

# Photovoltaik-Anlage Newtech – drei Dünnschichtzellentechnologien im mehrjährigen Langzeitvergleich (2002-2005)

H. Häberlin und Ch. Geissbühler

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

Die HTI Burgdorf führt seit 1992 Langzeitmessungen an vielen netzgekoppelten PV-Anlagen durch. Im Jahre 2001 konnte in Zusammenarbeit mit der ADEV Burgdorf auf dem Dach eines Gebäudes der Firma Ypsomed AG eine Pilotanlage mit drei neuen Dünnschichtzellen-Technologien errichtet werden. Die Module der Anlage sind genau nach Süden orientiert, nie beschattet und wurden erst unmittelbar vor der Inbetriebnahme montiert. Die Anlage wurde seit dem ersten Betriebstag am 17.12.2001 in einem Monitoringprojekt von der HTI Burgdorf detailliert ausgemessen [1].

Nachdem in den ersten Betriebsjahren zunächst nur bei den zwei amorphen Anlagen Degradationen festgestellt wurden, trat bei der CIS-Anlage nach anfänglich sehr stabilem Betrieb ab 2004 doch auch ein ganz geringer Leistungsabfall auf. Bei einer der beiden amorphen Anlagen konnte durch thermische Isolation im Herbst 2003 die weitere Degradation gegenüber der andern, nicht isolierten Anlage etwas verlangsamt werden.

## 2. Kurze technische Beschreibung der Anlage

Die Anlage „Newtech“ besteht aus 3 netzgekoppelten PV-Anlagen mit 3 verschiedenen neuartigen Dünnschichtzellen-Technologien. Der Modulneigungswinkel beträgt generell  $\beta = 30^\circ$  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. Weitere Details siehe [1] oder unter [www.pvtest.ch](http://www.pvtest.ch) > PV-Messdaten.

### 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  $P_{\text{STC-Nenn}} = 960 \text{ Wp}$ , TK  $-0,33\%/K$ , gemessene STC-Leistung  $P_{\text{STC-Mess}} \approx 1015 \text{ Wp}$

### Anlage Newtech 2: Tandemzellen aus amorphem Si

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

### 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  $P_{\text{STC-Nenn}} = 1024 \text{ Wp}$ , TK  $-0,21\%/K$ , gemessene Nennleistung  $P_{\text{STC-Mess}} \approx 1000 \text{ Wp}$

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, welche deutlich über der Summe der Nennleistungen der Module liegt. Bei den amorphen Technologien wurden dagegen Leistungen gemessen, die wie üblich um einige Prozent unter der Summe der STC-Nennleistungen liegen.

## 3. Energieertrag der drei Dünnschichtzellen-Anlagen

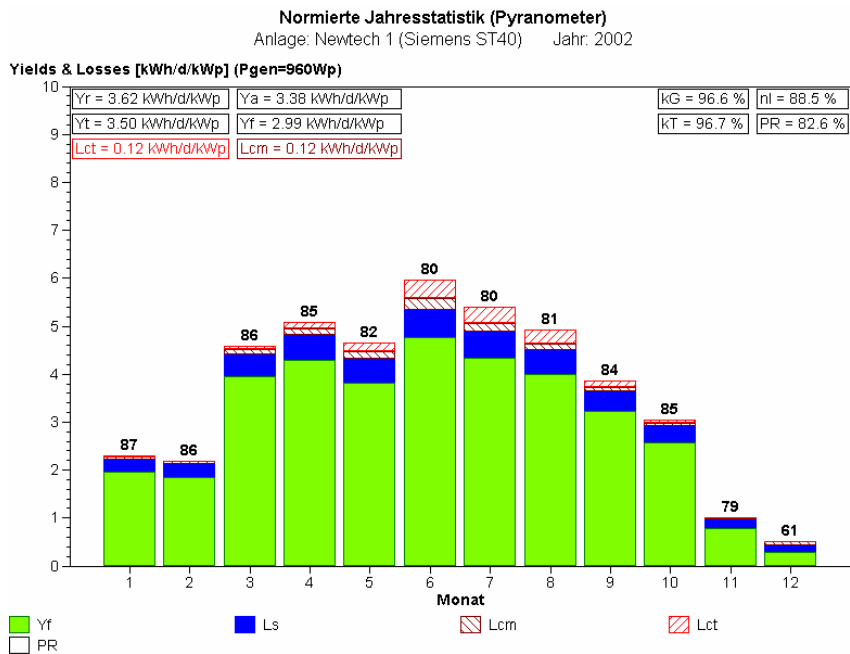
Bei allen drei Anlagen funktionierte bisher sowohl die Messtechnik als auch die Anlage praktisch störungsfrei. Da die Inbetriebnahme wegen baulichen Verzögerungen im Winter erfolgte, konnte trotz der Messung seit der Inbetriebnahme in einer ersten Auswertung keine eindeutig feststellbare Initialdegradation registriert werden, da an einigen Tagen im Dezember, Januar und März 2002 noch Schneebedeckungen vorhanden waren.

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  $(\text{kWh}/\text{m}^2/\text{d})/(\text{1kW}/\text{m}^2)$ ),  $Y_a$  (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  $PR = Y_f / Y_r$  als durchschnittliche Tageswerte für jeden Monat angegeben (Details siehe [3]).

Die Anlage Newtech 2 mit amorphen Si-Tandemzellen zeigt die bei amorphem Si übliche, saisonal variierende, aber im Mittel kontinuierliche Degradation. Seit 2004 ist der weitere Leistungsabfall allerdings etwas kleiner geworden. Da diese Module nicht mehr hergestellt werden, wird diese Anlage aus Platzgründen nicht gleich detailliert besprochen. Die Bilder 1 bis 4 zeigen die normierten Jahresstatistiken der Anlagen Newtech 1 und 3 in den Jahren 2002 und 2005. Es ist auch bei diesen Anlagen zu erkennen, dass der Generatorkorrekturfaktor  $k_G$  und die Performance Ratio PR im Laufe der Zeit etwas absinken.

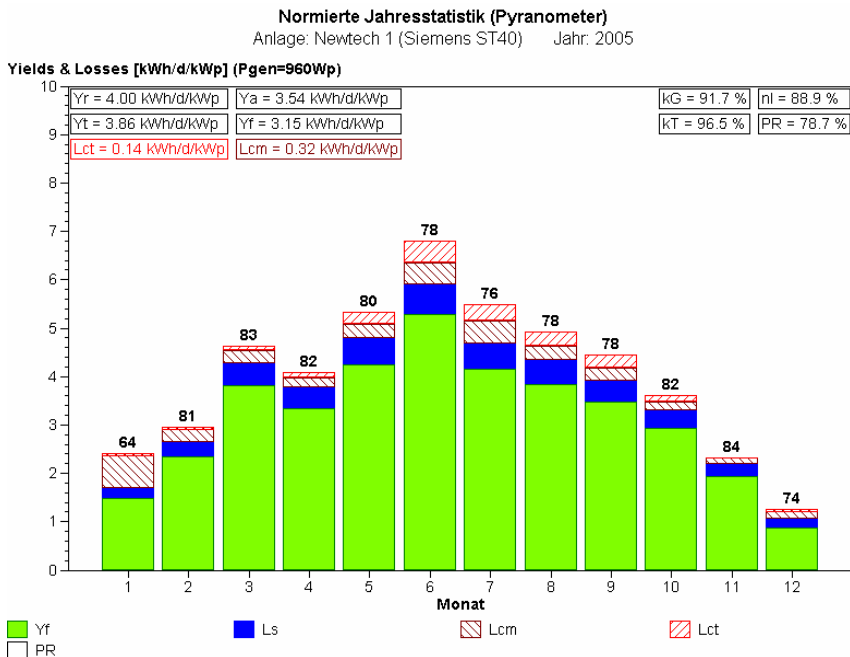
**Bild 1:**  
**Normierte Jahresstatistik 2002 der CIS-Anlage Newtech 1 mit Siemens ST40.**

Es fällt auf, dass die nicht temperaturbedingten Generatorverluste  $L_{cm}$  sehr klein sind, da die anfängliche Leistung der Module deutlich über der spezifizierten Nennleistung liegt.

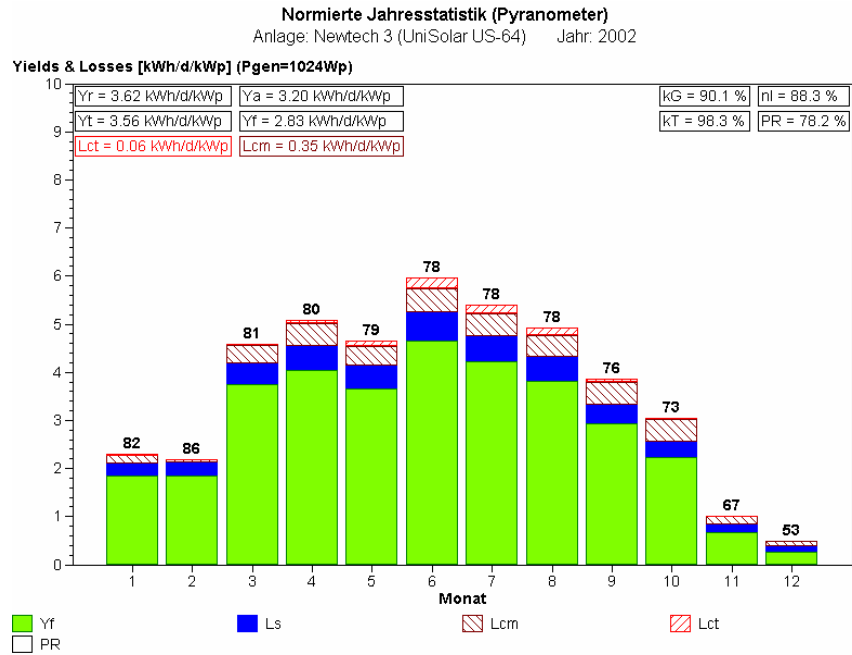


**Bild 2:**  
**Normierte Jahresstatistik 2005 der CIS-Anlage Newtech 1 mit Siemens ST40.**

Es fällt auf, dass die nicht temperaturbedingten Generatorverluste  $L_{cm}$  auch im Sommer deutlich zugenommen haben, was auf eine gewisse Degradation schliessen lässt (der Generator wird halbjährlich gereinigt).

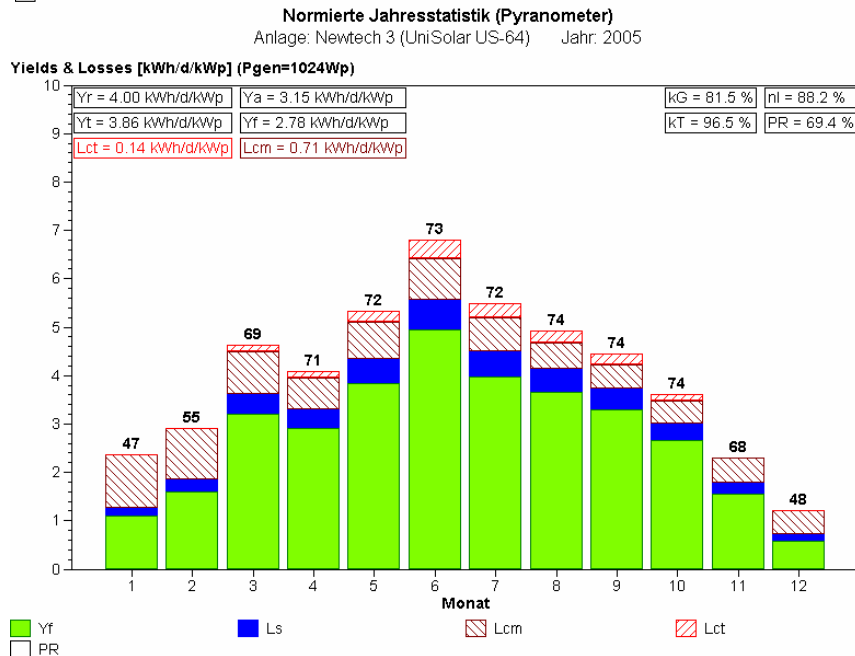


**Bild 3:**  
**Normierte**  
**Jahresstatistik 2002**  
**der a-Si-Tripel-**  
**Anlage Newtech 3**  
**mit Unisolar US-64.**



**Bild 4:**  
**Normierte**  
**Jahresstatistik 2005**  
**der a-Si-Tripel-**  
**Anlage Newtech 3**  
**mit Unisolar US-64.**

Dank der thermischen Isolation auf der Rückseite im Herbst 2003 konnte die weitere Degradation seit diesem Zeitpunkt fast gestoppt werden (siehe auch Bild 5 und 6).



Weitere Messdaten aller drei Newtech-Anlagen für die Jahre 2002-2005 sind unter [www.pvtest.ch](http://www.pvtest.ch) unter > PV-Messdaten zugänglich.

Bei den Anlagen Newtech 1 und 3 sind geringfügige Veränderungen der Zellenstruktur erkennbar. Bei Newtech 2 sind dagegen bereits stärkere Delaminationen sichtbar.

In Bild 5 werden die Monats-DC-Nutzungsgrade, in Bild 6 die Generator-Korrekturfaktoren  $k_G = Y_a/Y_T$ , ( $Y_T$  = temperaturkorrigierter Referenzertrag, Details siehe [3]) der drei Newtech-Anlagen und einer Anlage mit kristallinen Siliziumzellen verglichen. Bei einer idealen Anlage sollte  $k_G = 1$  sein.

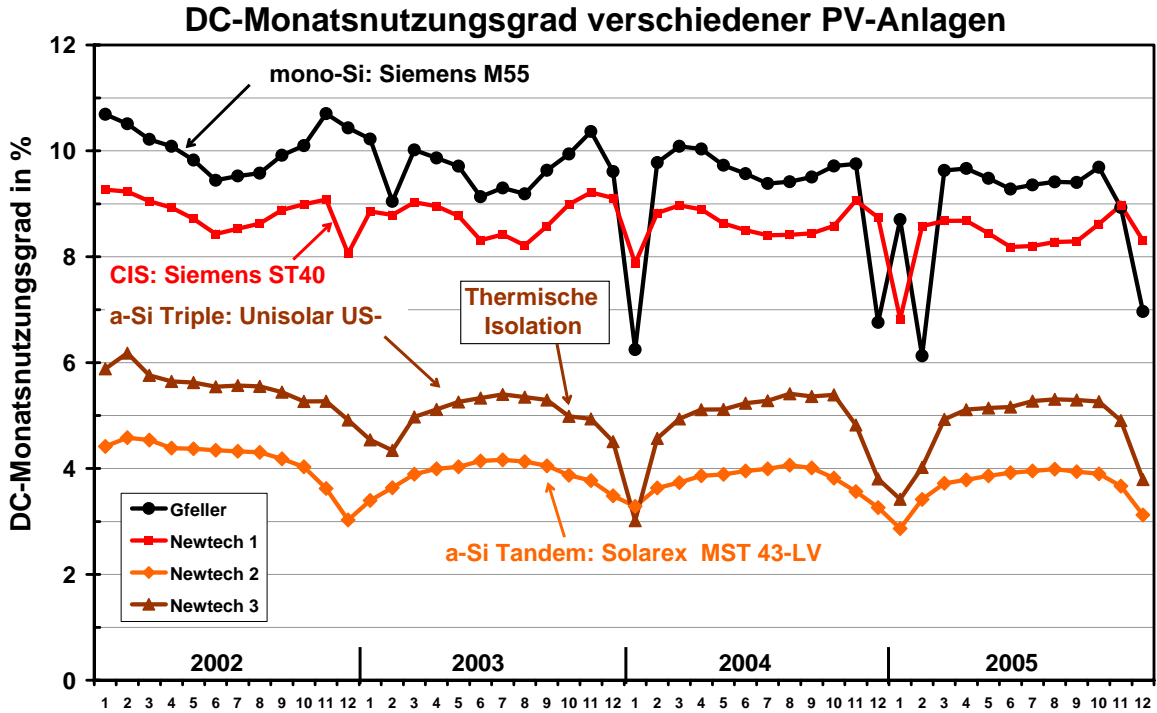


Bild 5: Monats-DC-Nutzungsgrad der drei Newtech-Anlagen im Vergleich zu einer mono-c-Si-Anlage.

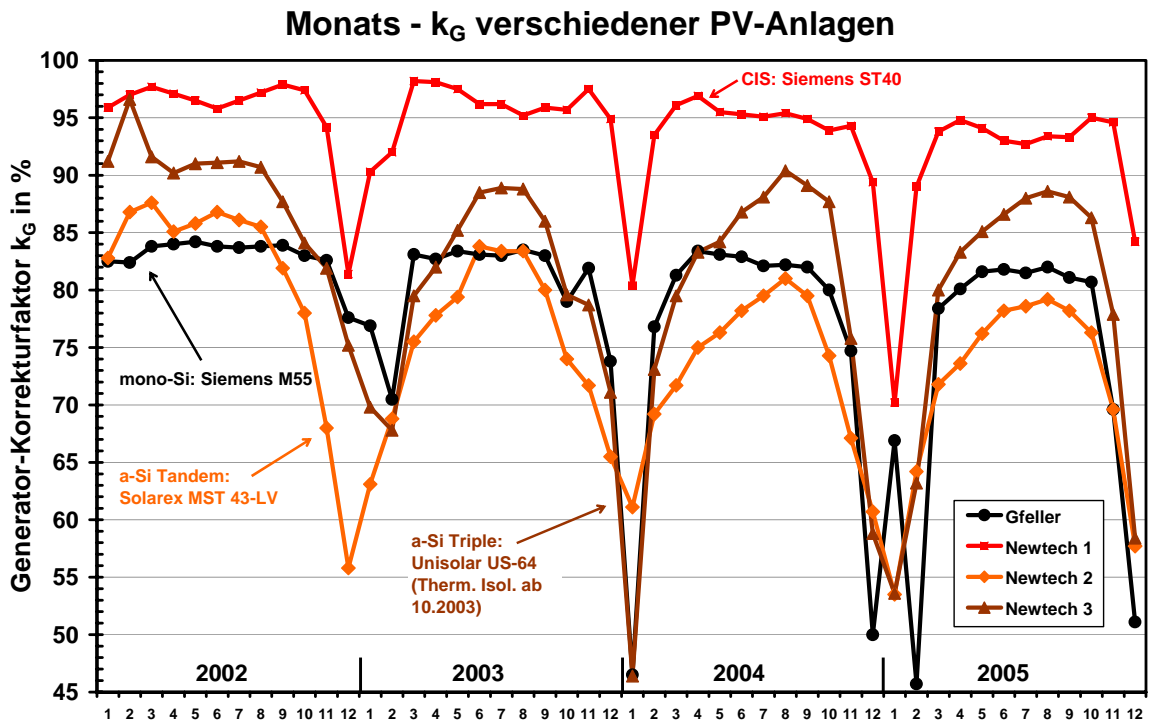


Bild 6: Monats-Generator-Korrekturfaktor  $k_G$  der drei Newtech-Anlagen im Vergleich zu einer Anlage mit mono-c-Si.

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. Die Anlage liegt deshalb bezüglich  $k_G$  eindeutig an der Spitze. Günstig sind aber auch die lange Zellenform und die Hochkant-Montage, bei der durch Schnee und Schmutz alle Zellen gleichmässig und nur geringfügig beeinträchtigt werden. Im Jahre 2002 betrug der spezifische Jahres-Energieertrag 1092 kWh/kWp, im Jahr 2003 gar 1258 kWh/kWp, im 2004 1102 kWh/kWp und im 2005 1149 kWh/kWp. Wie in Bild 5 und 6 zu erkennen ist, tritt nun auch bei dieser Anlage eine gewisse Degradation auf (ca. 1% pro Jahr).

Die Anlage Newtech 2 liegt ertragsmässig immer noch im Bereich von durchschnittlichen 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. Im Jahre 2002 betrug der spezifische Jahres-Energieertrag 964 kWh/kWp, im 2003 1037 kWh/kWp, im 2004 883 kWh/kWp und im 2005 930 kWh/kWp. Bei dieser Anlage tritt eine deutlich erkennbare Degradation auf, die sich in einer Reduktion des DC-Nutzungsgrades, des Generator-Korrekturfaktors  $k_G$  und der Performance Ratio PR äussert. In Bild 5 und 6 ist zu erkennen, dass diese Anlage am stärksten degradiert (ca. 10% in vier Jahren).

Die Anlage Newtech 3 mit den a-Si-Tripel Zellen von Unisolar liegt im Bereich der besten monokristallinen Anlagen (neue Anlagen mit trafolosem Wechselrichter). 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. 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. Im Jahre 2002 betrug der spezifische Jahres-Energieertrag 1033 kWh/kWp, im 2003 1103 kWh/kWp, im 2004 957 kWh/kWp und 2005 1015 kWh/kWp.

In Bild 5 und 6 ist zu erkennen, dass die Anlage Newtech 3 zwar bis Herbst 2003 auch relativ stark degradiert ist (von Sommer 2002 bis Sommer 2003 in nur einem Jahr ca. 3%), seit der im Herbst 2003 erfolgten thermischen Isolation der Rückseite (ca. 2 cm Schaumstoff) danach aber kaum weiter degradiert. Die mittlere Modultemperatur im Betrieb ist dadurch deutlich angestiegen und erreicht im Hochsommer nun Spitzenwerte von etwa 75°C statt wie früher 60°C. Diese höheren Temperaturen begünstigen aber das thermische Annealing im Sommer, wodurch die durch die tiefen Wintertemperaturen hervorgerufene saisonale Degradation durch den Staebler-Wronski-Effekt weitgehend rückgängig gemacht werden kann. Sowohl der sommerliche DC-Nutzungsgrad in Bild 5 als auch der Generator-Korrekturfaktor in Bild 6 sinken seit dieser Massnahme kaum mehr ab. Es scheint somit, dass Module mit a-Si-Tripel-Zellen von Unisolar ideal geeignet sind für die direkte Aufbringung auf Isolationsmaterialien und für die Herstellung entsprechender Verbundprodukte für Dächer und Fassaden. Entsprechende Produkte werden teilweise schon auf dem Markt angeboten.

Bei allen drei Anlagen werden jeweils zwischen Mitte März und Anfang April und im September nach einer vorgängigen Reinigung der Module Kennlinienmessungen durchgeführt und die auf STC umgerechneten Spitzenleistungen der Module bestimmt. Die so bestimmten Leistungen der Solargeneratoren zeigen einen analogen Verlauf wie die  $k_G$ -Werte gemäss Bild 6, d.h. sie weisen eine langfristig sinkende Tendenz auf, die bei der Anlage Newtech 3 durch die thermische Isolation ab Herbst 2003 nahezu gestoppt werden konnte.

## Zusammenfassung

Nachdem in den ersten Betriebsjahren zunächst nur bei den zwei amorphen Anlagen Degradationen festgestellt wurden, trat bei der CIS-Anlage nach anfänglich sehr stabilem Betrieb ab 2004 doch auch ein geringer Leistungsabfall auf. Bei der amorphen Anlage mit Tripel-Zellen von Unisolar hat die im Herbst 2003 durchgeführte thermische Isolation der

Rückseite die weitere Degradation etwas verlangsamt im Vergleich zu der andern, nicht isolierten amorphen Anlage. Es wäre sehr interessant, diese thermische Isolation an einer neuen Anlage mit Unisolar-Modulen von Beginn weg zu realisieren. Möglicherweise könnte die Degradation dann bereits auf einem höheren Leistungsniveau verlangsamt oder gar gestoppt werden.

Insgesamt ist die Stabilität der drei Anlagen nun aber befriedigend. Bei der CIS-Anlage verläuft die Degradation im Mittel nicht schneller als bei einer monokristallinen Anlage. Das weitere Monitoring in den nächsten Jahren wird zeigen, ob sich dieser Trend fortsetzt.

### **Verdankungen**

Die Erstellung der Anlage wurde vom Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern und dem Bundesamt für Energie (BFE) unterstützt. Die hier beschriebenen Messungen wurden im Rahmen eines vom BFE, der Localnet AG Burgdorf, der Gesellschaft Mont Soleil und der Elektra Baselland finanzierten Monitoring-Projektes durchgeführt. All diesen Firmen und Institutionen, die durch ihre Zuwendungen diese Arbeiten ermöglicht haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

### **Literatur**

- [1] H. Häberlin und Ch. Renken: " Photovoltaik-Anlage Newtech – drei Dünnschichtzellentechnologien im Vergleich". 18. Symposium Photovoltaik, Staffelstein, 2003.
- [2] H. Häberlin: "Newtech – 3 Different Thin Film PV Plants of 1 kWp under direct Comparison". Proc. 19th EU PV Conf., Paris, France, 2004.
- [3] H. Häberlin, Ch. Beutler und C. Liebi: "Analyse des Betriebsverhaltens von Photovoltaikanlagen durch normierte Darstellung von Energieertrag und Leistung". 11. Symposium Photovoltaik, Staffelstein, 1996.

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

## **Newtech – 3 Different Thin Film PV Plants of 1 kWp under direct Comparison over Several Years**

H. Haeberlin and Ch. Geissbuehler, HTI Burgdorf, PV Laboratory, CH-3400 Burgdorf/Switzerland

### **Abstract**

In December 2001 a PV pilot plant with three different thin-film technologies (CuInSe<sub>2</sub>/CIS, a-Si tandem cells, a-Si triple cells) was erected and included in the long-term PV monitoring projects of the PV-laboratory of HTI Burgdorf that have been carried out since 1992 without any interruptions. In this paper, a short overview of the operating experience of the first four years since the very first day of operation is presented. Energy production of these three thin-film plants can be compared directly with that of many crystalline plants in Burgdorf and in other parts of Switzerland monitored in the same project. In October 2003, an attempt was made to alleviate the gradual degradation of the performance of sub-plant Newtech 3 with a-Si triple cells by a thermal insulation placed at the back of the modules. By this measure, further degradation of this sub-plant could be alleviated considerably.

In the first two years, degradations were registered only at the sub-plants with a-Si modules. Since 2004 also a minor degradation at the CIS sub-plant could be registered. Some visual degradation can be observed at all three sub-plants. However, stability is sufficient now. For the CIS-sub-plant, degradation is in the same range as with a mono-c-Si plant.

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>.