

Fotovoltaik-Wechselrichter im Vergleich

Tests an Sinus-Wechselrichtern für Fotovoltaik-Insulanlagen

In den letzten Jahren hat sich die Qualität der Sinuswechselrichter für Fotovoltaik-Insulanlagen deutlich verbessert. Wegen der zu hohen HF-Störspannungen ist einzig das Problem der elektromagnetischen Verträglichkeit bei den getesteten Wechselrichtern noch nicht gelöst. Wie bei den Netzverbund-Wechselrichtern kann dieses Problem auch bei Inselbetriebs-Wechselrichtern bei richtiger Geräteauslegung sicher gelöst werden.

H. Häberlin

Die HTA Burgdorf (vormals ISB) führt seit 1988 Tests von Wechselrichtern für netzgekoppelte Fotovoltaikanlagen durch [1, 2, 3]. Die seit 1993 in Betrieb stehende Testanlage von 60 kWp wurde in den letzten Jahren weiter ausgebaut und durch einen Teststand für Inselbetriebs-Wechselrichter bis zu einer Leistung von etwa 3,5 kW ergänzt. Damit wurden erstmals einige Inselwechselrichter getestet. In diesem Beitrag werden vorwiegend die Ergebnisse der Tests von zwei modernen Sinuswechselrichtern dargestellt. Ebenfalls getestet wurde zu Vergleichszwecken ein älterer, robuster Trapezwechselrichter.

Ein Inselwechselrichter hat die Aufgabe, ein nicht vorhandenes Wechselstromnetz möglichst gut zu ersetzen. Er erfüllt diese Aufgabe dann gut, wenn seine Ausgangsspannung auch unter Last möglichst die gleiche Qualität wie das Netz aufweist. Deshalb ist es sinnvoll, für die Beurteilung der Qualität der Ausgangsspannung die

entsprechenden Normen für die Netzseite anzuwenden.

An Inselbetriebs-Wechselrichtern werden teilweise andere Anforderungen gestellt

als an Wechselrichtern für Netzverbundbetrieb. Für beide Anwendungen wichtig sind ein hoher Wirkungsgrad (auch im Teillastbetrieb!) und geringe hochfrequente Emissionen auf der DC- und AC-

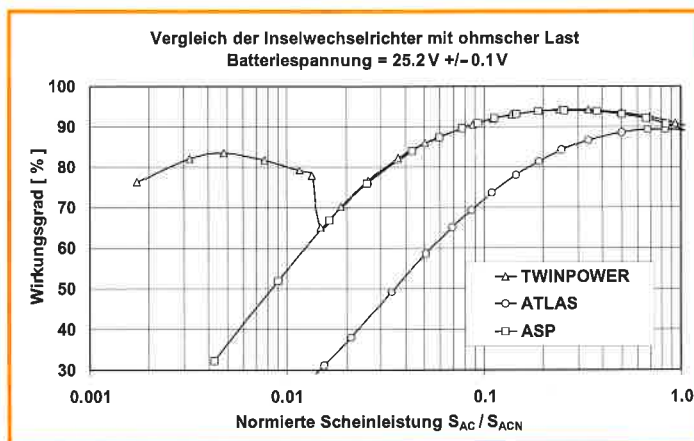


Bild 1 Vergleich des Wirkungsgrades der drei Inselwechselrichter: Der Twinpower SI 1224 verfügt über zwei verschieden grosse Trafos, die alternativ in Betrieb sind. Bei kleiner Belastung ist nur der kleine Trafo eingeschaltet. Auf Kosten einer

höheren Komplexität kann so bei kleinen Leistungen ein deutlich höherer Wirkungsgrad erzielt werden. Im oberen Leistungsbereich zeigen der Twin Power SI1224 und der Top Class 13/24 ein ähnliches Verhalten und sind dem älteren Trapez-Wechselrichter Atlas 24/1200 klar überlegen.

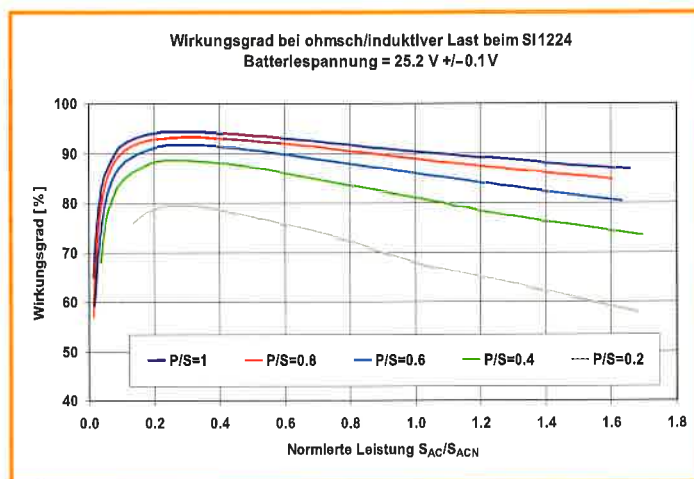


Bild 2 Wirkungsgrad eines Studer Twin Power SI1224 bei verschiedenen Werten des Leistungsfaktors $\cos \varphi = P/S$. Der Wechselrichter wurde hier im Betriebsmodus Lock gemessen, das heisst, das Gerät arbeitet nur mit dem grossen Trafo.

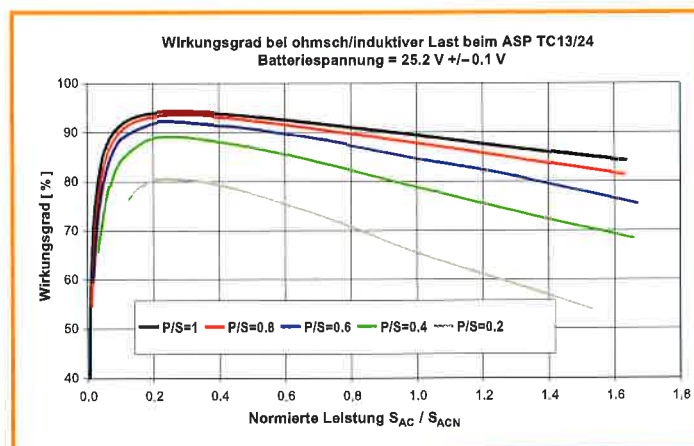


Bild 3 Wirkungsgrad eines ASP TC13/24 bei verschiedenen Werten des Leistungsfaktors $\cos \varphi = P/S$.

Seite. Um möglichst geringe Probleme mit allen Arten von angeschlossenen Verbrauchern zu haben, ist es zweckmässig, wenn die Ausgangsspannung möglichst sinusförmig ist. Wichtig ist auch die Fähigkeit, Lasten mit relativ kleinem $\cos \varphi$ zu betreiben, eine möglichst geringe Leistungsaufnahme im Leerlauf sowie eine grosse kurzzeitige Überlastbarkeit (um Lasten mit grossen Anlaufströmen starten zu können).

Getestete Inselbetriebs-Wechselrichter

- Twin Power SI 1224 (1,2 kW) von Studer
- Top Class 13/24 (1,3 kW) von ASP
- Atlas 1200/24 (Trapezwechselrichter 1,2 kW, nur zu Vergleichszwecken) von Victron

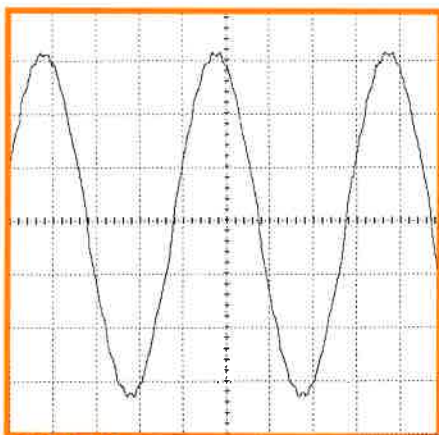


Bild 4 Ausgangsspannung eines TC13/24 bei einer ohmschen Last von 300 W. Die Sinuskurve zeigt noch ganz leichte Verzerrungen, die Kurvenform ist aber besser als in vielen Netzen. Beim SI1224 (aus Platzgründen hier nicht gezeigt) sind keine Abweichungen von der perfekten Sinusform mehr zu erkennen. Massstäbe: Vertikal 100 V/Div., horizontal 5 ms/Div.

Typ	Test-Jahr	S_N [kVA]	U_{DC} [V]	Europ. η [%]	Trafo	Sinusform	EMV AC	EMV DC	Überlastbetrieb	Po (LL) [W]
SI 1224	98/99	1,2	24	92,6	NF	++	-	-	++	0,6*/10
TC 13/24	98/99	1,2	24	92,3	NF	+	0	-	+	10

Tabelle 1 Überblick über die wichtigsten Daten und Testergebnisse der getesteten Sinuswechselrichter. Po = aufgenommene Leistung im Leerlauf (* mit aktivem kleinem Trafo beim SI1224).

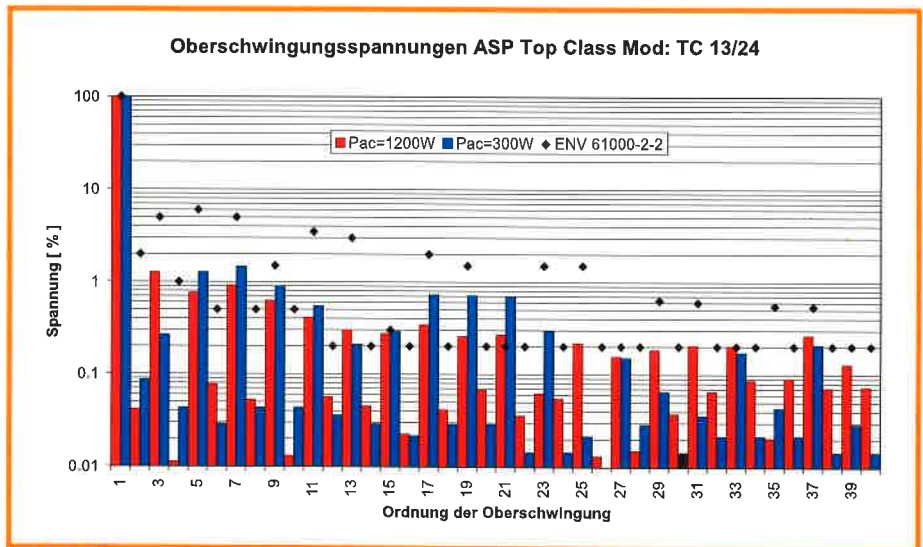


Bild 5 Oberschwingungsspannungen eines ASP TC13/24 bei verschiedener Belastung im Vergleich zu den Grenzwerten nach EN 61000-2-2. Trotz der noch knapp sichtbaren Verzerrungen der Sinusform liegen ausser bei $n = 21$ alle Werte unter den Grenzwerten, d. h., die Kurvenform hat praktisch Netzqualität.

Wichtigste Testergebnisse

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Daten und Testergebnisse der beiden getesteten Geräte dargestellt. Der darin angegebene europäische Wirkungsgrad stellt dabei bei Inselwechselrichtern nur einen groben Vergleichswert für den durchschnittlichen Wirkungsgrad des Wechselrichters bei verschiedenen Belastungen dar. Er wurde nach folgender Formel berechnet (angegebene Indexwerte = Prozent der Nennleistung, also z. B. η_5 = Wirkungsgrad bei 5% der Nennleistung):

$$\eta = 0,03 \eta_5 + 0,06 \eta_{10} + 0,13 \eta_{20} + 0,1 \eta_{30} + 0,48 \eta_{50} + 0,2 \eta_{100}$$

Wirkungsgrad

Die getesteten Sinuswechselrichter haben gegenüber dem Stand von 1990 deutliche Fortschritte gemacht. Der Wirkungsgrad und die Überlastbarkeit liegen nun in Bereichen, die früher guten Trapezwechselrichtern vorbehalten waren. Beide Geräte weisen Spitzenwirkungsgrade von über 94% auf. Bild 1 zeigt den Wirkungsgrad des SI1224, des TC13/24 und des Trapezwechselrichters Atlas 24/1200 in Funktion der normierten Leistung bei ohmscher Belastung im Vergleich.

Die meisten Verbraucher sind ohmsch/induktive Verbraucher. Bei $\cos \varphi < 1$ sinkt

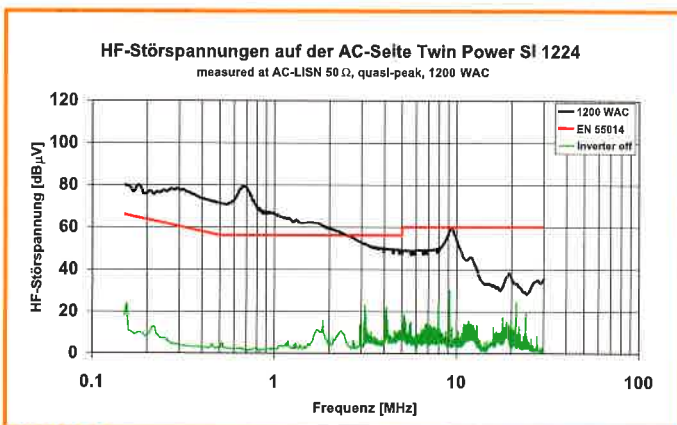


Bild 6 HF-Störspannungen, die der Twin Power SI1224 auf der AC-Seite produziert, im Vergleich zu den Grenzwerten nach EN 55014. Im Bereich unterhalb von 2,5 MHz werden die Grenzwerte deutlich überschritten.

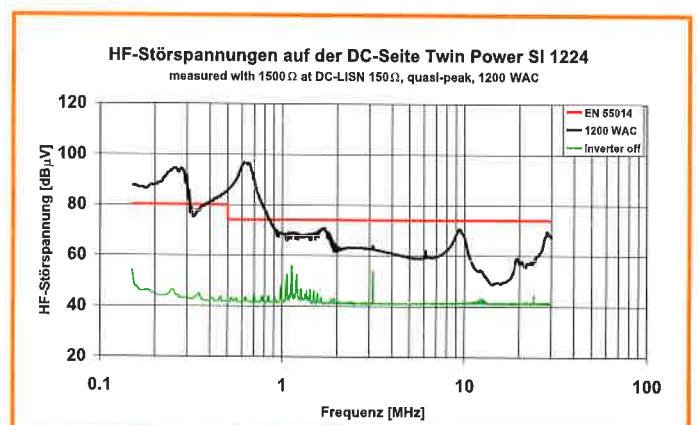


Bild 7 HF-Störspannungen, die der Twin Power SI1224 auf der DC-Seite produziert, im Vergleich zu den Grenzwerten nach EN 55014. Im Bereich unterhalb von 1 MHz werden die Grenzwerte deutlich überschritten.

der Wirkungsgrad natürlich, da sich die Ströme bei gleicher übertragener Wirkleistung (für Wirkungsgrad massgebend) erhöhen. Je kleiner der $\cos \varphi$ wird, desto markanter ist die Reduktion des Wirkungsgrades. Bild 2 zeigt den Wirkungsgrad in Funktion der (auf die Nennscheinleistung bezogenen) normierten Scheinleistung beim SI1224 bei verschiedenen $\cos \varphi$. Bild 3 zeigt die Ergebnisse der analogen Messungen beim TC13/24.

Sinusform und Oberschwingungsspannungen

Beide getesteten Wechselrichter sind selbstgeführt mit hochfrequenter Pulsbreitenmodulation. Wie Bild 4 zeigt, ist bereits beim TC13/24 die Sinusform sehr gut. Die gemessenen Oberschwingungsspannungen liegen unter den Grenzwerten von EN61000-2-2, welche die im Netz maximal zu erwartenden Spannungsüberschwingungen angibt. Die Ausgangsspannung hat somit bezüglich Oberschwingungen Netzqualität. Der SI1224 weist eine nahezu perfekte Sinusform auf, und die Werte der Oberschwingungsspannungen liegen noch tiefer.

Bild 4 zeigt die Ausgangsspannung eines TopClass 13/24 bei einer ohmschen Last von 300 W und Bild 5 das Spektrum der Oberschwingungsspannungen bei verschiedenen Belastungen im Vergleich zu den Grenzwerten von EN61000-2-2, welche die im Netz maximal zu erwartenden Oberschwingungsspannungen definiert.

Elektromagnetische Verträglichkeit

Bei den getesteten Inselwechselrichtern zeigten sich sowohl auf der AC-Seite als auch auf der DC-Seite noch Schwächen bezüglich des EMV-Verhaltens. Die Situation ist hier ähnlich wie vor einigen Jahren bei den Netzwechselrichtern, als sich einige Hersteller der EMV-Problematik noch nicht bewusst waren. Bevor eine zwingende Norm vorliegt, kümmern sich viele Hersteller zu wenig um die hochfrequenten Emissionen ihrer Geräte. Dabei ist an sich klar, dass Insel-Wechselrichter an einem isolierten Standort das Netz vollwertig ersetzen sollen. Dazu gehört aber ganz klar auch ein akzeptables EMV-Verhalten. Die Bilder 6 und 7 zeigen die HF-Störspannungen, die der Twin Power SI1224 auf der AC-, bzw. auf der DC-Seite produziert, im Vergleich zu den Grenzwerten nach EN 55014. Im Bereich unterhalb von 2,5

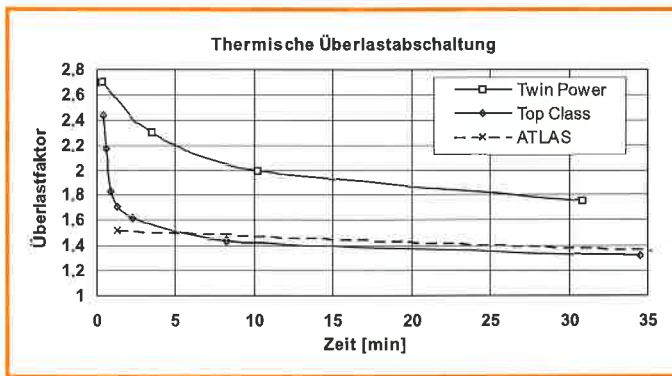


Bild 8
Mögliche Betriebszeit im Überlastbetrieb bei ohmscher Last in Funktion des Überlastfaktors S/S_{ACN} bei den drei Inselwechselrichtern SI1224, TC13/24 und Atlas 24/1200.

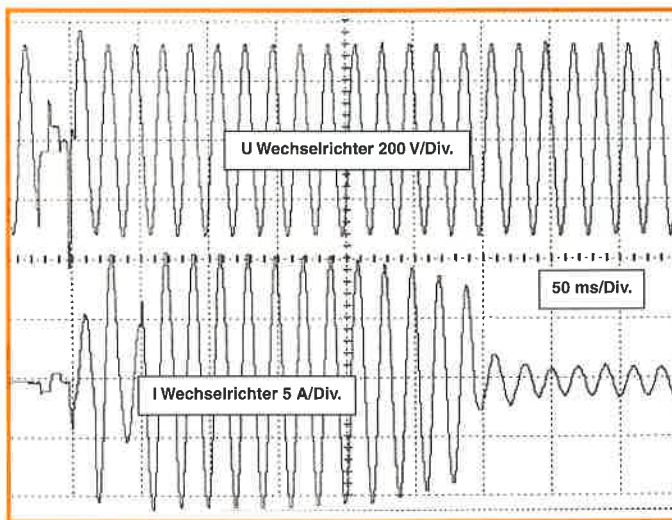


Bild 9
Einschalten eines 90 W Kompressor-Kühlschranks an einem leerlaufenden SI1224.

MHz bzw. 1 MHz werden die Grenzwerte deutlich überschritten.

Kurzzeitige Überlastbarkeit und transientes Verhalten

Bild 8 zeigt die mögliche Betriebszeit im Überlastbetrieb bei ohmscher Last in Funktion des Überlastfaktors S/S_{ACN} bei den drei Inselwechselrichtern SI1224, TC13/24 und Atlas 24/1200 und Bild 9 das Einschalten eines 90 W Kompressor-Kühlschranks an einem leerlaufenden SI1224. Die Ausgangsspannung bricht zunächst während etwa 30 ms beinahe total zusammen. Der Grund ist die Umschaltung auf den grossen Transformator. Danach ist die Ausgangsspannung bereits stabil. Der Kühlschrank zieht während des Anlaufvorganges von etwa 300 ms etwa den 9-fachen Nennstrom. Die während des Anlaufvorganges aufgenommene Scheinleistung beträgt etwa das 1,4-fache der Nenn-Scheinleistung. ET04

Prof. Dr. H. Häberlin
Berner Fachhochschule, Hochschule für Technik und Architektur (HTA) Burgdorf, Labor für Photovoltaik Jlcoweg 1, 3400 Burgdorf
Tel. 034/426 68 53
Fax 034/426 68 13
heinrich.haeblerlin@hta-bu.bfh.ch

In diesem Beitrag konnten aus Platzgründen nur einige Beispiele von interessanteren Testergebnissen gezeigt werden. Detaillierte Testresultate von beiden Wechselrichtern sind in [4] enthalten.

Informationen über weitere Aktivitäten des Photovoltaik-Labors der HTA Burgdorf und weitere Publikationen (teilweise online) sind unter <http://www.fhburg.ch/e/pv/pv-indd.htm> zu finden.

Verdankungen:

Der Autor dankt seinen ehemaligen Assistenten, Herrn J. Graf und Herrn L. Borgna, welche die meisten der dieser Arbeit zu Grunde liegenden Messungen durchgeführt haben, für ihre wertvollen Beiträge. Dank gebührt auch Herrn R. Fischer für die Durchführung der EMV-Messungen. Die in diesem Bericht beschriebenen Arbeiten wurden vom Bundesamt für Energie (BFE) finanziert. Die Aktivitäten der HTA Burgdorf auf dem Gebiet der Fotovoltaik wurden in den letzten Jahren auch von den IBB Burgdorf, dem PSEL und dem EWB unterstützt.

Literatur:

- [1] H. Häberlin, H.P. Nyffeler und D. Renevey: «Photovoltaik-Wechselrichter für Netzverbundanlagen im Vergleichstest». SEV/VSE-Bull. 10/1990.
- [2] H. Häberlin und H.R. Röthlisberger: «Neue Photovoltaik- Wechselrichter im Test». SEV/VSE-Bull. 10/1993.
- [3] H. Häberlin, F. Käser, Ch. Liebi und Ch. Beutler: «Resultate von neuen Leistungs- und Zuverlässigkeitstests an Wechselrichtern für Netzverbundanlagen». SEV/VSE-Bull. 10/1996.
- [4] J.D. Graf und H. Häberlin: «Qualitätssicherung von Photovoltaikanlagen». Schlussbericht des BFE-Projektes DIS 2744/61703, ENET Nr. 2000233.