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: 85 (1994)

Heft: 10

Artikel: Photovoltaik-Energiestatistik 1993

Autor: Meier, Christian / Blum, Wilfried

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902563

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: 16.07.2025

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

600 Photovoltaik-Netzverbundanlagen mit 4 MW_p Gesamtleistung haben auf Ende 1993 über 3 Millionen kWh Solarstrom ins öffentliche Elektrizitätsnetz eingespeist. Das und weitere interessante Aspekte der Photovoltaiknutzung in der Schweiz sind die Resultate eines Forschungsprojektes, das im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) durchgeführt wurde. Dabei kamen neben dem Ertrag auch andere interessante Erkenntnisse zutage.

Photovoltaik-Energiestatistik 1993

■ Christian Meier, Wilfried Blum

Einleitung

Die 60 im Jahr 1990 installierten Anlagen sind inzwischen auf Ende 1993 per 600 Anlagen angewachsen (Bild 1, Tabelle 1). Damit nimmt die Photovoltaik einen nach wie vor bescheidenen, aber stetig wachsenden Anteil an der Gesamtenergieproduktion der Schweiz wahr. Bereits im Oktober 1991 wurde im Auftrag des BEW und des VSE ein Projekt gestartet, um einerseits den Anteil der Energieproduktion jährlich zu quantifizieren, andererseits aber auch um die Arbeitsweise, Zuverlässigkeit und das Betriebsverhalten von Photovoltaikanlagen genauer zu untersuchen. Bereits zum dritten Mal wird an dieser Stelle über den Fortschritt in diesem Projekt berichtet (vgl. Heft 10/1992 und Heft 10/1993). 1993 wurden wiederum über 130 Anlagebesitzer bzw. Anlagebetreiber aufgefordert, die Produktionsdaten ihrer Anlage monatlich dem VSE mitzuteilen. Diese Produktionsdaten wurden mit simulierten Daten der Globalstrahlung verglichen, die von der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) monatlich zur Verfügung gestellt wurden. Aufgrund dieses Vergleiches konnte festgestellt werden, ob bei Anlagen

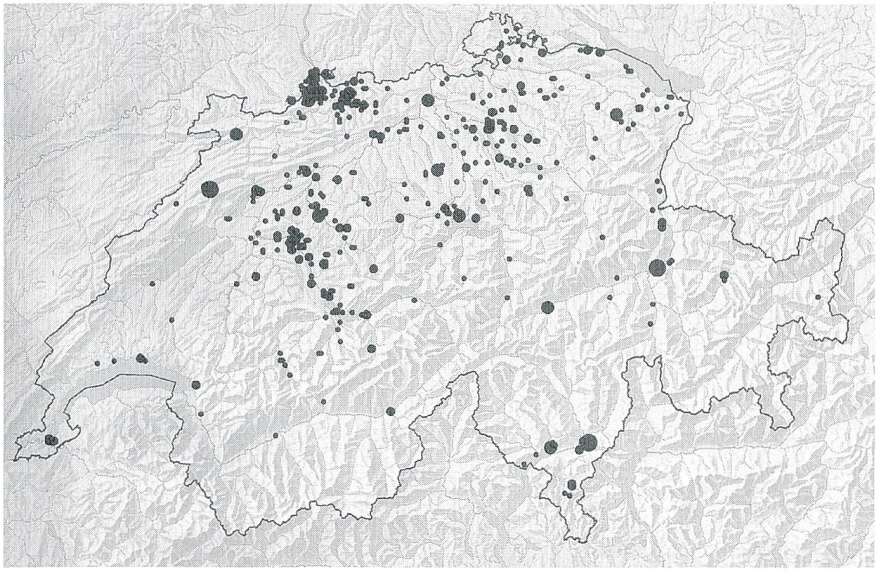

Bild 1 Standorte der rund 600 netzgekoppelten Anlagen in der Schweiz. Diese sind nach Grösse der Anlage in vier Leistungsklassen von 4 bis 100 kW_p zusammengefasst. Es zeigt sich eine gewisse Häufung von Anlagen in verschiedenen Kantonen, was vermutlich auf die kantonale Förderung von Photovoltaikanlagen zurückzuführen ist

Adressen der Autoren:
Christian Meier, Alpha Real AG, Feldeggstrasse 89, 8008 Zürich.
Wilfried Blum, Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, Gerbergasse 5, 8023 Zürich.

Jahr	Anzahl bestehender Anlagen Anfang Jahr	Nennleistung Anfang Jahr (MWpDC)	Jährliche Energieproduktion (MWh)	Mittlerer relativer Ertrag/Jahr (kWh/kWp)
1990	60	0,3	400	
1991	170	0,8	1100	
1992	380	1,8	1800	801
1993	490	3,1	3000	810
1994	600	4		

Tabelle 1 Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen: Anzahl, Leistung und Produktion für die Jahre 1990–1994. 1993 wurde deutlich weniger Leistung installiert als in den beiden Vorjahren

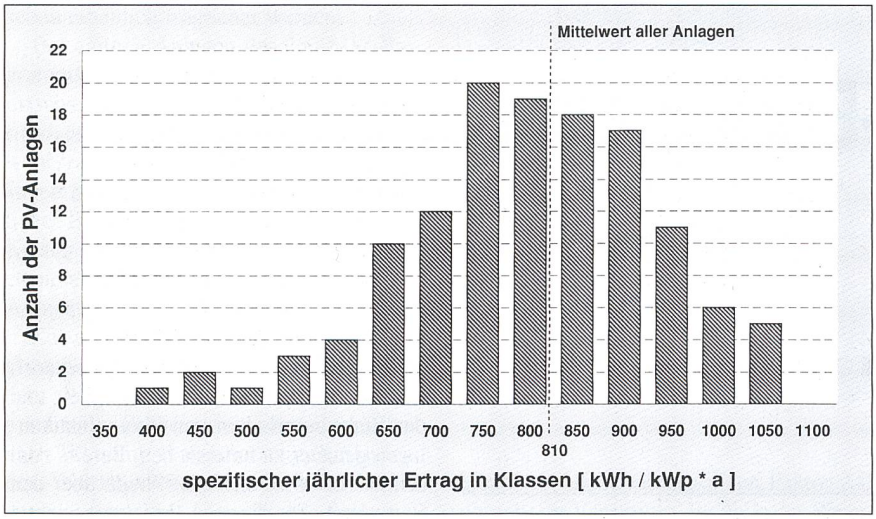

Bild 2 Spezifischer jährlicher Ertrag der 130 untersuchten schweizerischen Photovoltaikanlagen in Klassen. Das Verhältnis der 1993 erbrachten Energie zur installierten Leistung (Kilowattstunde pro Kilowattpeak) beträgt im Mittel rund 810 kWh pro kW_p. Die Kurve zeigt eine ausgeglichene Verteilung

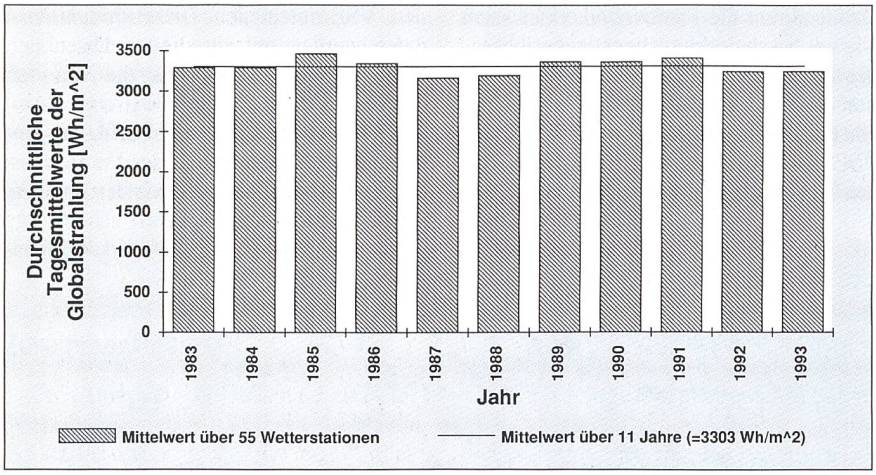

Bild 3 Durchschnittliche Tagesmittelwerte der horiziontalen Globalstrahlung von 55 SMA-Stationen für die letzten elf Jahre. Der Mittelwert der Summen aller 55 Messanlagen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt zeigt, dass die Sonneneinstrahlung auf die Schweiz von Jahr zu Jahr variiert. 1993 war die Einstrahlung rund 2,5% unter dem elfjährigen Mittel

grössere Mängel vorliegen oder ob sie im Bereich des zu Erwartenden arbeiten. Zudem wurde im Januar 1994 eine Umfrage bei allen Solaranlageherstellern durchgeführt, um so die Anzahl installierter Anlagen in der Schweiz zu erfassen. Mit diesen beiden Datengruppen war es möglich, den Gesamtbeitrag der Photovoltaik an die Energieproduktion in der Schweiz zu berechnen.

Produktionsdaten

Über 150 Anlagebetreiber von Photovoltaikanlagen in der ganzen Schweiz hatten sich bereit erklärt, von Januar bis Dezember 1993 monatlich die Produktionsdaten ihrer Anlagen dem VSE zu melden. Diese Daten wurden analysiert und mit meteorologischen Daten der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt verglichen. Daraus konnte die Zuverlässigkeit der Anlage beurteilt sowie aber auch festgestellt werden, wieviele Kilowattstunden je kW_p effektiv in der Schweiz produziert werden. Für 1993 ergab sich somit ein Ertrag pro installiertes kW_p von rund 810 kWh. Dieser Wert ist selbstverständlich einer gewissen Streuung unterworfen (Bild 2). Die meisten Anlagen sind aber im Bereich zwischen 650 und 1050 kWh pro kW_p und Jahr. Der Mittelwert von 810 kWh je kW_p und Jahr wurde im nachfolgenden Kapitel verwendet, um den Jahresertrag aller in der Schweiz installierten Anlagen zu berechnen.

Da selbstverständlich nicht jedes Jahr die gleichen Einstrahlungen aufweist, war es nötig, diese 810 kWh pro kW_p «witterungsbereinigt» darzustellen. Dazu wurden die Werte von 52 Anlagen der SMA, die seit mindestens elf Jahren die Globalstrahlung auf Horizontalebene messen, miteinander verglichen. Dabei wurden die Monatssummen aller 52 Anlagen für alle Monate des jeweiligen Jahres zusammengezählt und ein Mittelwert gebildet. Bild 3 zeigt die Aufstellung dieser Mittelwertbildung. Dabei ist ersichtlich, dass das Jahr 1992 unter dem elfjährigen Mittel, 1991 aber über diesem Mittel lag. Die Zahlen für 1993 lagen rund 2,5% unter dem elfjährigen Mittel.

Für langfristige Aussagen kann man davon ausgehen, dass eine installierte 1-kW_p-Photovoltaikanlage in der Schweiz rund 840 kWh liefern wird. Für die konkrete Berechnung von 1993 müssen allerdings die effektiv angefallenen 810 kWh pro kW_p benutzt werden. Ob jedoch diese vereinfachte Summenbildung aller SMA-Stationen und die anschliessende Mittelwertbildung zulässig sind, bedürfte weiterer Untersuchungen. Hauptgrund dafür ist, dass sich ein grösserer Teil der SMA-Stationen im Gebirge befinden, die meisten Photovoltaikanlagen aber im Mittelland stationiert sind (Bild 1).

Energieproduktion

Eine vom VSE Ende Januar bei allen Photovoltaik-Anlageherstellern durchgeführte Umfrage erlaubte es, alle 1993 erstellten Anlagen mit ihrer Leistung und ihrem Standort sowie dem Inbetriebnahmedatum zu erfassen. 1993 kamen neue Anlagen mit etwa 900 kW_p Gesamtleistung ans Netz. Da bei einer solchen Umfrage auch immer eine gewisse Dunkelziffer vorhanden ist, kann davon ausgegangen werden, dass auf Ende 1993 rund 600 Anlagen mit 4 MW_p Gesamtleistung installiert waren. Diese Anlagen zusammen speisten gesamthaft rund 3 Mio. kWh ins Netz der öffent-

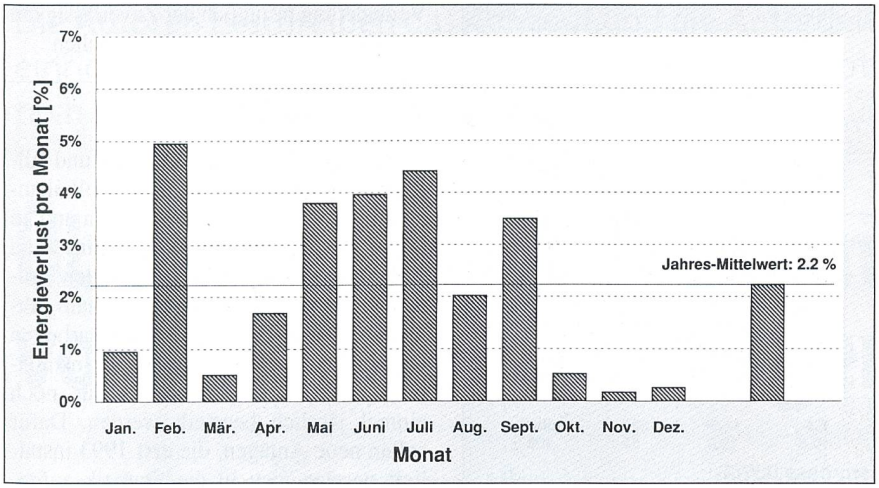

Bild 4 Zusammenstellung der monatlichen Wechselrichterausfälle und der daraus resultierenden Energieverluste 1993. Bei den 130 untersuchten Anlagen fielen die Wechselrichter rund 1,9% der Tage aus, was zu einem Energieverlust von 2,2% führte. Dies ergibt eine Zuverlässigkeit der Anlagen von rund 97,8%

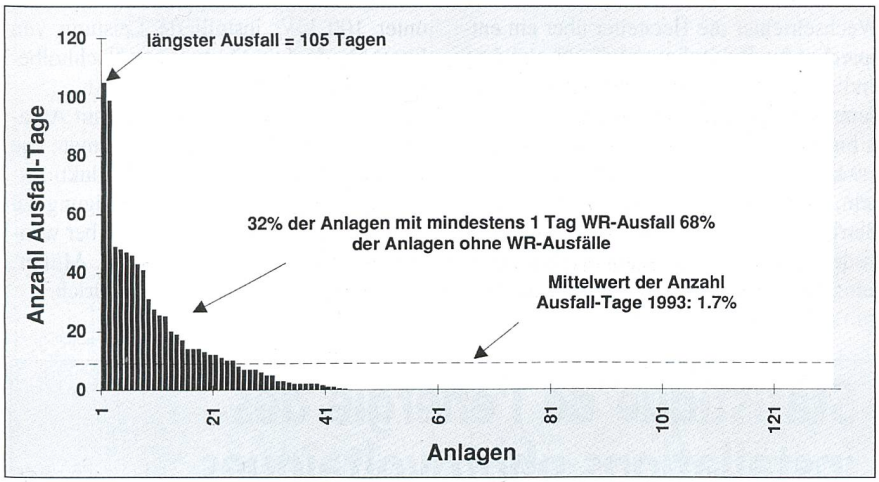

Bild 5 Anzahl der Wechselrichter-Ausfälle in Tagen für alle 130 Photovoltaikanlagen. Zwei Drittel der Anlagen (68%) hatten 1993 nie einen Wechselrichterausfall. Die restlichen 32% hatten Ausfälle zwischen 1 und 105 Tagen, was im Durchschnitt einen Ausfall von knapp einer Woche ergibt

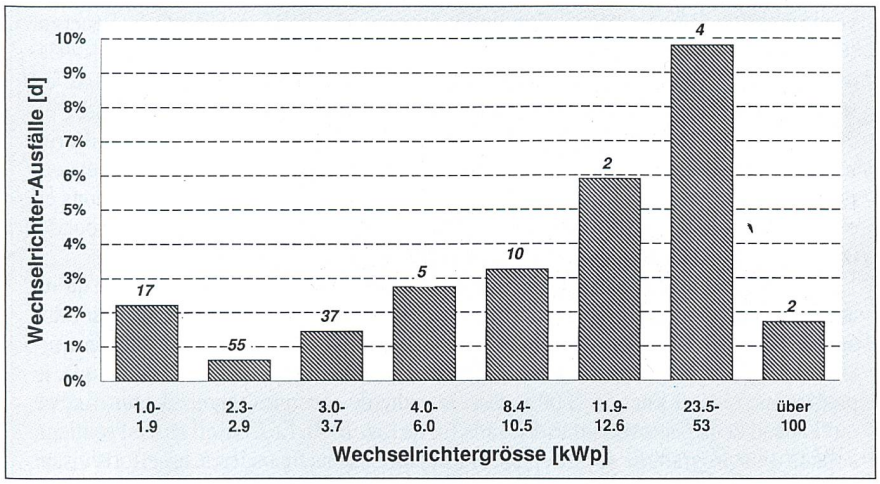

Bild 6 Wechselrichterausfälle in Prozent je installierte Anlagengrösse (gruppiert nach Anlagengrösse). Bei den Anlagen von 2,3 bis 3,7 kW_p und bei den Anlagen über 100 kW_p ergeben sich die kleinsten Ausfälle. Anlagen zwischen 4 und 53 kW_p, aber auch unter 1,9 kW_p, ergeben grössere Wechselrichterausfälle (vgl. Bild 7)

lichen Elektrizitätswerke. Bei dieser Zahl wurde berücksichtigt, dass die im Verlaufe von 1993 installierten 0,9 MW_p nicht während des ganzen Jahres einspeisen konnten. Man berücksichtigte deshalb das der Anlage entsprechende Inbetriebnahmedatum.

Wechselrichter besser als ihr Ruf

Zusammen mit den monatlichen Produktionsdaten der Photovoltaikanlagen wurden auch die Wechselrichter-Ausfalltage registriert. Nicht alle Wechselrichterausfälle liessen sich erfassen. Ein Vergleich der Produktionsdaten mit den simulierten Daten lässt jedoch darauf schliessen, dass mindestens 80% aller Wechselrichterausfälle auch gemeldet wurden.

Diese Wechselrichterausfälle konnten auf die Grösse der Produktionsanlage sowie auf ihre Häufigkeit hin untersucht werden. Dabei zeigten sich einige interessante Aspekte: Gesamthaft gesehen haben die Wechselrichterausfälle einen Energieverlust von 2,2% verursacht. Das entspricht einer Verfügbarkeit von 97,8%, was als sehr gut bezeichnet werden kann. Dieser Wert ist jedoch zum Teil auch abhängig davon, wann der Wechselrichterausfall eintritt, wie Bild 4 zeigt. Wenn nämlich ein Wechselrichter für zehn Tage im Februar streikt, so hat das einen bescheideneren Einfluss auf die Gesamtenergiestatistik als wenn er im Juli zehn Tage ausfällt, weil im Juli in der Regel das Strahlungsangebot doppelt so gross ist wie im Februar.

Weiter wurde untersucht, wie oft ein Wechselrichterausfall passiert und wie gross die Chance ist, dass man als Anlagebetreiber davon betroffen ist. Das Resultat dazu ist in Bild 5 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass nur 32% der Anlagen einen Wechselrichterausfall von wenigstens einem Tag hatten. Zwei Drittel der Anlagen haben also während des ganzen Jahres keinen Wechselrichterausfall. Ein Drittel der Wechselrichterausfälle dauerte zwischen 1 und 105 Tagen, durchschnittlich also 1,7% oder knapp eine Woche.

Eine weitere Untersuchung zeigte, dass die Wechselrichterausfälle auch stark von der Anlagegrösse abhängen (Bild 6). Dabei wurden verschiedene Gruppen von Wechselrichtern zwischen 1 und über 100 kW_p gebildet. Am wenigsten Wechselrichterausfälle in bezug auf die Energieproduktion verursachten Anlagen im Bereich zwischen 2,3 und 2,9 kW_p, gefolgt von der Gruppe zwischen 3 und 3,7 kW_p. Ebenfalls wenig Wechselrichterausfälle hatten die beiden Anlagen über 100 kW_p. Alle andern Anlagen, also die kleinen unter 1,9 kW_p sowie die Anlagen zwischen 4 und 53 kW_p, hatten grössere Wechselrichterausfälle. Stellt man Bild 6 mit den Wechselrichterausfällen der Graphik mit den mittleren Erträgen in kWh pro kW_p und Jahr gegenüber (Bild 7), so fällt auf, dass die Anlagen mit wenig Wechselrichterausfällen auch grössere mittlere Erträge erwirtschaften konnten. Anlagen mit grossen Wechselrichter-

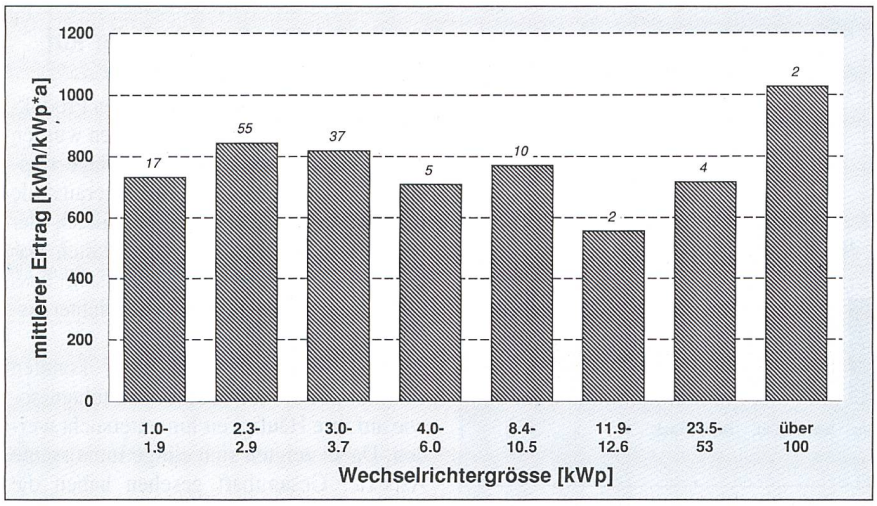

Bild 7 Mittlerer Ertrag der Anlagen für verschiedene Anlagengrössen. Anlagen zwischen 2,3 und 3,7 kW_p sowie Anlagen über 100 kW_p haben den grössten Ertrag

ausfällen erbrachten dagegen oftmals auch einen geringeren mittleren Ertrag.

Daraus lässt sich folgendes schliessen: Bei Grossanlagen mit über 100 kW_p ist offensichtlich eine professionelle Betreuung der Anlage und ein gutes «Know-how» der Wechselrichterlieferanten vorhanden, so dass diese Anlagen zur vollen Zufriedenheit der Betreiber arbeiten. Im Bereich der Anlagen von 2,3 bis 3,7 kW_p, worin immerhin über 100 Anlagen im vorliegenden Projekt untersucht wurden, scheint ebenfalls eine grosse Zuverlässigkeit vorhanden zu sein. Der Grund dafür dürfte darin liegen, dass durch die Vielzahl der verwendeten Wechselrichter die Hersteller über ein entsprechendes Know-how verfügen, um gute und zuverlässige Wechselrichtergeräte auf dem Markt anzubieten. Im Bereich von 4 bis über 53 kW_p und im Bereich unter 1,9 kW_p scheint dies noch nicht der Fall zu sein, da dort auch erst wenige Anlagen in Betrieb sind. Es wäre sinnvoll und lohnend, in der Zukunft auf diese Anlagen das weitere Augenmerk zu richten, um hier eine Veränderung bezüglich der Zuverlässigkeit und Qualität der Anlagen festzustellen.

Weiteres Vorgehen

Um Zuverlässigkeit, Qualität und allgemeines Verhalten von Photovoltaikanlagen auch in Zukunft festzuhalten und zu überwachen, ist geplant, weiterhin rund 150 Anlagen monatlich auszuwerten. Anlagen, die bereits seit über eineinhalb Jahren am bestehenden Projekt mitarbeiten und über eine zufriedenstellende Installationsqualität verfügen, sollen nur noch einmal jährlich beurteilt werden. Dafür sollen neue Anlagen, die erst 1993 installiert wurden, neu in die Statistik aufgenommen werden und monatlich im Vergleich zu einer Simulation beurteilt werden. Dies ist besonders für Anlagen in den verschiedenen Leistungsklassen über 4 bis unter 100 kW_p installierte Leistung von Interesse, da dort ein gewisser Nachholbedarf an Qualität zu verzeichnen ist.

Der VSE ist deshalb bemüht, mit Anlagebetreibern in Kontakt zu kommen, die gewillt sind, monatlich die Produktionszahlen ihrer Anlagen zur Verfügung zu stellen. Interessierte Anlagebetreiber wenden sich bitte an den VSE, Frau A. Müller, Gerbergasse 5, Postfach, 8023 Zürich.

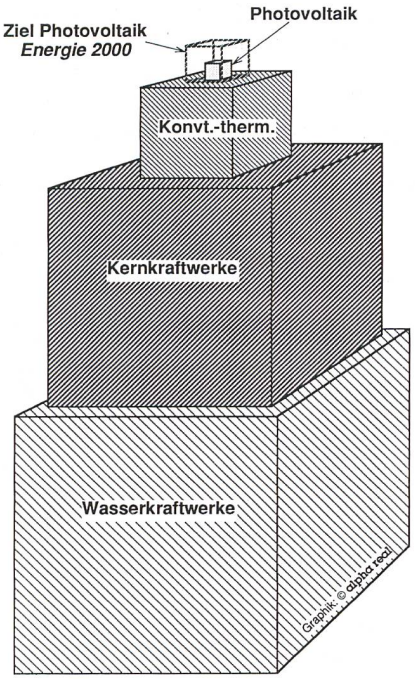

Bild 8 Anteile der Stromproduktion 1993 in der Schweiz im dreidimensionalen Massstab

Statistique de l'énergie des installations photovoltaïques en Suisse à la fin de 1993

Le nombre d'installations photovoltaïques raccordées au réseau a augmenté à nouveau en 1993. Dans le cadre d'un projet soutenu par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et l'Union des Centrales Suisses d'Electricité (UCS) (voir Bulletin N° 10/93), le nombre et la puissance des installations photovoltaïques raccordées en Suisse au réseau ont été recensées de même que leur contribution à l'approvisionnement en électricité a été calculée pour 1993. D'après le relevé des données et les calculs décrits ici, quelque 600 installations photovoltaïques d'une puissance totale de 4 MW_p étaient raccordées au réseau au début de 1994. La production d'électricité des installations en exploitation a atteint en 1993 environ 3 millions de kilowattheures, ce qui correspond à 0,006% de la consommation finale d'électricité suisse.

La transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique, ou ce qu'on appelle la photovoltaïque, représente pour le public un des principaux espoirs du futur approvisionnement en énergie. Plusieurs centaines de ces installations ont été construites au cours des cinq dernières années. Tenant également compte de cette technique, le programme fédéral Energie 2000 a, dans le cadre des énergies renouvelables, fixé ce qu'il attend de la photovoltaïque d'ici à la fin de l'an 2000. Le Conseil fédéral soutient, à l'aide d'un programme de lancement et de contributions financières, les efforts visant la mise en pratique de cette nouvelle forme de production d'énergie.

L'établissement de la statistique de l'électricité d'origine solaire montre combien il est difficile de mesurer la production effective d'électricité d'origine solaire. En règle générale, les entreprises électriques enregistrent uniquement l'énergie refoulée dans le réseau, et non pas la production effective. De nombreux propriétaires ont équipé leurs installations d'un compteur de production privé; les relevés de ces compteurs ne sont toutefois pas communiqués aux entreprises électriques.