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: 87 (1996)

Heft: 10

Artikel: Photovoltaik-Energiestatistik 1995 : Energiestatistik und Erfolgskontrolle von Photovoltaik-Netzverbundanlagen

Autor: Meier, Christian

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902320

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: 05.12.2025

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

1995 wurden in der Schweiz rund 60 neue Photovoltaik-Netzverbundanlagen mit rund 600 kW_p Leistung an das Elektrizitätsnetz angeschlossen. Somit speisen zurzeit (Stand 1.1.1996) etwa 740 Photovoltaikanlagen mit 5,4 MW_p Gesamtleistung umweltfreundlichen und sauberen Strom in das öffentliche Stromnetz ein. Seit dem Spitzenjahr 1992 zeigt sich allerdings eine stetige Reduktion der pro Jahr neu installierten Anlagen bzw. deren installierte Leistung. Die Qualität der Anlagen in bezug auf Ausfälle von Wechselrichtern sowie Energieertrag war in den letzten Jahren auf erfreulich hohem Niveau. Der mittlere Ertrag je installiertes Kilowatt Spitzenleistung betrug 815 kWh/kW_p, die Anlageverfügbarkeit lag bei über 97%.

Photovoltaik-Energiestatistik 1995

Energiestatistik und Erfolgskontrolle von Photovoltaik-Netzverbundanlagen

■ Christian Meier

Anlageerhebung und Erträge

Jedes Jahr werden in der Schweiz neue Photovoltaiknetzverbundanlagen erstellt. Dabei werden erprobte wie auch neue Technologien an verschiedenen Standorten und mit unterschiedlichen Bedingungen eingesetzt. Zur Erhebung des Anlagebestandes wie auch zur Bestimmung der Erträge hat das Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) zusammen mit dem Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) in den letzten vier Jahren das Projekt «Energiestatistik und Qualitätssicherung von Photovoltaikanlagen in der Schweiz» durchgeführt. Dieses Projekt erlaubt es, den Ertrag sowie die Qualität der Installation der Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) zu beurteilen. Eine jährlich aktualisierte Statistik gibt zudem die Übersicht über die im Netzverbund installierten PV-

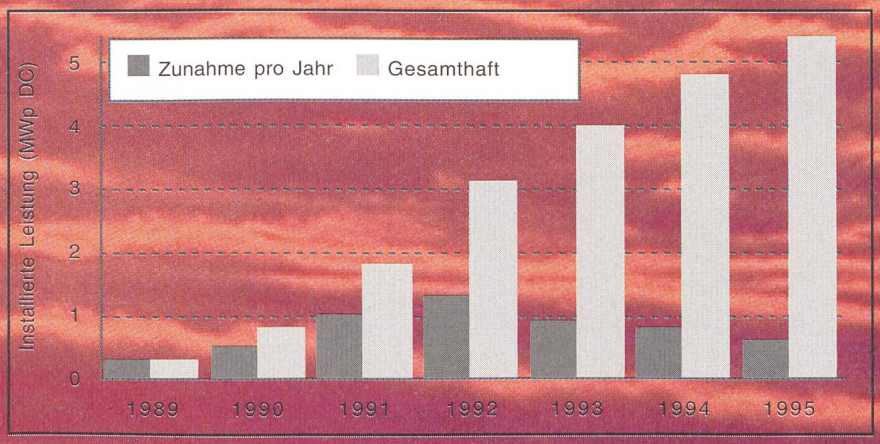

Bild 1 Jährlicher Zuwachs sowie kumulierte Leistung bei Photovoltaikanlagen im Netzverbund. Auf Ende 1995 waren rund 5,4 MW_p (5400 kW_p) installierte Leistung am Netz. Die Installation von Photovoltaikanlagen nimmt zu, das Wachstum pro Jahr ist aber negativ: Seit 1993 wurden jedes Jahr weniger Leistung installiert als im Vorjahr.

Adresse des Autors:
Christian Meier, dipl. El.-Ing. HTL,
Energie-Büro, Austrasse 40, 8045 Zürich.

Anlagen sowie deren Beitrag an die Stromversorgung in der Schweiz.

Über 800 kWh/kW$_p$ Ertrag

Die detaillierte Auswertung der Anlageerträge zeigte eine durchschnittliche Produktion von rund 815 kWh/kW$_p$. Der Ausdruck kWh/kW$_p$ bedeutet dabei, dass pro installierte Leistung von einem Kilowatt (Spitzenleistung kW$_p$) ein Ertrag von 815 Kilowattstunden (kWh) produziert wurden. Durch Bearbeitung der Strahlungsdaten der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) resultierte somit ein witterungsbereinigter Wert von rund 805 kWh/kW$_p$. Dieser Wert liegt im Rahmen der in den letzten vier Jahren eruierten Werte [1].

Um die Zahl der PV-Anlagen in der Schweiz abzuschätzen, wurde bei allen Anlageerstellern eine Umfrage bezüglich der erstellten PV-Anlagen gemacht. Damit liess sich eruieren, dass auf Ende 1995 rund 5,4 MW$_p$ installierte Leistung am Netz waren, die 1995 rund 3,8 Mio. kWh Elektrizität produzierten. Dieser Wert berücksichtigt die im Verlaufe des Jahres neu ans Netz angeschlossenen PV-Anlagen (Tabelle I).

Jahr	Anzahl Anlagen auf Ende Jahr kumuliert	Nennleistung (MW$_p$ DC)	Stromproduktion/Jahr (MWh)	Effektiver mittl. Ertrag (kWh/kW$_p$)	Mittlerer Ertrag witterungsbedingt (kWh/kW$_p$)
1989	60	0,3	–	–	–
1990	170	0,8	400	–	–
1991	380	1,8	1100	–	–
1992	490	3,1	1800	800	815
1993	600	4,0	3000	810	820
1994	680	4,8	3500	800	840
1995	740	5,4	4000	815	805

Tabelle I Der Beitrag der Photovoltaik zur Stromerzeugung in der Schweiz seit 1989. Auf Ende 1995 stieg die installierte Gesamtleistung auf 5,4 MW$_p$. Bei der Berechnung der Stromproduktion 1995 ist der reduzierte Beitrag der erst im Verlauf des Jahres 1995 neu erstellten Anlagen berücksichtigt.

Rückläufiger PV-Markt

Die gesammelten Daten der letzten Jahre sind in Tabelle 1 dargestellt und stehen für den Vergleich mit zukünftigen Datenerhebungen zur Verfügung. Es zeigt sich, dass hinsichtlich Qualität bzw. Ertrag die letzten Jahre gleichbleibende Resultate geliefert haben. Der jährliche Zuwachs allerdings ist seit 1993 stark rückläufig. 1992 hatte noch den grössten Wertzuwachs. Damals ergab sich fast eine Verdoppelung der bis 1991 installierten Anlagen (Bild 1). Der Wachstumsmarkt Photovoltaik-Netzverbund hat seit der Hälfte seines eigentlichen Bestehens in der Schweiz negative Vorzeichen. Das Ziel des Bundesprogrammes «Energie 2000» von 50 MW$_p$ installierte Leistung (fast eine Verzehnfachung der heutigen 5,4 MW$_p$) bis zum Jahr 2000 scheint in weite Ferne gerückt zu sein. Die Tatsache, dass zwischen 1989 und 1995 jedoch auch fast eine Verzehnfachung der Anlageleistung erreicht wurde, scheint die Möglichkeit aufzuzeigen, dass das Erreichen des Zieles technisch durchaus möglich wäre.

Neu auch Kleinst-PV-Anlagen

Die 60 im letzten Jahr neu ans Netz angeschlossenen PV-Anlagen hatten eine Anlageleistung von 0,4 kW$_p$ (400 Watt Spitzenleistung) bis zu 100 kW$_p$ (Bild 2). Erstmals wurde eine 0,4-kW$_p$-Anlage gemeldet. In Zukunft dürfte die Tendenz in diese Richtung zunehmen, wenn Kleinstanlagen mit integriertem Wechselrichter vermehrt auf den Markt drängen. Rund ein Drittel der Anlagen waren über 10 kW$_p$ gross. Dies lässt daraus schliessen, dass diese nicht auf privaten Wohnhäusern installiert worden sind, sondern von Institutionen, Genossenschaften oder von der öffentlichen Hand gebaut wurden.

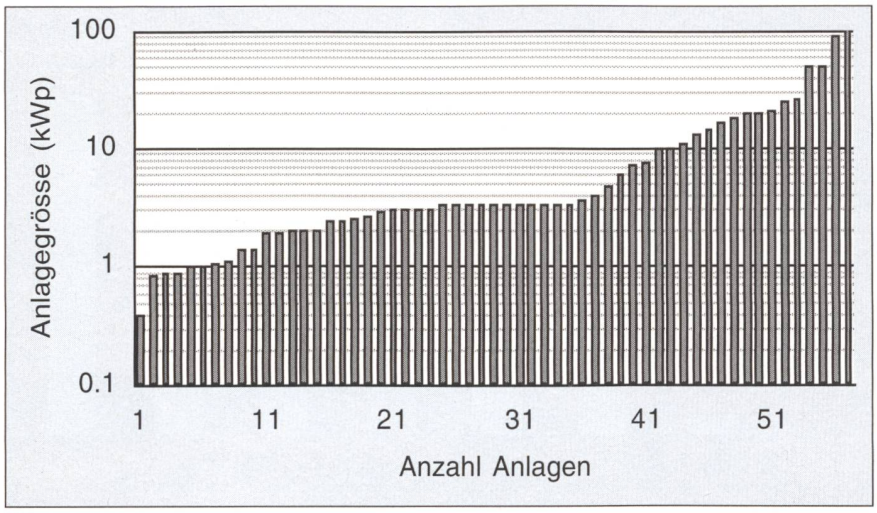

Bild 2 Die 1995 neu erstellten Anlagen nach Grösse (= installierte Leistung) geordnet. Zu beachten ist die logarithmische Darstellung der Y-Achse. Die kleinste Anlage (ganz links in der Grafik) hat eine Leistung von 0,4 kW$_p$ (400 Watt peak), die grösste Anlage (ganz rechts in der Grafik) eine von 100 kW$_p$ (100 000 Watt peak).

Grosse regionale Unterschiede

Interessant sind auch die regionalen Unterschiede in der Verbreitung von PV-Anlagen zu beobachten. Rechnet man die je Kanton installierte Leistung der Photovoltaikanlagen pro Kantonseinwohner auf, so ergibt sich eine Verteilung mit sehr grossen Unterschieden (Bild 3). Nach wie vor führt der Kanton Baselland mit rund 4 W$_p$ installierte Leistung pro Kopf die Rangliste an. Die Reihenfolge der Kantone hat sich seit Ende 1994 nicht stark verändert. Eine grosse Ausnahme bildet dabei der Kanton Neuenburg: letztes Jahr noch auf den hintersten Plätzen, wurde durch die Installation von zwei 50-kW$_p$-Anlagen durch den Kanton Neuenburg sogar das Schweizer Mittel von rund 0,7 W$_p$ pro Einwohner übertroffen. Das Ziel von «Energie 2000» ist mit 7,2 W$_p$ pro Einwohner bis zum Jahr 2000 rund zehnmal so gross.

Kleiner Anteil – grosse Zukunft

Der Photovoltaikanteil am gesamten Stromverbrauch in der Schweiz ist mit 0,08 Promille bescheiden. Allerdings ist der stetige Ausbau der Anlageleistung insofern sehr wichtig, um weiterhin neue und wichtige Erfahrungen im Umgang mit dieser Technologie machen zu können. Wie in Bild 4 dargestellt, verhält sich der Anteil der Photovoltaik am Elektrizitätsverbrauch in der Schweiz allerdings etwa gleich wie

der Vergleich zwischen diesem Verbrauch im Verhältnis zur jährlich eingestrahlten Sonnenenergie auf die Schweiz.

Qualitätssicherung

Im Verlauf der letzten vier Jahre wurden über die ganze Schweiz verteilt rund 150 PV-Anlagen monatlich ausgewertet. Auf Ende Monat lieferten die Anlagebetreiber jeweils mittels Postkarte die Ablesungen des Kilowattstunden-(kWh)-Zählers an den VSE. Mit einem speziell entwickelten Simulationsprogramm wurden die theoretisch möglichen Erträge jeder dieser PV-Anlagen errechnet. Basis dieser Berechnungen waren die von der SMA veröffentlichten, aktuellen Sonneneinstrahlungsdaten von über 60 SMA-Stationen der ganzen Schweiz. Der Vergleich des theoretischen mit dem effektiven Ertrag ergab ein Indiz für die Qualität der Anlage. So konnten auch vereinzelt schwächer ausfallende Anlagen evaluiert werden. Im folgenden sind einige dieser Auswertungen dargestellt. Weitere, detailliertere Auswertungen können beim VSE angefordert werden.

Unterschiedliche Erträge der Anlagen

Bei den rund 740 PV-Anlagen, welche auf Ende 1995 in der Schweiz installiert waren, schien es nicht mehr zu genügen, nur die 150 in der detaillierten Qualitätsanalyse vorhandenen Anlagen zu beurteilen, um die Leistung bzw. die Erträge pro Jahr zu evaluieren. Es wurden deshalb Anfang Januar 1996 weitere 80 PV-Anlagen in der Schweiz angeschrieben, um die Jahreserträge 1995 sowie Anzahl Wechselrichterausfalltage zu erfahren. Damit konnte die Aussagekraft der vorhandenen und hier dargestellten Daten qualitativ verbessert werden. Zudem wurden rund 40 Startprogrammanlagen, die im Rahmen des nationalen Programms «Photovoltaikanlagen auf Schulhäusern» gefördert wurden, ebenfalls mit berücksichtigt.

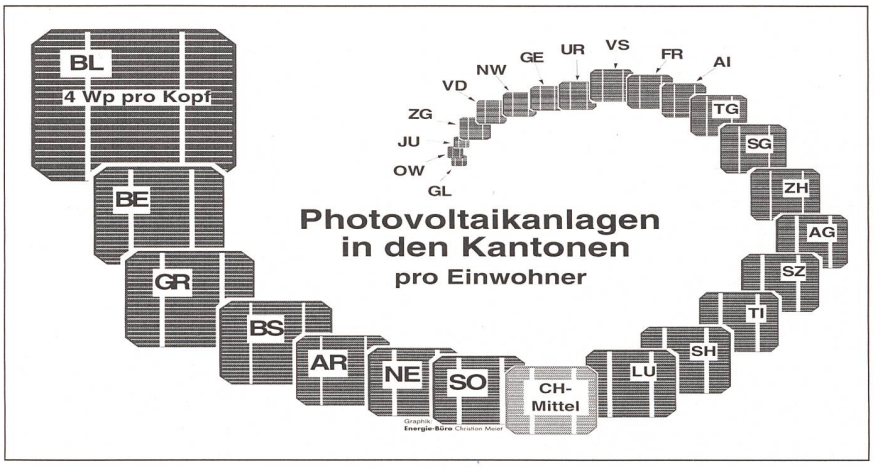

Bild 3 Pro Kantonseinwohner dargestellte installierte Leistung der Photovoltaikanlagen in der Schweiz auf Ende 1995. Nach wie vor führt der Kanton Baselland mit etwa 4 W_p die Rangliste an. Die Reihenfolge der Kantone hat sich seit Ende 1994 meist nicht wesentlich verändert. Das schweizerische Mittel betrug etwas über 0,7 W_p pro Kopf. Das Ziel des Bundesprogrammes «Energie 2000» ist mit 7,2 W_p/Einwohner bis zum Jahr 2000 rund zehnmal so gross.

Die Verteilung nach Ertragsklassen entspricht in etwa denen der Vorjahre (Bild 5). Einer Reihe von schwächeren Anlagen (links in der Graphik) steht eine Reihe von sehr ertragsstarken Anlagen gegenüber. Interessant ist zu beobachten, dass das Mittelmass untervertreten ist. Gerade bei 800 kWh/kW_p – dem errechneten Mittelwert – hat es deutlich weniger Anlagen als in den daneben liegenden Klassen.

Eine in der PV-Statistik ebenfalls enthaltene Anlage ist diejenige auf dem Jungfraujoch. Sie gehört in die Klasse 1300 kWh/kW_p und wurde aus Gründen der Anschaulichkeit der Grafik hier nicht aufgeführt.

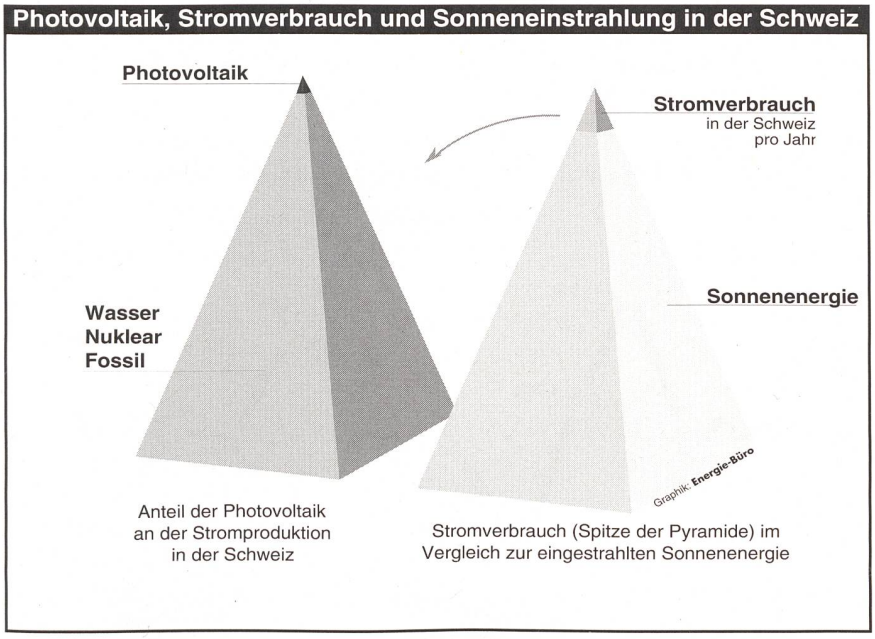

Bild 4 Graphische Darstellung des Photovoltaikanteils von 0,08 Promille am gesamten Stromverbrauch in der Schweiz. Zum Vergleich ist rechts daneben derselbe Stromverbrauch als obere kleine Spitze einer Pyramide dargestellt. Die grosse Pyramide bedeutet dabei die jährlich auf die Schweiz eingestrahlte Sonnenenergie.

Variierende Sonneneinstrahlung

Wie mit allen natürlichen Vorgängen unterliegt die jährliche auf die Schweiz eingestrahlte Sonnenenergie einigen Fluktuationen. Wie die Messung bei rund 50 über die ganze Schweiz verteilten SMA-Stationen zeigen, war 1995 ein knapp überdurchschnittliches Jahr (Bild 6). Als Referenz dient dabei das vieljährige Mittel der Jahre 1983 bis 1992. Die Strahlungswerte wurden nach den effektiven Standorten der Photovoltaikanlagen (vor allem Mittelland) gewichtet.

Diese Gewichtung wurde nach den in der PV-Statistik erfassten rund 150 Anlagestandorten und der Anlageleistung durchgeführt. Dadurch wurden eine erhebliche Zahl von Stationen (vor allem Gebirgsstationen, die rund die Hälfte des SMA-Stationennetzes ausmachen) nicht mit in diese Gewichtung mit einbezogen, da sich keine PV-Anlage in der Nähe befindet. Dafür haben SMA-Stationen mit sehr vielen PV-Anlagen in der Nähe eine um so

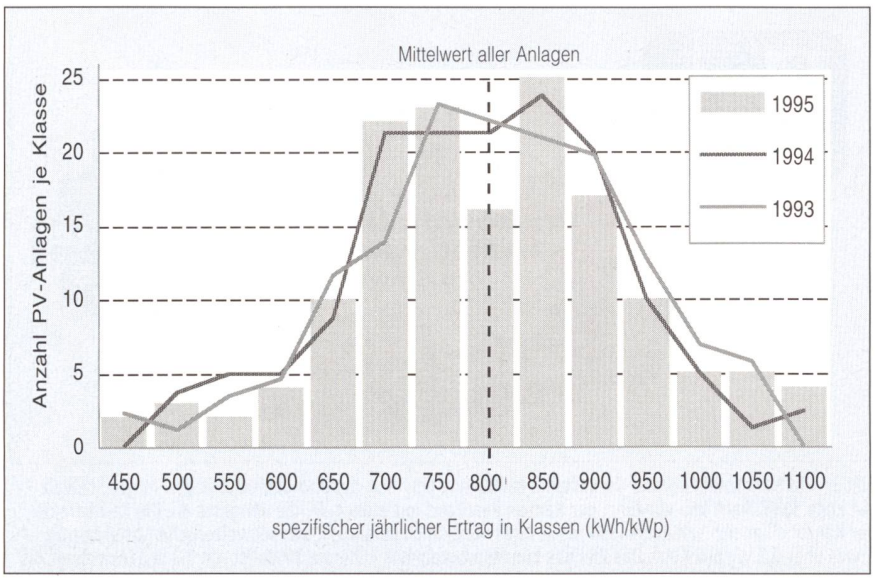

Bild 5 Die spezifischen Erträge der Photovoltaikanlagen 1995 in Kilowattstunden pro installiertes Kilowatt (kWh/kW_p), aufgeteilt in 50-kWh/kW_p-Klassen. Der Mittelwert der Anlagen liegt bei rund 815 kWh/kW_p. Als Vergleich sind die Verteilungen von 1993 und 1994 aufgezeichnet.

grössere Gewichtung erhalten (z.B. SMA-Stationen Basel-Binningen und Bern-Liebefeld). Für die Zukunft sollte diese Gewichtung wie auch die Witterungsbereinigungsprozedur genauer beobachtet und detaillierter untersucht werden, um bis jetzt noch fehlendes Wissen auf diesem Gebiet zu erarbeiten.

Gute Verfügbarkeit der Wechselrichter

Die Wechselrichter liefen im 1995 gemäss den Erwartungen sehr gut. Aus Umfragen bei 200 Anlagebetreiberinnen und -betreibern wurde festgestellt, dass die Wechselrichter zum grössten Teil gute Verfügbarkeiten aufwiesen. Der gemittelte Wert lag bei rund 97,7% (Bild 7).

Da diese Werte aus Befragungen und nicht aus Messungen stammen, muss davon ausgegangen werden, dass gewisse Wechselrichterausfälle nicht festgestellt wurden. Der hier angegebene Wert wurde deshalb mit einem Faktor von rund 30% beaufschlagt. Zu Vergleichszwecken verglich man letztjährige Werte mit den Werten der Messkampagne im Rahmen des 1000-Dächer-Programms in Deutschland. Dort ergaben sich bei den Messungen ähnliche Werte, weshalb davon ausgegangen wird, dass die Grössenordnung der dargestellten Daten stimmt.

Monatliche Anlageauswertung im Abo

Aufgrund verschiedener Gespräche mit Anlagebetreiberinnen und -betreibern war festzustellen, dass auch in Zukunft ein Interesse an einer individuellen Auswertung von PV-Anlagen besteht. Es ist deshalb geplant, eine individuelle Produktionsbeurteilung von Photovoltaikanlagen im Abonnementsstil zu realisieren. Basierend auf vier Jahren Erfahrung in der statistischen Auswertung von PV-Anlagen in der Schweiz soll ein neues, stark automatisiertes Simulationssystem entwickelt werden, mit dem Monat für Monat die Produktion der individuellen PV-Anlage kontrolliert werden kann.

Diese individuelle monatliche Information über die Photovoltaikproduktion (IMIPP) soll aufgrund der aktuellen Strahlungsdaten der SMA, den spezifischen Anlagedaten (Modultyp, Ausrichtung usw.) sowie eventuell aus den Erträgen von ausgewählten Referenzanlagen jeden Monat den aktuell möglichen Produktionswert der Anlage errechnen. Für die Beurteilung sind zwei unterschiedliche Abonnemente geplant:

IMIPP-Analyse: Jeden Monat erhält der/die Anlagebetreiber/Anlagebetreiberin eine Postkarte für die Eintragung des aktuellen Wertes des Kilowattstundenzählers. Dieser zurückgesandte Produktionswert wird dann mit dem individuell für die Anlage errechneten Wert verglichen. Anschliessend wird diese spezifische Auswertung der Anlage an die Betreiberschaft versandt. Dadurch lässt sich der korrekte Betrieb der Anlage Monat für Monat überprüfen und eine individuelle Anlagenauswertung erstellen.

IMIPP-Info: Die Anlagebetreiberinnen und -betreiber erhalten monatlich den aktuellen Soll/Produktionswert der Anlage mittels Postkarte zugesandt. Dieser Wert wird dann mit dem Wert des Kilowattstundenzählers der Anlage verglichen und so monatlich der Betrieb der Anlage überprüft [1].

Selbständige Ertragsbeurteilung

In Zusammenarbeit mit der SMA werden zudem halbjährlich die Strahlungsdaten der SMA in benutzergerechter Weise publiziert [2]. Dass mit dieser Variante die Genauigkeit der individuellen Simulation nicht erreicht werden kann, ist klar. Man kann aber davon ausgehen, dass diese Daten einen Anhaltspunkt geben können, ob die Anlage in etwa richtig läuft oder nicht. Kleinere Fehler wie der Defekt einer Strangsicherung (bedeutet z.B. Reduktion des Ertrages um wenige Prozente) lassen sich damit kaum finden.

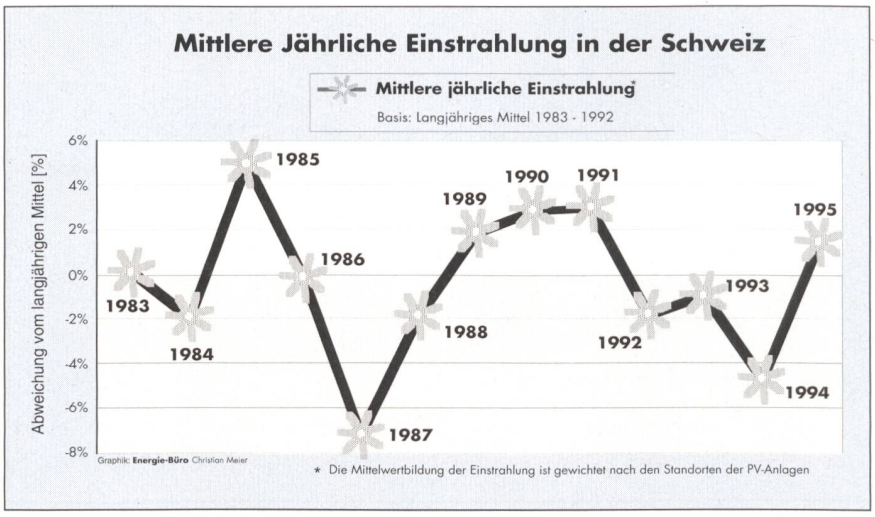

Bild 6 Die mittlere jährliche Einstrahlung auf die Schweiz 1983 bis 1995, gemessen an rund 50 über die Schweiz verteilten SMA-Stationen. Als Referenz (0-%-Linie) dient das langjährige Mittel 1983 bis 1992. Die dargestellten Werte sind nach den effektiven Standorten der Photovoltaikanlagen (vor allem Mittelland) gewichtet.

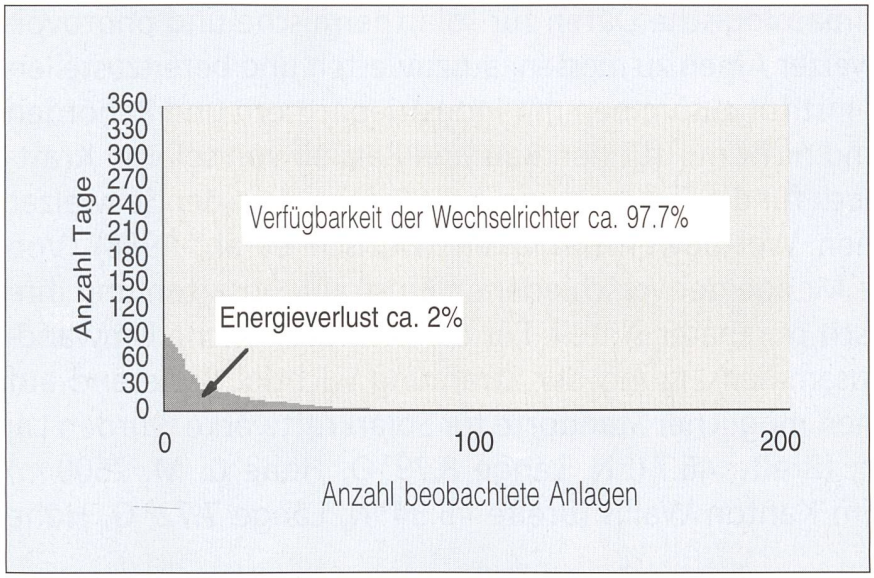

Bild 7 Verfügbarkeit der Wechselrichter. Die Wechselrichter liefen auch im 1995 gemäss den Erwartungen sehr gut. Durch Umfragen bei rund 200 Anlagen wurde festgestellt, dass die Wechselrichter im Mittel ausgezeichnete Verfügbarkeiten von rund 97,7% aufwiesen. Die aus den Wechselrichterausfällen resultierenden Energieverluste betrugen – gewichtet nach ertragsreichen Sommer- bzw. ertragsschwächeren Wintermonaten – rund 2%.

Es scheint, dass mit der Publikation der Strahlungsdaten sowie mit der freiwilligen individuellen Beurteilung der Anlagen (IMIPP) ein ansprechendes und kostengünstiges QS-Verfahren gefunden werden konnte. Es besteht somit für den Betreiber die Möglichkeit, in eigener Verantwortung die Qualität seiner Anlage sicherzustellen. Dies gibt der Anlagebetreiberschaft eine erhöhte Sicherheit in bezug auf das Leistungsverhalten der PV-Anlage, was sich positiv auf das Interesse und das Vertrauen in die Photovoltaik auswirken kann.

Schlussbetrachtung

Durch die Bearbeitung des dargestellten Themenkreises während der letzten vier Jahre entstanden wichtige Daten und Resultate. Es bestehen klare Vorstellungen über die Qualität und den Ertrag der Anlagen in der Schweiz. Der Beitrag der Photovoltaik am Gesamtenergieverbrauch der Schweiz wurde quantifiziert. Der Anlagebestand, deren Leistungskennzahlen sowie die regionale Verteilung wurden erarbeitet. Für die Zukunft ist eine weitere, wenn auch bescheidenere Weiterführung der angefangenen Arbeiten vorgesehen. Der Autor dankt an dieser Stelle allen Beteiligten für die Unterstützung und die offene, konstruktive Zusammenarbeit.

Dokumentation

[1] Nähere Informationen sind beim Autor erhältlich.

[2] Zeitschrift «Sonnenenergie», Fax 031 879 15 89.

Ein ausführlicher Bericht sowie ein Zusatzbericht mit Erfahrungen der detaillierten Untersuchung von einzelnen PV-Anlagen kann bei folgender Stelle bezogen werden: ENET, Bundesamt für Energiewirtschaft, 3000 Bern, Fax 031 352 77 56.

- Schlussbericht PV-Statistik 94/95, Nr. 30468 (etwa Fr. 15.–)
- Anhang Untersuchungen PV-Anlagen, Nr. 30469 (etwa Fr. 25.–)

Auftraggeber: Bundesamt für Energiewirtschaft BEW, Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke VSE.
Auftragnehmer: Alpha Real AG, Zürich.
Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft mit Unterstützung des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichtes verantwortlich.

Statistique de l'énergie solaire 1995

Statistique de l'énergie et contrôle des performances d'installations photovoltaïques raccordées au réseau

Une soixantaine de nouvelles installations photovoltaïques d'une puissance totale de 600 kW_p a été raccordée au réseau en 1995. Le 1er janvier 1996, quelque 740 installations photovoltaïques d'une puissance totale de 5,4 MW_p alimentaient le réseau en électricité respectant l'environnement. On observe toutefois depuis 1992 une diminution continue du nombre de nouvelles installations photovoltaïques installées chaque année et de leur puissance installée. La qualité des installations relative aux pannes d'onduleurs ainsi qu'à la productibilité a atteint un niveau élevé au cours des dernières années, ce qui est réjouissant. En 1995, le rendement moyen par kilowatt de puissance de pointe installée était de 815 kWh/kW_p alors que la disponibilité des onduleurs dépassait les 97%.