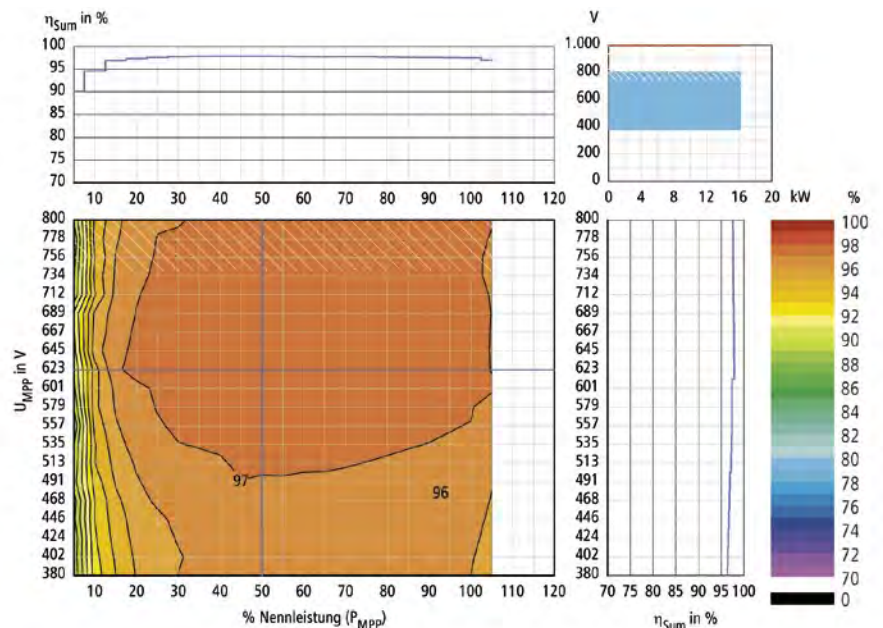
× MPPT-Anpassungswirkungsgrad (symmetrisch)

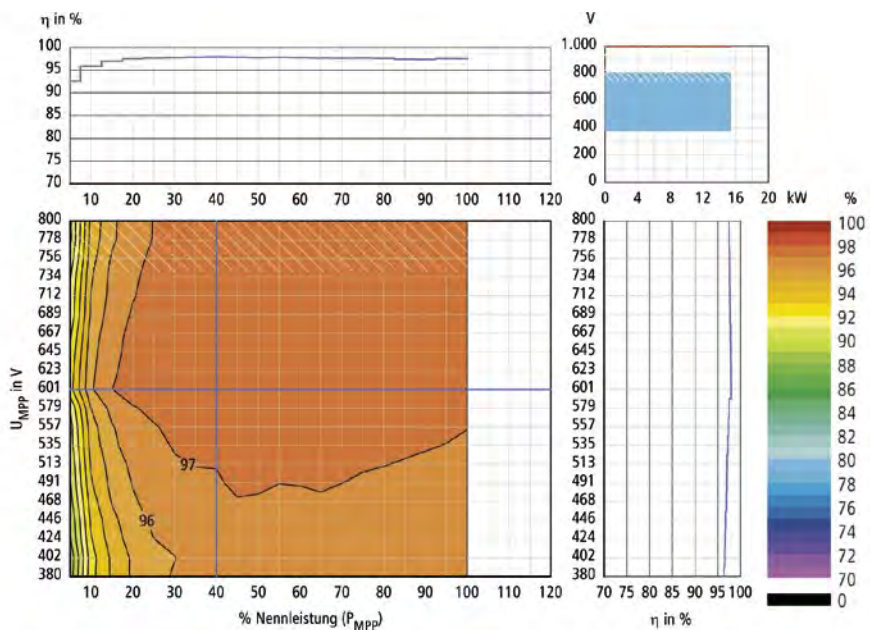
► Am MPP-Tracking beim symmetrischen Betrieb gibt es wenig auszusetzen, wenn man von einer kleinen Schwäche bei Leistungen unter zehn Prozent und bei höheren Spannungen über 513 Volt absieht.



= Gesamtwirkungsgrad (symmetrisch)

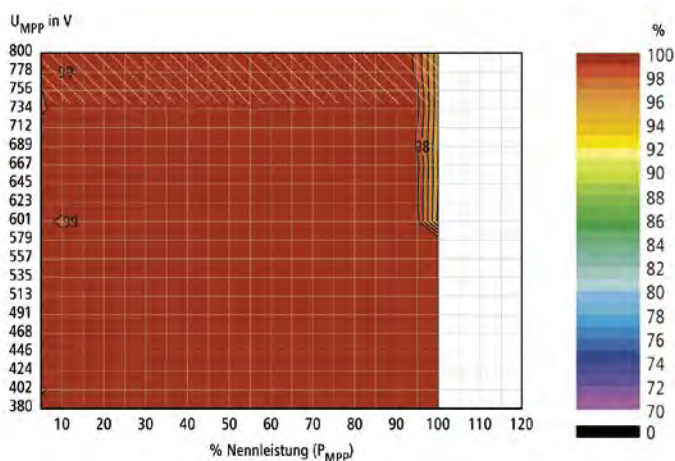
► Der maximale Gesamtwirkungsgrad von 97,9 Prozent beim symmetrischen Betrieb der Tracker liegt im Schnittpunkt der Linien, die 50 Prozent Nennleistung und eine MPP-Spannung von 623 Volt bezeichnen





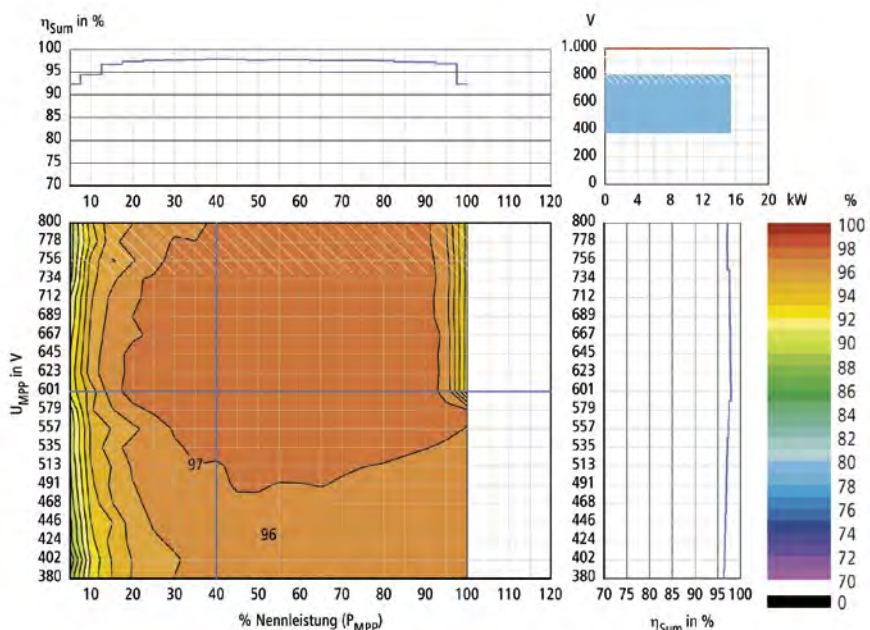
Umwandlungswirkungsgrad (parallel)

◀ Der maximale Umwandlungswirkungsgrad entspricht auch im Parallelbetrieb mit 97,9 Prozent exakt dem im symmetrischen Betrieb. Lediglich die MPP-Spannung liegt in diesem Fall mit 601 Volt geringfügig niedriger.



× MPPT-Anpassungswirkungsgrad (parallel)

◀ Die Schwächen des MPP-Trackings im Parallelbetrieb werden bei mehr als 95 Prozent Nennleistung und Spannungen ab 579 Volt deutlich: Der Wechselrichter beginnt, in die Leistungsbegrenzung zu gehen, der Anpassungswirkungsgrad sinkt

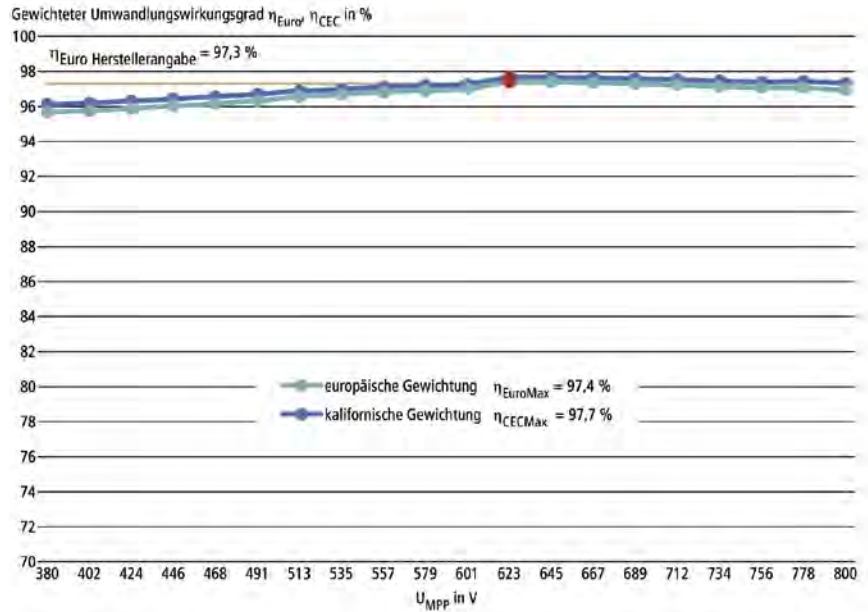


= Gesamtwirkungsgrad (parallel)

◀ Die Anpassungsschwäche im Parallelbetrieb spiegelt sich auch beim Gesamtwirkungsgrad wider. Gleichwohl liegt das Maximum bei 40 Prozent Leistung und 601 Volt wiederum bei beachtlichen 97,9 Prozent.

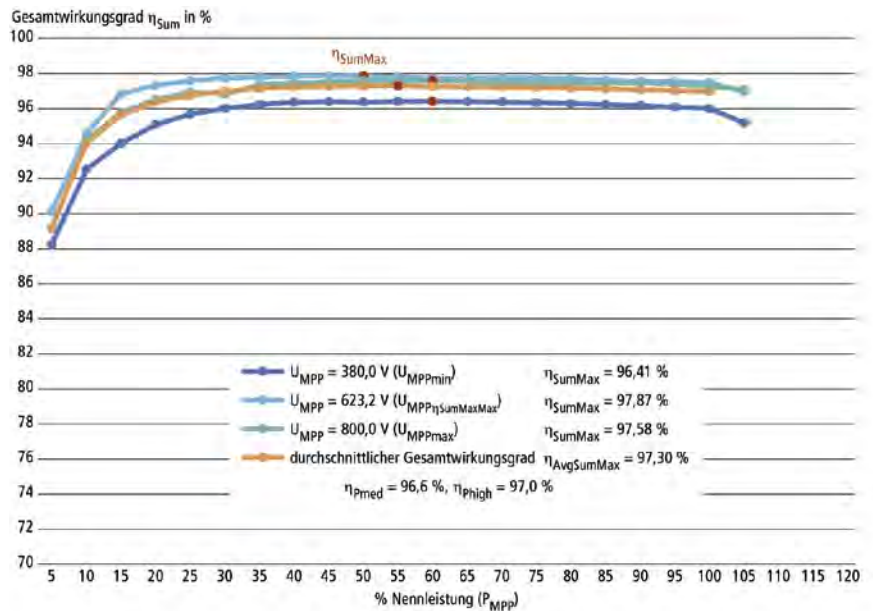
Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad

► Der Effekt, dass der Wechselrichter bei hohen Spannungen die Hochsetzsteller überbrückt, lässt sich deutlich in der Kurve der gewichteten Umwandlungswirkungsgrade ablesen. Sowohl bei europäischer als auch bei kalifornischer Gewichtung steigt der Umwandlungswirkungsgrad zu hohen Spannungen hin an und findet sein Maximum jeweils bei einer MPP-Spannung von 623 Volt.



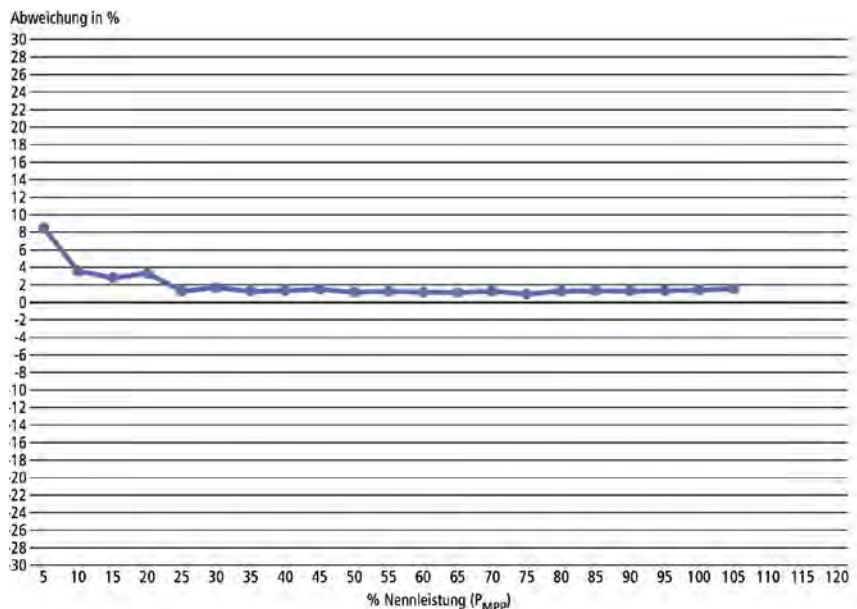
Gesamtwirkungsgrad bei unterschiedlichen Spannungen

► Bei Leistungen von bis zu fünf Prozent liegen die Gesamtwirkungsgrade bei unterschiedlichen MPP-Spannungen noch auf ziemlich niedrigem Niveau. Wirklich effizient arbeitet der Wechselrichter erst ab rund 20 Prozent Nennleistung, danach sind die Gesamtwirkungsgradkurven konstant hoch und knicken erst bei über 100 Prozent wieder ab.



Genauigkeit der Wechselrichteranzeige

► Als Maßstab für die tatsächlich eingespeiste Leistung taugt die Anzeige des Wechselrichters nur sehr bedingt. Erst ab 25 Prozent Nennleistung liegt die Abweichung in einem akzeptablen Bereich.



Fortsetzung von Seite 97

kann der Wechselrichter 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 einzelnen Tracker-Eingänge spezifiziert sein. Arbeitet einer der Tracker mit voller Leistung, ergibt sich für den anderen eine entsprechend reduzierte Leistung, sodass insgesamt die DC-Systemnennleistung nicht überschritten wird. Der mit maximaler Leistung betriebene Tracker-Eingang hat dann einen kleineren MPP-Spannungsbereich als der mit geringer Leistung laufende. Bei dem SunGrow SG15KTL ist ein asymmetrischer Betrieb nicht möglich, da die maximale DC-Leistung eines Trackers der halben maximalen DC-Leistung des Gesamtgerätes entspricht.

Fall 3: Die Parallelschaltung von Trackern ist ebenfalls möglich und kann bei dem Testgerät auch angewendet werden.

Die Benotung des Wechselrichters erfolgt nach Fall 1 (symmetrische Belastung).

Auffinden des MPP: Bei einer vorgegebenen Kennlinie mit Nennleistung und einer MPP-Spannung von 579 Volt benötigt der Wechselrichter circa 33 Sekunden, bis er sich auf das Netz aufschaltet. Zu Beginn der Messung waren die DC- sowie die AC-Seite ausgeschaltet. Nach weiteren 32 Sekunden erreichen beide Tracker den MPP. Beim Wechsel von 579 Volt auf 557 Volt benötigen die Tracker circa 19 Sekunden, der Wechsel in den nächsthöheren MPP-Bereich von 601 Volt dauert circa 24 Sekunden.

MPP-Bereich: Der MPP-Bereich reicht von 380 bis 800 Volt und entspricht dem eines Superweitbereich-Wechselrichters. Die maximale MPP-Spannung liegt angenehm weit weg von der maximalen Eingangsspannung von 1.000 Volt. Dabei müssen wie oben beschrieben zwei Belastungsfälle unterschieden werden.

Fall 1, symmetrisch: Die beiden Tracker werden mit der durch den Trackernennstrom von 20 Ampere vorgegebenen DC-Systemnennleistung belastet.

Fall 2, parallel: Parallel geschaltet werden beide Tracker im gleichen Spannungsbereich wie im symmetrischen Belastungsfall betrieben und mit 15.310 Watt (100 Prozent) belastet.

Umwandlungswirkungsgrad: Der Wechselrichter kann mit symmetrisch betriebenen Trackern im MPP-Spannungsbereich von 380 Volt bis 800 Volt mit 105 Prozent der Nennleistung arbeiten. Im Parallelbetrieb hat sich herausgestellt, dass in Teilen die Leistung unter 100

Prozent der Nennleistung fällt. Da für die Bewertung jedoch nur der symmetrische Betriebszustand herangezogen wird, fällt das nicht ins Gewicht. Bei einer maximalen DC-Spannung von 1.000 Volt gibt es in beiden Betriebsfällen nur einen einzigen schraffierten Bereich, der auf Einschränkungen beim Einsatz von Dünnschichtmodulen aufgrund des zu geringen Spannungsabstandes von maximaler MPP-Spannung und maximaler DC-Spannung hinweist.

Fall 1, symmetrisch: Der Bereich des maximalen Wirkungsgrades bildet ein großes Plateau im Spannungsbereich von 512 bis 800 Volt und im Leistungsbereich von 20 bis 105 Prozent. Die senkrechte Schnittlinie bei 40 Prozent Nennleistung und die waagerechte Schnittlinie bei 623 Volt MPP-Spannung gehen durch das Wirkungsgradmaximum von 97,9 Prozent. Zu kleinen MPP-Spannungen hin nimmt der maximale Umwandlungswirkungsgrad um circa 0,5 Prozentpunkte, zu großen Spannungen hin um circa 0,4 Prozentpunkte ab. Die Herstellerangabe für den maximalen Wirkungsgrad von 98,0 Prozent wurde während der Messungen mit 97,9 Prozent nahezu erreicht. Bei kleinen Leistungen (unter 15 Prozent der Nennleistung) fällt der Wirkungsgrad bei diesem Gerät um sechs bis acht Prozentpunkte. Es stellte sich bei Nennleistung ein Leistungsfaktor $\cos \varphi$ von circa eins ein.

Fall 2, parallel: Der Bereich des maximalen Wirkungsgrades bildet auch hier ein großes Plateau, und zwar im Spannungsbereich von 490 bis 800 Volt und im Leistungsbereich von 20 bis 105 Prozent. Die senkrechte Schnittlinie bei 40 Prozent Nennleistung und die waagerechte Schnittlinie bei 601 Volt MPP-Spannung gehen durch das Wirkungsgradmaximum von 97,9 Prozent. Zu kleinen MPP-Spannungen hin nimmt der maximale Umwandlungswirkungsgrad um circa 0,6 Prozentpunkte, zu großen Spannungen hin um circa 0,5 Prozentpunkte ab.

Gewichteter Umwandlungswirkungsgrad: Der Europäische Wirkungsgrad (bei symmetrischer Belastung) ist bei einer MPP-Spannung von 623 Volt maximal und fällt mit 97,4 Prozent etwas höher als die Herstellerangabe von 97,3 Prozent aus. Die Differenz zwischen maximalem Umwandlungswirkungsgrad und maximalem Europäischem Wirkungsgrad beträgt nur 0,5 Prozentpunkte. Der Kalifornische Wirkungsgrad liegt mit 97,7 Prozent noch einmal darüber.

MPPT-Anpassungswirkungsgrad:

Fall 1, symmetrisch: Der MPPT-Anpassungswirkungsgrad ist fast über den

Kommentar des Herstellers

Wir akzeptieren die Resultate des PHOTON-Testlabors. Unsere Experimente zeigen, dass der Wechselrichter auch für Dünnschichtmodule genutzt werden kann, die auf der DC-Seite keine positive oder negative Erdung benötigen.

ganzen Arbeitsbereich schön gleichmäßig hoch. Bei vorgegebenen Leistungen zwischen circa 10 und 105 Prozent Nennleistung beträgt die MPP-Leistung des Wechselrichters im gesamten Spannungsbereich immer über 99 Prozent der vorgegebenen Leistung. Eine kleine Schwäche zeigt sich bei kleinsten Leistungen und mittleren bis hohen MPP-Spannungen.

Fall 2, parallel: In diesem Betriebszustand ist die Schwäche bei kleinen Leistungen verschwunden, dafür gibt es bei MPP-Spannungen größer als 600 Volt und bei mehr als 95 Prozent Leistung deutliche Einschränkungen des Trackings. Der MPPT-Anpassungswirkungsgrad sinkt auf um die 95 Prozent,

AMBILIGHT

Das effiziente Ost-West-System für Flachdächer



für gerahmte Module

für rahmenlose Module

- > Preisgünstig
- > Windkanal zertifiziert
- > Durchdringungsfrei & ballastarm
- > Minimaler Montageaufwand
- > Optimale Dachflächenausnutzung
- > Ungehinderte Dachentwässerung

AmbiVolt Energietechnik GmbH
Fon +49 (0)89 1592 7805
E-Mail bp@ambivolt.com



www.ambivolt.com

weil der Wechselrichter in die Leistungsbegrenzung geht.

Gesamtwirkungsgrad:

Fall 1, symmetrisch: Die senkrechte Schnittlinie bei 50 Prozent Nennleistung und die waagerechte Schnittlinie bei einer MPP-Spannung von 623 Volt gehen durch das Gesamtwirkungsgradmaximum von 97,9 Prozent.

Fall 2, parallel: Unter diesen Betriebsbedingungen gehen die senkrechte Schnittlinie bei 40 Prozent Nennleistung und die waagerechte Schnittlinie bei einer MPP-Spannung von 601 Volt durch das Gesamtwirkungsgradmaximum von 97,9 Prozent.

Gesamtwirkungsgradverläufe, durchschnittlicher Gesamtwirkungsgrad und PHOTON-Wirkungsgrad: Der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung (ermittelt bei symmetrischer Belastung) beträgt 96,6 Prozent. Der PHOTON-Wirkungsgrad für hohe Einstrahlung liegt bei 97,0 Prozent.

Einspeisung der Nennleistung: Der Wechselrichter speist über den Ein-

gangsspannungsbereich von 380 Volt bis 800 Volt und bei einer Umgebungstemperatur von 25 Grad Celsius 100 Prozent der Nennleistung ein.

Angezeigte Ausgangsleistung: In einer weiteren Messreihe wurde der Wechselrichter bei konstanter MPP-Spannung von 579 Volt, also im mittleren Bereich, nacheinander mit unterschiedlichen Leistungen von 5 bis 105 Prozent Nennleistung gespeist. Dabei wurden jeweils die Messwerte für die Wechselrichterausgangsleistung aufgenommen, die zum einen vom Wechselrichter und zum anderen vom Leistungsanalysator angezeigt wurden. Die vom Wechselrichter gemessene und angezeigte Ausgangsleistung weicht bei kleinen Leistungen bis zu 8,5 Prozent vom Messwert des Leistungsanalysators ab. Ab 20 Prozent Nennleistung liegt der Fehler im Bereich von plus 3,3 Prozent, um dann auf plus ein Prozent zu fallen und im Überlastbereich wieder auf 1,6 Prozent anzusteigen. Damit entspricht die Anzeigegenauigkeit nur dem eines Zähl-

ers der Genauigkeitsklasse A (früher Klasse 2).

Betrieb bei höherer Umgebungstemperatur: Der Wechselrichter speiste bis zu einer Umgebungstemperatur von circa 47,6 Grad Celsius mit 100 Prozent der Nennleistung ins Netz ein, danach reduzierte er seine Leistung. Der gewählte Arbeitspunkt lag bei 15.310 Watt und einer MPP-Spannung von 579 Volt. Der Wirkungsgrad fiel über diesem Temperaturbereich nur um circa 0,14 Prozentpunkte. Das Gerät kann, bedingt durch den weiten Temperaturbereich von minus 25 bis plus 60 Grad Celsius und die Schutzart IP 65, unter dem Dach oder auch draußen montiert werden. Zu berücksichtigen ist dabei aber die Leistungsreduzierung bei einer Umgebungstemperatur von mehr als 47,6 Grad Celsius.

Überlastverhalten: Bietet man dem Sungrow SG15KTL bei einer MPP-Spannung von 579 Volt und einer Umgebungstemperatur von 27 Grad Celsius eine Überlast des 1,3-Fachen der Eingangs-

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 MPPT-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 (η_{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 (η_{Pmed}) beziehungsweise hohe Einstrahlung (η_{Pmax}) gewichtet, ergibt sich der jeweilige **PHOTON-Wirkungsgrad**. Er ist ebenfalls im Diagramm notiert.

nennleistung an (zweimal 9.952 Watt), begrenzt das Gerät auf eine DC-Leistung von circa 8.048 Watt für Tracker 1 und 7.980 Watt für Tracker 2, in der Summe also 16.028 Watt. Dies entspricht einer Überlast von 104,7 Prozent bei einer DC-Nennleistung von zweimal 7.655 Watt. Damit besitzt der Wechselrichter einen kleinen Überlastbereich, bei Leistungsbegrenzung verschiebt das Gerät den Arbeitspunkt auf der Kennlinie in Richtung höhere Eingangsspannung. Die DC-Spannung stellt sich auf einen Wert von circa 644 Volt ein.

Eigen- und Nachtverbrauch: Der Eigenverbrauch des Gerätes im getesteten Grundbauzustand beträgt circa 2,8 Watt auf der AC-Seite (der Hersteller macht dazu keine Angabe) und 21,9 Watt auf der DC-Seite. Nachts zieht der Wechselrichter rund 2,7 Watt Wirkleistung aus dem Netz. Hier gibt der Hersteller null Watt an.

Thermografie: Die Thermografie zeigt eine Draufsicht des Wechselrichters, während er bei einer Umgebungstemperatur von 27 Grad Celsius mit Nennleistung arbeitet. Die Temperaturen der sichtbaren Bauteile auf den Leiterkarten steigen dabei auf bis zu 54,6 Grad Celsius. Alle gemessenen Oberflächentemperaturen sind niedrig und damit unerheblich.

Fazit

Abgesehen von kleineren Stockfehlern, namentlich beim MPP-Tracking im Parallelbetrieb, macht der Sungrow SG15KTL im Labor eine sehr gute Figur. Der innere Aufbau des Testkandidaten ist sehr kompakt und übersichtlich, seine Topologie ermöglicht eine sehr hohe Effizienz. Der maximale Umwandlungswirkungsgrad beträgt im symmetrischen Betriebsfall 97,9 Prozent und ist über den Spannungsbereich und den Leistungsbereich sehr konstant. Dasselbe lässt sich bei den gewichteten Wirkungsgraden beobachten: Der Europäische Wirkungsgrad liegt nur 0,5 Prozentpunkte und der Kalifornische Wirkungsgrad nur 0,2 Prozentpunkte unter dem maximalen Umwandlungswirkungsgrad. Durch den gleichmäßigen und hohen MPPT-Anpassungswirkungsgrad ergibt sich für den Gesamtwirkungsgradverlauf ein im Zahlenwert nur etwas geringerer, fast ähnlicher Verlauf wie beim Umwandlungswirkungsgrad. Der MPP-Spannungsbereich ist superweit, es gibt jedoch Einschränkungen im oberen Teil bei der Nutzung von Dünnschichtmodulen, wie es durch die Schraffur in den Farbdigrammen angedeutet wird.

Die Schwankungsbreite des Gesamtwirkungsgrades beträgt über den MPP-Spannungsbereich nur minus 0,3 bis 0,5 Prozentpunkte und ab zehn Prozent Leistung über den Leistungsbereich nur zwei bis fünf Prozentpunkte. Dadurch beträgt der PHOTON-Wirkungsgrad für mittlere Einstrahlung trotz des weiten Spannungsbereiches sehr gute 96,6 Prozent. Der Zahlenwert des PHOTON-Wirkungsgrades für hohe Einstrahlung liegt sogar noch etwas höher bei 97,0 Prozent.

Für die Auslegung des optimalen Arbeitspunktes einer Photovoltaikanlage sollte das mittlere Drittel des MPP-Spannungsbereichs bis circa 740 Volt gewählt werden. Der maximale Umwandlungswirkungsgrad entspricht im parallelen Betriebsfall dem bei symmetrischer Belastung. Das Tracking bei DC-Nennleistung wies allerdings eine deutliche Schwäche auf, weil dann eine Leistungsbegrenzung einsetzt. Der Wechselrichter besitzt eine Überlastfähigkeit von 104,7 Prozent, die Anzeige seiner Ausgangsleistung ist jedoch erst ab 25 Prozent der Nennleistung hinreichend genau. Während der Temperaturbereich des Gerätes sehr weit ist, trat eine Abregelung der Leistung bereits bei einer Grenztemperatur von 47,6 Grad Celsius ein. Die Temperaturabhängigkeit des Umwandlungswirkungsgrades des Wechselrichters ist mit minus 0,14 Prozent sehr gering.

Insgesamt reiht sich der Sungrow SG15KTL als ein sehr gutes Gerät mit einem hohen PHOTON-Wirkungsgrad auf Rang 22 in das Testfeld ein, durch die beiden MPP-Tracker hat es eine hohe Flexibilität, was die Auslegung einer Photovoltaikanlage vereinfacht. Da es im angegebenen weiten Spannungsbereich im symmetrischen Betriebsfall keine DC-Strombegrenzung gibt, ist er bis circa 740 Volt voll nutzbar. Alle seit Oktober ausgelieferten Geräte entsprechen nach Angaben des Herstellers den Anforderungen der am 1. Januar dieses Jahres in Kraft getretenen neuen Niederspannungsrichtlinie. Beim Einsatz in einer großen Solarstromanlage ist der Gebrauch einer Stringbox ein Muss.

Mit seiner Niederlassung in München versucht Sungrow Präsenz am Markt zu zeigen. Ob der Hersteller in Sachen Langlebigkeit, Service und Kundenfreundlichkeit mit den Marktführern mithalten kann, müssen die Erfahrungen der Kunden zeigen. Um Alternativen zu den Etablierten auf dem Wechselrichtermarkt braucht sich jedenfalls niemand Sorgen zu machen.

| Heinz Neuenstein, Matthias B. Krause