

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	91 (2000)
<b>Heft:</b>	1
<b>Artikel:</b>	Photovoltaik-Internetlabor
<b>Autor:</b>	Baumgartner, Franz
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-855504">https://doi.org/10.5169/seals-855504</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Photovoltaik-Internetlabor

Damit die Ausbildung von Fachleuten für den Einsatz von Solarzellen in der Energieproduktion mit dem vorausgesagten Wachstum der Branche schritthalten kann, beschreitet die Interstaatliche Fachhochschule für Technik NTB in Buchs neue Wege. Verschiedene Messaufbauten sind interaktiv mit dem Internet verbunden worden, so dass Interessierte selber Experimente durchführen, das heisst die Anlagen zuerst in den gewünschten Betriebszustand versetzen und anschliessend die Mess-Ergebnisse abrufen können. Es ist vorgesehen, die Anlagen mit neuen Zellentypen zu ergänzen.

1997 wurden weltweit Solarzellen mit einer Gesamtleistung von etwa 120 MW verkauft, entsprechend einem Umsatz von rund 600 Mio. US-\$ und einer installierten Fläche von rund einem Quadratkilometer. Ein Prozent davon wurde in der Schweiz in Betrieb genommen. Für das Jahr 2010 wird eine globale Jahresproduktion von 1 GW vorausgesagt, wobei der heutige Modulpreis pro Watt halbiert werden soll. Für die Bildungsein-

taikexperimente interaktiv auszuführen [2,3]. Die aktuellen Mess-Ergebnisse werden online dargestellt und können vom technisch interessierten Benutzer abgerufen und weiterverarbeitet werden. Das Labor soll gezielt in der Ingenieurausbildung eingesetzt werden, könnte aber auch für die Photovoltaikindustrie als Marketing- und technisches Informationsmedium für den Vertrieb und technischen Kundendienst interessant sein.

#### Adresse des Autors

Prof. Dr. Franz Baumgartner, Interstaatliche Fachhochschule für Technik Buchs  
9471 Buchs, E-Mail baumgartner@ntb.ch

richtungen bedeutet dieser rasch wachsende Markt, dass in den nächsten Jahren eine wachsende Zahl von Fachleuten das Basiswissen zur Photovoltaik erarbeiten muss. Dabei wird künftig das Internet in noch stärkerem Masse in die Aus- und Weiterbildung und in den technischen Informationstransfer einbezogen. Bereits heute sind sehr effiziente Lernhilfen und Simulationswerkzeuge auf dem Gebiet der Photovoltaik im Internet verfügbar [1].

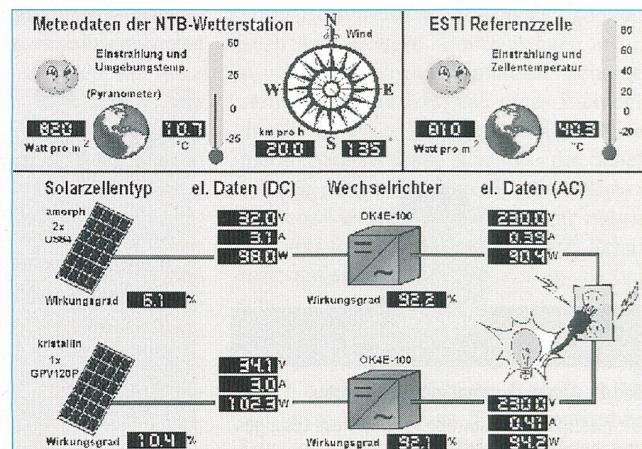
#### Zielsetzung des Photovoltaik-Internetlabor

Mit dem neuen Photovoltaik-Internetlabor an der Interstaatlichen Fachhochschule in Buchs (vormals NTB) werden die bestehenden Möglichkeiten im Internet um eine Plattform erweitert, die es dem Benutzer erlaubt, reale Photovoltaik-

#### Photovoltaiksysteme zum Experimentieren

Auf dem Dach eines Gebäudes der Schule ist ein Modell-Photovoltaiksystem errichtet worden, das Messungen unter aktuellen Einstrahlungsbedingungen via Internet erlaubt. Dabei sind beide möglichen grundlegenden Typen von Photovoltaikanlagen aufgebaut worden, nämlich ein netzgekoppeltes System mit

Bild 1 Die beiden netzgekoppelten Systeme mit amorphen und einkristallinen 120-W-Siliziummodulen



insgesamt 240 W Leistung (Bild 1) und ein Inselsystem für eine Mini-Beleuchtungsanlage mit Akkumulator (Bild 2).

Bei den netzgekoppelten Systemen speisen kristalline Siliziummodule und amorphe Dünnschichtmodule mit je 120 W Leistung permanent über zwei getrennte baugleiche Modulwechselrichter Strom ins Hausnetz ein. Dabei wird der Einfluss der unterschiedlichen Zellentechnologie auf das Anlageverhalten über die momentan eingespeiste elektrische Energie gemessen. Zusätzlich kann das anstehende zweidimensionale Temperaturprofil auf den amorphen und den kristallinen Modulen abgefragt werden, beruhend auf 32 Einzeltemperatur-Messstellen auf der Modulrückseite.

Das Inselsystem mit Akku kann über das Internet in die gewünschten Betriebszustände versetzt werden. Wahlweise sind dabei die Photovoltaikmodule direkt auf den Bleiakkumulator oder über Laderegler geschaltet, wobei der Energiespeicher mit oder ohne Verbraucher (Energiesparlampe) arbeiten kann.

Experimente mit dem Photovoltaik-Inselsystem und dessen Komponenten veranschaulichen die Wirkungsweise des Ladereglers unter realen Einstrahlungsbedingungen (Bild 2).

#### Messtechnik

Die Messdatenerfassung beruht auf zwei autonomen dezentralen Analog-Digitalwählern («Smartlinks» von Keithley), die über den RS 485-Bus mit einem PC verbunden sind. Sie werden gemeinsam mit der elektronischen Last und den Messstellenumschaltern vom PC-gestützten Messprogramm (Software:

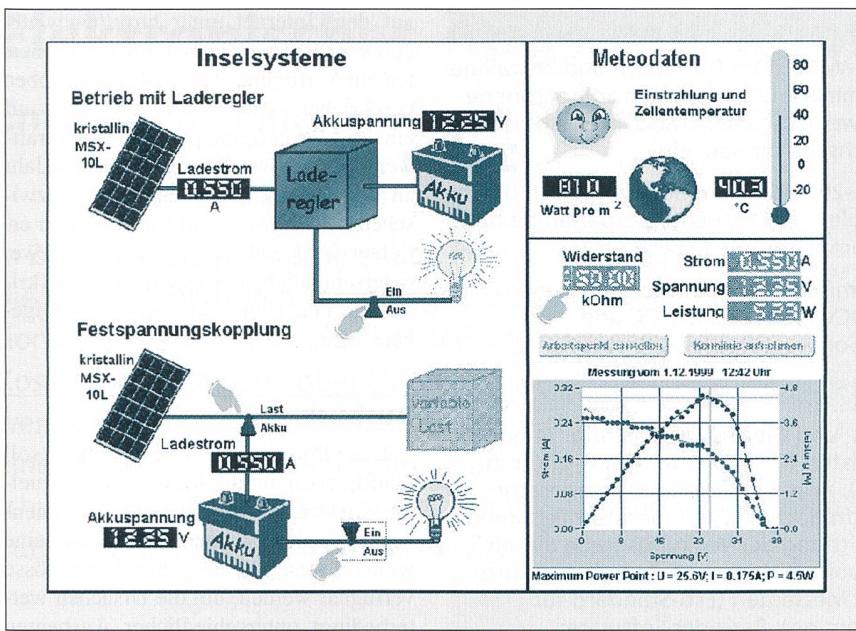


Bild 2 Zwei Photovoltaik-Inselsysteme

Die direkte Kopplung zum Akku bzw. die Kopplung über einen Laderegler können vom Internetbenutzer mit den dargestellten Schaltern aktiviert werden.

«Labwindows» von National Instruments) gesteuert und interaktiv über TCP/IP mit dem Internet gekoppelt.

Der 8-Kanal-A/D-Wandler vom Typ DCV32 führt pro Sekunde 12 Einzelmessungen mit einer Auflösung von 20 Bit aus. Dieser Präzisionswandler misst über einen Multiplexer die Ausgangsspannung der 32 Platin-Temperatursensoren und damit das zweidimensionale Temperaturprofil auf der Rückseite beider Modultypen. Die so ermittelten Temperaturmesswerte weisen eine Genauigkeit von  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  auf und werden alle 10 Minuten aktualisiert. Der zweite 8-Kanal-A/D-Wandler vom Typ DCV12 hat eine geringere Auflösung von 16 Bit. Er misst im Intervall von einer Minute Spannungssignale, aus denen folgende Größen abgeleitet werden:

- Einstrahlung-Messwert des Pyranometers
- Einstrahlungswert und Temperatur der Esti-Siliziumreferenzzelle (Esti: European Solar Test Installation der Europäischen Kommission, Ispra, Italien)
- Umgebungstemperatur
- Windstärke
- Ladestrom und Ladespannung des Inselsystems
- Gleichrichtwert der Netzspannung und des eingespeisten Netzstroms
- Gleichspannung und Gleichstrom der Module.

Die Messstellenumschalter werden ebenfalls vom Smartlink über den Digitalausgang gesteuert. Um den Wirkungs-

grad der Modulwechselrichter zu bestimmen, wird der Strom auf der Netzseite mit einem Hall-Stromwandler der Firma LEM gemessen, über eine analoge Schaltung der Gleichwert ermittelt und anschliessend vom A/D-Wandler eingelesen.

### Technische Schlussfolgerungen aus den Mess-Ergebnissen

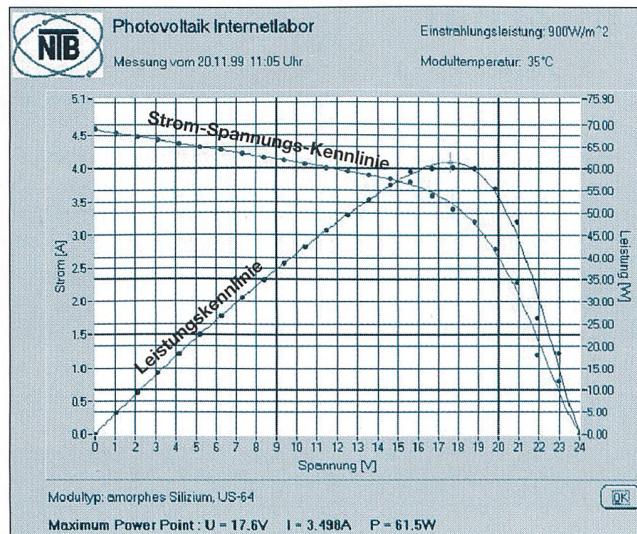
Der Hersteller von Solarmodulen gibt die Nennleistung und die Kenndaten von Strom, Spannung und Leistung stets unter den Normalbedingungen (Standard Test Conditions STC) an, das heisst einer solaren Einstrahlungsleistung von

1000 W/m<sup>2</sup> bei einer Zellentemperatur von 25 °C. Diese Nennleistung wird im praktischen Einsatz aber selten erzielt, da obige hohe STC-Einstrahlung kaum vorliegt, der Kurzschlussstrom der Solarmodule aber proportional mit der Einstrahlungsleistung der Sonne abnimmt. Zusätzlich sinkt mit der Erwärmung des Solarmoduls die erzeugte Leistung um bis zu 20% an heißen Sommertagen ab. Mit dem Photovoltaik-Internetlabor können diese Modul-Kenndaten unter realen Bedingungen und aktuellen Wettersituationen gemessen und als Strom-, Spannungs- und Leistungskennlinie mit dem Maximalwert der Modulleistung (MPP, Maximum Power Point) angezeigt werden (Bild 3). Die Daten können zusätzlich als Text- oder Excel-File abgerufen und zur weiteren Auswertung gemeinsam mit ausgewählten Referenzmesskurven genutzt werden.

Aus den Messwerten der über die beiden Wechselrichter ans Stromnetz gekoppelten Photovoltaikmodule soll ersichtlich werden, ob die amorphen oder die kristallinen Module unter den aktuellen Einstrahlungsbedingungen die höheren Stromerträge liefern. Diese Frage ist vor allem vor dem Hintergrund zu betrachten, dass amorphe Siliziumzellen bei der Umsetzung des Sonnenlichtes eine andere spektrale Empfindlichkeit aufweisen als kristalline Siliziumzellen, und dass bei geringer Einstrahlungsleistung amorphe Zellen höhere Erträge liefern sollten.

Die aktuellen Mess-Ergebnisse können mit den Daten des netzgekoppelten 18-kW-Photovoltaikraftwerks verglichen werden, das unter gleichen Einstrahlungsbedingungen ebenfalls am Dach der Fachhochschule in Buchs im Betrieb ist und dessen Daten (10-Minuten-Mittelwerte) schon seit 1995 aktuell

Bild 3 Aktuelles, über das Internet angefordertes Mess-Ergebnis:  
Strom-Spannungs-Kennlinie und Leistungskennlinie eines ausgewählten Solarmoduls



Aufbau der Hardware	
Netzgekoppeltes System	Amorphe 120-W-Silizium-Dünnfilm- und kristalline 120-W-Siliziummodule speisen den Solarstrom getrennt über zwei baugleiche Modulwechselrichter ins 230-V-Wechselstromnetz ein
Inselsystem	Polykristalline-20-W-Siliziummodule speisen über einen Laderegler die 11-W-Energiesparlampe bzw. den Blei-Akkumulator mit 12V/3,2 Ah
Messelektronik	A/D-Wandler mittels Smartlink von Keithley (DCV12 und DCV32), via RS485, PC und Labwindows-Software (National Instruments)
Systemüberwachung	
Messgrößen (10-Minuten-Mittelwerte)	Wechselstrom- und Gleichstromleistung, Temperatur, Meteodaten (Pyranometer CM11 und Esti-Referenzzelle), zweidimensionales Temperaturprofil auf Modulfläche (32 Temperaturmesspunkte PT 1000), Ermittlung der Wirkungsgrade der einzelnen Photovoltaik-Komponenten, Zeitverläufe der einzelnen Messdaten (Esti-Standard für Datenaufzeichnung); Basis der Software: Labwindows von National Instruments
Interaktive Messdatenerfassung und Steuerung des PV-Inselsystems	
Messoptionen	Jeder Internetbenutzer kann sein eigenes Messprogramm bestimmen: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Strom/Spannung/Leistung/Wirkungsgrad eines der obigen Module</li> <li>– Strom/Spannungskennlinie des Bleiakkus, Ladezustand</li> <li>– Wahl des Betriebsmodus des Inselsystems: Batteriekopplung mit den Photovoltaik-Modulen direkt oder über Laderegler</li> <li>– Wahl eines Lastwiderstandes (gesteuerte elektronische Last)</li> <li>– Abruf der aktuellen Messdaten, Messsequenzen</li> <li>– Abruf von Referenzmessdaten zu ausgewählten Wittersituationen</li> </ul>

Tabelle I Technische Daten des Photovoltaik-Internetlabor

## Laboratoire photovoltaïque sur Internet

Afin de permettre à la formation des spécialistes à l'utilisation de cellules solaires dans la production d'énergie de suivre la croissance prévue pour la branche, l'Ecole d'ingénieurs NTB à Buchs se lance dans une voie nouvelle. Divers montages de mesure ont été reliés interactivement sur Internet de manière à permettre aux intéressés d'effectuer eux-mêmes des expériences, c'est-à-dire de mettre d'abord les installations à l'état d'exploitation voulu pour pouvoir ensuite appeler les résultats de mesure. Il est d'abord employé des cellules photovoltaïques cristallines et amorphes dans des systèmes interconnectés et insulaires. Il est prévu de compléter l'installation ultérieurement de nouveaux types de cellules.

auf dem Internet unter <http://www.ntb.ch/Other/PV/messdaten.html> Interessierten zur Verfügung stehen [4,5]. Das oben beschriebene Messsystem soll auch auf ein 35-kW netzgekoppeltes -Solarkraftwerk portiert werden, das in diesem Jahr an der Rheinbrücke Haag-Bendern zwischen der Schweiz und Liechtenstein errichtet wird und das ebenfalls mit zwei unterschiedlichen Solarzellentypen (kristalline und Dünnenschichtmodule) aufgebaut wird.

## Ausblick

Das Photovoltaik-Internetlabor soll künftig noch um die Messung der aktuellen spektralen Verteilung des Sonnenlichtes ergänzt werden. Damit soll eine weitere wesentliche Meteo-Kenngrösse verfügbar werden, um die Ursachen wetterbedingt unterschiedlicher Ausbeuten von amorphen und kristallinen Zellen zu ermitteln. Weiter sollen neue Dünnfilm-Solarzellentypen wie CdTe und CuIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Se<sub>2</sub>-Module ins Internetlabor aufgenommen werden.

Ein anderer Schwerpunkt künftiger Arbeiten sollen ergänzende Internetseiten zu allgemeinen Grundlagen der Photovoltaik und aktuellen technischen Informationen sein: Funktionsweise der Solarzelle, theoretische und erzielte Wirkungsgrade unterschiedlicher Solarzellentechnologien, Systemauslegungen, Markt-trends.

Nur durch kritische Rückmeldungen der künftigen Experimentatoren im Internetlabor können Fehler beseitigt und Ergänzungen eingearbeitet werden. Der Autor hofft auf zahlreichen Besuch unter <http://www.ntb.ch/Other/PVwwwLab.html> und erwartet Ihre Anregungen.

## Literatur

- [1] Links zur Photovoltaik, [http://www.ntb.ch/TT/Labors/EMS/WWW\\_links\\_erneuerbare\\_energien.html](http://www.ntb.ch/TT/Labors/EMS/WWW_links_erneuerbare_energien.html)
- [2] R. Heule, M. Brechtbühl: Internet-Photovoltaiklabor. Diplomarbeit 1999, Fachhochschule Buchs, <http://www.ntb.ch/Others/PVwwwLab>
- [3] F. Baumgartner, R. Heule, M. Brechtbühl: 16<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conf. Glasgow 2000.
- [4] S. Roth, E. Schönholzer: 20-kW-Photovoltaikanlage NTB/NOK: Auslegung, Wechselrichter, Messdaten. Bulletin SEV/VSE 87(1996)10, Seiten 23-29.
- [5] S. Roth: Feinmessungen und Analysen zur Beurteilung des Langzeitverhaltens von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen. PSEL-Projekt Nr. 159.