

# Photovoltaik-Anlage Newtech – drei Dünnschichtzellentechnologien im Vergleich

Prof. Dr. H. Häberlin und Ch. Renken

Berner Fachhochschule, Hochschule für Technik und Architektur (HTA) Burgdorf  
Labor für Photovoltaik, Jlcoweg 1, CH-3400 Burgdorf / SCHWEIZ

Tel: +41 34 426 68 11, Fax: +41 34 426 68 13, e-mail [heinrich.haeberlin@hta-bu.bfh.ch](mailto:heinrich.haeberlin@hta-bu.bfh.ch)

## 1. Einführung

Neben Wechselrichterests führt die HTA Burgdorf (vormals ISB) auch seit 1992 Langzeitmessungen an vielen netzgekoppelten Photovoltaikanlagen durch. Im Jahre 2001 konnte in Zusammenarbeit mit der ADEV Burgdorf auf dem Dach eines Gebäudes der Firma Disetronic AG eine Pilotanlage mit drei neuen Dünnschichtzellen-Technologien errichtet werden. Die Module der Anlage sind genau nach Süden orientiert, praktisch nie beschattet und wurden erst unmittelbar vor der Inbetriebnahme montiert. Die Anlage wurde am 17.12.2001 in Betrieb genommen und wird seit dem ersten Betriebstag in einem Monitoringprojekt von der HTA Burgdorf ausgemessen. Dadurch sind interessante Vergleiche mit andern Anlagen (mono- und polykristallin) möglich.

## 2. Kurze technische Beschreibung der Anlage

Die Anlage „Newtech“ besteht aus 3 netzgekoppelten 1kWp-Photovoltaikanlagen mit 3 verschiedenen neuartigen Dünnschichtzellen-Technologien. Die Gesamtleistung der PV-Anlage beträgt 2844 Wp. Die Modulneigungswinkel betragen  $\beta = 30^\circ$  und die Ausrichtung  $\gamma = 0^\circ$  (Süd). Die Anlage besteht aus 3 Teilanlagen von je etwa 1 kWp, die ihre Energie je über einen eigenen ASP Top Class Spark Wechselrichter (mit Trafo) ins Netz einspeisen.

### Anlage Newtech 1: Kupfer-Indium-Diselenid-Zellen (CuInSe<sub>2</sub>- oder CIS-Zellen)

24 gerahmte Module Siemens ST 40 (40 Wp), 3 Stränge zu 8 Modulen in Serie, STC-Nennleistung  $P_{STC-Nenn} = 960$  Wp, TK  $\approx -0,51\%/K$ . Gemessen:  $P_{STC} \approx 1015$  Wp.

### Anlage Newtech 2: Tandemzellen aus amorphem Si

20 gerahmte Module Solarex MST 43-LV (43 Wp), 2 Stränge zu 10 Modulen in Serie, STC-Nennleistung  $P_{STC-Nenn} = 860$  Wp, TK  $\approx -0,22\%/K$ . Gemessen:  $P_{STC} \approx 810$  Wp.

### Anlage Newtech 3: Tripelzellen aus amorphem Si

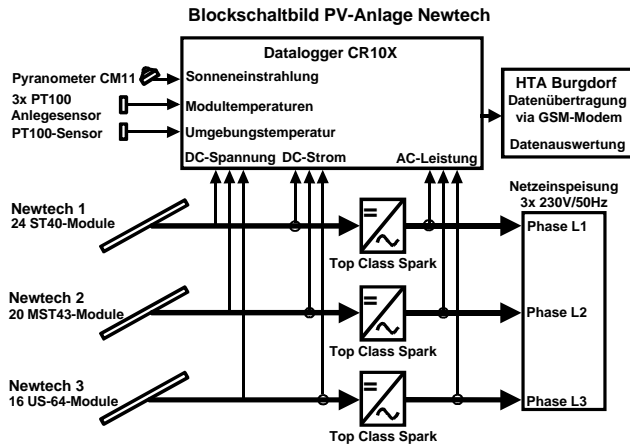
16 gerahmte Module Uni-Solar US-64 (64 Wp), 2 Stränge zu 8 Modulen in Serie, STC-Nennleistung  $P_{STC-Nenn} = 1024$  Wp, TK  $\approx -0,21\%/K$ . Gemessen:  $P_{STC} \approx 1000$  Wp.



Bild 1: Ansicht des Solargenerators mit den 3 Teilanlagen Newtech 1 – 3

Ende März 2002 wurde mit dem Kennlinienmessgerät unseres Labors die I-U-Kennlinien der drei Anlagen gemessen und mit den erhältlichen Angaben über die Temperaturkoeffizienten der Module auf STC umgerechnet. Bei der Anlage Newtech 1 mit CIS-Modulen ST40 von Siemens ergab sich dabei erstmals eine STC-Leistung, die deutlich über der Summe der Nennleistungen der Module liegt. Dies wurde in allen bisher durchgeführten Feldmessungen an Modulen noch nie beobachtet. Es ist sehr erfreulich, dass zumindest ein Hersteller nun von der bisher in der PV-Branche verbreiteten Praxis abweicht, den Kunden Module zu liefern, deren Anfangsleistung nur knapp über dem garantierten Minimalwert, jedoch deutlich unter dem Nennwert liegt. Bei den amorphen Technologien wurden dagegen Leistungen gemessen, die wie üblich um einige Prozent unter der Summe der STC-Nennleistungen liegen.

**Bild 2:**  
**Blockschaltbild der PV-Anlage Newtech mit Mess-einrichtung**



Im 2s-Takt werden folgende Messgrößen erfasst:

- Sonneneinstrahlung in Modulebene mit einem Pyranometer CM11 (beheizt)
- Solarzellentemperatur der 3 Solargeneratoren mit PT100-Anlegefühler
- Umgebungstemperatur mit PT100
- Von allen 3 Teilanlagen:
  - Gleichstrom und Gleichspannung, daraus berechnet Gleichstromleistung
  - ins Netz eingespeiste Wirkleistung
  - Netzspannung am Einspeisepunkt einer Phase

Aus diesen Messungen werden 5-Minuten-Mittelwerte gebildet und abgespeichert. Bei Störungen werden die 2-Sekunden-Messwerte in einem Error-File gespeichert. Die Daten werden täglich automatisch per Modemverbindung via GSM übertragen, gespeichert und zur Auswertung aufbereitet.

### 3. Energieertrag der drei Dünnschichtzellen-Anlagen

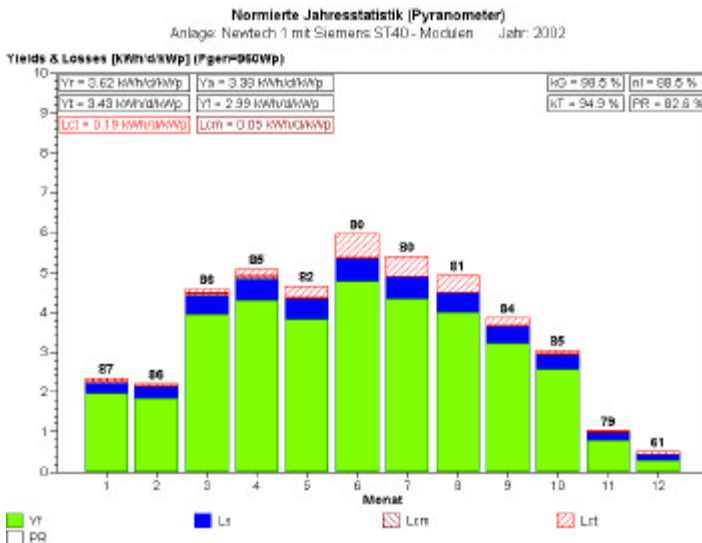
Bei allen drei Anlagen funktionierte bisher sowohl die Messtechnik als auch die Anlage störungsfrei. Da die Inbetriebnahme wegen baulichen Verzögerungen im Winter erfolgte, konnte trotz der Messung seit der Inbetriebnahme in einer ersten Auswertung in den ersten Monaten keine eindeutig feststellbare Initialdegradation registriert

werden, da an einigen Tagen im Dezember, Januar und März noch Schneebedeckungen vorhanden waren. Vielleicht gelingt es mit einer verfeinerten Analyse (unter Elimination der kritischen Tage mit Schneebedeckung) zu einem späteren Zeitpunkt, belastbare Aussagen zu erhalten.

Für einen ersten Überblick über die Energieproduktion und allfällig aufgetretene betriebliche Probleme eignen sich *normierte Jahresstatistiken* sehr gut. Bei dieser Darstellung werden die normierten Grössen  $Y_r$  (Strahlungsertrag in Generatorebene in  $(\text{kWh}/\text{m}^2/\text{d})/(\text{1kWh}/\text{m}^2)$ ),  $Y_a$  (Generator-Ertrag auf der DC-Seite in  $\text{kWh}/\text{kWp}/\text{d}$ ) und  $Y_f$  (Endertrag auf der AC-Seite in  $\text{kWh}/\text{kWp}/\text{d}$ ) sowie die Performance Ratio  $\text{PR} = Y_f / Y_r$  als durchschnittliche Tageswerte für jeden Monat angegeben (Details siehe [1]).

Die Bilder 3 bis 6 zeigen die normierten Jahresstatistiken der Anlagen Newtech 1, 2 und 3 und einer Anlage mit c-Si-Solarzellen im Jahre 2002 (alle Anlagen in Burgdorf).

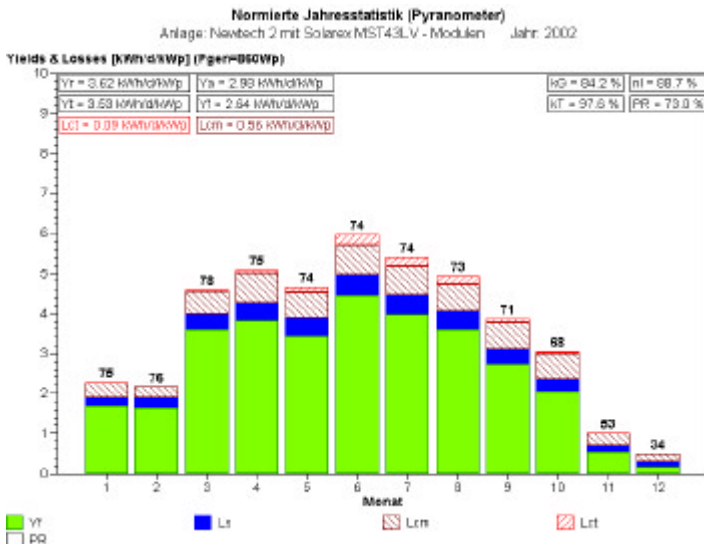
**Bild 3:**  
**Normierte**  
**Jahres-**  
**statistik**  
**2002**  
**der**  
**CIS-Anlage**  
**Newtech 1**  
**mit Siemens**  
**ST40.**  
**Spezifischer**  
**Jahres-**  
**Energie-**  
**ertrag 2002:**  
**1091 kWh/**  
**kWp.**



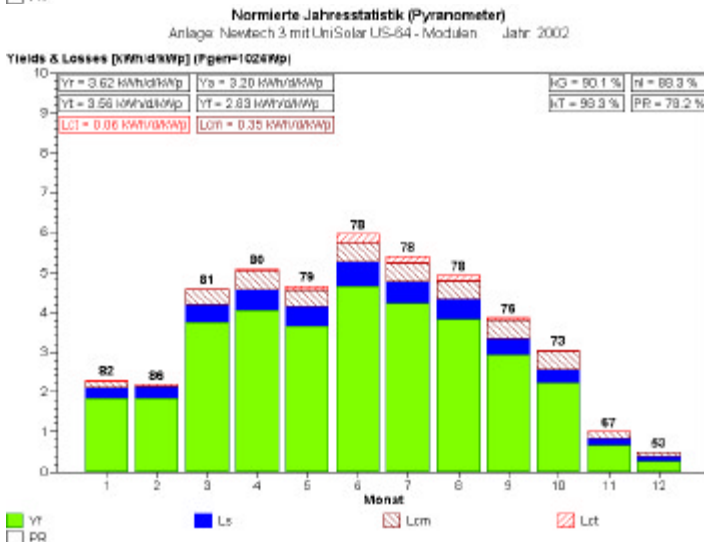
Der bisher gemessene spezifische Energieertrag der CIS-Anlage Newtech 1 liegt deutlich über dem Ertrag einer Anlage aus monokristallinen Zellen, was vor allem an der (gegenüber der auf dem Datenblatt angegebenen Nennleistung) deutlich höheren effektiven STC-Nennleistung der gelieferten Module liegt. Günstig ist aber auch die lange Zellenform und die Hochkant-Montage, bei der durch Schnee und Schmutz alle Zellen gleichmässig und nur geringfügig beeinträchtigt werden. Der spezifische Jahres-Energieertrag 2002 betrug 1091 kWh/kWp.

Die Anlage Newtech 2 liegt ertragsmässig im Bereich guter Anlagen mit monokristallinen Zellen. In den Sommermonaten sind die temperaturbedingten Verluste geringer als bei Anlagen mit kristallinen Zellen. Bei schwacher Einstrahlung fällt aber die Ausgangsspannung der verwendeten Module stark ab und der Wechselrichter arbeitet dann ausserhalb des MPP, was eher ungünstig ist. Seit Sommer 2002 scheinen sich die Generatoreigenschaften trotz relativ sauberen Modulen deutlich zu verschlechtern, d.h.  $k_G$  und PR nehmen seither ab (siehe auch Bild 7 und 8).

**Bild 4:**  
**Normierte**  
**Jahres-**  
**statistik**  
**2002** der a-  
**Si-Tandem-**  
**Anlage**  
**Newtech 2**  
**mit BP**  
**Solarex**  
**MST43LV.**  
**Spezifischer**  
**Jahres-**  
**Energie-**  
**ertrag 2002:**  
**964 kWh/**  
**kWp.**



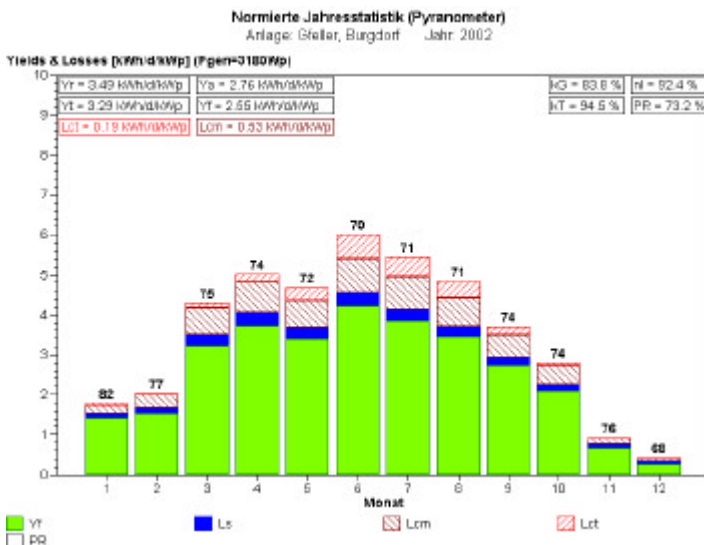
**Bild 5:**  
**Normierte**  
**Jahres-**  
**statistik**  
**2002** der a-  
**Si-Tripel-**  
**Anlage**  
**Newtech 3**  
**mit Unisolar**  
**US-64.**  
**Spezifischer**  
**Jahres-**  
**Energie-**  
**ertrag 2002:**  
**1033 kWh/**  
**kWp.**



Die Anlage Newtech 3 mit den a-Si-Tripel Zellen von Unisolar liegt im Bereich der besten monokristallinen Anlagen (neue Anlagen mit trafolosem Wechselrichter). Da jedoch der bei Newtech 3 verwendete Wechselrichter einen Trafo besitzt, hätte die Anlage mit einem trafolosen Wechselrichter noch einen um einige Prozente höheren Ertrag. Sie profitiert im Sommer ebenfalls vom viel niedrigeren Temperaturkoeffizienten. Beachtlich ist vor allem die gute Performance Ratio PR an Tagen mit

geringer Einstrahlung, die höher ist als bei allen andern Anlagen. Würde der Hersteller eine Modulleistung liefern, die im stabilisierten Zustand der auf dem Modul angegebenen Nennleistung entspricht, läge diese Anlage möglicherweise sogar an der Spitze. Eher negativ wirkte sich an Tagen mit Schneebedeckung die leicht geriffelte Oberfläche der Module aus, die das Abgleiten von Schnee behindert sowie die Tatsache, dass bei Hochkant-Montage die untersten Zellen durch Schnee vollständig bedeckt sein können. Auch bei dieser Anlage scheinen sich seit Sommer 2002 die Generatoreigenschaften trotz relativ sauberen Modulen etwas zu verschlechtern, d.h.  $k_G$  und PR nehmen seither ab (siehe auch Bild 7 und 8).

**Bild 6:**  
**Normierte**  
**Jahres-**  
**statistik**  
**2002** einer  
**Anlage** mit  
**mono-**  
**kristallinen**  
**Modulen.**  
**Spezifischer**  
**Jahres-**  
**Energie-**  
**ertrag** 2002:  
**931 kWh/**  
**kWp.**

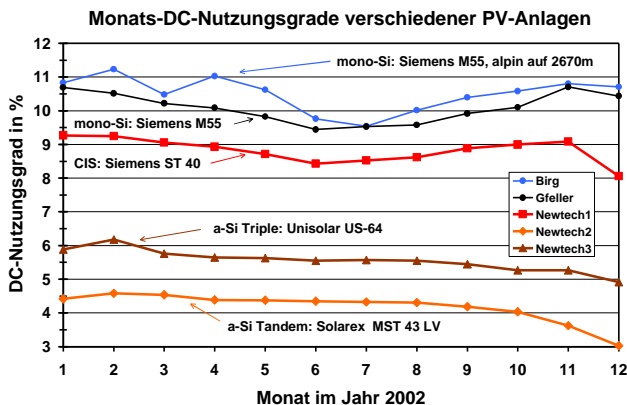


Der Energieertrag aller Anlagen in Burgdorf wurde im November und besonders im Dezember 2002 durch die in diesem Jahr in diesen beiden Monaten aussergewöhnlich geringe Einstrahlung stark beeinträchtigt (sehr niedrige  $k_G$ - und PR-Werte).

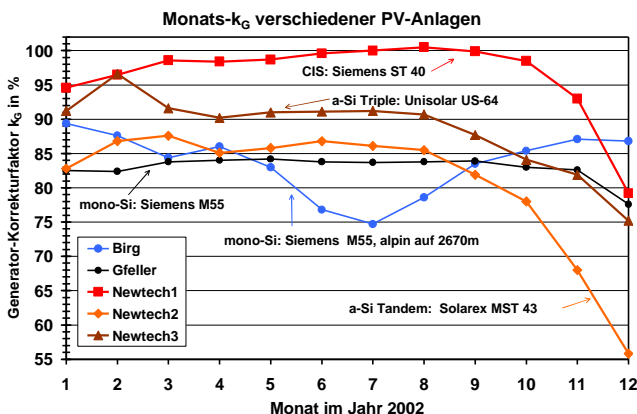
In Bild 7 werden die Monats-DC-Nutzungsgrade, in Bild 8 die Generator-Korrekturfaktoren  $k_G = Y_a / Y_T$ , ( $Y_T$  = temperaturkorrigierter Referenertrag, Details siehe [1]) der drei Newtech-Anlagen und von zwei Anlagen mit kristallinen Siliziumzellen verglichen. In Bild 7 ist zu erkennen, dass die amorphen Technologien einen geringeren Abfall des Wirkungsgrades bei höheren Temperaturen im Sommer aufweisen und dass der Nutzungsgrad der CIS-Anlage relativ nahe an den Wert kristalliner Anlagen kommt. Bild 8 zeigt, dass die CIS-Module bezüglich  $k_G$  eindeutig an der Spitze stehen, was vor allem auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass die effektive STC-Leistung über dem Nennwert liegt. Das  $k_G$  wies im Sommer bei der CIS-Anlage sogar eher steigende Tendenz auf.

Hohe spezifische Erträge von CIS- und a-Si-Triple-Anlagen werden auch von anderen Autoren berichtet [2], [3]. Wegen der geringen Temperaturabhängigkeit des Energieertrags dürften amorphe Module vor allem für nicht oder schlecht hinterlüftete Anlagen von Interesse sein.

**Bild 7:**  
**Monats-DC-**  
**Nutzungsgrad der**  
**drei Newtech-**  
**Anlagen im Ver-**  
**gleich zu zwei An-**  
**lagen mit mono-c-Si**  
**(alpine Anlage mit**  
**b = 90° auf 2670m).**



**Bild 8:**  
**Monats-Generator-**  
**Korrekturfaktor  $k_G$**   
**der 3 Newtech-**  
**Anlagen im Ver-**  
**gleich zu 2 Anlagen**  
**mit mono-c-Si**  
**(alpine Anlage mit**  
**b = 90° auf 2670m).**



### Verdankungen

Die Erstellung der Anlage wurde vom WEA des Kantons Bern und vom BFE in Bern unterstützt. Die hier beschriebenen Messungen wurden vom BFE, der Localnet AG Burgdorf, der Gesellschaft Mont Soleil und der Elektra Baselland finanziert.

### Literatur

- [1] H. Häberlin, Ch. Beutler und C. Liebi: "Analyse des Betriebsverhaltens von Photovoltaikanlagen durch normierte Darstellung von Energieertrag und Leistung". 11. Symposium Photovoltaik, Staffelstein, 1996.
- [2] F. H. Karg et al: "Performance of Grid Coupled PV Arrays based on CIS Solar Modules". 17. EU PV Solar Energy Conference., Munich, 2001.
- [3] M. van Cleef et al.: "Superior Energy Yields of UNISOLAR Triple Junction Thin Film Silicon Solar Cells ...". 17. EU PV Solar Energy Conference., Munich, 2001.

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