

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 99 (2008)
Heft: 8

Artikel: Wirkungsgrad kleiner Netzverbundsystem
Autor: Kröni, Valerie / Durisch, Wilhelm / Ebers, Siegfried
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855851>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 13.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wirkungsgrad kleiner Netzverbundsysteme

Im Paul Scherrer Institut befindet sich eine Messanlage (siehe Bild 1) zur Untersuchung kleiner Netzverbundsysteme. Es werden gleichzeitig drei Modularrays in Kombination mit je einem Netzinverter getestet. Im folgenden Artikel werden die Ergebnisse sehr sonniger und wolkenloser Tage dargestellt. Der Vergleich dieser Ergebnisse soll einen Überblick über die Wirkungsgrade der einzelnen Zellentypen, Inverter und Systemkombinationen geben und zur Wahl technisch-ökonomisch optimaler Systeme dienen.

Die Messgeräte werden über einen GPIB-Bus mit LabView angesteuert, die Messwerte eingelesen und grafisch dargestellt.

Valerie Kröni, Wilhelm Durisch,
Siegfried Ebers

Die im Einsatz befindlichen Messgeräte entsprechen einer sehr hohen Genauigkeitsklasse. Die Messung erfolgt kontinuierlich und wird im Minutentakt dargestellt. Alle Messwerte werden als Excel-Datei zur späteren Auswertung abgespeichert. Diese Messdaten bilden die Grundlage für die folgenden Vergleiche.

Aus dem Zellenwirkungsgrad und der Modulfläche lässt sich der Modulwirkungsgrad bestimmen. Damit der Vergleich der verschiedenen Zellentypen möglichst korrekt ist, wurden Temperaturkorrekturen entsprechend früher gemessenen Temperaturkoeffizienten des Wirkungsgrades vorgenommen (ausser beim Vitovolt-300-Modul, wo die TK-Messung noch ansteht). Bei monokristallinen Siliciummodulen beträgt die Wirkungsgradzunahme rund 0,6

Prozentpunkte pro 10 °C Temperaturerniedrigung. Bei polykristallinen Zellen beträgt der Temperaturkoeffizient rund 0,5%/10 °C. Zum besseren Vergleich der einzelnen Zellenwirkungsgrade wurden sie entsprechend ihrer Temperaturkoeffizienten auf die Temperatur von 50 °C des Referenzmoduls umgerechnet. Dadurch wird ein praxisnaher Vergleich der Zellenwirkungsgrade ermöglicht.

Aufbau des Messsystems

Der Aufbau des Messsystems ist in Bild 2 dargestellt. Die globale Einstrahlung in der Modulebene wird mittels sechs Pyranometern (Mittelwert) bestimmt, die Temperatur des Referenzmoduls mit einem Pt-100-Fühler. Zur Messung der elektrischen Größen der einzelnen Modularrays und Inverter dienen hochqualitative Power-Analyser (Grundgenauigkeit 0,05% rel.). Sie werden von einem Notebook mit Labview via GPIB-Bus angesteuert und liefern die Messdaten für Auswertungen und Anzeige im Internet.



Bild 1 Messanlagen.

Messergebnisse und Auswertungen

Die Messanlage wurde im Jahr 2001 in Betrieb genommen. Die ersten drei getesteten Systeme waren Einstein (Modul: Siemens SM55; Inverter: Einstein LEC), GridPanel (Modul: Kyocera LA721G1025; Inverter: Sunmaster 130S-V3) und Megalino (Modul: SBS AR96171075; Inverter: Edisun).

Zur Auswertung wurden Tage ausgewählt, an denen am Mittag ungefähr eine Einstrahlung von 1000 W/m² herrschte.

In den Tabellen I und II sind die Daten angegeben, an welchen die Messungen an den einzelnen Produkten ausgewertet wurden:

Inverter	
StecaGrid 500:	15. 07. 2007
Soladin 600:	11. 06. 2006
Soladin 120:	05. 09. 2004
StecaGrid 300:	14. 03. 2007
Dorf-Müller 250/35:	26. 03. 2007
Gridfit 250:	26. 03. 2007
Edisun:	30. 05. 2002
Einstein LEC:	30. 05. 2002
Sunmaster:	30. 05. 2002

Tabelle I Inverter.

Solarmodule	
Sanyo HIP-205NH1:	24. 09. 2007
Sanyo HIP-215-NHE-5:	24. 02. 2008
SunPower SP72 black:	24. 09. 2007
Kyocera KC125GHT-2:	26. 03. 2007
BP Solar BP 5170:	26. 03. 2007
Sharp C 160 P:	11. 06. 2006
SBS AR96171075:	30. 05. 2002
Viessmann Vitovolt 300:	30. 05. 2002
Siemens SM 55:	30. 05. 2002
Kyocera LA721G1025:	05. 09. 2004

Tabelle II Solarmodule.

Ergebnisse Wechselrichter

In den Abbildungen 3 und 4 sind die Wirkungsgrade der getesteten Inverter in Abhängigkeit der Ausgangsleistung dargestellt. Die beiden neueren Inverter von StecaGrid weisen über einen weiten Leistungsbereich Wirkungsgrade zwischen 93 und 95% auf.

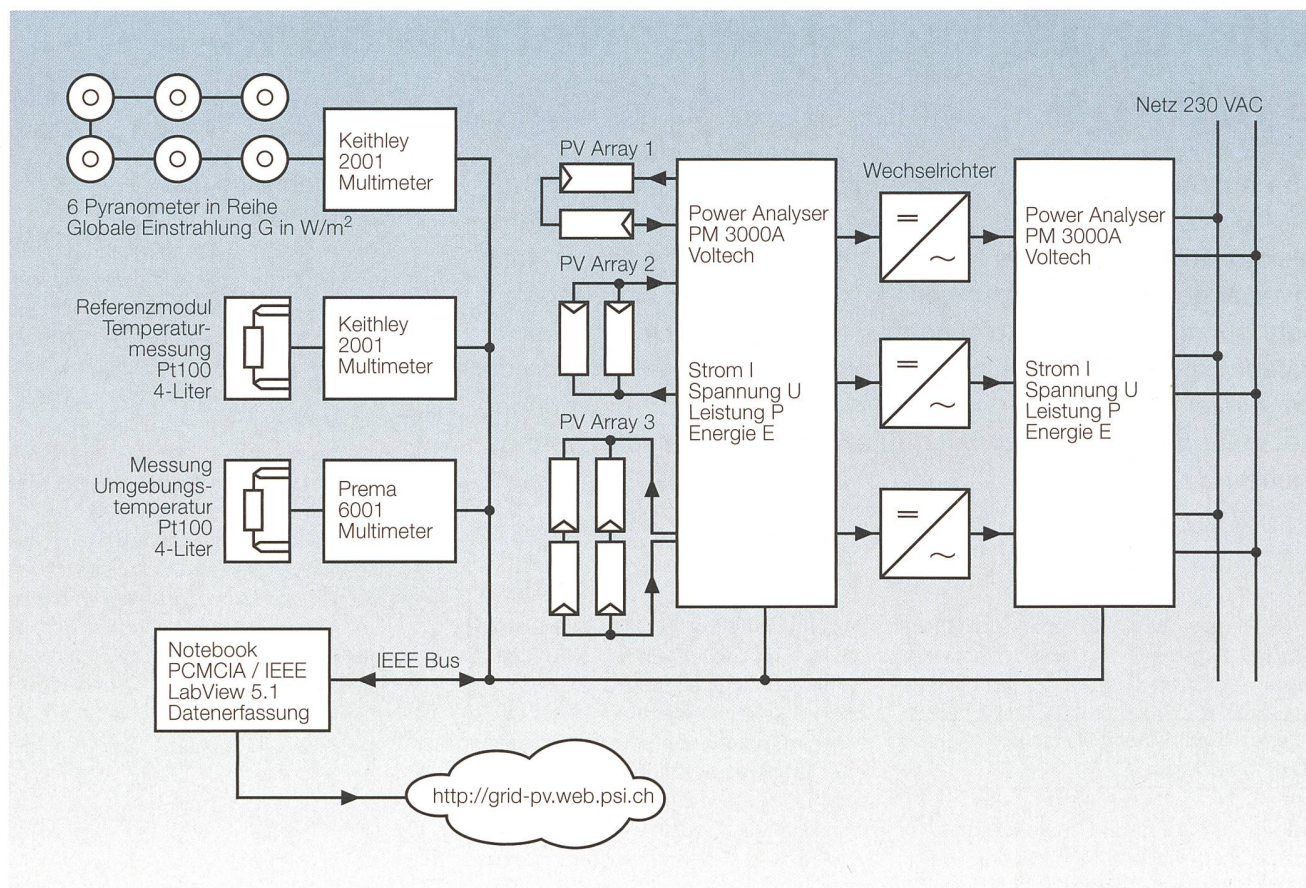


Bild 2 Messsystemaufbau des On-Grid-Systems.

Der Edisun-Inverter hat trotz seines technischen Alters einen hohen Wirkungsgrad bis über 90%.

Der Einstein LEC kommt auf max. 89% Wirkungsgrad, wobei dieser bei höherer Ausgangsleistung stark sinkt (Trafoinverter).

Der Soladin 600 weist einen welligen Verlauf des mpp-Stroms auf und die mpp-Spannung schwankt stark (siehe Bild 5). Des Weiteren steigt die Wirkungsgradkurve recht flach an (siehe Bild 3 und 4).

Der Soladin 120 erreicht einen Wirkungsgrad von maximal 91,8%. Im Vergleich zum

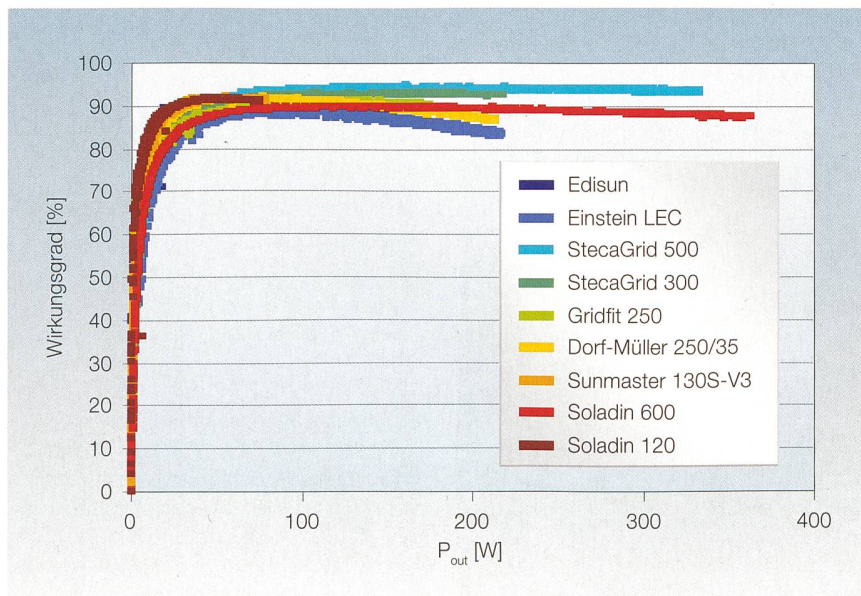


Bild 3 Wirkungsgrade der getesteten Inverter.

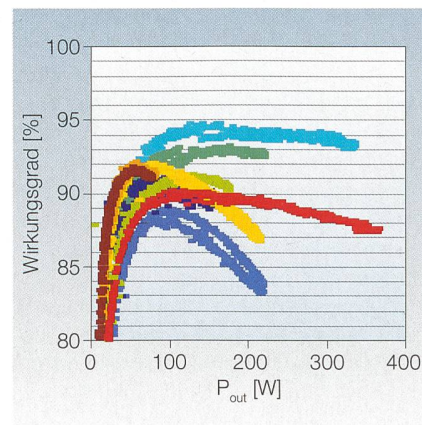


Bild 4 Wirkungsgrade der getesteten Inverter.

Soladin 600 zeigt dieser einen deutlich steileren Anstieg des Wirkungsgradverlaufs bei tiefen Leistungswerten und insgesamt einen etwas besseren Wirkungsgradverlauf.

Der Sunmaster 130S-V3 ist mit dem Soladin 120 vergleichbar.

Der StecaGrid 300 hat in unserem Vergleich am besten abgeschnitten. Der Wirkungsgrad steigt relativ steil an und bleibt auf hohem Niveau praktisch konstant. Es wurde ein maximaler Wirkungsgrad von 93,5% gemessen.

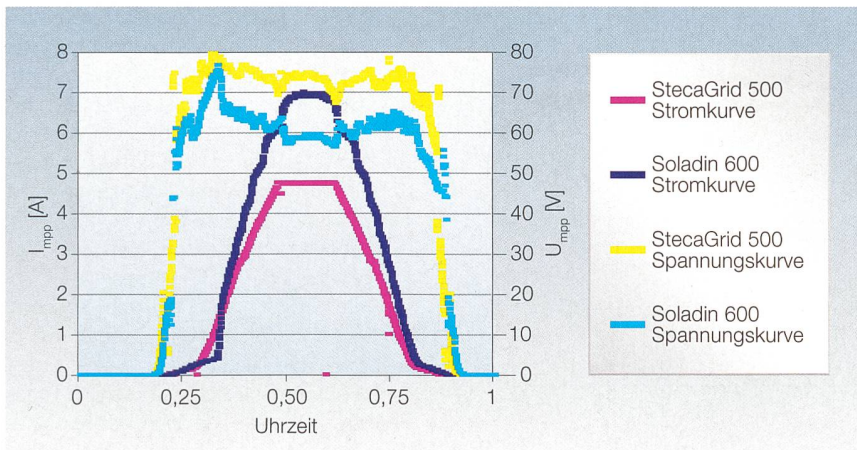


Bild 5 Strom- und Spannungskurve des StecaGrid 500 und des Soladin 600 an einem wolkenlosen Tag.

Noch besser abgeschnitten hat der StecaGrid 500. Sein Wirkungsgrad steigt relativ steil an und der maximale Wirkungsgrad beträgt knapp 95%. Allerdings wird seine Strombegrenzung schon bei 4,85 A aktiv, anstatt erst bei 5 A (siehe Bild 5). Beim StecaGrid 500 haben wir überdimensionierte Module angeschlossen. Der Inverter kommt damit sehr gut klar, da dieser, anstatt am Mittag bei voller Einstrahlung abzuschalten, einfach mit der Spannung hochfährt und somit nicht überlastet wird (deshalb die Erhöhung in der Spannung in Bild 5).

Der Wirkungsgrad des Dorf-Müller 250/35 Inverters steigt auch steil an, sinkt dann aber bei höheren Leistungen wieder (Trafoinverter).

Der Gridfit erreicht max. 91,3% Wirkungsgrad, jedoch steigt sein Wirkungsgrad bei tiefer Leistung langsam an (wie Soladin 600).

Zusammenfassend kann man Folgendes sagen: Diejenigen Inverter, welche mit einem Transformator ausgestattet sind, haben einen stärker gekrümmten Wirkungsgradverlauf mit einer deutlich schlechteren Performance des Wirkungsgrades bei höherer Ausgangsleistung.

Die meisten Inverter verbrauchen in der Nacht etwas Energie. Der Einstein LEC, Soladin 600 und der Dorf-Müller 250/35 weisen hingegen keinen Nachtverbrauch auf. Wird beim StecaGrid 500 noch eine Kontrollunit angeschlossen, konsumiert dieser (resp. die Kontrollunit) zirka 5,7 W.

Sie führt also insgesamt zu einem etwas verminderten Wirkungsgrad. Die anderen (inkl. StecaGrid ohne Kontrollunit) verbrauchen zirka 0,3 W, zum Teil sogar weniger (siehe Tabelle III).

Der europäische Wirkungsgrad ist wie folgt definiert:

$$\eta_{\text{euro}} = 0,03 * \eta_5 + 0,06 * \eta_{10} + 0,13 * \eta_{20} + 0,1 * \eta_{50} + 0,48 * \eta_{100} + 0,02 * \eta_{100}$$

Wobei der Index beim η den entsprechenden Prozentsatz der Nennleistung des Wechselrichters bedeutet. Da wir nicht alle Inverter voll belastet haben, sind einige der europäischen Wirkungsgrade nicht ganz korrekt. Beispielsweise der Dorf-Müller- η_{euro} wäre wahrscheinlich um zirka 1% tiefer, da sein Wirkungsgrad bei hohen Leistungen noch recht stark sinkt.

Die meisten Inverter haben eine Morgen- und Abendkurve, wobei der Wirkungsgrad im Normalfall am Morgen besser als am Abend ist, vermutlich weil die Inverter am Nachmittag eine höhere Temperatur aufweisen als am Vormittag.

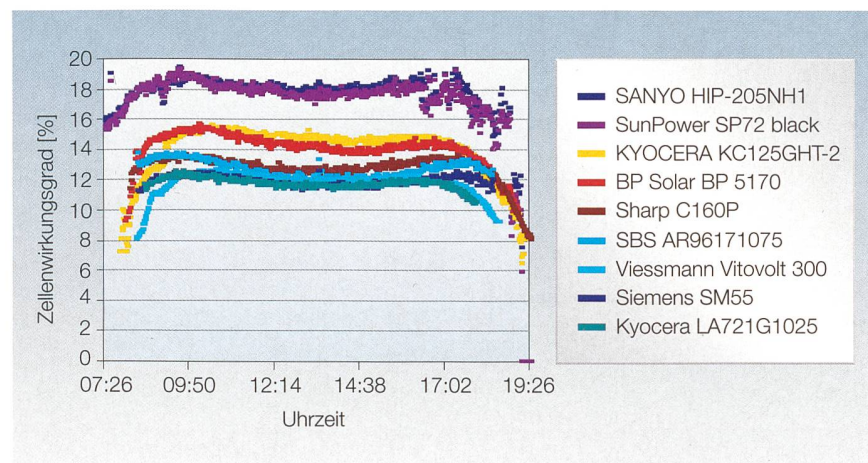


Bild 6 Zellenwirkungsgradverlauf der Solarmodule an schönen Tagen.

Invertertyp	η_{max} nach Datenblatt	Gemessener η_{max}	η_{euro} nach Datenblatt	η_{euro} berechnet nach Definition	Stand-by-Leistung nach Datenblatt	Gemessene Stand-by-Leistung
Soladin 120	93%	91,8%	91%	90,3%	< 50 mW _{AC}	ca. 200 mW
Soladin 600	93%	90,1%	91%	88,5%	< 50 mW _{AC}	0
StecaGrid 300	94,8%	93,5%	93,4%	91,9%	0	ca. 270 mW
StecaGrid 500	95,8%	94,8%	94,5%	93,3%	0	ca. 300 mW
Dorf-Müller 250/35	92,2%	92,3%	90,2%	89,6%	0	0
Gridfit 250	N.A.	91,3%	> 90%	87,8%	8 mW	ca. 100 mW
Einstein 300	91%	ca. 89%	N.A.	86,1%	N.A.	0
Sunmaster 130S-V3	92%	ca. 91,8%	N.A.	89,5%	85 mW	ca. 170 mW
Edison	> 91%	ca. 90,8%	N.A.	N.B.	N.A.	ca. 100 mW

Tabelle III Invertervergleich.

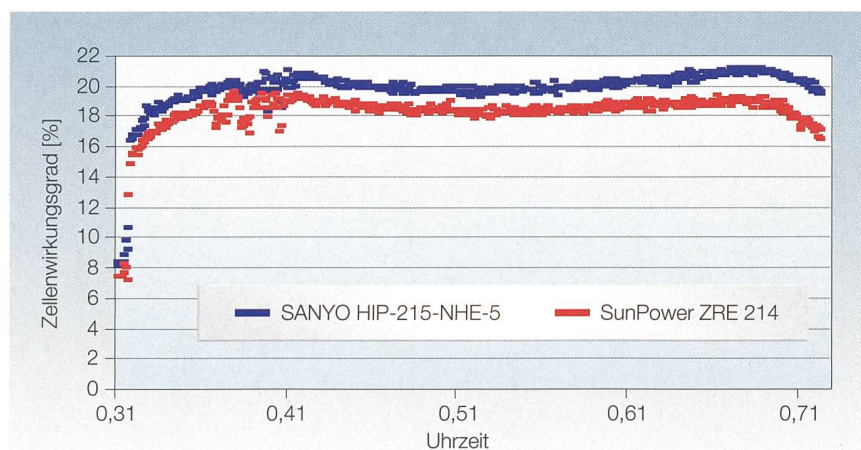


Bild 7 Wirkungsgradvergleich Sanyo-SunPower.

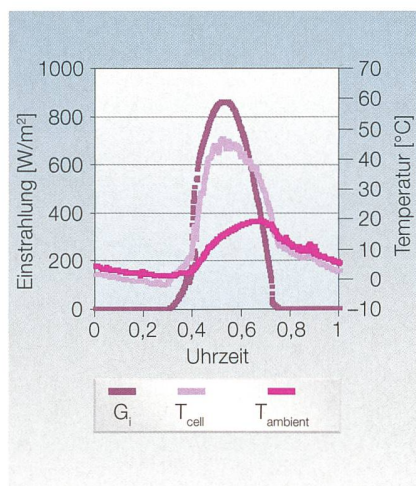


Bild 8 Tagesverlauf der Einstrahlung und der Temperatur.

Die Differenz zwischen den beiden Kurven ist nicht an jedem Tag gleich. An einigen Tagen ist der Effekt nicht sichtbar.

In Bild 4 lässt sich der Effekt beim Einstein LEC-Inverter besonders gut feststellen, wobei die untere die Abendkurve und die obere die Morgenkurve darstellt.

Bild 6 zeigt den Zellenwirkungsgrad der verschiedenen Modultypen. Über Mittag tritt wie erwartet bei allen Modulen ein leichter Wirkungsgradrückgang ein.

Ältere Module haben hier einen Wirkungsgrad von 11 bis 13%. Zu den zurzeit besten Modulen gehören die beiden Module von Sanyo und SunPower. Sie erreichen selbst an einem warmen Sommertag 17 bis 18%.

Bei einem Separatvergleich zwischen dem SunPower ZRE-214 und dem Sanyo

HIP-205NH1-Modul schneiden beide etwa gleich gut ab. Vom Sanyo-Modul konnten wir noch eine neuere Generation ausmessen, welche deutlich besser ist als das ZRE-Modul. Hier ist anzumerken, dass es sich beim ZRE-Modul nicht um ein Originalprodukt von SunPower handelt, sondern um Lamine mit SunPower A300-Zellen. Die Lamine wurden vom Zentrum für Regenerative Energie (ZRE) hergestellt.

Auch bei den Modulen von Kyocera, KC125GHT-2, und beim BP Solar, BP 5170, lässt sich nicht genau sagen, welches besser ist. Hier muss bemerkt werden, dass dies die neueste Generation der Kyocera-Module, aber eine ältere Version der BP-Solarmodule ist.

Deutlich am schlechtesten abgeschnitten haben die veralteten Module von Kyocera LA721G1025, Siemens SM55, SBS AR96171075 und Viessmann Vitovolt, mit EFG-Zellen. Es handelt sich hier aber um Module, welche nicht mehr erhältlich sind.

Vergleich der Module von Sanyo und SunPower

Die Messungen wurden am 24. 2. 2008 durchgeführt. Sie wurden somit unter identischen Bedingungen gemessen. Die maximale Einstrahlung betrug 850 W/m² und die maximale Zelltemperatur (des Referenzmoduls) rund 45 °C. Die Messwerte sind nicht temperaturkorrigiert! Die Ergebnisse sind in Bild 7 und 8 dargestellt.

Der Tageswirkungsgrad des Sanyo-Moduls betrug an diesem Tag ca. 19,7% und derjenige des SunPower-Moduls 18,2%.

Tageswirkungsgrad = Tagesproduktion : Tageseinstrahlung

Hersteller	Vertreiber	Bezeichnung und Eigenschaften des Moduls	Preis in € pro W > 1 Stk.	Preis in € pro W > 20 Stk.	Preis in CHF pro W > 1 Stk.	Preis in CHF pro W > 20 Stk.
Sanyo	http://shop.fotovoltaiishop.de/	Sanyo HIP-205-NHE1; monokristallines Si; 205 Wp +10%/–5%	5,85	5,35	9,33	8,54
Sanyo	http://shop.fotovoltaiishop.de/	Sanyo HIP-215-NHE5; monokristallines Si; 215 Wp +10%/–5%	5,85	5,35	9,33	8,54
SunPower	www.perfectpowernetwork.com/ProduktInfo.aspx?productid=SPR-220	SPR-220; monokristallines Si; 220 W	5,36 \$	N.A.	5,56 (tiefer \$-Kurs)	N.A.
Kyocera	www.proumwelt.de/	KC 125G-2; polykristallines Si; 125 Wp	4,96	N.A.	7,91	N.A.
BP Solar	www.proumwelt.de/	BP 5170; monokristallines Si; 170 Wp	5,47	N.A.	8,73	N.A.
Sharp	www.solarenergy-shop.ch/	Conergy C167P; polykristallines Si; 167 W			10,0	N.A.
Kyocera		Kyocera LA721G1025	Nicht mehr erhältlich			
Viessmann		Viessmann Vitovolt 300	Nicht mehr erhältlich			
Siemens (Shell)		Siemens SM 55 Wp; monokristallines Si	Nicht mehr erhältlich			
SBS		AR9617075; Siemens Zellen; 185 W	Nicht mehr erhältlich			

Tabelle IV Preisvergleich Solarmodule.

Hersteller	Vertreiber	Bezeichnung des Wechselrichters	Preis pro W in CHF
Gridfit	http://solarenergy-shop.ch/	Gridfit 250, 250 W	1,792
Mastervolt	http://solarenergy-shop.ch/	Mastervolt Soladin 600, 600 W	1,205
Mastervolt	Tritec	Mastervolt Soladin 120	Nicht mehr erhältlich
Steca Solar Steca Solar	Muntwyler Energietechnik AG	StecaGrid 300-M StecaGrid 500-M	1,65
Dorf-Müller	Dorf-Müller-Solaranlagen GmbH	Dorf-Müller 250/35	1,097€/1,75 CHF
Einstein 300	www.lec.ch/gridwr.html	Einstein 300	2,66
Sunmaster 130S-V3	Mastervolt	Sunmaster 240 ,S'; 110 W	Nicht mehr erhältlich

Tabelle V Preisvergleich Inverter.

Es wurde mit einem Kurs von 1 € = 1,5955 CHF gerechnet. Der gerechnete Dollarkurs betrug 1 \$ = 1,0370 CHF. Der Kurs stammt vom 26. 3. 08.

Schlussfolgerungen

Es wird ein Messsystem zur Untersuchung der Wirkungsgrade verschiedener Modultypen, Inverter und Systemkombinationen beschrieben. Auswertungen zeigen, dass der reale Wirkungsgrad kristalliner Solarzellen in den vergangenen rund 10 Jahren von etwa 11 bis 13% auf 17 bis 19% gestiegen ist.

Von den getesteten Modulen hat das Modul HIP-215-NHE5 von Sanyo am besten abgeschnitten. Die maximalen Wirkungsgrade der Inverter sind während dieser Zeit von rund 90 auf bis 95% angestiegen. Am besten schneiden trafolose Inverter ab (z.B. jene von Steca). Die Entwicklung besserer Module und Inverter schreitet rasch voran, sodass ältere Produkte laufend ersetzt werden und nicht mehr am Markt erhältlich sind. Die Preise von Solarmodulen variieren zwischen Fr. 5.60 und Fr. 10 pro Wp. Der

tiefe Preis von Fr. 5.60/Wp ist auf den tiefen Dollar-Kurs zurückzuführen. Die Inverterkosten belaufen sich auf Fr. 1.20 bis Fr. 2.70 pro Wp.

Weiterführende Links

Die aktuelle Messung ist auf folgendem Link zu finden: <http://grid-pv.web.psi.ch>
Für weitere Publikationen: <http://tpv-pv.web.psi.ch>

Angaben zu den Autoren

Valerie Kröni hat 2007 erfolgreich ihre Lehre als Physiklaborantin am Paul Scherrer Institut (PSI) abgeschlossen und arbeitet nun an der während der Lehre als Facharbeit begonnenen Arbeit im Bereich Photovoltaik/Thermophotovoltaik weiter. valerie.kroeni@solnet.ch

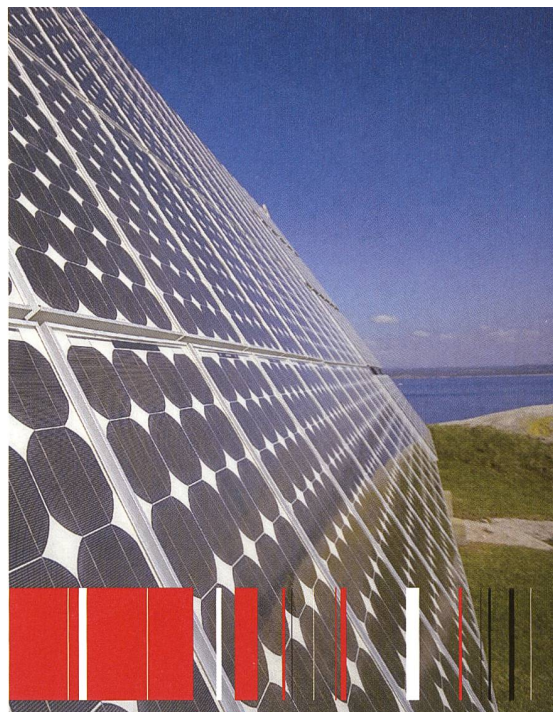
Wilhelm Durisch arbeitet seit 1980 am PSI auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien. Zu Beginn war er Projektingenieur, dann wissenschaftlicher Assistent und schliesslich Senior Scientist. 1988 bis 1995 leitete er die Sektion Hochtemperatur-Solartechnik. Danach übernahm er die Leitung der angewandten Photovoltaik. Er hat mehrere nationale und internationale Projekte in Solarthermie Photovoltaik realisiert. Drei seiner wissenschaftlichen Veröffentlichungen wurden international ausgezeichnet. wilhelm.durisch@psi.ch

Siegfried Ebers ist seit 1988 am PSI als technischer Angestellter tätig. Seine Aufgabengebiete umfassen die Entwicklung und Realisation von Mess- und Steuersystemen für die Neutronenquelle SINQ und für die angewandte Photovoltaik. siegfried.ebers@psi.ch

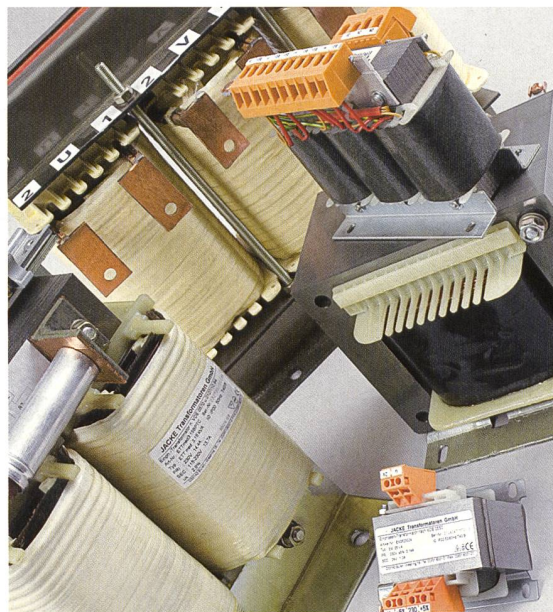
Résumé

Rendement des petits systèmes de connexion au réseau

L'Institut Paul Scherrer possède une installation de mesure (voir illustration 1) permettant d'analyser les systèmes de connexion au réseau. Trois rayons modulaires combinés avec un onduleur de réseau sont testés simultanément. L'article qui suit expose les résultats de jours très ensoleillés et sans nuage. La comparaison de ces résultats doit donner un aperçu du rendement de chaque type de cellule, des onduleurs et de leurs combinaisons et permettre de choisir des systèmes optimaux du point de vue technico-économique.



SCHAFFNER
energy efficiency and reliability



Ihr Schlüssel zu effizienten und netzverträglichen Photovoltaik-Systemen.

Schaffner ist der bevorzugte Lieferant von magnetischen Bauteilen und EMV-Filtern der führenden Solarwechselrichter- und PV-Systemhersteller. Jahrelange Erfahrung sowie modernste Entwicklungstools erlauben uns, noch bessere Produkte herzustellen, die perfekt den individuellen Anforderungen und den heutigen PV-Technologien entsprechen.

- Energieeffiziente magnetische Bauteile mit geringen Verlusten
- Netzverträglichkeit durch Reduktion der Oberwellen und netzgebundenen EMV-Störungen
- Erfüllung internationaler Richtlinien und lokaler EVU-Anschlussnormen
- Vorbeugung vorzeitiger Alterung der Solarpanels

Schaffner EMV AG
Nordstrasse 11 4542 Luterbach
T +41 32 681 66 26 F +41 32 681 66 41
www.schaffner.com

Live-Vorführung der Induktionsströme und deren Vermeidung! Powertage Zürich, Halle 6, Stand F04.



Brugg Cables und CFW EMV-Consulting AG präsentieren Ihnen anlässlich den Powertagen 2008 live den Nutzen des neu entwickelten CFW Power Cable Purwil®. Nebst der geringen elektromagnetischen Feldabstrahlung gibt es keine unerwünschten Induktionsströme nach innen oder aussen, noch unter den verseilten Leitern selbst. Keine Induktionsströme bedeuten zudem weniger Verlustleistung, bessere Stromqualität und eine geringere Umweltbelastung. Wir freuen uns auf Ihren Besuch.

Brugg Kabel AG, Klosterzelgstrasse 28, CH-5201 Brugg
Telefon +41 (0)56 460 33 33, Fax +41 (0)56 460 35 74
E-mail info.industrie@brugg.com, <http://www.brugg.com>

BRUGG **CABLES**
Well connected.