

# Energieertrag hochalpiner, netzgekoppelter Photovoltaikanlagen

Neben den Untersuchungen an Photovoltaik-Wechselrichtern befasst sich die Ingenieurschule Burgdorf (ISB) seit einigen Jahren auch mit der Systemtechnik ganzer Photovoltaikanlagen (Simulation und Messung des Energieertrags, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Blitzschutz usw.). Im Rahmen eines Auftrages des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW) und des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes (WEA) des Kantons Bern wurden einige Anlagen im Kanton Bern mit einer aufwendigen Messtechnik ausgerüstet, die präzise Messungen von Sonneneinstrahlung, Leistung auf der Gleich- und Wechselstromseite sowie Modul- und Umgebungstemperatur gestattet.

Je eine dieser Anlagen befindet sich auf gut 500 m in Burgdorf (durchschnittlicher Mittellandstandort) und in Interlaken (nebelarmer Standort). Zwei weitere Anlagen befinden sich dagegen an hohen (Birg, 2670 m) bzw. sehr hohen Standorten (Jungfrauoch, 3454 m) in den Alpen. Die in den letzten zwei Jahren durchgeführten Messungen zeigen, dass die in früheren Arbeiten für derartige Anlagen vorausgesagten Energieerträge [1, 2] in der Praxis tatsächlich erreicht werden können. Bei alpinen Anlagen sind auch sehr hohe Winterenergieanteile möglich (bei der Anlage Jungfrauoch knapp unter 50%, bei der Anlage Birg sogar deutlich über 50%!).

Die Anlage Jungfrauoch arbeitet seit ihrer Inbetriebnahme Ende Oktober 1993 störungsfrei mit einer Verfügbarkeit von Energieproduktion und Messdaten von 100%. Auch die Anlage Birg, wo zu Beginn wegen der schlechten Netzverhältnisse verschiedene Wechselrichterausfälle auftraten, arbeitet dank verschiedenen Verbesserungen am Wechselrichter seit Juli 1994 ebenfalls ohne Ausfälle.

## 1. Anlage Jungfrauoch (3454 m)

Die Anlage Jungfrauoch dient primär folgenden Forschungszwecken:

- **Härtetest von Komponenten von PV-Anlagen** an einem klimatischen Extremstandort im Hochgebirge (Einstrahlungsspitzen bis  $1,66 \text{ kW/m}^2$ , Modultemperaturen zwischen  $-30^\circ\text{C}$  und  $+55^\circ\text{C}$ , Stürme mit Windgeschwindigkeiten bis  $200 \text{ km/h}$ , heftige Gewitter mit hohen Überspannungen bei nahegelegenen Blitzeinschlägen).
- **Experimentelle Ermittlung des möglichen Energieertrags** einer hochalpinen PV-Anlage.

### 1.1 Aufbau der Anlage

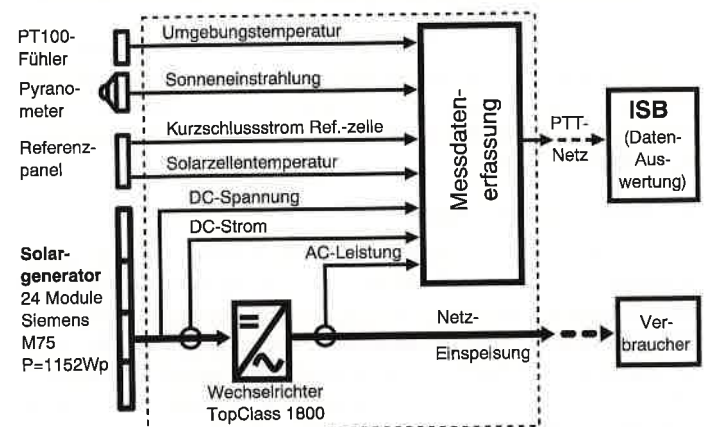
Der Solargenerator der Anlage besteht aus 24 Modulen Siemens Solar M75 (48 Wp) und besitzt somit eine nominelle Spitzenleistung  $1152 \text{ Wp}$  bei STC. Er ist in zwei parallel geschaltete Arrays zu 12 Modulen unterteilt, die vertikal an der Fassade der hochalpinen Forschungsstation Jungfrauoch montiert sind (siehe Bild 1). Auf dieser Höhe kommen ab und zu nahezu STC-Bedin-



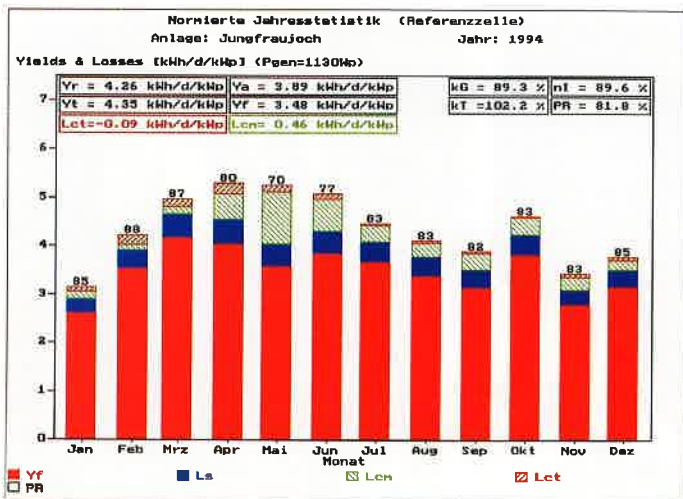
**Bild 1** Blick auf die eine Hälfte des Solargenerators der Anlage Jungfrauoch (3454 m) mit beheiztem Pyranometer und Referenzzelle zur Strahlungsmessung. Im Hintergrund das Restaurant Jungfrauoch.

gungen ( $1 \text{ kW/m}^2$ , AM 1,5, Zelltemperatur  $25^\circ\text{C}$ ) vor, so dass mit der vorhandenen genauen Messtechnik eine effektive Solargeneratorleistung von  $1,13 \text{ kWp}$  bestimmt werden konnte. Die Ausrichtung des ersten Arrays weicht gegenüber der Südrichtung um  $12^\circ$ , die des zweiten Arrays um  $27^\circ$  gegen Westen ab, ist also nicht weit vom Optimum entfernt. Der vom Solargenerator er-

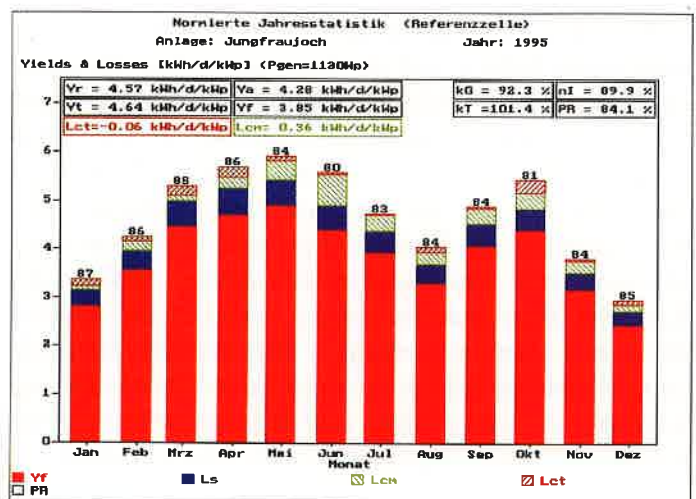
### Blockschaltbild PV-Anlage Jungfrauoch



**Bild 2** Blockscheema der ISB-Photovoltaikanlage auf dem Jungfrauoch.



**Bild 3** Normierte Jahresstatistik der Anlage Jungfrauoch für 1994. In den Monaten April bis Juni ist die Performanz wegen zeitweiser Schneebedeckung einer Generatorhälfte deutlich tiefer als in anderen Monaten.



**Bild 4** Normierte Jahresstatistik der Anlage Jungfrauoch für 1995. Dank geringerer Schneebedeckung ist die Performanz in den Frühlingsmonaten deutlich höher als im Vorjahr.

zeugte Gleichstrom wird von einem Wechselrichter Top Class 1800 Grid in netzkonformen Wechselstrom umgewandelt (siehe Bild 2). Die gesamte Messtechnik wurde von der Photovoltaik-Gruppe der ISB entwickelt. Folgende Grössen werden gemessen:

- Einstrahlung in Array-Ebene 1 und 2 (mit je einem beheizten Pyranometer und einer Referenzzelle)
- Modultemperatur bei Array 1 und 2
- von jedem Array produzierter Gleichstrom
- Gleichspannung am Wechselrichtereingang
- Netzspannung am Wechselrichterausgang
- ins Netz eingespeiste Wirkleistung

Diese Grössen werden alle zwei Sekunden gemessen. Die erfassten Daten werden mit einem Datenlogger Campbell CR10 abgespeichert. Im Normalfall werden daraus Fünf-Minuten-Mittelwerte gebildet. Beim Auftreten einer Störung stehen die erfassten Zwei-Sekunden-Werte jedoch als sogenannte Errorfiles für eine detaillierte Auswertung zur Verfügung. Jeweils in den frühen Morgenstunden werden die Daten über Modem automatisch an die ISB übertragen.

## 1.2 Betriebserfahrungen

Die Anlage hat erfreulicherweise bisher allen Belastungen standgehalten. Sie überstand erfolgreich viele Stürme mit Windgeschwindigkeiten bis über 200 km/h und heftige Gewitter mit Naheinschlägen, die in anderen Experimenten in der Forschungsstation Schäden verursachten. Die hohen thermischen und mechanischen Beanspruchungen durch grosse und schnelle Temperaturänderungen (z. B. Abkühlen der Solarzellen bei Sonnenuntergang: Temperatursturz von etwa 40 °C innerhalb von 30 Minuten, totale Temperaturdifferenz Tag-Nacht bis zu 70 °C) konnten ihr ebenfalls nichts anhaben. Auch der Wechselrichter

hatte dank der relativ guten Netzverhältnisse (grosse Trafos in der Nähe) und dank dem aufwendigen Überspannungsschutz keine nennenswerten Probleme und funktionierte ausser ganz wenigen durch Spannungsschwankungen verursachten Kurzabschaltungen in den über 31 Monaten seit Inbetriebnahme der Anlage einwandfrei.

Als einziges betriebliches Problem der Anlage treten ab und zu temporäre Reif- und Schneebedeckungen des Solargenerators auf. Im Normalfall haben diese keine grossen Energieproduktionsausfälle zur Folge, nach ein paar Stunden Sonnenschein ist das Eis oder der Schnee auf dem Generator wieder weggeschmolzen. Nur im Frühling (April bis Juni) kann besonders nach schneereichen Wintern (z. B. Winter 1993/94) zeitweise eine längere teilweise Schneebedeckung der einen Generatorhälfte auftreten, da sich bei ergiebigen Schneefällen eine Schneehöhe von über 3 m ab Boden ergeben kann! Die Energieproduktion des Jahres 1994 war durch dieses Problem deutlich beeinträchtigt.

## 1.3 Energieproduktion

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 kWh/m<sup>2</sup>d),  $Y_a$  (Generatoretrag auf der DC-Seite in kWh/kWp) und  $Y_f$  (Endertrag auf der AC-Seite in kWh/kWp) sowie die Performanz  $PR = Y_f/Y_r$  als durchschnittliche Tageswerte für jeden Monat angegeben [3]. Die Bilder 3 und 4 zeigen die normierten Jahresstatistiken der Anlage Jungfrauoch für 1994 und 1995.

Im Jahre 1994 erzielte die Anlage gemäss Bild 3 mit einem auf die nominelle Generatorleistung von 1,152 kWp bezogenen spezifischen Energieertrag von 1247 kWh/kWp (bezogen auf die



**Bild 5 Solargenerator der Photovoltaikanlage Birg (4,134 kWp) auf 2670 m.**

effektive Generatorleistung gar 1272 kWh/kWp) bereits einen Rekordwert für die Jahresproduktion, der von keiner anderen Anlage in der Schweiz übertroffen wurde. Diese Werte wurden trotz teilweiser Schneebedeckung im Frühling (relativ niedrige PR-Werte von April bis Juni 1994) und trotz um etwa 7% unterdurchschnittlicher Sonneneinstrahlung erreicht. Der Winterenergieanteil betrug in diesem Jahr 48%.

Dank besseren Einstrahlungsverhältnissen, aber auch dank geringerer Schneebedeckung im Frühling 1995 (wesentlich höhere PR-Werte von April bis Juni 1995 im Vergleich zum Vorjahr) stieg im Jahre 1995 die spezifische Energieproduktion (Bild 4) auf 1377 kWh/kWp (bezogen auf die effektive Generatorleistung gar auf 1404 kWh/kWp). Trotz eines Anstiegs der Winterenergieproduktion in Vergleich zum Vorjahr sank der relative Winterenergieanteil wegen eines noch stärkeren Anstiegs der Sommerenergieproduktion auf 45%.

Bei beiden Jahren fällt auf, dass die maximale Energieproduktion nicht wie bei den meisten Mittellandanlagen im Sommer auftritt, sondern dass *zwei Maxima im Frühling und Herbst* auftreten. Das Hauptmaximum tritt im Frühling in den Monaten März, April oder Mai auf, ein zweites, etwas niedrigeres Maximum in den Herbstmonaten. Generell fällt auf, dass die Energieproduktion über das ganze Jahr relativ gleichmässig ist. Dank der starken vom Aletschgletscher reflektierten Strahlung ist auch die Sommerproduktion trotz des für den Sommer ungünstigen Anstellwinkels  $\beta = 90^\circ$  sehr hoch.

In den letzten zwölf Monaten (Mai 1995 bis April 1996) erreichte die jährliche Energieproduktion mit 1428 kWh/kWp (bezogen auf die effektive Generatorleistung gar 1456 kWh/kWp) den bisher höchsten Wert, da in dieser Periode die Einstrahlung fast dem langjährigen Durchschnittswert entsprach (nur noch 1,8% zu tief) und weil dank dem schneearmen Winter die Schneebedeckung relativ selten war. Der Winterenergieanteil betrug in dieser Zeit 46,4%. Die in [1] und [2] angegebenen jährlichen Energieerträge für eine derartige hochalpine Anlage sind somit in der Praxis tatsächlich erreichbar.

## 2. Anlage Birg/Schilthorn (2670 m)

Diese Anlage ist keine Forschungsanlage, sondern eine hochalpine Produktionsanlage, die vom Verein zur Förderung der erneuerbaren Energien in Interlaken an der Fassade der Zwischenstation Birg der Schilthornbahn ob Mürren auf einer Höhe von 2670 m errichtet wurde.

### 2.1 Aufbau der Anlage

Die Anlage ist mit einem Solargenerator aus 78 Modulen Siemens Solar M55 (53 Wp) ausgerüstet, die ebenfalls vertikal an der Fassade des Gebäudes montiert sind. Die nominelle Spitzenleistung des Solargenerators bei STC beträgt 4,134 kWp, er ist also für den verwendeten Wechselrichter Solcon 3400 (Nennleistung 3,4 kW AC) leicht überdimensioniert, wie das heute bei neuen Anlagen gerne gemacht wird. Die Messtechnik ist ähnlich, aber aus Kostengründen etwas einfacher aufgebaut als auf dem Jungfraujoch. Für die Strahlungsmessung ist ein einziges unbeheiztes Pyranometer vorgesehen. Bild 5 zeigt den Solargenerator der Anlage Birg ( $5^\circ$  Abweichung von Süden gegen Westen).

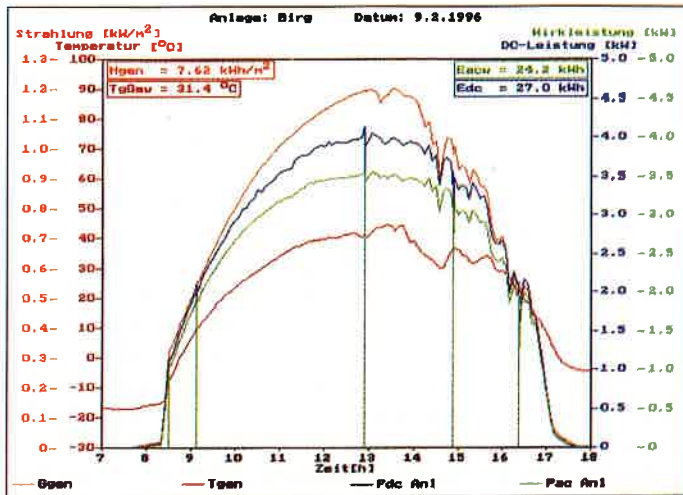
### 2.2 Betriebserfahrungen

Wegen schlechter Netzverhältnisse treten beim Anfahren der Ward-Leonard-Gruppe des Seilbahnantriebs oft starke Spannungsschwankungen im Netz auf, welche den Wechselrichter stören. Die Anlage, welche bereits Ende 1992 in Betrieb genommen wurde, hatte deshalb anfänglich oft Probleme mit dem Wechselrichter. Bis Mitte 1994 traten neben sporadischen Wechselrichter-Fehlfunktionen insgesamt 5 Hardwaredefekte am Wechselrichter auf. Nach mehreren Versuchen gelang es dem Hersteller schliesslich, das Gerät soweit gegen diese Störungen zu immunisieren, dass beim Anfahren der Ward-Leonard-Gruppe nur noch Kurzabschaltungen ohne grossen Einfluss auf die Energieproduktion, jedoch keine Hardwaredefekte mehr auftreten.

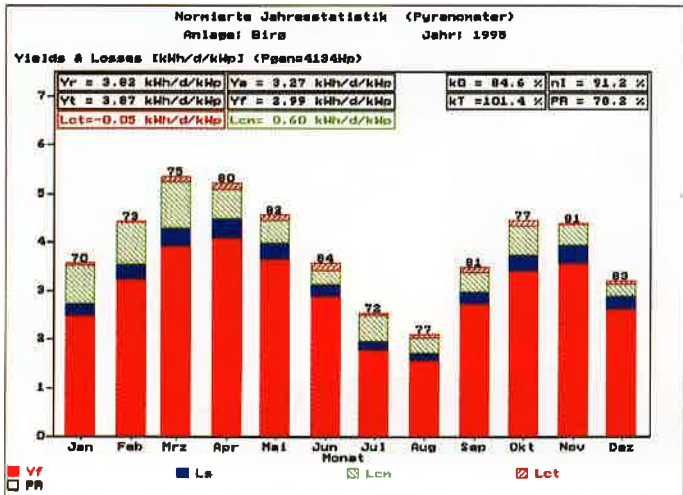
Um ein originelles Erscheinungsbild zu erreichen, wurde bei dieser Anlage auf Wunsch des Gebäudeeigentümers der untere Teil des Solargenerators etwas zu weit nach unten gezogen, so dass dieser recht nahe über einem relativ schwach geneigten Vordach liegt. Auf diesem Vordach bildet sich im Winter nach starken Schneefällen eine Schneemauer, die den unteren Teil des Generators abdeckt und die Energieproduktion reduziert. Durch eine bessere Anordnung des Solargenerators hätte dieses Problem leicht vermieden werden können.

Wenn keine Schneebedeckung des Solargenerators vorliegt, tritt wegen der leichten Überdimensionierung des Solargenerators an schönen Wintertagen über die Mittagszeit trotzdem eine Leistungsbegrenzung auf, da der Wechselrichter höchstens mit seiner Nennleistung ins Netz einspeisen kann. Dies führt an solchen Tagen natürlich zu einem gewissen Energieproduktionsverlust.

Bild 6 zeigt den Verlauf der Sonneneinstrahlung, der Modultemperatur sowie der Gleich- und Wechselstromleistung an einem schönen Wintertag. Man erkennt, dass (wegen der erwähnten Spannungsschwankungen) mehrere Kurzabschaltungen auftreten und dass in den Mittagsstunden (wegen der leichten Überdimensionierung des Solargenerators) die ins Netz eingespeiste



**Bild 6** Verlauf von Sonneneinstrahlung, Modultemperatur sowie Gleich- und Wechselstromleistung an einem schönen Wintertag (9. 2. 1996) bei der Anlage Birg. Beim Anfahren des Seilbahnantriebs treten mehrere Kurzabschaltungen auf, und über die Mittagszeit wird die ins Netz eingespeiste Leistung auf etwa 3,4 kW begrenzt.



**Bild 7** Normierte Jahresstatistik der Anlage Birg für 1995. Wegen temporärer Schneebedeckung des unteren Teils des Generators ist die Performanz in den ersten Monaten tiefer als im Rest des Jahres. Auffällig ist auch das ausgeprägte Sommerloch in den Monaten Juni bis September.

Leistung auf die wechselstromseitige Nennleistung des Wechselrichters begrenzt wird.

**2.3 Energieproduktion**

Die Anlage Birg produzierte im Jahre 1994 (wegen verschiedenen Wechselrichterausfällen im ersten Halbjahr) nur 926 kWh/kWp. Davon wurden 56,8% im Winterhalbjahr produziert, ein für eine Photovoltaikanlage ungewöhnlich hoher Prozentsatz. Nähere Informationen befinden sich in [4].

Für einen fairen Vergleich mit anderen Anlagen, deren Energieproduktion nicht durch derart schlechte Netzverhältnisse beeinträchtigt ist, sollte jedoch das Jahr 1995 herangezogen werden. In diesem Jahr funktionierte der Wechselrichter einwandfrei, und die Anlage produzierte 1090 kWh/kWp.

Bild 7 zeigt die normierte Jahresstatistik der Anlage Birg für 1995. Wegen zeitweiliger Schneebedeckung des Generators in den ersten Monaten dieses Jahres und temporärer Leistungsbeschränkung an schönen Wintertagen war die Performanz besonders in den Monaten Januar bis März deutlich kleiner als bei der Anlage Jungfrauoch. Weiter fällt das *ausgeprägte Sommerloch der Energieproduktion* in den Monaten Juni bis September auf. Da vor der Anlage kein Gletscher vorhanden ist, ist die im Sommer auf den Generator auftreffende Reflexionsstrahlung viel geringer, so dass sich der für diese Jahreszeit ungünstige Anstellwinkel von 90° voll auswirkt. Zudem treten in den Alpen an Sommernachmittagen häufig Quellwolken und Gewitter auf, welche die Energieproduktion gegenüber Standorten im Flachland etwas reduzieren. Wegen des grossen Sommerlochs ist auch der relative Winterenergieanteil der Anlage Birg (im Jahre 1995: 53,4%) höher als bei der Anlage Jungfrauoch, obwohl die produzierte Winterenergie in absoluten Zahlen etwas geringer ist.

Wie bei der Anlage Jungfrauoch treten aber zwei ausgeprägte Maxima im Frühling und Herbst auf.

Auch bei dieser Anlage erreichte die auf die nominelle Solar-generatorleistung bezogene spezifische Jahresenergieproduktion in den strahlungsmässig einigermaßen dem Durchschnitt entsprechenden letzten zwölf Monaten (1. Mai 1995 bis 30. April 1996) mit *1143 kWh/kWp* einen neuen Spitzenwert. Dank dem schneearmen Winter trat praktisch keine Teilbedeckung des Solargenerators auf. Der *relative Winterenergieanteil* erreichte deshalb mit *57,1%* einen neuen Rekordwert.

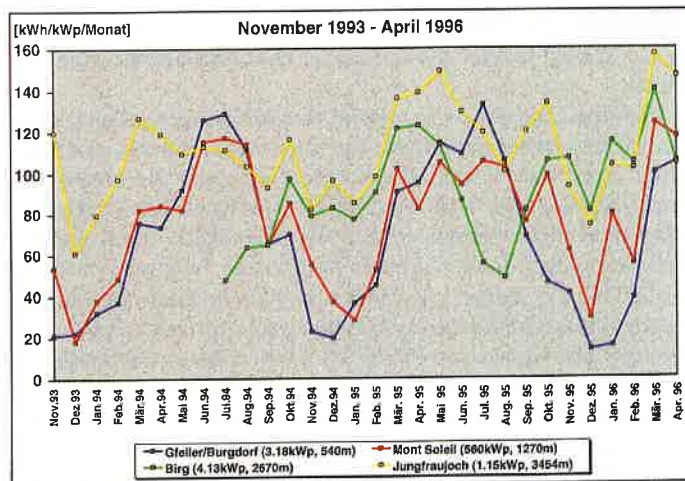
**3. Vergleich mit anderen Anlagen im Kanton Bern**

Tabelle 1 zeigt die auf die nominelle Solargenerator-Spitzenleistung bezogene Energieproduktion in den letzten zwölf Monaten (Mai 1995 bis April 1996) bei einer Anlage in Burgdorf (3,18 kWp, 540 m), der Anlage Mont-Soleil (560 kWp, 1270 m), der Anlage Birg (4,134 kWp) und der Anlage Jungfrauoch (1,152 kWp). Bei der Anlage im Mittelland tritt ein ausgeprägtes Sommermaximum und ein ebenso prominentes Winterminimum auf (Verhältnis 9,8, Winterenergieanteil 28,6%). Bei der höher gelegenen Anlage Mont-Soleil ist die Situation ähnlich, allerdings ist das Verhältnis zwischen Sommermaximum und Winterminimum mit knapp 3,6 schon deutlich besser, und der Winterenergieanteil steigt auf 42,8%. In der erwähnten Periode erreichte also auch die Anlage Mont-Soleil einen relativ hohen Winterenergieanteil. Noch günstiger sind aber die beiden Anlagen in den Alpen. Die Jahresenergieproduktion ist deutlich höher als bei den andern Anlagen, sie verläuft viel gleichmässiger (geringere Streuung der Monatsenergieproduktion), es treten pro Jahr zwei Produktionsmaxima auf (statt nur einem), das Verhältnis zwischen Maximum

und Minimum liegt nur noch knapp über 2 und der Winterenergieanteil liegt bei 46,4% (Jungfrauojoch) bzw. 57,1% (Birg).

Beim direkten Vergleich der beiden hochalpinen Anlagen fällt auf, dass die Anlage Birg in dieser Periode in den Monaten November 1995 bis Februar 1996 sogar eine etwas höhere spezifische Monatsenergieproduktion aufweist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Winter 1995/96 relativ oft Südwestlagen mit Niederschlägen auf der Südabdachung der Alpen auftraten, die sich auf dem Jungfrauojoch unmittelbar auf dem Alpenhauptkamm stärker auswirkten als auf Birg, das etwa 1000 m tiefer und einige Kilometer vom Hauptkamm entfernt liegt und deshalb davon weniger betroffen war. Im Winter 1994/95 war die Situation aber gerade umgekehrt, d. h. die spezifische Energieproduktion der Anlage Jungfrauojoch war auch in diesen Monaten etwas höher als auf Birg.

Bild 8 zeigt die spezifische monatliche Energieproduktion dieser vier Anlagen in kWh/kWp pro Monat in der Zeit von November 1993 bis April 1996. Um den Vergleich fair zu gestalten, sind für die Anlage Birg nur die Werte seit Juli 1994 eingetragen, nachdem die Wechselrichterprobleme behoben werden konnten.



**Bild 8** Auf die nominelle Generatorleistung bezogene Energieproduktion der Anlagen Jungfrauojoch (1,152 kWp), Birg (4,134 kWp, ab Juli 1994), Mont-Soleil (560 kWp) und Gfeller (3,18 kWp) in kWh/kWp pro Monat in der Zeit von November 1993 bis April 1996.

Energieproduktion in kWh/kWp pro Monat				
Monat	Gfeller/ Burgdorf 3,18 kWp 540 m	Mont- Soleil 560 kWp 1270 m	Birg/ Schilthorn 4,13 kWp 2670 m	Jungfrau- ojoch 1,15 kWp 3454 m
Mai 1995	114,2	104,7	113,3	148,8
Juni 1995	109,0	93,9	86,5	129,6
Juli 1995	132,8	105,2	55,4	119,4
August 1995	105,7	102,5	48,5	100,6
September 1995	68,5	75,9	81,7	120,0
Oktober 1995	46,3	98,4	105,5	133,8
November 1995	40,7	61,8	106,7	92,9
Dezember 1995	13,5	28,9	80,9	74,1
Januar 1996	15,4	79,6	115,0	103,4
Februar 1996	38,5	55,5	104,8	101,9
März 1996	99,7	123,9	140,1	156,9
April 1996	105,1	117,1	104,4	146,4
<b>Summe</b>	<b>889</b>	<b>1047</b>	<b>1143</b>	<b>1428</b>

<b>Sommer</b>	635,3	599,3	489,7	764,8
(April–September)	71,4%	57,2%	42,9%	53,6%
<b>Winter</b>	254,0	448,0	653,1	663,0
(Oktober–März)	28,6%	42,8%	57,1%	46,4%

<b>Mittelwert</b>	<b>74,1</b>	<b>87,3</b>	<b>95,2</b>	<b>119,0</b>
Maximalwert	132,8	123,9	140,1	156,9
Minimalwert	13,5	28,9	48,5	74,1
Streuung $\sigma$	41,8	27,8	25,9	25,2

**Tabelle 1** Auf nominelle Solargenerator-Spitzenleistung bezogene Energieproduktion in kWh/kWp bei den Anlagen Gfeller/Burgdorf, Mont-Soleil, Birg und Jungfrauojoch in der Zeit vom 1. 5. 1995 bis 30. 4. 1996 (12 Monate).

Die bisherigen Messungen haben auch gezeigt, dass sich die Produktion von alpinen netzgekoppelten Photovoltaikanlagen und die Produktion von Wasserkraftwerken sehr gut ergänzen. Im relativ niederschlagsarmen Winter 1995/96 lag die Produktion der schweizerischen Wasserkraftwerke sehr tief (siehe entsprechende Inseratekampagne des VSE). In der gleichen Zeit war die Energieproduktion der beiden hochalpinen Anlagen Birg und Jungfrauojoch sehr hoch und erreichte fast jeden Monat neue Rekordwerte.

#### 4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Sonnexponierte Fassaden von hochalpinen Gebäuden mit Netzanschluss eignen sich für die Installation von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen besonders gut. Wenn die Unterkante des Solargenerators genügend hoch über dem Erdboden oder Dächern montiert wird (deutlich höher als die zu erwartende mittlere Schneehöhe), sind die Energieverluste infolge Schnee- und Reifbedeckung gering. Die von derartigen Anlagen produzierte Energie passt viel besser ins Lastprofil der Stromversorgung in der Schweiz als die Energie von PV-Anlagen im Mittelland. In den Monaten *November bis Februar* produzieren sie pro installiertes kWp Solargeneratorleistung ein *Mehrfaches der Energie von entsprechenden Anlagen* auf Dächern oder an Fassaden von Gebäuden *im Mittelland* (siehe Bild 8). Dank der meist vor direkten Blitzeinschlägen geschützten Lage in der Fassade lassen sich die in den Alpen häufigen atmosphärischen Überspannungen mit geeigneten Schutzmassnahmen gut beherrschen. Es scheint deshalb sinnvoll zu sein, derartige Anlagen an Gebäuden der touristischen Infrastruktur im Gebirge zu realisieren, falls die Netzverhältnisse einen Wechselrichteranschluss zulassen [5]. Dabei ist bei Seilbahnstationen im Hochgebirge zu beachten, dass durch den Bahnbetrieb bedingte Transienten den Wechselrichterbetrieb etwas beeinträchtigen können, wenn diese

allzu stark sind. Richtig konzipierte Wechselrichter neuester Bauart sollten jedoch dadurch keine Hardwaredefekte mehr erleiden.

Die nun einige Jahre durchgeführten Messungen belegen, dass nach Überwindung allfälliger Anfangsschwierigkeiten dank der heute stark verbesserten Wechselrichterqualität die erwarteten Energieerträge von 1000 bis 1400 kWh/kWp in der Praxis tatsächlich erreicht werden können. Die ISB hofft, durch gezielte Verbesserungen die Performanz der Anlage Jungfrauoch noch um 2% bis 3% steigern zu können, so dass in einem strahlungsmässig durchschnittlichen und nicht zu schneereichen Jahr sogar die magische Grenze von 1500 kWh/kWp in Reichweite rückt.

Wie das Langzeitverhalten netzgekoppelter Photovoltaikanlagen in den Alpen ist, wie rasch die verwendeten Komponenten altern und ob allfällige Degradationserscheinungen auftreten, sollte aber durch eine Fortsetzung der Messungen an einigen Anlagen weiter untersucht werden. Es ist zu hoffen, dass trotz Finanzknappheit auf allen Seiten die notwendigen Mittel für die Weiterführung der Messungen an den bisher sehr erfolgreich arbeitenden Anlagen Jungfrauoch und Birg beschafft werden können.

### Verdankungen

Die PV-Anlage auf dem Jungfrauoch konnte nur dank Spenden verschiedener Firmen und Institutionen erstellt werden, nämlich der Siemens Schweiz AG (Solarmodule), des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE), der Bahnen der Jungfrauregion und der Fabrimex Solar AG (Wechselrichter). Die Entwicklung und Beschaffung der Messtechnik und die Messungen bis

Mai 1995 erfolgten im Rahmen eines vom Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) und vom Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA) finanzierten Messprojektes. All diesen Firmen und Institutionen sei an dieser Stelle für ihre wertvolle Unterstützung gedankt. Dank gebührt auch der Internationalen Stiftung Hochalpine Forschungsstation Jungfrauoch, welche die Montage des Solargenerators an der Fassade ihres Gebäudes gestattet hat und unter ihrem Dach den Wechselrichter und die Messapparaturen beherbergt. Schliesslich danken wir auch der Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG (EWI), welche die Daten der Anlage Mont-Soleil zur Verfügung gestellt hat und dem Verein zur Förderung der erneuerbaren Energien in Interlaken, welcher die Messungen an seiner Anlage Birg erlaubt hat. [ET4]

*Dr. H. Häberlin, dipl. El.-Ing. ETH, Professor, und Ch. Beutler, El.-Ing. HTL, Assistent, Ingenieurschule Burgdorf (ISB), Ilcoweg 1, CH-3400 Burgdorf*

### Literatur:

- [1] H. Häberlin: Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen in Tourismusregionen. «Elektroniker» 11/92.
- [2] H. Häberlin: Photovoltaik – Strom aus Sonnenlicht für Inselanlagen und Verbundnetz. AT Verlag, Aarau, 1991, ISBN 3-85502-434-0. Gegenwärtig vergriffen, Neuauflage in Vorbereitung.
- [3] H. Häberlin und Ch. Beutler: Analyse des Betriebsverhaltens von Photovoltaikanlagen durch normierte Darstellung von Energieertrag und Leistung. «Elektrotechnik» 5/95 und 6+7/95.
- [4] Ch. Beutler und H. Häberlin: Ertrag und Zuverlässigkeit von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen im Kanton Bern. Schlussbericht BEW-Projekt DIS 2316/ENET 9107610, Nov. 1995. Erhältlich bei ENET, c/o BEW, 3003 Bern.
- [5] H. Häberlin: Photovoltaik-Wechselrichter für Netzverbundanlagen – Normen, Vorschriften, Probleme, Lösungsmöglichkeiten. «Elektroniker» 6+7, 1992.

## Nahtlos in die Praxis Elektrotechnik

Schweizerische Fachzeitschrift für angewandte Elektrotechnik

# SOMFY<sup>®</sup> MATISCH SOMMERFESTE WINTERGÄRTEN.

Steuerungen von Somfy bewegen Storen, Rollos, Plissees, Jalousien, Raffsysteme ganz automatisch. Aussen oder innen am Wintergarten nach Sonnenstand oder Innentemperatur. So bleiben Wintergärten auch im Sommer angenehm kühl. Fragen Sie Ihren Fachmann oder Somfy AG, Vorbuchenstr. 17, 8303 Bassersdorf, Tel. 01/836 80 70.

**GANZ AUTOMATISCH.**