

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 84 (1993)

Heft: 10

Artikel: Kontrolle der Produktionszahlen von Photovoltaikanlagen : ein methodischer Ansatz zur laufenden Kontrolle der Energieproduktion

Autor: D'Souza, Michael / Herzog, Lukas

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-902690>

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: 14.10.2025

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

Die genaue Ertragsberechnung einer Photovoltaikanlage ist die Grundlage für die spätere Erfolgskontrolle. Bei der beschriebenen Methode wird die Ertragsprognose laufend anhand der aktuellen Klimadaten korrigiert und mit der tatsächlichen Energieproduktion verglichen. Bei grösseren Abweichungen kann schnell eingegriffen werden.

Kontrolle der Produktionszahlen von Photovoltaikanlagen

Ein methodischer Ansatz zur laufenden Kontrolle der Energieproduktion

■ Michael D'Souza und Lukas Herzog

In der Schweiz gibt es bereits etwa 400 Photovoltaikanlagen im Netzverbund, von denen einige seit mehreren Jahren in Betrieb sind. Viele Personen und Institutionen beschäftigen sich mit dem Bau von neuen PV-Anlagen, kaum jemand aber überwacht und sichert die Energieproduktion bestehender Anlagen. Mögliche Gründe dafür sind:

- Anlage gehört einer Institution, es fühlt sich niemand verantwortlich
- Kontrolle ist zeit- und kostenaufwendig
- Vergütung des Stroms deckt kaum die Kosten der Kontrolle

Elektrizitätswerke und Subventionsbehörden registrieren die monatlichen Produktionsdaten. Diese Daten werden jedoch meist nur statistisch, aber nicht anlagenspezifisch ausgewertet. Die Autoren haben eine Methode entwickelt, die es erlaubt, mit vertretbarem Aufwand die laufende Energieproduktion zu kontrollieren. Probleme werden innert nützlicher Frist erkannt, notwendige Massnahmen können schnell und zielgerichtet getroffen werden.

Ertragsberechnung

Grundlage für die Ertragskontrolle ist die Ermittlung des monatlichen Ertrags der PV-Anlage aufgrund der Klimadaten nach Meteorologischer Norm des Anlagestandorts und der Anlagendaten. Dieser Berechnungsgang wird in [2] und [3] ausführlich beschrieben. Wir beschränken uns deshalb auf einige wenige Bemerkungen.

Globalstrahlung in der Modulebene

Die Monatswerte der Globalstrahlung in der Modulebene und der Durchschnittstem-

peratur für den Anlagestandort werden aufgrund der Meteorologischen Norm [1] ermittelt. Die beiden auf PC lauffähigen Programme «Meteorologischer Norm V 1.90» und «Polysun V 1.0a» (erhältlich über Infosolar, Brugg) erlauben es, diese Daten rasch zu bestimmen.

Leistung des PV-«Arrays»

Solarmodule sind mit einer fertigungsbedingten Leistungstoleranz von bis zu 10% behaftet. In der Anlage werden mehrere Module zu einem Strang verschaltet, wobei jeweils das schlechteste Modul die Stringleistung bestimmt. Die Leistung für das ganze Array berechnet sich wie folgt:

$$P_A = N_{Modul} \cdot P_{Modul} \cdot (100\% - \Delta P_{Modul})$$

P_A	tatsächliche Leistung des PV-Arrays (W)
N_{Modul}	Anzahl der PV-Module
P_{Modul}	Nennleistung eines einzelnen Moduls (W)
ΔP_{Modul}	Maximal möglich Abweichung der individuellen Modulleistung gegenüber der Nennleistung nach unten (%)

Werden die Module vor der Verschaltung nach ihrer tatsächlichen Leistung sortiert, so kann die negative Abweichung der Arrayleistung von der Nennleistung der Module verringert, nicht aber zum Verschwinden gebracht werden. Dies setzt allerdings voraus, dass die Hersteller die tatsächliche Leistung der Module deklarieren.

Absorption/Reflexion bei nicht senkrechter Einstrahlung

Die Sonneneinstrahlung trifft im Laufe eines Tages fast nie genau senkrecht auf das PV-Modul. Die Nennwerte der Module beziehen sich jedoch auf senkrechte Einstrahlung. Bei schräger Einstrahlung entstehen durch erhöhte Absorption im Glas und erhöhte Reflexion an der Glasoberfläche Verluste, so dass der Modulertrag nicht mehr dem Cosinus-Gesetz folgt, wie das die Tabellen-

Adresse der Autoren:

Michael D'Souza, El.-Ing HTL, und
Lukas Herzog, dipl. Masch.-Ing ETH/SIA, Alteno AG,
Markgräflerstrasse 18, 4057 Basel.

Produktionszahlen von Photovoltaikanlagen

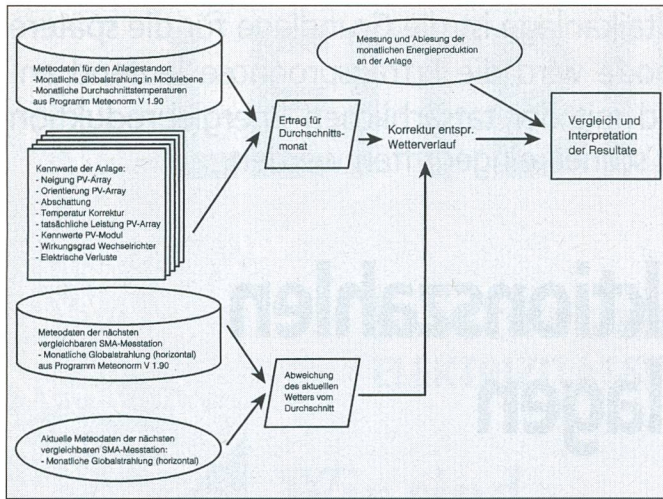


Bild 1 Flussdiagramm der Ertragskontrolle einer Photovoltaikanlage

werke voraussetzen. Dieses Verhalten wird mit dem Absorptions-/Reflexionsfaktor berücksichtigt, der bei 30° Modulneigung und Ausrichtung nach Süden typischerweise $A = 0,91$ beträgt [3].

Bruttoertrag PV-Array

Aus diesen Werten wird der Brutto-Energieertrag für jeden Monat berechnet:

$$E_{\text{Monat}} = G_M \cdot S \cdot A \cdot P_A / G_N \cdot (1 + C_E \cdot [T_M + t - T_N])$$

- E_{Monat} Monats-Bruttoertrag (kWh)
- G_M Monatssumme der Einstrahlung in Modulebene (kWh/m²)
- S Beschattungsfaktor (1,0 wenn keine Beschattung)
- A Absorptions-/Reflexionsfaktor (typisch 0,91)
- P_A tatsächliche Leistung des PV-Arrays (kW)
- G_N Einstrahlungsleistung, bei der PN definiert ist (meist 1 kW/m²)
- C_E Temperaturkoeffizient der Modulleistung im Arbeitspunkt (typisch -0,005 °C⁻¹)
- T_M Mittlere Monatstemperatur nach Meteonorm [1] (°C)
- t Temperaturkorrektur infolge der Erwärmung der Module nach [2] (°C)
- T_N Nenntemperatur, bei der P_{Modul} definiert ist (meist 25°C) (°C)

Nettoertrag ins Netz

In Kabeln, Dioden und den übrigen Bauteilen entstehen elektrische Verluste in der

Größenordnung von einigen Prozenten des Bruttoertrages. Die Umwandlung des solaren Gleichstroms in netzkonformen Wechselstrom im Wechselrichter bewirkt weitere unvermeidliche Verluste.

$$E_{\text{Netz}} = E_{\text{Monat}} \cdot (100\% - V_{el}) \cdot h_{Wr}$$

- E_{Netz} Monats-Nettoertrag ins Netz (kWh)
- V_{el} Gleichstromseitige Verluste in Prozent
- h_{Wr} Europäisch-gewichteter Wirkungsgrad des Wechselrichters [3]

Aktuelle Meteodaten

Auf die beschriebene Art wird die theoretische Energieproduktion für jeden Monat berechnet. Das wirkliche Wetter, das sich bei weitem nicht an den langjährigen Durchschnitt hält, hat aber einen grossen Einfluss auf den tatsächlichen Ertrag der Anlage.

Messwerte für die Globalstrahlung existieren nicht für jeden beliebigen Standort. Die Schweizerische Meteorologische Anstalt (SMA), Zürich, unterhält jedoch ein gut gestreutes Messnetz mit rund 60 Stationen, von denen sich immer eine mit ähnlichen Einstrahlungsverhältnissen wie der Anlagenstandort in der Nähe befindet. Von diesen SMA-Stationen sind die aktuellen Klimadaten erhältlich.

Mit Hilfe dieser Vergleichsstation kann die Abweichung der Globalstrahlung auf horizontale Flächen gegenüber den langjähri-

gen Mittelwerten bestimmt werden. Diese darf in guter Näherung auch für den interessierenden Standort verwendet werden.

$$E_{\text{Erwartet}} = E_{\text{Netz}} \cdot G_H / G_{H0}$$

- E_{Erwartet} Erwarteter Monats-Bruttoertrag (kWh) aufgrund des aktuellen Wetterverlaufs (kWh)
- E_{Netz} Monats-Nettoertrag aufgrund der langjährigen Daten (kWh)
- G_H Globalstrahlung für den aktuellen Monat (kWh/m²)
- G_{H0} Globalstrahlung aufgrund der langjährigen Daten (kWh)

Vergleich und Interpretation

Nachdem eine Prognose unter Berücksichtigung des aktuellen Wetters besteht, kann nun der Vergleich mit dem tatsächlich erfassten Energieertrag stattfinden. Die Ablesungen sollten möglichst genau am Monatsende erfolgen, ansonsten ein Monat zulaufen eines anderen «profiert» und die Ergebnisse verzerrt wurden.

Die Erfahrung zeigt, dass die Abweichung des tatsächlichen vom erwarteten Ertrag bei einer korrekt funktionierenden Anlage nicht mehr als $\pm 5\%$ beträgt. Bei grösseren Abweichungen lohnt es sich, die Anlage genauer unter die Lupe zu nehmen.

Praktische Realisation

Das beschriebene Verfahren wird seit einem Jahr bei den Autoren unter Verwendung eines Tabellenkalkulationsprogramms angewendet. Pro Vergleichsstandort und Anlage wurde ein Kalkulationsblatt erstellt. Das Anlagenblatt übernimmt die Angaben zur Abweichung der Klimadaten und aktualisiert laufend die Ertragsprognose. Bei Mindererträgen kann sofort eingegriffen werden. Die Kontrolle mehrerer Anlagen erfolgt auf diese Weise effizient und mit geringem Aufwand.

Literatur

- [1] Bundesamt für Energiewirtschaft BEW: «Meteonorm, Daten für den Solarplaner», Bern, 1985. Bezugsquelle: Infosolar, 5200 Brugg.
- [2] Bundesamt für Energiewirtschaft BEW: «Meteonorm, Photovoltaik für den Solarplaner», Bern, 1988. Bezugsquelle: Infosolar, 5200 Brugg.
- [3] Bundesamt für Konjunkturfragen BKF: «Photovoltaik, Planungsunterlagen für autonome und netzgekoppelte Anlagen», Bern, 1992. Bezugsquelle: EDMZ, Bern, Best.-Nr. 724.243 d.
- [4] H. Häberlin: «Photovoltaik, Strom aus Sonnenlicht für Inselanlagen und Verbundnetz», Aarau, 1991. Bezugsquelle: AT Verlag, Aarau, ISBN 3-85502-434-0.
- [5] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA: «Meteodaten für die Sonnenenergienutzung», Zürich, 1983. Bezugsquelle: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA, Zürich, Dokumentation D 64.
- [6] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA: «Handbuch der passiven Sonnenenergienutzung», Zürich, 1986. Bezugsquelle: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein SIA, Zürich, Dokumentation D010.

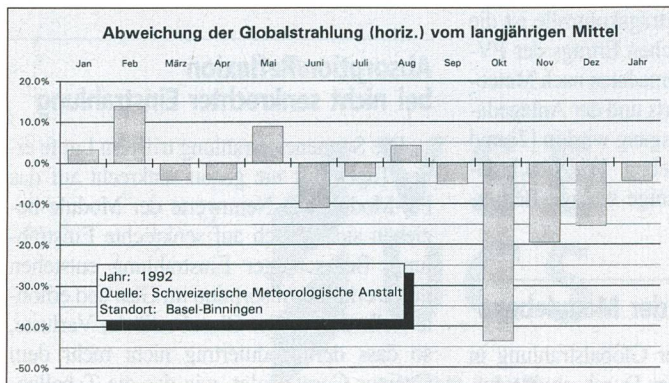


Bild 2 Die klimatischen Abweichungen vom langjährigen Mittelwert üben einen grossen Einfluss auf den Anlagenenertrag aus