

# Neue Tests an Photovoltaik-Wechselrichtern: Gesamtübersicht über Testergebnisse und gemessene totale Wirkungsgrade

H. Häberlin, M. Kämpfer und U. Zwahlen

Berner Fachhochschule, Hochschule für Technik und Informatik (HTI)

Labor für Photovoltaik, Jlcoweg 1, CH-3400 Burgdorf / SCHWEIZ

Tel: +41 34 426 68 11, Fax: +41 34 426 68 13, [www.pvtest.ch](http://www.pvtest.ch), E-Mail [heinrich.haerberlin@bfh.ch](mailto:heinrich.haerberlin@bfh.ch)

## 1. Einführung

Im letzten Jahr wurde in Staffelstein die neue Grösse „totaler Wirkungsgrad“ vorgestellt, die eine bessere Charakterisierung des Betriebsverhaltens von PV-Wechselrichtern für Netzverbundanlagen erlaubt [1]. Neben den damals als Beispiele verwendeten Wechselrichtern wurden seither viele weitere Geräte eingehend getestet.

## 2. Übersicht über die wichtigsten Testergebnisse

WR-Typ	Testjahr	S <sub>N</sub> [kVA]	Trafo	MPP-Spann. [V]	η <sub>EU</sub> [%]	η <sub>MPPPT_EU</sub> [%]	η <sub>tot_EU</sub> [%]	Dyn. MPPT-Verhalten	Strom-Harm. (0.1-2kHz)	EMV AC	EMV DC	RSS-Empf.	Frequenz-Überwachung	Spannungs-Überwachung	Inselbetrieb	
Sunways NT4000	04	3.3	TL	400	95.4	99.5	94.9	+	+	0	+	++	-	++	++	
				480	94.9	99.0	94.0									
				560	94.6	98.0	92.6									
Fronius IG30	04	2.5	HF	170	91.0	99.8	90.8	0	++	+	+ <sup>4)</sup>	+	++	+	+	
				280	92.1	99.7	91.8									
				350	91.6	99.5	91.2									
Fronius IG40	04	3.5	HF	170	91.1	99.9	91.1	-	++	++	+ <sup>4)</sup>	+	++	+	+	
				280	92.5	99.6	92.2									
				350	91.8	99.5	91.3									
Sputnik SM2000E	05	1.8	TL	180	92.4	99.9	92.3	0	++	0 <sup>1)</sup>	+ <sup>4)</sup>	++	++	++	++	+
				300	93.4	99.7	93.1									
				420	94.0	99.2	93.2									
Sputnik SM3000E	05	2.5	TL	250	93.5	99.5	93.0	0	+	0 <sup>1)</sup>	++	++	++	++	++	+
				330	94.0	99.4	93.4									
				420	94.7	99.7	94.4									
Sputnik SM6000E	05	5.1	TL	250	94.3	99.8	94.1	0	-	0 <sup>1)</sup>	++	+ <sup>3)</sup>	++	++	++	++
				330	94.8	99.9	94.6									
				420	95.2	99.6	94.9									
Sputnik SM6000C*	05	4.6	TL	250	94.5	99.7	94.2	0	+	0 <sup>1)</sup>	++	+	++	+	+	+
				330	95.1	99.6	94.7									
				420	95.4	99.5	95.0									
Sputnik SM25C	05	25	NF	490	93.1	99.6	92.7	0	++	0 <sup>1)</sup>	+ <sup>6)</sup>	++	+ <sup>7)</sup>	++	++	+ <sup>8)</sup>
				560	93.1	99.5	92.6									
				630	92.9	99.7	92.6									
ASP TC Spark	05	1.4	NF	160	90.0	99.7	89.8	+	++	0 <sup>1)</sup>	++	0	+	+	0 <sup>5)</sup>	
				190	90.4	99.8	90.3									
SMA SB3800*	05	3.8	NF	200	94.8	99.6	94.4	0	++	++	++	++	++	++	++	+
				280	94.2	99.7	93.9									
				350	93.5	99.7	93.2									
SMA SMC6000	05	5.5	NF	280	94.7	99.6	94.3	0	++	++	++	+	++	++	++	+ <sup>2)</sup>
				350	94.1	99.6	93.8									
				420	93.7	99.7	93.4									

- |    |                                |    |                                                                   |
|----|--------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------|
| ++ | sehr gut                       | 1) | Grenzwertüberschreitung für Frequenzen < 300kHz                   |
| +  | gut                            | 2) | Nur mit aktivierter ENS betreiben                                 |
| 0  | genügend                       | 3) | Relativ frühe Abschaltung bei RSS mit f=200Hz                     |
| -  | mangelhaft                     | 4) | Grenzwertüberschreitung für Frequenzen < 200kHz                   |
| -- | schlecht                       | 5) | Älteres Modell; erfüllt nur frühere ENS-Norm, heutige nicht mehr  |
| *  | η mit neuem Wattmeter gemessen | 6) | Grenzwertüberschreitung für Frequenzen < 400kHz                   |
|    |                                | 7) | Nach neuer VDE 0126-1-1 kleine Normverletzung bei Überfrequenz    |
|    |                                | 8) | Testleistung etwas zu klein, deshalb nicht ganz nach VDE 0126-1-1 |

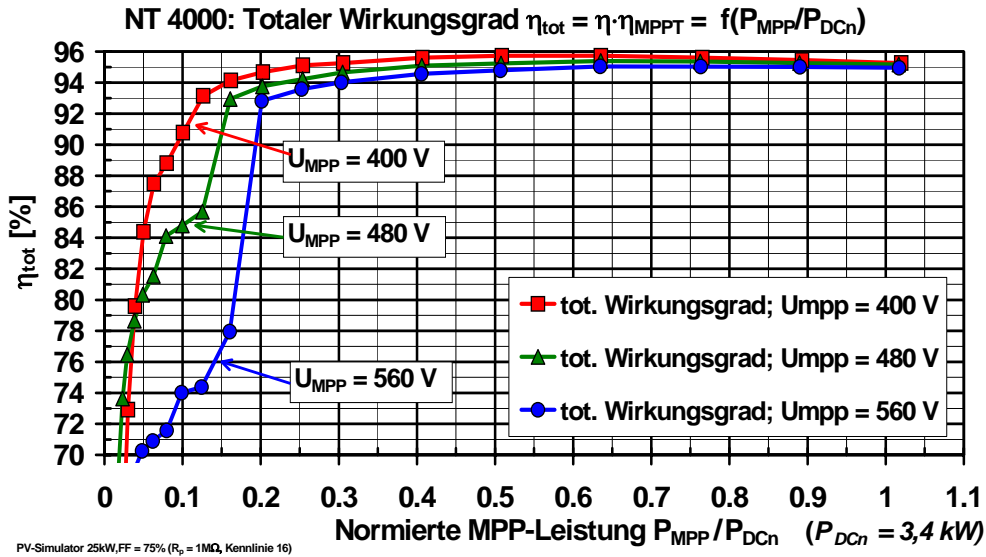
Tabelle 1: Überblick über Daten und Testresultate der 2004 / 2005 getesteten Geräte.

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Daten und Testergebnisse der getesteten Geräte dargestellt. Die in dieser Tabelle für drei verschiedene DC-Spannungen angegebene Werte für den europäischen Wirkungsgrad (Umwandlungswirkungsgrad  $\eta$ , MPP-Tracking-Wirkungsgrad  $\eta_{MPPT}$ , totaler Wirkungsgrad  $\eta_{tot}$ ) wurden nach folgender Formel berechnet (Indexwert = Prozent der DC-Nennleistung  $P_{DCn}$ ):

$$\eta = 0.03\eta_5 + 0.06\eta_{10} + 0.13\eta_{20} + 0.1\eta_{30} + 0.48\eta_{50} + 0.2\eta_{100}$$

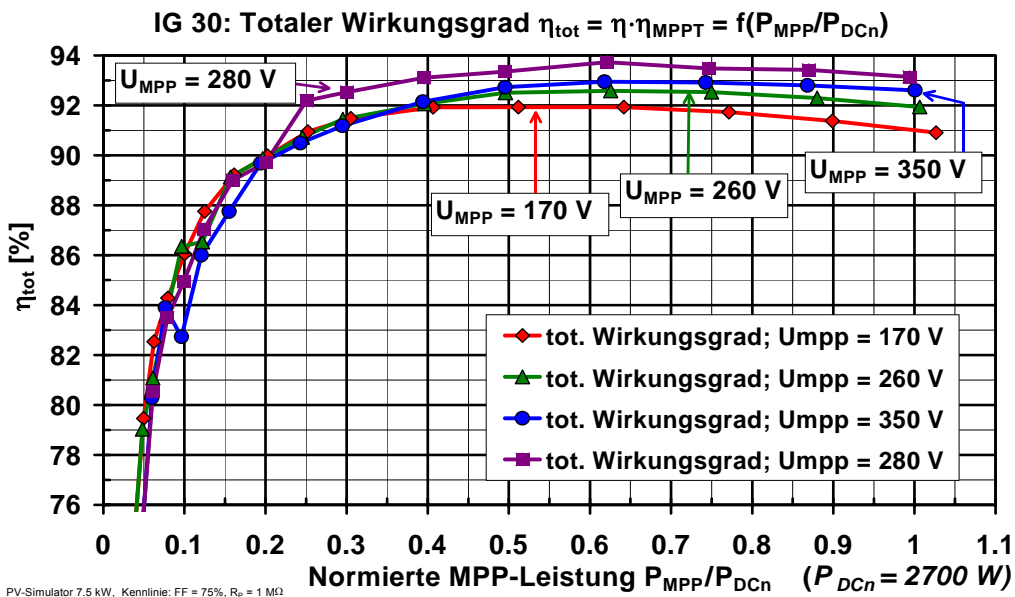
### 3. Totaler Wirkungsgrad einiger Wechselrichter

Der totale Wirkungsgrad  $\eta_{tot}$  ist das Produkt aus Umwandlungswirkungsgrad  $\eta$  und statischem MPP-Tracking-Wirkungsgrad  $\eta_{MPPT}$ , also  $\eta_{tot} = \eta \cdot \eta_{MPPT}$  [1].



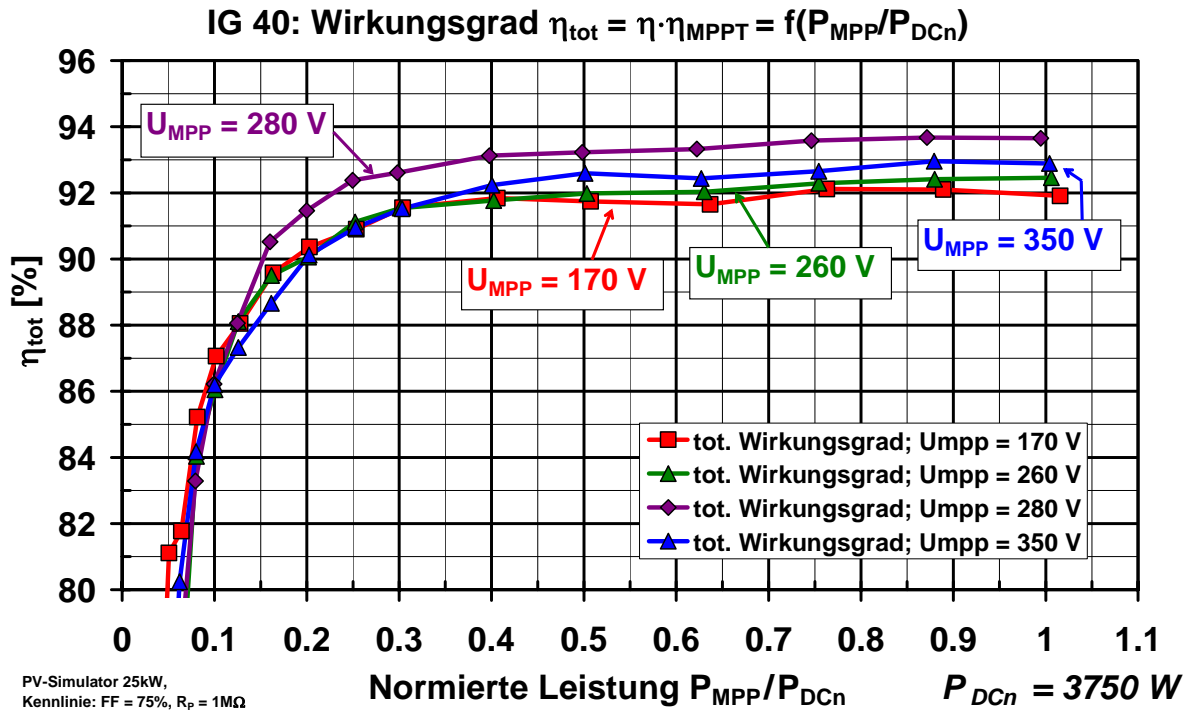
**Bild 1:**

Totaler Wirkungsgrad  $\eta_{tot}$  eines NT4000 in Funktion der normierten MPP-Leistung  $P_{MPP}/P_{DCn}$  bei drei verschiedenen MPP-Spannungen. Wegen des relativ schlechten  $\eta_{MPPT}$  bei kleinen Leistungen und höheren  $U_{MPP}$  hat das Gerät dort trotz des hohen Wirkungsgrades  $\eta$  ein relativ kleines  $\eta_{tot}$  [1].



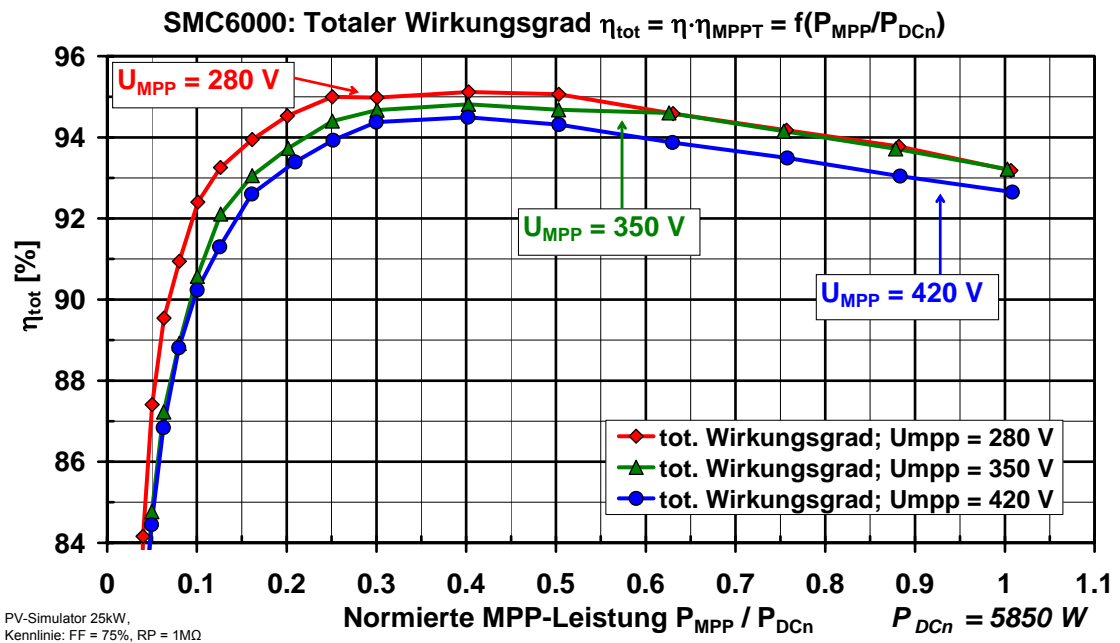
**Bild 2:**

Totaler Wirkungsgrad  $\eta_{tot}$  eines IG 30 in Funktion der normierten MPP-Leistung  $P_{MPP}/P_{DCn}$  bei vier verschiedenen MPP-Spannungen.



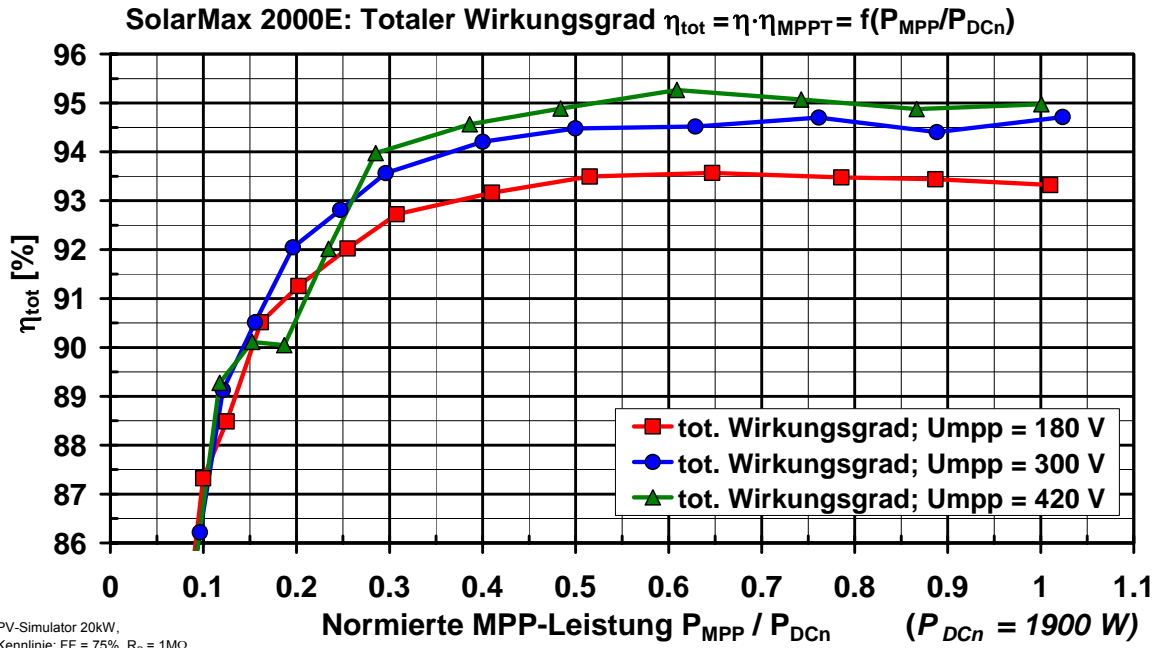
**Bild 3:**

Totaler Wirkungsgrad  $\eta_{tot}$  bei vier verschiedenen MPP-Spannungen beim IG 40 mit HF-Trafo. Es fällt auf, dass bei diesem Gerät der Wirkungsgrad bei einer mittleren Spannung am höchsten ist. Erstaunlich ist, dass bereits eine kleine Spannungserhöhung von nur 20 V zwischen 260 V und 280 V eine deutliche Steigerung des Wirkungsgrades zur Folge hat.



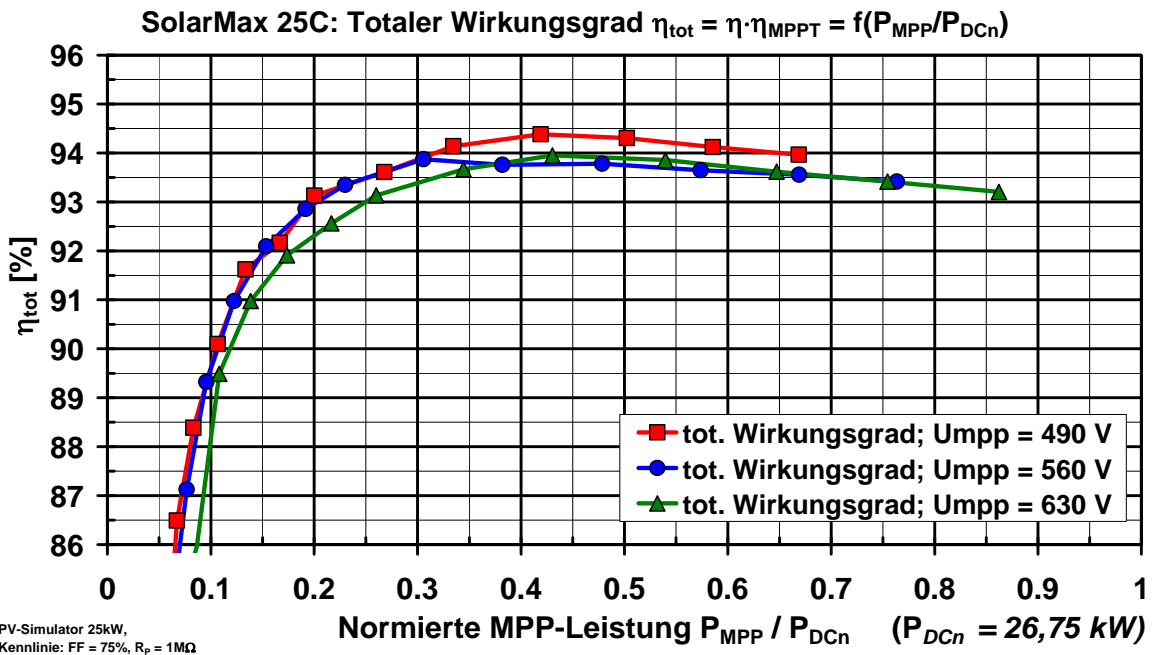
**Bild 4:**

Totaler Wirkungsgrad  $\eta_{tot}$  bei drei verschiedenen MPP-Spannungen bei einem Sunny Mini Central 6000 mit 50 Hz-Trafo. Dieses Gerät hat einen für ein Gerät mit Trafo sehr hohen Wirkungsgrad, der zudem nur relativ wenig von der DC-Spannung abhängig ist. Der höchste Wirkungsgrad wird hier bei der tiefsten Spannung erreicht.



**Bild 5:**

Totaler Wirkungsgrad  $\eta_{tot}$  bei drei verschiedenen MPP-Spannungen bei einem traflosen Solarmax 2000 E. Dieses Gerät hat bei höheren DC-Spannungen den höchsten Wirkungsgrad. Wegen leichten MPP-Tracking-Problemen ist der totale Wirkungsgrad bei 420 V im Teillastbereich etwas geringer.



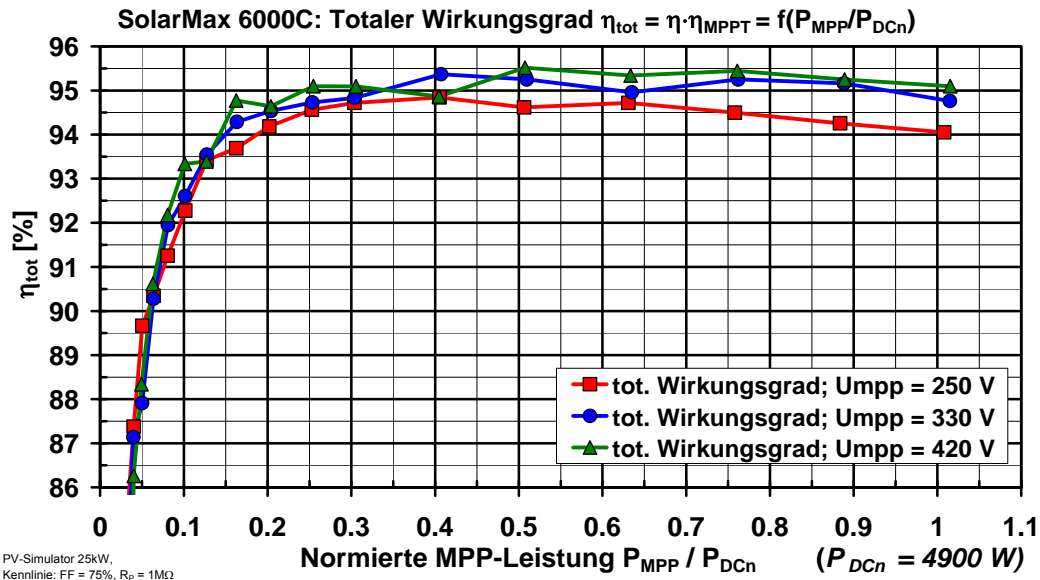
**Bild 6:**

Totale Wirkungsgrade  $\eta_{tot}$  bei drei verschiedenen MPP-Spannungen bei einem dreiphasigen Solarmax 25C mit 50 Hz-Trafo. Dieses Gerät hat bei tiefen DC-Spannungen den höchsten totalen Wirkungsgrad. Das sehr gute MPP-Tracking bei hoher Leistung und hoher Spannung macht den dort leicht schlechteren Umwandlungswirkungsgrad gegenüber der mittleren Spannungsstufe praktisch wett. Insgesamt hängt der totale Wirkungsgrad bei diesem Gerät nur relativ wenig von der DC-Spannung ab.

**Hinweis:** Wegen der Strombegrenzung auf 40 A des 25 kW-Solargenerator-Simulators kann die DC-seitige Nennleistung bei diesem Gerät mit  $P_{ACn} = 25\text{ kW}$  nicht ganz erreicht werden.

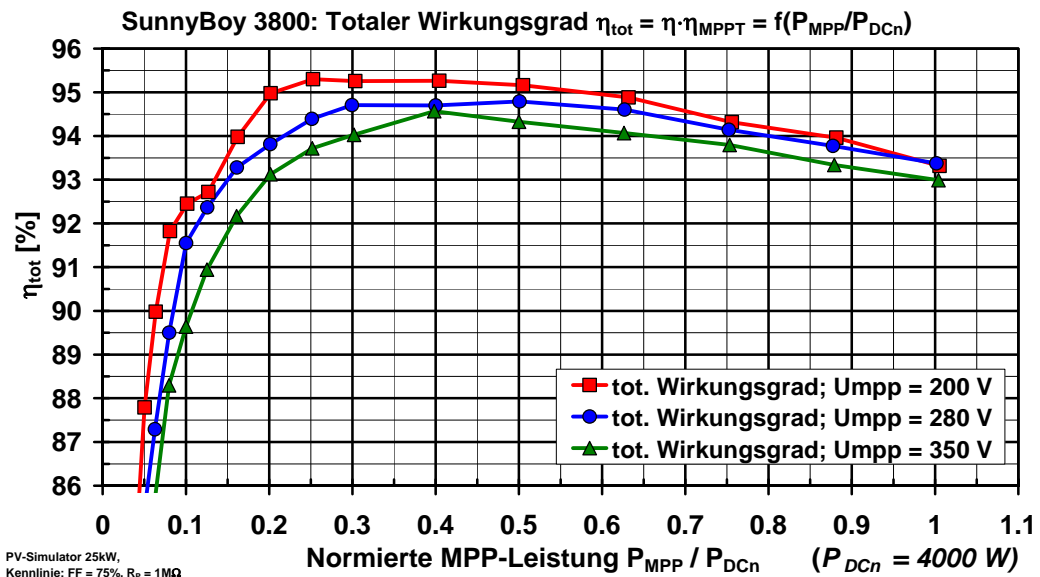
Im Dezember 2005 konnte das PV-Labor der HTI ein neues 4-kanaliges Wattmeter in Betrieb nehmen, das gegenüber den für frühere Messungen verwendeten Geräten nochmals eine höhere Genauigkeit aufweist. Vergleichsmessungen an bereits früher gemessenen Wechselrichtern haben gezeigt, dass mit diesem Wattmeter bei mittleren und höheren Leistungen im Mittel ein um etwa 0,2% höherer Umwandlungswirkungsgrad  $\eta$  gemessen wird, was auch eine entsprechende Erhöhung des Euro- $\eta$  zur Folge hat. In der Tabelle 1 sind mit dem neuen Wattmeter gemessene Geräte mit einem \* bezeichnet.

Gegenüber den in den Bildern 1 - 6 gezeigten Messungen wurden die Wirkungsgradmessungen bei den Bildern 7 und 8 mit diesem neuen Wattmeter durchgeführt.



**Bild 7:**

Totaler Wirkungsgrade  $\eta_{tot}$  bei drei verschiedenen MPP-Spannungen bei einem traflosen Solarmax 6000 C. Dieses Gerät hat bei höheren DC-Spannungen den höchsten Wirkungsgrad.



**Bild 8:**

Totaler Wirkungsgrad  $\eta_{tot}$  bei drei verschiedenen MPP-Spannungen bei einem SB3800 von SMA mit 50 Hz-Trafo. Auch der SB3800 hat einen für ein Gerät mit Trafo sehr hohen Wirkungsgrad, der bei höheren Leistungen zudem nur relativ wenig von der DC-Spannung abhängig ist. Der höchste Wirkungsgrad wird hier bei der tiefsten Spannung erreicht.

#### 4. Schlussbemerkungen

Gegenüber den in [2] angegebenen gemessenen Wirkungsgraden älterer Wechselrichter konnte bei den Europäischen Wirkungsgraden bei Wechselrichtern gleicher Technologie nochmals eine Steigerung um 1 – 2 % erreicht werden. Besonders auffällig ist, dass die besten Wechselrichter mit Trafo nur noch deutlich weniger als ein Prozent unter den besten traflosen Geräten liegen. Das Prinzip der Messung des dynamischen MPP-Tracking-Wirkungsgrades und Beispiele von entsprechenden praktischen Messungen an einigen Wechselrichtern sind in einem separaten Beitrag dargestellt [3].

*Detaillierte Testberichte zu diesen Geräten sind unter [www.pvtest.ch](http://www.pvtest.ch) > Wechselrichter-Testberichte zu finden. Weitere Geräte sind noch im Test.*

#### Hinweis

Bei den in diesem Bericht beschriebenen Messungen wurde mit grosser Sorgfalt vorgegangen. Weil Fehler jedoch nie ausgeschlossen werden können, lehnen wir aber jede Haftung im juristischen Sinn für die Richtigkeit und Vollständigkeit der im Bericht enthaltenen Angaben ab.

#### Verdankungen

Die in diesem Bericht beschriebenen Arbeiten wurden im Rahmen mehrerer Aufträge des Bundesamtes für Energie (BFE) durchgeführt. Die Aktivitäten der HTI Burgdorf auf dem Gebiet der Photovoltaik werden auch von der Localnet AG, Burgdorf unterstützt. All diesen Firmen und Institutionen, die durch ihre Zuwendungen diese Arbeiten ermöglicht haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

#### Literatur

- [1] H. Häberlin, L. Borgna, M. Kämpfer und U. Zwahlen: "Totaler Wirkungsgrad – ein neuer Begriff zur besseren Charakterisierung von Wechselrichtern". 20. Symp. Photovoltaik, Staffelstein, 2005.
- [2] H. Häberlin: "Entwicklung der Photovoltaik-Wechselrichter für Netzverbundanlagen 1989 - 2000". 16. Symposium Photovoltaik, Staffelstein, 2001.
- [3] H. Häberlin, M. Kämpfer und U. Zwahlen: "Messung des dynamischen MPP-Tracking-Wirkungsgrades bei Netzverbund-Wechselrichtern". 21. Symp. Photovoltaik, Staffelstein, 2006.

Informationen über weitere Aktivitäten des Photovoltaik-Labors der HTI in Burgdorf und weitere Publikationen (teilweise Online) sind unter <http://www.pvtest.ch> zu finden.

## **New Tests at Grid-Connected PV Inverters: Overview over Test Results and measured Total Efficiencies $\eta_{tot}$**

H. Haeberlin, M. Kaempfer, U. Zwahlen, HTI Burgdorf, PV Laboratory, CH-3400 Burgdorf/Switzerland

#### Abstract

In 2005, a new quantity called "total efficiency  $\eta_{tot}$ " was introduced in two contributions at Staffelstein and at the 20<sup>th</sup> EU PV conference in Barcelona.

Besides the two inverters used as examples, many inverters of different manufacturers were tested at HTI's PV laboratory in 2004 and 2005:

Sunways NT4000, Fronius IG30 and IG40, SMA SMC 6000, Sputnik SM2000E, SM3000E, SM6000C and SM25C. First test results of a SMA SB3800 are also available.

In this contribution, besides an overview of the test results, measured curves of total efficiency  $\eta_{tot}$  vs. offered MPP-power  $P_{MPP}$  for some of these inverters are shown.

*Extended test reports (in German) are available on the internet at the address indicated below.*

Further information about the research activities and publications in German and English (many of them can be downloaded) of the PV laboratory of HTI (former name: ISB) is available on the internet: <http://www.pvtest.ch>.