

Resultate von neuen Leistungs- und Zuverlässigkeitstests an Wechselrichtern für Netzverbundanlagen

H. Häberlin, F. Käser, Ch. Liebi und Ch. Beutler

ISB Ingenieurschule Burgdorf, Labor für Photovoltaik, Jlcoweg 1, CH-3400 Burgdorf

Tel: ++41 / 34 23 68 11, Fax: ++41 / 34 23 68 13

(ab 9.Nov.96 : Tel: ++41 34 426 68 11)

1. Testprogramm

Die wichtigsten im Rahmen dieses Projekts untersuchten Eigenschaften waren DC-AC Umwandlungswirkungsgrad, Oberschwingungsströme, EMV-Verhalten, Selbstlauf und Rundsteuersignalempfindlichkeit. Mit der an der ISB entwickelten verfeinerten normierten Darstellung (separater Beitrag) kann auch die Qualität des MPP-Trackings beurteilt werden. Folgende Wechselrichter wurden während mindestens einem Jahr genau getestet:

- **SOLARMAX 20** (20kW, dreiphasig, galvanische Trennung DC-AC), von Sputnik AG.
- **ECOPOWER 20** (20kW, dreiphasig, keine galvanische Trennung DC-AC), von Invertomatic AG.
- **SOLCON 3400** (3.4kW, einphasig), von Hardmeier AG.
- **TOP CLASS 4000** (3.3kW, einphasig), von ASP AG.

Einige andere neue Inverter wurden ebenfalls kurz getestet, nämlich der **TOP CLASS 2500/4** und **2500/6** (2.2kW, einphasig), **SOLARMAX S** (3.4kW, einphasig, trafolos), **NEG 1600** (1.5kW, einphasig) und **Siemens SPN1000** (1kW, einphasig).

2. Wichtigste Testergebnisse

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Daten und Testergebnisse der getesteten Geräte dargestellt. Der in dieser Tabelle angegebene europäische Wirkungsgrad wurde nach folgender Formel berechnet (Indexwert = Prozent der Nennleistung):

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

2.1 Wirkungsgrad

Speziell der Teillastwirkungsgrad der getesteten Wechselrichter hat gegenüber früheren Geräten (z.B. SI-3000, PV-WR-1800) meist deutlich zugenommen. Bild 1, 2 und 3 zeigen die auf die Nennleistung normierten Wirkungsgradkurven. Für Wechselrichter mit galvanischer Trennung liegt der Spitzenwirkungsgrad zwischen 91.5% und 93%, der Europäische Wirkungsgrad zwischen 89.4% und 91.9%. Beim ECOPOWER 20 ohne galvanische Trennung beträgt der Spitzenwirkungsgrad 95% , der Europäische Wirkungsgrad 92.6%. Beim SOLARMAX 20 ist eine neue, verbesserte Version in Entwicklung, die gemäss ersten Tests an der ISB einen um gegen zwei Prozent höheren Wirkungsgrad aufweisen dürfte.

2.2 Oberschwingungen

Alle Wechselrichter sind selbstgeführt mit hochfrequenter Pulsbreitenmodulation. Deshalb liegen die Oberschwingungsströme meist unter den Grenzwerten der anwendbaren Normen (EN60555-2 resp. IEC1000-3-4). Nur wenn die Geräte nahezu bei Nennleistung betrieben werden, können diese Grenzwerte bei höheren Harmonischen (>25. Harmonische) leicht überschritten werden. Im praktischen Betrieb sollten deshalb keine Probleme mit Oberschwingungen auftreten, wenn die Netzimpedanz nicht ungewöhnlich hoch ist.

Typ	S _N	U _{DC}	Ein- schalt- leistung	1: 1- phasig 3: 3- phasig	ENS Netz- impedanz- über- wachung	Transfor- mator	Euro- Wirkungs- grad	Strom- Harmonische (<2kHz)	Selbst- lauf	Rund- steuer- signal- empfind- lichkeit	EMV AC	EMV DC	Geräusch- entwick- lung
	kVA	V	W _{DC}										
EcoPower20	20	760	450	3	keine	NF	92.6	0	0	++	0/+ ¹⁾	++	0
SolarMax20	20	560	283	3	keine	NF	89.4	0	++	++	+	-/0 ¹⁾	0
SPN1000	1.0	64	15	1	ja	NF	89.8	+	++	0	+	++	+
SolarMax S	3.3	550	66	1	keine	ohne	91.7	+	0/++ ⁴⁾	++	-/+ ¹⁾	+	+/- ³⁾
Solcon3400	3.4	96	25	1	keine	HF	91.9	0	++	+	0/+ ¹⁾	0	++
TCG 4000/6	3.3	96	26	1	keine	NF	90.2	0	++	++	+	-/++ ²⁾	+
TCG 2500/6	2.2	96	14	1	keine	NF	90.4	0	++	++	+	-	+
TCG 2500/4	2.2	64	15	1	keine	NF	91.9	0	++	++	+	0	+
NEG 1600	1.5	96	15	1	keine	NF	90.4	+	++	++	++	0	++

++ sehr gut, Norm mit Reserve erfüllt
 + gut, Norm erfüllt
 0 befriedigend, Norm beinahe erfüllt
 - mangelhaft, Norm nicht erfüllt
 - - ungenügend, Norm bei weitem nicht erfüllt

1) Nach der Modifikation durch die ISB
 2) mit optionaler DC-Ringkern-Drossel
 3) mit Taktfrequenz 9kHz
 4) mit neuer Software

Tabelle 1: Wichtigste Daten und Testergebnisse

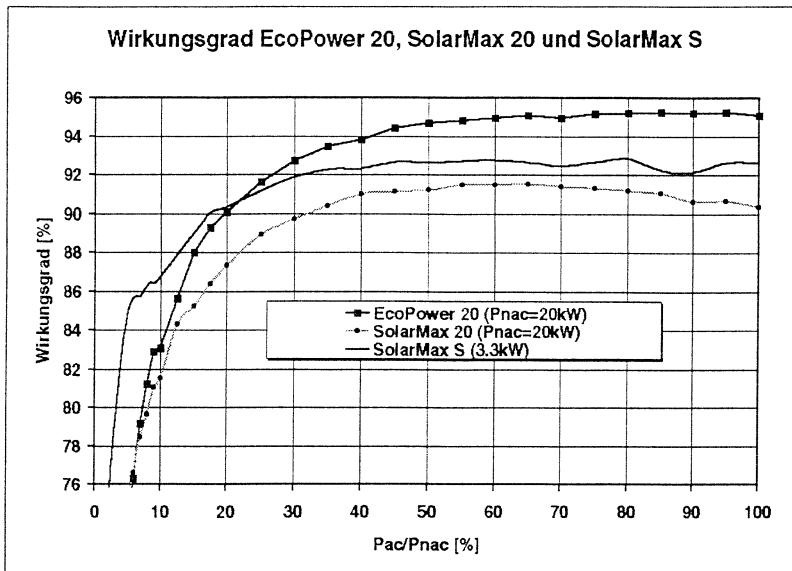


Bild 1: Wirkungsgrad in Funktion der normierten (bezogen auf die Nennleistung) AC-Leistung der dreiphasigen Wechselrichter **ECOPOWER 20** (20 kW, mit Spartrafo ohne galvanische Trennung) und **SOLARMAX 20** (20 kW, mit Trafo zur galvanischen Trennung) sowie des einphasigen Wechselrichters **SOLARMAX S** (3.3 kW, trafolos).

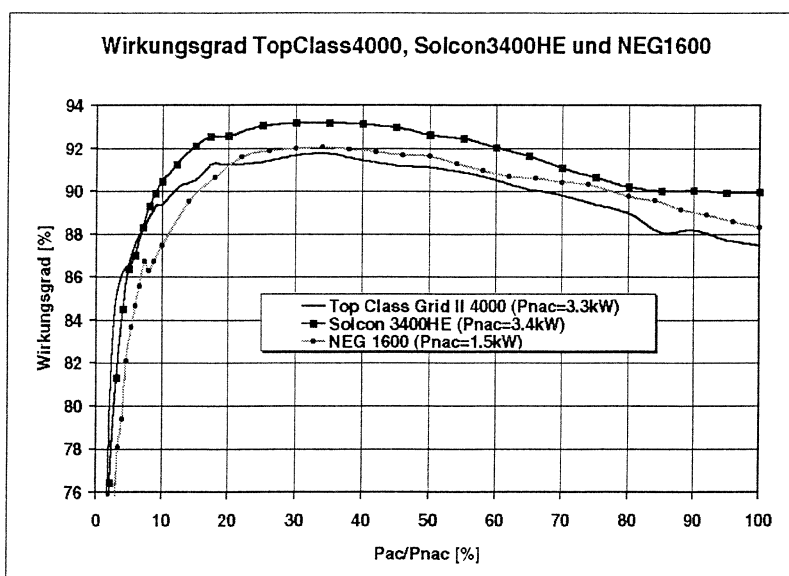


Bild 2: Wirkungsgrad in Funktion der normierten (bezogen auf die Nennleistung) Wechselstromleistung der einphasigen Wechselrichter **TOP CLASS 4000** (3.3 kW), **SOLCON 3400** (3.4 kW) und **NEG 1600** (1.5 kW).

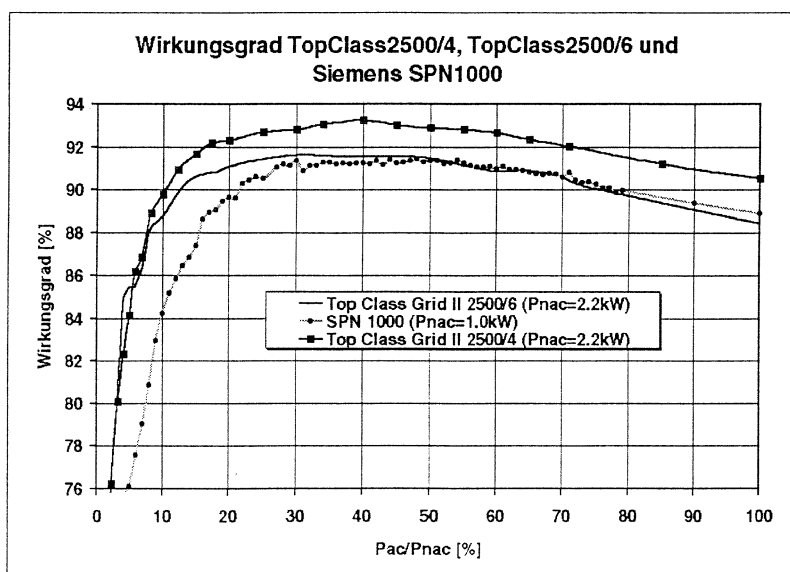


Bild 3: Wirkungsgrad in Funktion der normierten (bezogen auf die Nennleistung) Wechselstromleistung der einphasigen Wechselrichter **TOP CLASS 2500/4 und 2500/6** (je 2.2 kW) und **Siemens SPN1000** (1 kW). Der Wirkungsgrad des TOP CLASS 2500/4 für 4 Module in Serie ist etwas höher als beim TOP CLASS 2500/6 für 6 Module in Serie.

2.3 Selbstlauf

Selbstgeführte Wechselrichter haben prinzipiell eine gewisse Tendenz zum Selbstlauf nach einem Netzausfall. Dies muss aus Sicherheitsgründen vermieden werden. Für die Durchführung des Selbstlauf-tests wird in Deutschland neuerdings die Überwachung der Netzimpedanz und eine relativ komplizierte Testschaltung vorgeschlagen [1]. Mit etwas Netzwerktheorie kann man diese Schaltung in eine einfachere, äquivalente Schaltung umwandeln, die viel leichter zu handhaben ist (siehe Bild 4).

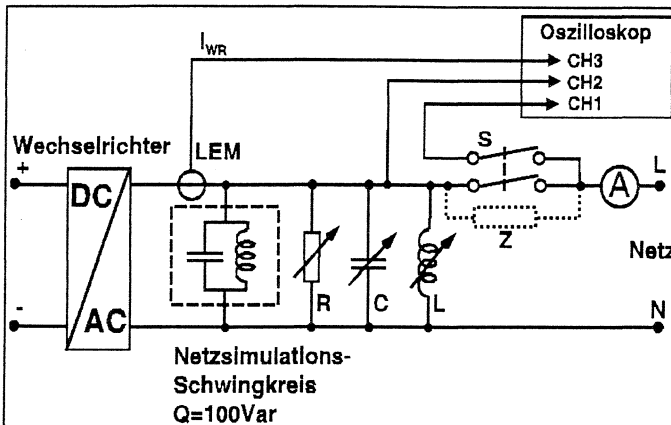


Bild 4: Einfache Testschaltung für Selbstlauf-test

Die Elemente R, C und L werden so abgeglichen, dass die Anzeige des Amperemeters A minimal ist, danach wird der Schalter S geöffnet. CH1 dient zur Feststellung des Schaltzeitpunktes. Für den Test nach der aktuellen Schweizer Vorschrift wird $Z = \infty$ gesetzt. Für den Test nach dem neuen BRD-Vorschlag wird Z so gewählt, dass sich zusammen mit der zwischen L und N vorhandenen Netzimpedanz die für den Test erforderliche Gesamtimpedanz ergibt. Nach 5 Sekunden muss der Wechselrichterstrom (CH3) jeweils 0 sein.

Beim Test nach der aktuellen Schweizer Vorschrift hatte bei den kleineren Wechselrichtern nur der SOLARMAX S ein anfängliches Selbstlaufproblem unter speziellen Betriebsbedingungen (beim Betrieb mit angepasster Last), das nur bei kleinen Leistungen auftrat. Es konnte durch eine Softwareänderung rasch behoben werden. Bei den grossen Wechselrichtern trat beim SOLARMAX 20 kein Selbstlauf auf. Beim ECOPOWER 20 kann dagegen bei grösseren Leistungen (>14kW) beim Betrieb mit angepasster Last ab und zu Selbstlauf auftreten. Der SPN 1000 bestand auch den Selbstlauf-test nach BRD-Vorschlag.

2.4 Empfindlichkeit gegen Rundsteuersignale

Alle Wechselrichter wurden mit einem Rundsteuersignal-Simulator mit simulierten Rundsteuersignalen verschiedener Frequenzen getestet. Obwohl hohe Spannungen (bis zu 18V) verwendet wurden, traten höchstens kurzzeitige Abschaltungen, aber keine Wechselrichter-defekte mehr auf.

2.5 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Verglichen mit früheren Geräten haben die hochfrequenten Störspannungen auf der AC-Seite beträchtlich abgenommen und liegen nun meist deutlich unter den massgebenden Normen (z.B. EN55014 resp. EN50081). Bei einigen Geräten sind die HF-Störspannungen auf der DC-Seite aber immer noch zu hoch. Niedrige HF-Störspannungen auch auf der Gleichstromseite sind nicht nur zur Verhinderung von Störungen benachbarter elektronischer Geräte oder Radios nötig, sondern auch um die Anwendung neuer Sicherheitseinrichtungen auf der Gleichstromseite (Lichtbogendetektor) zu ermöglichen.

Bei Geräten, bei denen die Grenzwerte überschritten wurden, wurden die HF-Störspannungen in Zusammenarbeit mit dem Hersteller durch zusätzliche Filtermassnahmen weiter reduziert. Die so erzielten Verbesserungen sind ebenfalls dargestellt. Der NEG 1600 wies auf der Netzseite ein externes Zusatzfilter auf, das dazu beigetragen hat, dass die Resultate auf der AC-Seite so gut sind. Bild 5 bis 8 zeigen die Messergebnisse bei einigen Geräten. Bei neuen TOP CLASS Geräten wird das für die verbesserte Kurve in Bild 7 verwendete Zusatzfilter nach Herstellerangaben nun bei allen Geräten *serienmässig* eingebaut.

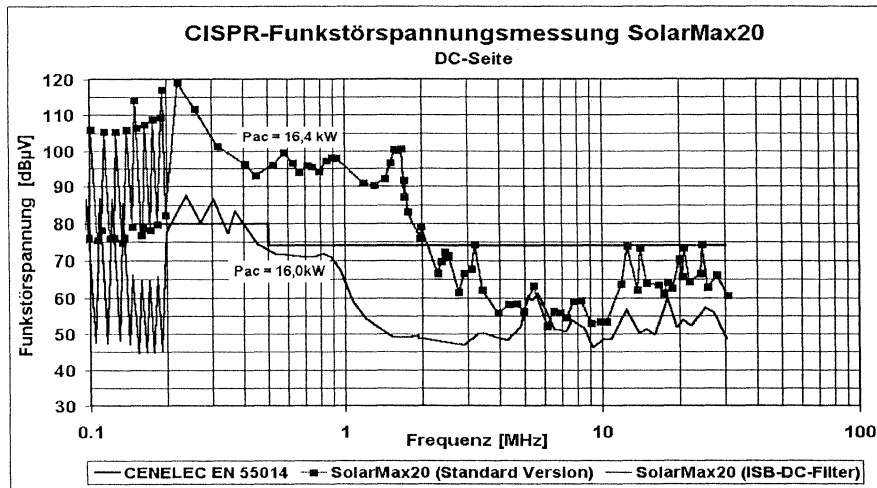


Bild 5: Von einem SOLARMAX 20 auf der DC-Seite produzierte HF-Störspannungen

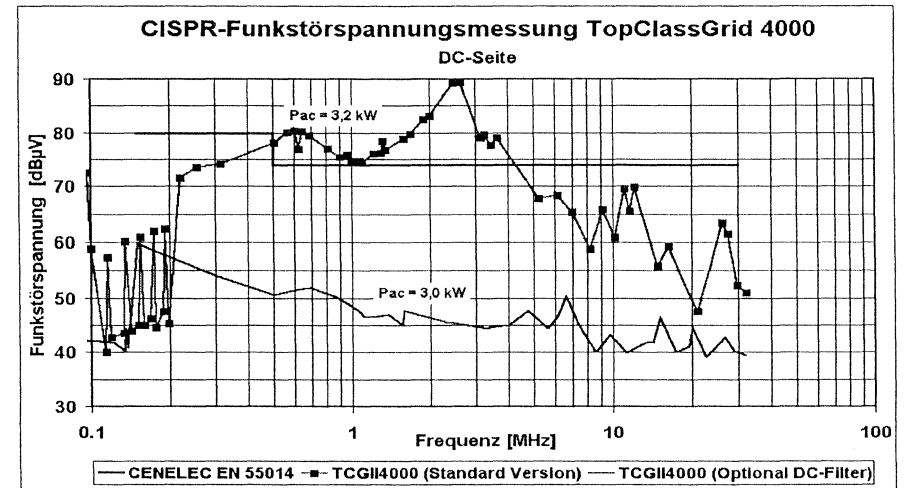


Bild 7: Von einem TOP CLASS 4000 auf der DC-Seite produzierte HF-Störspannungen

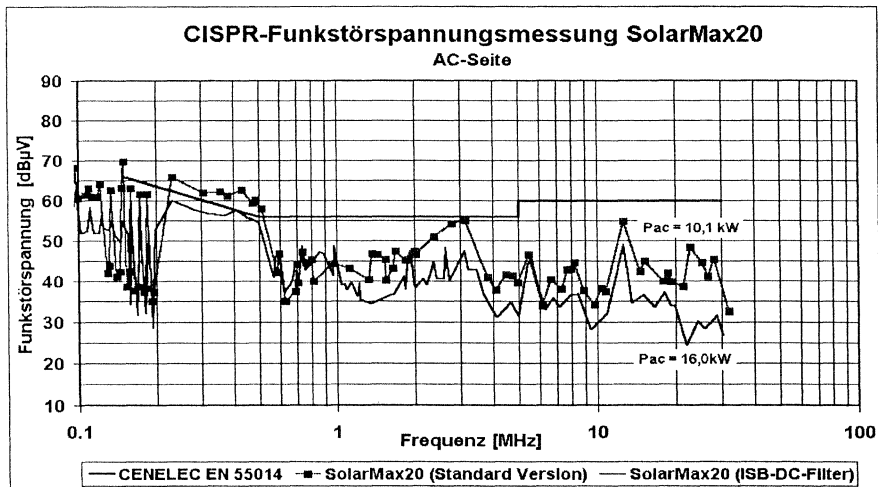


Bild 6: Von einem SOLARMAX 20 auf der AC-Seite produzierte HF-Störspannungen

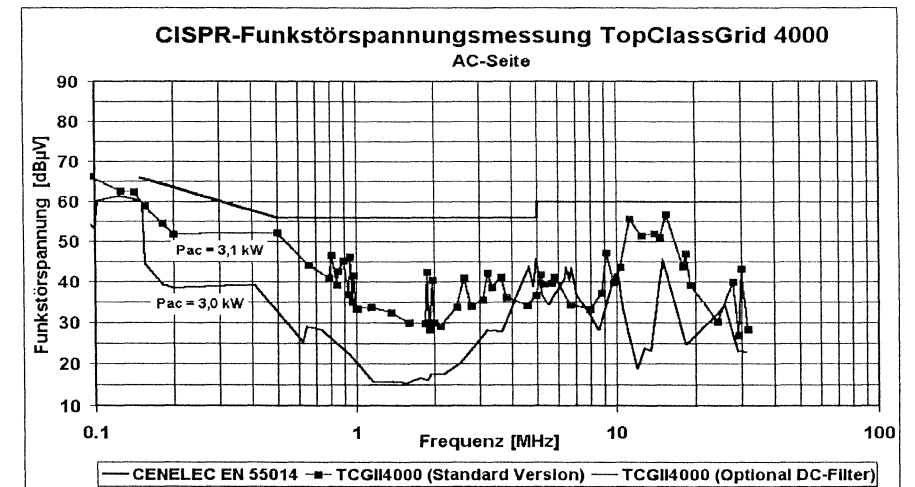


Bild 8: Von einem TOP CLASS 4000 auf der AC-Seite produzierte HF-Störspannungen

3. Zuverlässigkeit

Im Rahmen eines anderen Projektes konnten Daten über die Langzeit-Zuverlässigkeit gewonnen werden. An zwei Standorten verursachten ungewöhnlich starke Transienten auf dem Netz einige Ausfälle, bevor die Geräte erfolgreich dagegen immunisiert werden konnten. Unter normalen Netzverhältnissen wäre die Zuverlässigkeit deutlich höher gewesen. Die Testergebnisse zeigten, dass die Energieproduktion nicht nur durch Hardwaredefekte, sondern auch durch sporadische Wechselrichter-Fehlfunktionen beeinträchtigt werden kann. Tabelle 2 zeigt die beobachteten Hardwaredefekte in verschiedenen Jahren. Am Test beteiligt waren 23 Geräte (4 PV-WR 1800, 4 SOLARMAX S, 3 SOLCON 3400, 3 TOP CLASS 4000, 2 TOP CLASS 3000 und je ein PV-WR 1500, SOLCON 3300, TOP CLASS 1800, TOP CLASS 2500/6, ECOPOWER 20, SOLARMAX 15 und SOLARMAX 20).

Wechselrichter	Betriebsmonate	Hardwaredefekte pro Jahr				HW-Defekte total	HW-Defekte pro WR-Betriebsjahr
		92	93	94	95		
PVWR 1500	41	0	0	0	0	0	0.0
PVWR 1800 (4x)	160	0	3	5	4	12	0.9
Solcon 3300	43	0	0	0	0	0	0.0
Solcon 3400HE	79	1	1	4	0	6	0.9
Solarmax S	36	0	0	0	0	0	0.0
TopClass 1800	26	0	0	0	0	0	0.0
TopClass 2500/6	20	0	0	0	0	0	0.0
TopClass 3000	72	1	2	1	1	5	0.8
TopClass 4000/6	59	0	0	0	2	2	0.4
Solarmax 15	8	0	0	0	0	0	0.0
SolarMax20	24	0	0	1	0	1	0.5
EcoPower20	23	0	0	5	0	5	2.6
Total	591	2	6	16	7	31	0.6

Tabelle 2: Bei verschiedenen Wechselrichtertypen beobachtete Hardwaredefekte

Wichtige Hinweise

Aus Platzgründen konnte nur eine kleine Auswahl aus den vielen Testergebnissen gegeben werden und es mussten viele ebenfalls interessante Resultate weggelassen werden. Weitere Informationen sind in [2] zu finden. Eine ausführlichere Publikation ist in Vorbereitung. Bei den in diesem Bericht beschriebenen Messungen wurde sorgfältig 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 vom Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) finanziert. Die Aktivitäten der ISB auf dem Gebiet der Photovoltaik wurden auch von den IBB Burgdorf, der BKW Energie AG und dem EWB unterstützt.

Literatur

- [1] U. Lappe: "Selbsttätige Freischaltstelle für Eigenerzeugungsanlagen bis 4.6 kVA bzw. bei PV-Anlagen bis 5 kWp..." . 10. Symposium PV-Solarenergie, Staffelstein 1995.
- [2] H. Haeberlin, F. Kaeser, Ch. Liebi and Ch. Beutler: "Results of Recent Performance and Reliability Tests of the most Popular Inverters...". Proc. 13th EU PV Conf. Nice 1995