

# Rekordernte auf dem Jungfraujoch

Neben Wechselrichtertests im Rahmen von aF+E-Projekten und für Firmen im In- und Ausland führt das PV-Labor der HTI auch seit 1992 Langzeitmessungen an vielen netzgekoppelten Photovoltaik-(PV-)Anlagen durch. Die (zumindest bei ihrer Erstellung) höchstgelegene netzgekoppelte Photovoltaikanlage der Welt auf dem Jungfraujoch (3454 m) wurde durch das Photovoltaiklabor der HTI im Sommer und Herbst 1993 geplant und Ende Oktober 1993 in Betrieb genommen.



**Heinrich Häberlin**

Die PV-Anlage Jungfraujoch arbeitet seit mehr als 147 Monaten störungsfrei mit einer Verfügbarkeit von Energieproduktion und Messdaten von 100%. Der Betrieb einer PV-Anlage in einer derartigen Höhenlage ist ein extremer Stress für alle Komponenten. Anlagekomponenten, die sich in derart extremen Umweltbedingungen bewähren, sollten auch unter normalen Betriebsbedingungen sehr zuverlässig arbeiten.

## Neuer Rekord

Die Anlage auf dem Jungfraujoch (3454 m) mit einer effektiven Spitzenleistung von 1,13 kWp hat 2005 einen neuen Rekord für die spezifische Jahresenergieproduktion aufgestellt. Trotz eines eintägigen Stromausfalls am 23.8.2005 infolge Überschwemmungen im Tal wurden im Jahr 2005 1537 kWh/kWp produziert, wobei der

Winterenergieanteil 48,5% betrug. Der bisherige Rekordwert von 1504 kWh/kW aus dem Jahre 1997 wurde damit deutlich übertroffen. Ohne den Stromausfall wären 2005 sogar 1540 kWh/kWp produziert worden. Im Durchschnitt der Jahre 1994–2005 hat die Anlage 1407 kWh/kWp produziert, wobei der Winterenergieanteil 46,3% betrug (Tabelle 1).

Im Mittel über 12 Jahre liegt die Energieproduktion der PV-Anlage auf dem Jungfraujoch um mehr als 70% höher als die einer vergleichbaren Anlage im Mittelland (mittlerer Jahresenergieertrag dort etwa 820 kWh/kWp).

## Besser als im Mittelland

Für einen Überblick über die Energieproduktion und allfällig aufgetretene betriebliche Probleme eignen sich *normierte Jahresstatistiken* sehr gut. Sie zeigen auch die Verteilung der Energieproduktion auf die verschiedenen Monate (siehe Bild 2 und 3). Die Ge-

**Bild 1** Blick auf die eine Hälfte des Solargenerators der PV-Anlage (1,1 kWp) an der Fassade der hochalpinen Forschungsstation Jungfraujoch (3454 m, etwa 46,5°N). Am rechten Bildrand sind zwei Strahlungssensoren (ein Pyranometer und eine Referenzzelle) zu erkennen.

**Tabelle 1** Auf Anlagengröße bezogener Jahresenergieertrag und Performance Ratio der PV-Anlage Jungfraujoch in den Jahren 1994 und 2005 sowie Mittelwert dieser Jahre.

samthöhe der Säulen in diesen Statistiken stellt die im Mittel von der Sonne pro Tag auf den Solargenerator eingestrahlte Energie in kWh/m<sup>2</sup> dar. Die Höhe der grünen Säule bedeutet die daraus von der PV-Anlage pro kWp und pro Tag produzierte elektrische Energie (oder einfach die *mittlere Anzahl Volllaststunden pro Tag*). Weitere Details über die normierte Darstellung sind in [3] zu finden.

Das Projekt hat klar gezeigt, dass sich sonnenexponierte Fassaden von alpinen Gebäuden mit Netzanschluss für die Installation von netzgekoppel-

Tab. 1	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Mittelwert 1994–2005
$Y_f$ (kWh/kWp/a)	1272	1404	1454	1504	1452	1330	1372	1325	1400	1467	1376	1537	1407
$PR = Y_f / Y_r$ in %	81,8	84,1	84,7	85,3	87,0	84,8	84,6	78,6	85,2	84,9	86,2	86,9	84,2

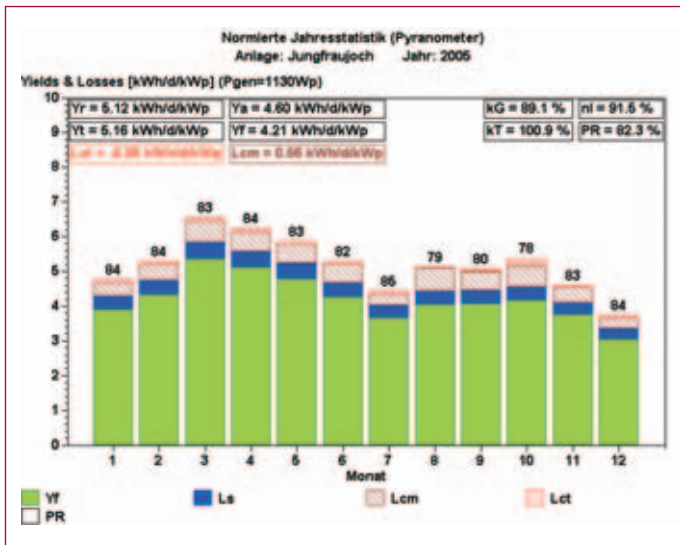


Bild 2 Normierte Jahresstatistik der PV-Anlage Jungfrauojoch für 2005 (grün: durchschnittliche tägliche Energieproduktion pro installiertes kW Spitzenleistung).

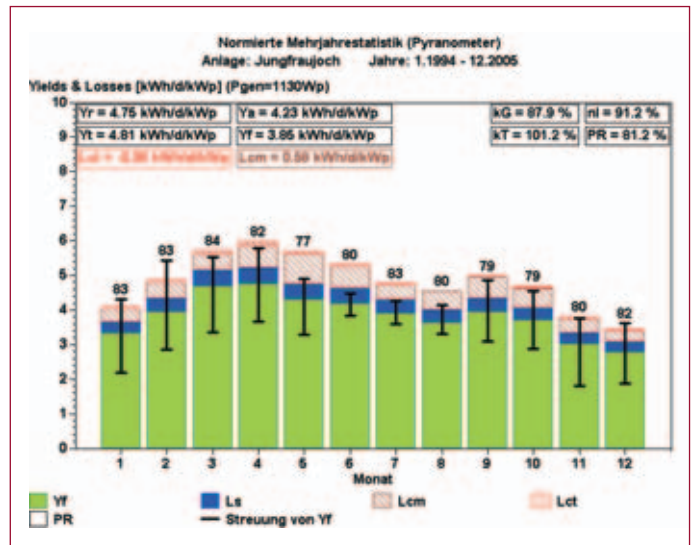
Bild 3 Normierte Mehrjahresstatistik der PV-Anlage Jungfrauojoch (Mittelwert der Jahre 1994 bis 2005 mit eingezeichnetem Streubereich für jeden Monat).

ten Photovoltaikanlagen besonders gut eignen. Die von derartigen Anlagen produzierte Energie passt viel besser ins Lastprofil der Stromversorgung in der Schweiz als die Energie von PV-Anlagen im Mittelland und ergänzt die Energieproduktion von Laufkraftwerken sehr gut. In den Monaten No-

vember bis Februar produzieren sie pro installiertes kWp Solargeneratorleistung ein Mehrfaches der Energie von entsprechenden Anlagen auf Dächern oder an Fassaden von Gebäuden im Mittelland. [ET 04]

Dr. Heinrich Häberlin  
Prof. für Photovoltaik  
Berner Fachhochschule HTI  
3400 Burgdorf  
heinrich.haerberlin@bfh.ch

Weitere Informationen über die Arbeiten der HTI auf dem Gebiet Photovoltaik unter [www.pvtest.ch](http://www.pvtest.ch).



#### Literatur:

- [1] H. Häberlin: «Hoher Energieertrag auf dem Jungfrauojoch: Die ersten fünf Betriebsjahre der netzgekoppelten 1,1-kWp-Photovoltaikanlage der HTA Burgdorf». Elektrotechnik 10/1999.
- [2] H. Häberlin: «Hochalpine Photovoltaikanlagen – Langzeiterfahrungen mit Fassadenanlagen». Elektrotechnik 6-7/2004.
- [3] H. Häberlin und Ch. Beutler: «Analyse des Betriebsverhaltens von Photovoltaikanlagen durch normierte Darstellung von Energieertrag und Leistung». Teil 1 in Elektrotechnik 5/1995, Teil 2 in Elektrotechnik 6+7/1995 (gekürzte Version: [www.pvtest.ch](http://www.pvtest.ch) > Publikationen, [42]).