Ertrags- und Wirkungsgradmessungen an Solarzellen

Autor(en): **Durisch, Wilhelm**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **84 (1993)**

Heft 10

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902687

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Am Paul-Scherrer-Institut (PSI) wurde eine Photovoltaik-Messanlage aufgebaut. Damit werden seit 1988 Messungen an fixmontierten und sonnennachgeführten Solarmodulen durchgeführt. Zwei Kennlinienapparaturen erlauben es zudem, Kennlinien und Wirkungsgrad von einzelnen Solarzellen und handelsüblichen Solarmodulen bei realen Klima- und Betriebsbedingungen auszumessen.

Ertrags- und Wirkungsgradmessungen an Solarzellen

■ Wilhelm Durisch

Das Interesse des PSI an der Photovoltaik ist historisch bedingt: Bereits in den frühen 80er Jahren waren Solarzellen die billigste Energiequelle für eine Meteostation in abgelegenem alpinen Gelände, welche das PSI damals für das Metaroz-Projekt (Studie für solarthermische Stromerzeugung in den Alpen) aufbaute und seither an verschiedenen Orten betreiben liess. Es lag nahe, sich die Möglichkeit nicht entgehen zu lassen, Langzeiterfahrung mit dieser und einer ähnlichen Anlage am PSI zu sammeln. Dies geschah mit kleinem Aufwand vor allem im Rahmen einer Demo-Anlage [1, 2] und einer Reihe von Praktikumsarbeiten [5–12]. Ziel ist die

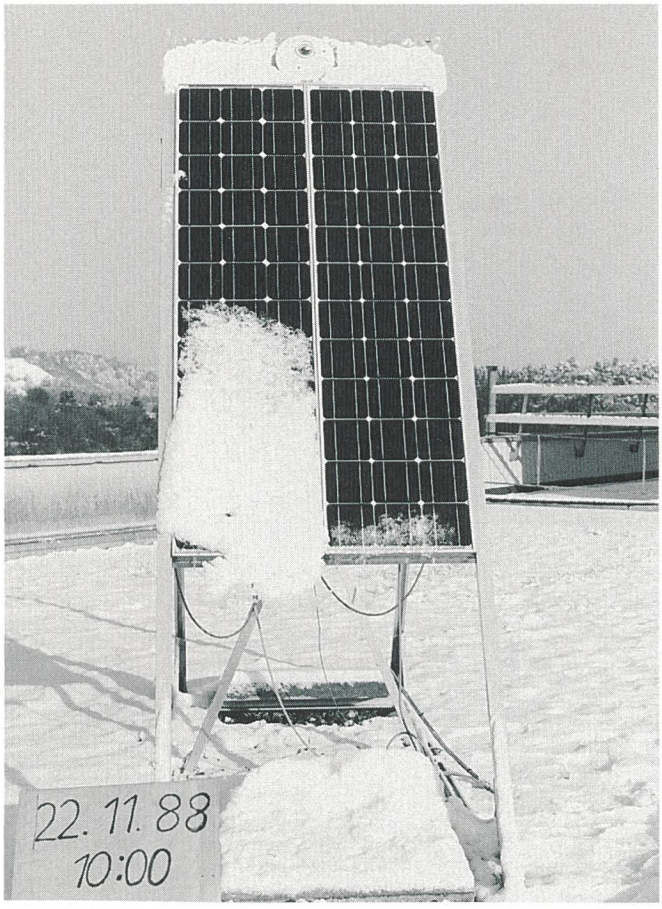

Bild 1 Fixmontierte Solarmodule (Arco M55) in der Photovoltaik-Messanlage am PSI. Die Module sind nach Süden ausgerichtet. Der Anstellwinkel beträgt 60 Grad. Am oberen Rand der beiden in Serie geschalteten Module ist das Solarimeter zur Erfassung der Zellen-Einstrahlung ersichtlich. Die Abbildung zeigt, dass selbst beim grossen Anstellwinkel von 60 Grad produktionsmindernde Schneeablagerungen auftreten können, allerdings – wie die Erfahrung zeigt – meist nur kurzzeitig

Adresse des Autors:
Dr. *Wilhelm Durisch*, Leiter Hochtemperatur-Solartechnik, Paul-Scherrer-Institut, 5232 Villigen PSI.

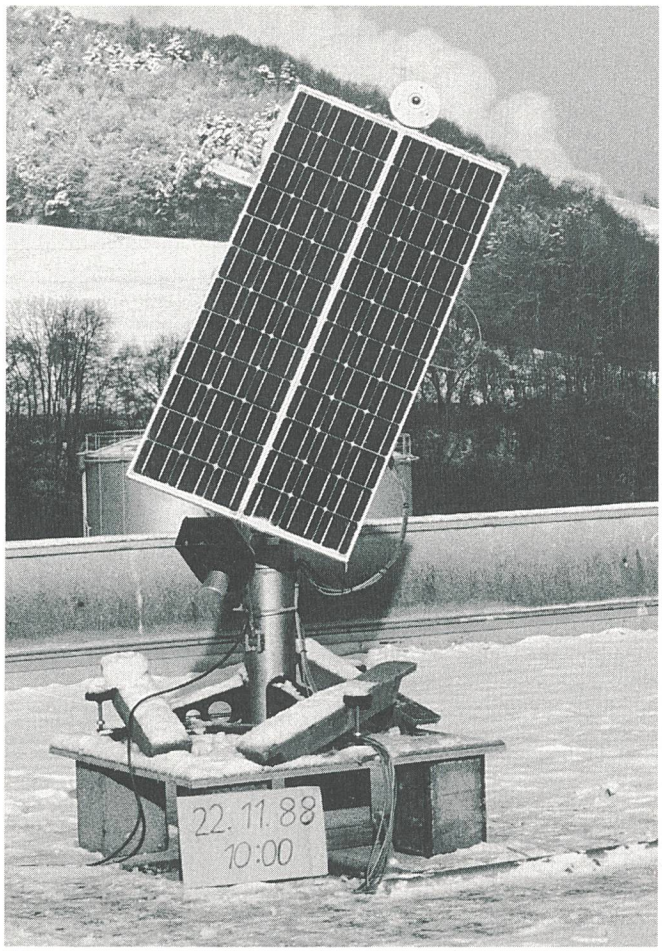

Bild 2 Sonnennachgeführte Solarmodule (Arco M55) in der Photovoltaik-Messanlage am PSI. Die beiden Module werden mit einer automatischen Steuerung permanent auf die Sonne ausgerichtet. Im Gegensatz zu den fixmontierten Modulen in Bild 1 konnten hier bis anhin keine produktionsmindernden Schneeablagerungen beobachtet werden. Oben an den Modulen ist das Solarimeter zur Erfassung der globalen Einstrahlung in die Zellenebene montiert

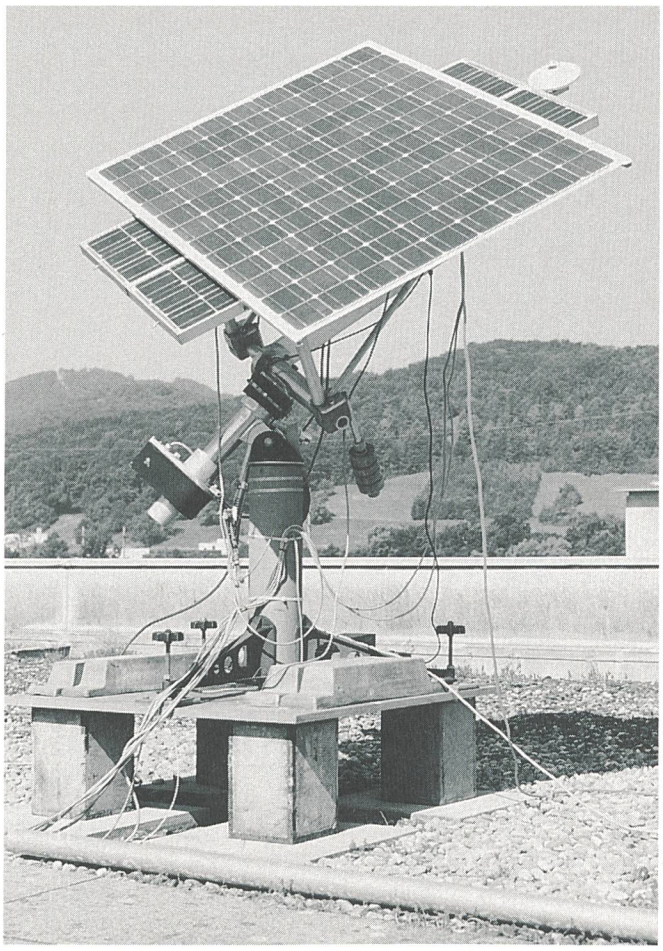

Bild 3 Grossmodul der Firma Atlantis Energie AG, Bern, auf der Sonnen-Nachführvorrichtung während der Kennlinienaufnahme und Wirkungsgradmessung

Untersuchung der Leistungsfähigkeit und Alterung von Solarzellen und Modulen sowie die Abklärung, ob sich das Sonnennachführen von Modulen in der Schweiz lohnt.

Ertragsmessungen an fixmontierten und zweiachsig nachgeführten Modulen

Um den Mehrertrag an elektrischer Energie von zweiachsig nachgeführten gegenüber fixmontierten Modulen im Mittelland zu ermitteln, werden seit 1988 an je zwei monokristallinen Solarmodulen (Typ ARCO M55) Strom, Spannung, Leistung und Zellentemperatur gemessen und miteinander verglichen. Die beiden fixmontierten Module sind 60° geneigt und gegen Süden ausgerichtet (Bild 1). Die beiden anderen Module werden mit einem am PSI entwickelten Tracker der Sonne nachgeführt (Bild 2). Damit der Wirkungsgrad der Module ermittelt werden kann, befindet sich in den jeweiligen Modulebenen je ein Solarimeter zur Erfassung der globalen Einstrahlung. In Tabelle 1 ist die Stromproduktion der fixmontierten und zweiachsig nachgeführten Module für die Messperiode 1988–1990 aufgeführt. Aus energetischer Sicht lohnt sich demnach ein Nachführen der Solarzellen im Mittelland vor allem im Sommerhalbjahr, beträgt doch dann der relative Mehrertrag 58%. Im Winterhalbjahr beträgt er, vor allem infolge häufiger Hochnebellagen und der kürzeren Sonnenscheindauer wegen lediglich 16%. Wie Einstrahlungsmessungen in den Alpen zeigen [13], könnte sich dort das Nachführen auch im Winter lohnen, denn dort ist selbst im Winter noch mit einem Mehrertrag von rund 22% (Tabelle 2) zu rechnen. Wirtschaftlich sinnvoll ist das Nachführen dann, wenn die Mehrinvestition und die etwas höheren Betriebs- und Unterhaltskosten durch die Mehrproduktion mehr als kompensiert werden, die Stromgestehungskosten also unter jenen fixmontierter Zellen liegen.

Kennlinien und Wirkungsgrad von Solarzellen

Zur Bestimmung des Wirkungsgrades von Solarzellen ist es nötig, deren Strom/Spannungs-Charakteristik bei variabler Belastung zu kennen. Dazu wurden zwei Messeinrichtungen aufgebaut. Die eine basiert auf der direkten Aufzeichnung der Strom/Spannungs- und der Leistungs/Spannungs-Kennlinien auf je einem Flachbettplotter. Dabei wird der Punkt maximaler Leistung (Maximum Power Point, MPP) online detektiert und als Signal zur Abspeicherung der MPP-

Daten verwendet. Die zweite Messeinrichtung beruht auf einer PC-Datenerfassung mit nachfolgender Auswertung und Ausgabe der Ergebnisse auf einem Drucker. Da sämtliche Messungen unter Sonnenlicht durchgeführt werden, wird während der Kennlinienaufnahme einigermassen konstante Einstrahlung auf die Zellenebene vorausgesetzt. Ideal sind klare Tage oder Tage mit einer stabilen Hochnebeldecke. Sind solche Bedingungen vorhanden, wird das auszumessende Modul bzw. die auszumessende Einzelzelle auf der Sonnennachführ-Vorrichtung befestigt (Bild 3). Der anschliessende Mess- und Auswertevorgang dauert pro Modul bzw. Einzelzelle knapp eine Minute. Ausser Strom und Spannung des Moduls bzw. der Einzelzelle werden während der Kennlinienaufnahme auch die globalnormale und die direkt-normale Einstrahlung (zwecks Bestimmung des Diffusanteils) sowie die Umgebungstemperatur und die Windgeschwindigkeit miterfasst. Ein Beispiel einer PC-Kennlinienaufnahme zeigt Bild 4.

Die Kennlinienaufnahme beruht auf folgendem Prinzip: Das Modul bzw. die Einzelzelle wird mit einer «Widerstandslast» stetig zunehmend belastet. Dabei werden Spannung und Strom laufend gemessen und die entsprechende Leistung berechnet. Aus der maximalen Leistung, der Modul- bzw. Zellenfläche sowie der globalen Einstrahlung in die Zellenebene während der Messung, wird anschliessend der Wirkungsgrad bestimmt. Tabelle 3 enthält gemessene Wirkungsgrade einiger handelsüblicher Module. Sie beziehen sich auf reale Klima- und Betriebsbedingungen, insbesondere auf die in Betrieb erhöhte Zellentemperatur.

Zusammenfassung/Ausblick

In der am PSI aufgebauten Photovoltaik-Messanlage wird die Stromproduktion fixmontierter und sonnennachgeführter Solarmodule quantitativ erfasst und als Input für Wirtschaftlichkeitsberechnungen bereitgestellt. Kennlinien-Messeinrichtungen erlauben es zudem, Leistungsfähigkeit (insbesondere Wirkungsgrad) und Degradation von kleinen Laborzellen bis hin zu Grossmodulen unter realen Klima- und Betriebsbedingungen zu untersuchen und miteinander zu vergleichen. Letzteres scheint, wie die seinerzeitige Prüfung von Warmwasserkollektoren, eine zunehmend wichtiger werdende Aufgabe zu sein. Mit Blick auf die rasch wachsende Zahl dezentraler Photovoltaik-Stromversorgungen in der Schweiz (unter anderem bereits über 300 3-kW-Anlagen) scheint künftig aber auch eine periodische Vor-Ort-Kontrolle an ausgewählten Anlagen wichtig zu sein. Sie könnte beispielsweise mit einer mobilen

Mess-periode	Spezifische Strom-produktion (kWh/m²) fix	nachgeführt	Relativer Mehrertrag (%)
Winter Oktober–März	43	50	16
Sommer April–September	91	144	58
Jahr	135	194	44

Tabelle 1 Vergleich der spezifischen Stromproduktion fixmontierter und zweiachsig der Sonne nachgeführten Solarmodule (Arco M55), gemessen am Standort PSI, Würenlingen (AG). Die Daten dürften für einen grossen Teil des Mittellandes repräsentativ sein. Bei den angegebenen Produktionszahlen handelt es sich um Mittelwerte über drei Jahre (1988–1990). Die Tabelle zeigt, dass sich die Sonnennachführung vor allem im Sommer lohnt, während der Mehrertrag im Winter infolge Hochnebels marginal ausfällt. Es ist zu beachten, dass sich obige Produktionszahlen auf die aktive Zellenfläche beziehen. Auf die Modulfläche bezogen liegen sie um rund 13% tiefer. Ebenso ist zu beachten, dass sich die Produktionszahlen nicht auf perfektes «Maximum Power Tracking» (MPT), sondern auf den Betrieb der Module bei konstanter Spannung beziehen. Dabei wurde mit einer mittleren optimalen Sommer- bzw. Winterspannung gearbeitet, ermittelt aus Kennlinienmessungen. Eine Abschätzung zeigt, dass die dadurch entstandenen Produktionsverluste maximal etwa 1% des Jahresertrages ausmachen

Würenlingen (AG), 350 m ü. M.				Morgins (VS), 1760 m ü. M.			
G60S	GN	ME		G60S	GN	ME	
Winter[1)]	331	380	15	Winter	762	928	22
Sommer[2)]	758	1174	55	Sommer	819	1243	52
Jahr	1089	1554	43	Jahr	1581	2171	37
Messung Sept. 1988–Sept. 1991				Messung Sept. 1986–Sept. 1990			

1) Oktober–März
2) April–September

G60S Globale Einstrahlung auf 60 Grad geneigte nach Süden orientierte Fläche in kWh/(m²/Jahr)
GN Globale Einstrahlung auf zweiachsig der Sonne nachgeführten Fläche in kWh/(m²/Jahr)
ME Mehreinstrahlung GN bezogen auf G60S in %

Tabelle 2 Globale Einstrahlung in fixe bzw. zweiachsig der Sonne nachgeführten Flächen in Würenlingen bzw. auf Chanso bei Morgins im Unterwallis. Die Zahlen zeigen deutlich den einstrahlungsmässigen Vorteil von Alpen- gegenüber Mittellandstandorten. Die Mehreinstrahlung in sonnennachgeführte Flächen ist beachtlich hoch. Sie deutet darauf hin, dass sich das Nachführen von Solarzellen nach der Sonne möglicherweise lohnen könnte

Fabrikat	Zellentyp	Solare Einstr. W/m²	Umgebungs-Temperatur °C	Zellenwirkungsgrad %
ARCO M55	mono-kristallin	925	29	12,4
BP 255	mono-kristallin	940	29	10,9
Kyocera LA361J48	poly-kristallin	953	28	11,1
CHRONAR CSA 13	amorph	1003	25	3,9
ARCO G4000	amorph	985	27	5,5

Tabelle 3 Am PSI gemessene Wirkungsgrade einiger handelsüblicher Zellenfabrikate. Die Messungen wurden unter realen Klima- und Betriebsbedingungen durchgeführt. Dies betrifft besonders auch die Zellentemperatur, die bis zu 40 °C über der Umgebungstemperatur liegen kann und meist zu einem reduzierten Wirkungsgrad (gegenüber Standardmessbedingungen von 25 °C) führt

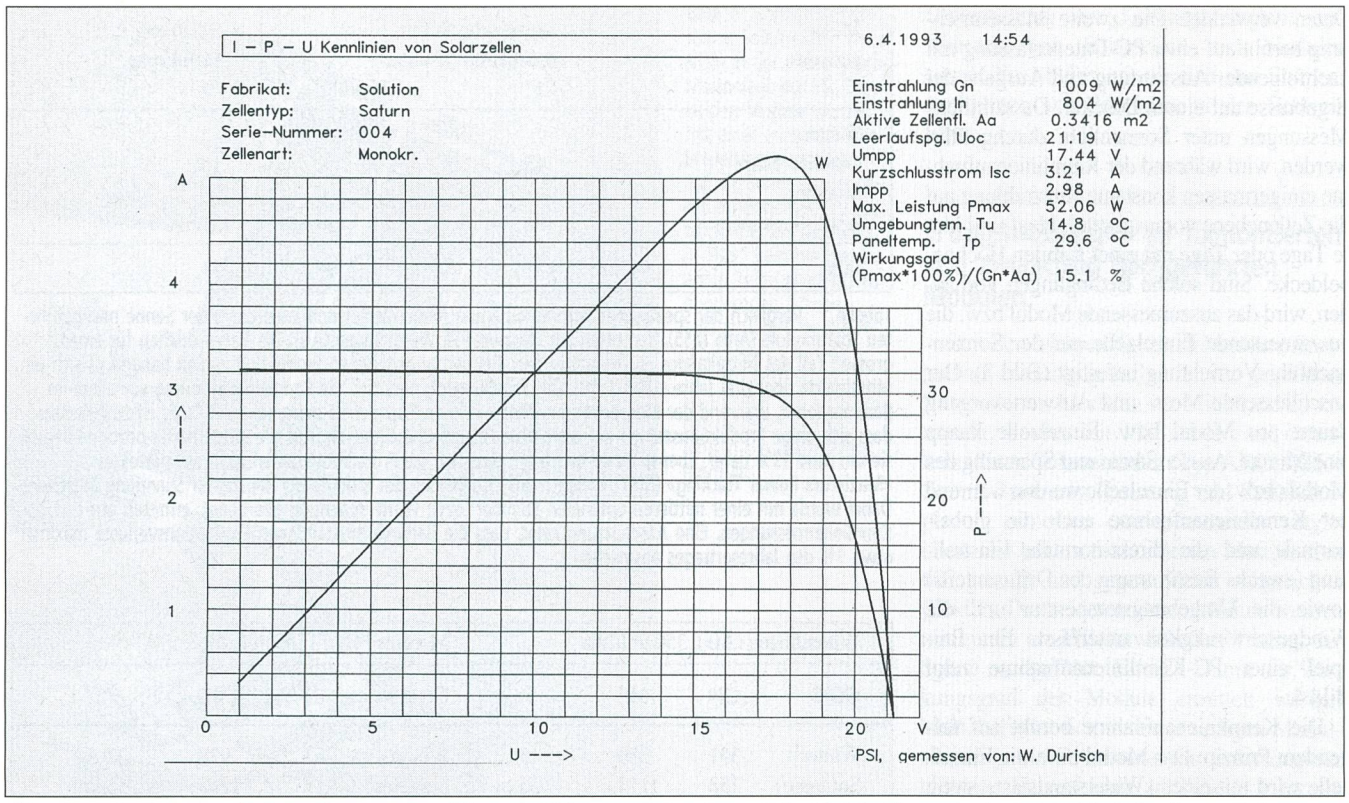

Bild 4 Strom/Spannung- und Leistung/Spannung-Kennlinie sowie Wirkungsgrad eines Saturn-Zellen-Moduls. Oben rechts in der Graphik sind weitere wichtige Parameter zur Kennlinienaufnahme angegeben. Diese Zellen stammen aus einer Vorserie der von BP in Spanien aufgenommenen Produktion der «Green-Zelle». Mit einem Wirkungsgrad von 14,4% erfüllen sie die Erwartungen (17% und mehr) noch nicht ganz. Die Paneltemperatur wurde mit einem einlaminierten Pt-100-Fühler gemessen

Messanlage [14] und zentraler Datenauswertung realisiert werden. Im Sinne einer Erfolgskontrolle und als Bereitstellung von Entscheidungsgrundlagen (Kernenergie-Moratorium) wäre dies ein wertvoller Beitrag zum Programm «Energie 2000».

Verdankung

Die Photovoltaik-Messanlage am PSI ist weitgehend von Praktikanten der Fachhochschule Aalen, BRD, aufgebaut worden. Ihnen allen sei an dieser Stelle gedankt. Ebenso Beat Hofer, Lothar Taferner und Daniel Wuillemin für ihre Mithilfe bei Kennlinien-Messungen, beim Aufarbeiten von Messdaten und bei der Abfassung des Manuskriptes.

Dem Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) gebührt Dank für die Mitfinanzierung der Praktikanten. Dem stellvertretenden Leiter des PSI-Bereichs Allgemeine Energieforschung, Dr. P. Kesselring, sei gedankt für sein Wohlwollen, das er dieser Arbeit entgegenbrachte und für zahlreiche Anregungen und wertvolle Diskussionen.

Literatur

[1] *G. von Tobel*: Solarzellen-Demonstrations-Anlage; Erfahrungen und Daten aus dem einjährigen Betrieb. Interner Bericht Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung (1982).

[2] *M. Real et al.*: Das Verhalten von Solarzellen in den Schweizer Alpen. Informationstagung über Photovoltaische Energieumwandlung des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV), Zürich (1982).

[3] *W. Durisch et al.*: Photovoltaik in den Alpen – Betriebserfahrungen und Stromkosten. Bulletin SEV/VSE 79 (1988), H. 6, S. 311–317.

[4] *W. Durisch et al.*: Albedo Measurements and System Performance of a Grid-Connected Photovoltaic Plant in the Swiss Alps. ISES Solar World Congress, Kobe, Japan, 4.–8. September 1989, Proceedings Vol. 1, 336–340, Pergamon Press.

[5]–[12] PSI-interne «Technische Mitteilungen» (Praktikumsberichte).

[13] *W. Durisch et al.*: Betriebserfahrungen und Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage in den Schweizer Alpen. Drittes Nationales Symposium Photovoltaische Solarenergie, 9.–11. März 1988, Staffelstein, Deutschland.

14] *S. Leutenegger*: Mobile Messeinrichtung für Photovoltaikanlagen. Diplomarbeit, Juventus, Zürich (LEC, Leutenegger Energie Control, 8700 Küsnacht).

Rendement des cellules photovoltaïques

L'Institut Paul Scherrer (IPS) dispose d'une installation de mesure photovoltaïque, qui, depuis 1988, permet de réaliser des mesures sur deux genres de modules solaires, les uns fixes et les autres suivant la course du soleil. Deux appareils mesurent en outre les courbes caractéristiques et le rendement de certaines cellules photovoltaïques et de certains modules solaires courants obtenus à des conditions d'irradiation et des températures réelles. L'Institut Paul Scherrer étudie les possibilités de production d'électricité d'origine solaire depuis 1979. Au cours des dernières années, il a installé progressivement, puis exploité une installation de mesure photovoltaïque. Les travaux visent l'étude du rendement et de la dégradation de cellules photovoltaïques et de modules solaires. La question de savoir s'il est intéressant d'utiliser en Suisse des cellules photovoltaïques suivant la course du soleil, et sous quelles conditions, sera elle aussi étudiée.