

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 23

Artikel: Kanton Zürich fördert Photovoltaik: Aktivitäten der Energiefachstelle am Beispiel von fünf Pilotprojekten
Autor: Humm, Othmar / Jehle, Felix
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77446>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

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

Kanton Zürich fördert Photovoltaik

Aktivitäten der Energiefachstelle am Beispiel von fünf Pilotprojekten

Längerfristig scheint die Nutzung der Sonnenenergie die einzige Alternative zu den heutigen Energiequellen zu bieten. Grosse Hoffnungen werden in die Photovoltaik gesetzt (Konversion von Sonnenlicht in elektrischen Strom). Um den schweizerischen Beitrag an dieser umweltfreundlichen Technologie zu fördern - Aufstellung und Netzeinspeisung - hat der Kanton Zürich fünf Pilotprojekte mit finanziellen Beiträgen unterstützt.

Solarzellen sind in den letzten acht Jahren durch den Anstieg der internationalen Produktion stark verbilligt worden,

VON OTHMAR HUMM UND
FELIX JEHLE,
ZÜRICH

von 21 auf 7 Fr./Wp («Franken pro Watt peak» quantifiziert die Kosten je Watt Spitzenleistung der Solarzelle). Allein die Aufstellung und Verdrahtung der Zellen sowie die Netzeinspeisung kosteten bis vor kurzem 10 Fr./Wp, heute liegt der Preis bei 6 Fr./Wp. Damit Solarzellenanlagen gegenüber konventionellen Stromerzeugern konkurrenzfähig sind, dürfen die Gesamtkosten 3 Fr./Wp nicht übersteigen. Der Kanton Zürich hat deshalb in den letzten Jahren fünf Pilotprojekte aus dem Bereich der photovoltaischen Stromerzeugung finanziell unterstützt. Neben drei kompletten Solarkraftwerken - Glattbrugg, Mönchaltorf und Aathal - förderte der Kanton die Entwicklung eines für solare Anlagen geeigneten Wechselrichters sowie eine Studie und ein gebautes Beispiel zur Fassadenintegration von Solarzellen. Allen Projekten gemeinsam ist der Versuch, die von schweizerischen Firmen beeinflussbaren Kosten für Aufstellung, Verdrahtung und Stromeinspeisung zu reduzieren. Ansätze zur weiteren Kostenreduktion sind bekannt, sie müssen indessen noch ausgeschöpft werden, gemeinsam mit der Verbreitung dieser umweltfreundlichen Technik.

Wechselrichter

Durch die technische und organisatorische Entwicklung, solar erzeugten Strom in öffentliche Netze einzuspeisen, stellte sich in den letzten Jahren immer wieder die Frage nach dem

Wechselrichter. Gelegentlich importierten Anlagebauer DC/AC-Wandler aus den USA. Doch befriedigte diese Lösung aus mehreren Gründen nicht unter anderem wegen mangelnder Qualität des AC-Ausganges. Der Umstand, dass kein tauglicher Wechselrichter für Solaranlagen auf dem Markt verfügbar war, verdeutlicht auch den technischen Stand, in dem sich einzelne Komponenten zur Nutzung erneuerbarer Energien befinden. Ob sich die Nachfrage nach derartigen Geräten durch das Angebot oder ob sich das Angebot von der Nachfrage beeinflussen lässt - Tatsache ist jedenfalls, dass die Marktgängigkeit der photovoltaischen Anlagen letztlich von der Verfügbarkeit und Qualität der notwendigen Komponenten abhängt. Zudem bietet die Umfeldtechnologie eine Chance für Schweizer Unternehmen, am zukunftssträchtigen Markt der Photovoltaik zu partizipieren. Für die Solarzellen selbst kommt die Schweiz als Produktionsstandort kaum in Frage.

An diesem Punkt hat die Initiative der Zürcher Ingenieurunternehmung Alpha Real AG eingesetzt. Zusammen mit der Ingenieurschule Biel und der Bieler Firma Concept sowie der Unterstützung von Bund und Kanton Zürich entwickelten die Ingenieure einen an die Bedürfnisse solarer Stromerzeugung mit Netzeinspeisung angepassten Wandler. Die Firma Hardmeier Electronics in Winterthur produzierte die Prototypen und erste Serien.

Bei der Auswahl der Technologie stellte sich die Frage, ob ein Trafo zur Potentialtrennung zwischen DC- und AC-Teil notwendig ist. Wegen der Gefahr einer DC-Einspeisung ins öffentliche Netz wertete die Projektgruppe den Trenntrafo als Plansoll. Bei Störungen in der Leistungs- oder Überwachungselektronik ist die Trennung des DC- und des AC-Teils ansonsten nicht gewährleistet. Eine gleiche Sicherheit würde allenfalls eine DC-Überwachung auf

der AC-Seite bringen, die aber mit einer Abschaltmöglichkeit der DC-Leistung kombiniert sein müsste.

Die Forderung nach einem hohen Wirkungsgrad, insbesondere unter Teillast, war ausschlaggebend für die Wahl der sogenannten FET-Technologie (FET steht für Feldeffekttransistoren). Der Gleichstrom wird in einen hochfrequenten Wechselstrom von 50 kHz umgewandelt. Nach dem (hochfrequenten) Trenntransformator wird die Wechselspannung gleichgerichtet, die resultierende Gleichspannung hat eine Frequenz von 100 Hz. Von diesen 100-Hz-Halbwellen wird jede zweite «umgeklappt» (also ihre Richtung geändert), so dass ein 50-Hz-Wechselstrom entsteht.

Der Wechselrichter Solcon (vgl. Merkmale im Kästchen) wird von einem Mikroprozessor gesteuert. Diese Steuerelektronik maximiert die Einspeiseleistung ins Netz, synchronisiert den Strom mit dem Netz und überwacht das Gerät. Zu den einzelnen Steuerfunktionen:

Die Maximierung der Einspeiseleistung, sogenannte Maximum Power Tracking (MPT), berücksichtigt die ständig wechselnden Bedingungen für die Solarzellen, insbesondere Einstrahlung, Zelltemperatur und Beschattung. Die automatische Netzsynchroisation regelt den Wandler aufgrund einer Referenz-Sinustabelle, die als Programm im Mikroprozessor gespeichert

Wechselrichter Solcon

Allgemeine Gerätedaten

| | |
|-------------------------|-----------------------|
| Technologie | Pulsbreitenmodulation |
| Leerlaufverlust | unter 50 W |
| Wirkungsgrad | 90 bis 95% |
| Temperatur der Umgebung | 20 bis 45 °C |
| Masse (L×B×H) | 0,3×0,2×0,3 m |
| Gewicht | 20 kg |

Eingangsdaten

| | |
|------------------|---------------------|
| Nennspannung | 100 V (96 V) DC |
| Spannungsbereich | 80 bis 120 V |
| Leerlaufspannung | 150 V |
| Max. | |
| Spannungsrippel | 5 V (Spitze-Spitze) |

Ausgangsdaten

| | |
|-------------|---------------------------|
| Spannung | 220 V AC +15% |
| Frequenz | 50 Hz +5% (netz-synchron) |
| Leistung | 3 kW |
| Stromform | Sinus |
| Klirrfaktor | <3% (Spannung) |



Bild 1. Die photovoltaische Anlage des EKZ in Aathal mit den drei Feldern unterschiedlicher Technologie, Leistung und Hersteller. Die zu Arrays zusammengefassten Zellen sind mit speziell konzipierten Distanzhaltern auf dem Dach befestigt



Bild 4. Das Büro- und Werkstattgebäude in Glattbrugg. Das Personalfahrzeug im Vordergrund wird ebenfalls mit Solarstrom betrieben

chert ist. Die Anpassung erfolgt bei jedem Nulldurchgang. Bei sinusförmigem Strom arbeitet der Wechselrichter deshalb mit einem Cosinus ϕ von 1.

Die Steuerelektronik überwacht den Betrieb, schaltet den Wechselrichter morgens ein bzw. abends aus und prüft das Netz in bezug auf Spannung und Frequenz. Bei gestörtem oder ausgeschaltetem Netz setzt die Steuerung das Gerät ausser Betrieb. Über eine RS-232-Schnittstelle können Daten zwischen der Elektronik und externen Geräten getauscht werden.

In der Tessiner Anlage Tiso in Trevano stand ein Prototyp des Solcon während einiger Zeit im Einsatz. Die Richtigkeit des Konzeptes sowie der erwartete hohe Wirkungsgrad im Teillastbereich bestätigte sich. Der Versuchsbetrieb zeigte zudem die Fähigkeit des Gerätes, bei schwacher Einstrahlung auch elektrische Leistungen ab etwa 30 W DC ins Netz abzugeben. Der erste serienmässig hergestellte Wechselrichter hat im Sommer 1989 im Unterwerk Aathal der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich als Teil einer Pilotanlage den Betrieb

aufgenommen. Die ersten Resultate sind gut.

Mit dem Projekt Megawatt gelangen im Verlauf des Jahres 1990 etwa 100 Geräte zum Einsatz. Die Erfahrungen mit diesen und anderen Anlagen ermöglichen einen weiteren Entwicklungsschritt, der grössere Stückzahlen und geringere Kosten nach sich zieht. Parallel zu diesen Bestrebungen müssen die Zellen kostengünstiger werden; diese Komponenten sind von der Schweiz aus kaum zu beeinflussen, weil die «Weltmarktpreise» bestimmend sind.

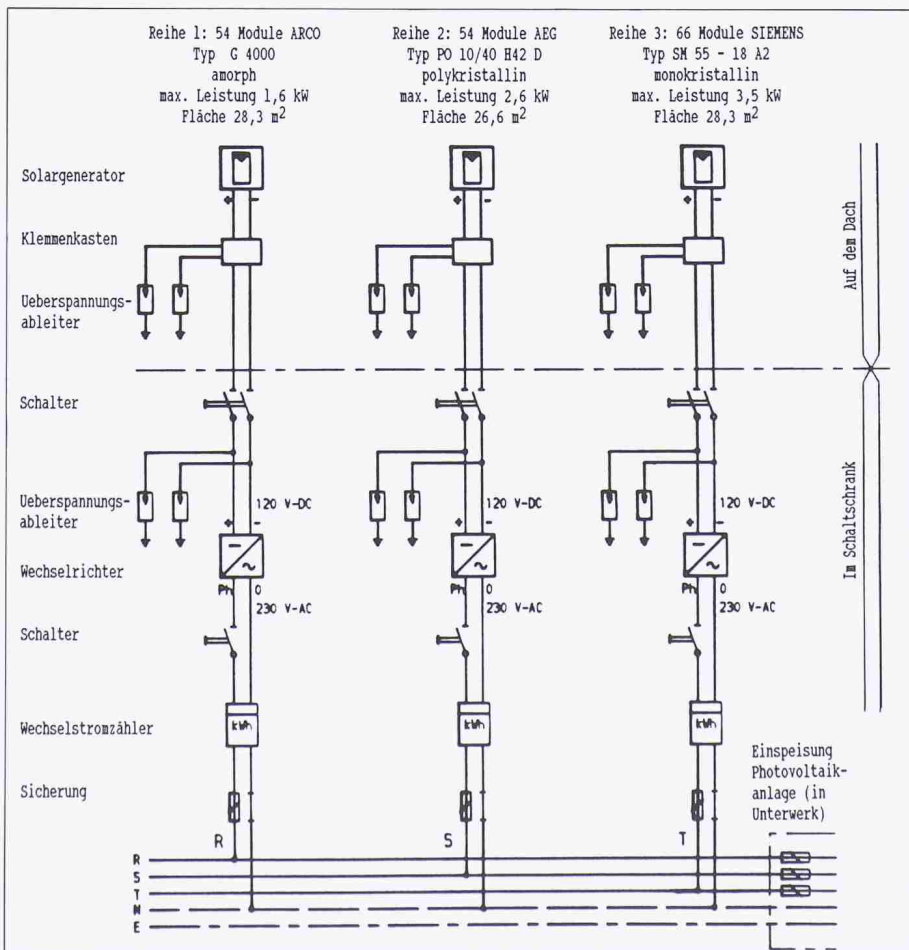


Bild 3. Die Solarzellen sind einerseits an Sturze und Bänken der Fenster montiert, andererseits in die Fassade integriert

Bild 2. Schematische Darstellung der photovoltaischen Anlage im EKZ-Unterwerk Aathal. Deutlich erkennbar sind die drei von der Erzeugung bis zur Einspeisung ins Netz getrennten Phasen der Stromführung

Die Inverter, ihre Anpassung an lokale Gegebenheiten und örtliche Sicherheitskonzepte, ihre Integration und Verdrahtung sind dagegen Aufgaben der schweizerischen Wirtschaft.

Unterwerk Aathal

Im Zuge der Renovation des Pultdaches über dem Schalthaus des Unterwerkes Aathal im Frühjahr 1989 realisierte das Elektrizitätswerk des Kantons Zürich zu Demonstrations- und Erprobungszwecken eine photovoltaische Anlage. Die 7,7-kW-Anlage besteht aus drei etwa gleich grossen Feldern, aber unterschiedlicher Technologie von Solarzellen mit je einem zugeordneten Wechselrichter. Das monokristallin bestückte Feld umfasst 66 Panels des Typs Siemens SM 55, die mit polykristallinen und amorphen Zellen ausgerüsteten beiden Felder je 54 Panels der Typen AEG PQ 10/40 bzw. Arco G 400. Jeweils 6 Panels sind in Serie geschaltet und bilden ein sogenanntes Array. Plus- und Minuspole dieser Arrays sind in dem jedem Feld eigenen Klemmenkasten parallel geschaltet. Blockdioden entkoppeln die einzelnen Arrays, so dass Strom nicht in defekte oder beschattete Zellen fließen kann. Zu Servicezwecken kann jedes Array von der Sammelschiene getrennt werden.

Überspannungsableiter und Anschluss an die Gebäudeerdung sichern die Anlage gegen unzulässige Fremdspannungen, insbesondere gegen Blitzeinwirkungen. Die insgesamt 29 Arrays gelangten vormontiert und vorverdrahtet auf die Baustelle, wo sie mittels speziell für diese Anlage konstruierten Tragbügeln auf dem Dach befestigt wurden. Die Bügel ermöglichen die Fixation mit einem Dachabstand von 18 cm, ohne die Dachhaut zu durchdringen. Die Kabel liegen in wetterfesten glasfaserverstärkten Kunststoffkanälen.

Als Wechselrichter kam der neu entwickelte Solcon zum Einsatz. Die drei DC/AC-Wandler arbeiten mit einer Eingangsspannung von 100 V und einem für einen weiten Lastbereich gültigen Wirkungsgrad von 90 bis 95%. Die Einschaltsschwelle des Wandlers beträgt lediglich 50 W, die Leistung 3 kW. Der solar erzeugte Strom fließt in drei Phasen und mit einer Spannung von 220 bzw. 380 V sowie einer Frequenz von 50 Hz ins Netz der EKZ.

Glattbrugg

«Die Fassade als Kraftwerk» überschrieb eine Fachzeitschrift ihren Artikel über das Pilotprojekt in Glattbrugg

| | Feld oben monokristallin | Feld Mitte polykristallin | Feld unten amorph (Dünnschicht) |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| ■ Generatoren Technologie | | | |
| Wirkungsgrad | 14,5% | 12% | 6% |
| Bruttofläche | 28,37 m ² | 26,84 m ² | 28,04 m ² |
| Anzahl Module | 66 | 54 | 54 |
| Nennleistung (max. Leistung) | 3,5 kW | 2,6 kW | 1,6 kW |
| Anstellwinkel | 13 Grad | 13 Grad | 13 Grad |
| Ausrichtung | 30 Grad SW | 30 Grad SW | 30 Grad SW |
| Hersteller | Siemens | AEG | Arco Solar |
| ■ Inverter Typ | Solcon | | |
| Technologie | Hochfrequenz-Inverter | | |
| Wirkungsgrad | 90 bis 95%, je nach Last | | |
| Hersteller | Hardmeier Electronics, Winterthur | | |
| ■ Anlage Jahresertrag ins Netz | 7 000 kWh | | |
| Investitionskosten | 260 000 Fr. | | |
| Spezifische Investitionskosten | 34 Fr./Wp | | |

Tabelle 1. Anlage Unterwerk Aathal der EKZ. Technische Daten

bei Zürich (vgl. Bilder 3 und 4). Es handelt sich zwar nur um ein kleines Kraftwerk, trotzdem: Die 105 Solarmodule mit einer gesamten Leistung von 5,8 kW sind tatsächlich Teil der Fassade. Gegenüber konventionellen Solarzellenanlagen weist die integrierte Lösung eine ganze Anzahl von Vorteilen auf. In der Regel sind der Landbedarf sowie der Aufwand für Haltekonstruktionen und Montage geringer. Bei vielen Bauten ist auch eine bessere architektoni-

sche Gestaltung möglich. Als besonderer energetischer Vorteil erweist sich so dann die grosse Materialeinsparung durch den Wegfall der erwähnten Ständer: Die energetische Amortisationszeit der gesamten Solaranlage wird verkürzt und dadurch der Erntefaktor besser. Dass die Solarzellen bei der Integration in die Fassade nicht optimal nach der Sonne ausgerichtet sind, ist naturgemäss als Nachteil zu werten, der sich in einem kleineren Energieertrag nieder-

Glossar

□ Amorph, Dünnschichtzellen:

Dünnschichtzellen kommen im Vergleich zu den kristallinen Zellen aufgrund ihres höheren Absorptionskoeffizienten mit wesentlich geringeren Dicken aus. Sie liegen im Bereich von Mikrometern. Damit ist eine enorme Einsparung des hochreinen Ausgangsmaterials verbunden. Am häufigsten wird für die Herstellung von Dünnschichtzellen amorphes Silizium verwendet. Bei diesem Material weisen die Atombausteine im Gegensatz zu kristallinem Silizium keine regelmässige Struktur auf. Wirkungsgrad 6%, im Labor über 10%.

□ Monokristallin

Die heute am weitesten entwickelte Solarzelle ist die «klassische» Siliziumsolarzelle aus einkristallinem Material. Ihr Wirkungsgrad liegt zwischen 12 und 14%, Laborzellen haben Wirkungsgrade von mehr als 20%. Die Zellenstärke beträgt etwa 0,2 bis 0,3 mm. Der Herstellungsprozess beginnt mit der Produktion von Solarsilizium aus Quarzit oder Quarzsand. Einkristalle werden üblicherweise als Stäbe von einem Durchmesser von etwa 10 cm aus einer Siliziumschmelze gezogen. Schmelzpunkt von Silizium: 1415 °C.

□ Polykristallin

Eine Alternative zum Einkristall-Ziehverfahren (monokristalline Zellen) stellt das Giessen von flüssigen Silizium mit einer Temperatur von 1500 °C in einem geheizten Graphittiegel dar. Der Boden des Tiegels wird mit Hilfe einer wassergekühlten Kupferplatte auf nur 800 °C gehalten. Aufgrund dieses starken Temperaturgradienten erstarrt das Silizium zu einer polykristallinen Schicht. Dies bedeutet, dass die Korngrenzen im wesentlichen in einer Richtung verlaufen, bei entsprechendem Sägeprozess senkrecht zur Oberfläche. Wirkungsgrade um 12%.

□ Wechselrichter

Gerät zur Umrichtung des Stromes, im besprochenen Fall wird der Gleichstrom in Wechselstrom umgerichtet.

□ Erntefaktor

Der Erntefaktor eines Gerätes oder Aggregates ist das Verhältnis zwischen der innerhalb der Lebensdauer gewonnenen Energie und der für die Herstellung aufgewendeten Energie. Die energetische Amortisationszeit liefert eine ähnliche Angabe: Die Zeitdauer, in der die für die Produktion und Montage eines Gerätes benötigte Energie, auch als graue Energie bezeichnet, durch den Betrieb gewonnen werden kann.

| | |
|------------------------------------|---------------------|
| ■ Generatoren Typ | Arco M 55 |
| Technologie | monokristallin |
| Wirkungsgrad | 14,5% |
| Bruttofläche | 46 m ² |
| Anzahl Module | 108 |
| Nennleistung | 5,4 kW |
| Leistung bei 1000 W/m ² | |
| Einstrahlung und 20 °C | 5,9 kW |
| Anstellwinkel | 33 Grad |
| Ausrichtung | Süden |
| Hersteller | Arco Solar |
| ■ Inverter Typ | SI 3000 |
| Importeur | Fabrimex AG, Zürich |
| ■ Anlage Jahresertrag ins Netz | 5250 kWh |
| Investitionskosten | 18 Fr./Wp |

Tabelle 2. Anlage Solcar in Mönchaltorf. Technische Daten

| | | | |
|---------------------------------|---------------------|--|--|
| ■ Generatoren | | | |
| Typ | Arco M 55 | | |
| Technologie | monokristallin | | |
| Wirkungsgrad | 14,5% | | |
| Bruttofläche | 45 m ² | | |
| Anzahl Module | 105 | | |
| Nennleistung | 5,8 kW DC | | |
| | 5,4 kW AC | | |
| Anstellwinkel | 90 bzw. 70 Grad | | |
| Ausrichtung | Südwest | | |
| Hersteller | Arco Solar | | |
| ■ Inverter | | | |
| Typ | SI 3000 | | |
| Spannung DC | 40 bis 55 V | | |
| AC | 220 V | | |
| Strom DC | 120 A | | |
| AC | 25 A | | |
| Importeur | Fabrimex AG, Zürich | | |
| ■ Anlage | | | |
| Jahresertrag ins Netz | Noch keine Angaben | | |
| Investitionskosten | 19 Fr./Wp | | |
| Simulierter Energieertrag (kWh) | | | |
| Sommer (6 Monate) | Winter (6 Monate) | | |
| April 630 | Januar 230 | | |
| Mai 680 | Februar 390 | | |
| Juni 690 | März 520 | | |
| Juli 750 | Oktober 460 | | |
| August 700 | November 250 | | |
| September 520 | Dezember 190 | | |
| Sommer 3970 | Winter 2040 | | |
| Ganzes Jahr 6010 | | | |

Tabelle 3. Anlage W. Schmidt AG, Glattbrugg. Technische Daten

schlägt. Erste Ergebnisse der noch andauernden umfangreichen Messkampagne beziehen sich auf den 19. Juli 1989, einem warmen und schönen Tag:

□ An diesem Tag schwankt die Ausstemperatur zwischen 15 °C um 8 Uhr und 30 °C um 13 Uhr. Die höchste Temperatur der Panels übersteigt mit einer zeitlichen Verzögerung von rund einer Stunde das Maximum der Ausstemperatur um 17 °C (vgl. Bild 5).

□ Der Verlauf der Einstrahlung, abhängig von der Bezugsebene, zeigt Bild 6. Die horizontale Einstrahlung entspricht im wesentlichen der Normkurve, die vormittäglichen Schwankungen sind auf vorbeiziehende Wolken zurückzuführen. Der Einfluss der Wolken auf die geneigte und vertikale Ebene ist geringer, weil auf diesen Flächen die Direktstrahlung eine geringere, der diffuse Anteil des Lichtes aber eine grössere Rolle spielt. Die zeitliche Verschiebung der drei Kurven ist in der Orientierung der Gebäude begründet.

□ Bei einer Leistung von rund 150 W auf der Gleichstromseite geht der Wechselrichter in Betrieb. Dies ist an der dunkel gefärbten Kurve in Bild 7 ersichtlich. Im weiteren Verlauf des Tages entspricht die Leistung vor und nach dem Wechselrichter ziemlich genau der Einstrahlung. Auf den beiden höchsten Punkten weisen die Kurven Werte von 1,5 bzw. 1,37 kW aus, was einem Wirkungsgrad von 91% entspricht.

□ Das Verhalten der beiden Wechselrichter ist in Bild 8 dargestellt. Da der eine Wechselrichter von einem grösseren Anteil geneigter Panels gespeist wird, weist er die höhere Leistung aus (siehe dazu Bild 6). Die Zuordnung der einzelnen Panels zu den Wechselrichtern erfolgte nach dem Kriterium der Verdrahtung.

Mönchaltorf

Die «Solcar Genossenschaft Solarmobilbau» bezweckt die vermehrte Nutzung der Sonnenenergie. Sie tut dies durch den Bau von Solarmobilen für Genossenschafter und für andere Interessierte. Bei den sogenannten Solarmobilen handelt es sich von der Typologie her um Elektromobile, die ihren Strom aber aus Solarzellenanlagen aufgepackt aufs Fahrzeug oder an einem Gebäude fest installiert beziehen. Aus praktischen Gründen läuft der Energietransfer zwischen Generatoren und Motoren über das öffentliche Netz der Elektrizitätswerke. Die Benutzer der Mobile «tanken» ihr Fahrzeug also an der hauseigenen Steckdose auf. Mit dem Kauf eines Elektromobils wechselt

auch das anteilige, auf insgesamt 25 Jahre beschränkte Nutzungsrecht an der gemeinschaftlichen Stromerzeugungsanlage der Solcar den Besitzer. Der Betrieb eines umweltfreundlichen Solarmobils ist also nicht vom Besitz eines besonnten Einfamilienhauses abhängig.

Die Solcar-Anlage arbeitet seit einigen Monaten auf dem Dach eines kleinen Nebengebäudes in der Wohnzone von Mönchaltorf. In beiden elektrisch getrennten Solarzellenfeldern fliesst der Strom über zwei Klemmenkästen zu den Wechselrichtern. Die Daten der Wechselrichter: Gleichstromeingang mit einer Spannung je nach Betriebszustand zwischen 40 und 60 V bzw. einer Stromstärke von 0 bis 60 A. Zweiphasiger Wechselstromausgang mit 220 bzw. 380 V und einem Strom zwischen 0 und 12 A.

Die Solargeneratoren sind im obersten Drittel des 15 m breiten und von der Traufe zum Giebel 11 m messenden Daches montiert. Das Zellenfeld selbst misst 14,5 auf 3,4 m, also rund 46 m².

Erstmals wurden bei dieser Anlage die Zellen anstelle der Ziegel ins Dach integriert. Gegenüber der Dachfläche (oberkant Ziegel) sind die Zellen um höchstens 6 cm überhöht.

Fassadenintegration

Die Idee der Fassadenintegration von Solarzellen ist sehr einleuchtend: Durch die Kombination zweier Funktionen, nämlich die des stromerzeugenden und des schützenden Elementes, Kosten in der Herstellung und Montage zu sparen. Die oft aufwendigen Konstruktionen für Befestigung oder Aufständigung von aktiven solaren Komponenten können durch derartige Fassaden reduziert oder gar überflüssig werden. Zudem verlängern die Metallkonstruktionen die energetische Amortisationszeit erheblich; Stichwort: Erntefaktor.

Die erfolgreiche Applikation von Solarzellen auf Fassadenteilen ist allerdings noch keine ausreichende Grundlage für eine grosse Verbreitung integrierter photovoltaischer Systeme. Bei der Anlage in Glattbrugg konnte dies ja bereits baulich und ästhetisch befriedigend gelöst werden. Es fehlen serienmässig hergestellte Komponenten, die von Architektur- und Ingenieurbüros in bezug auf Kosten und Ertrag erfasst, devisiert und geordert sowie von Bauhandwerkern nach geprüften Verfahren montiert werden können.

Der Preis amorpher Zellen liegt heute bei rund 400 Franken pro m², wobei

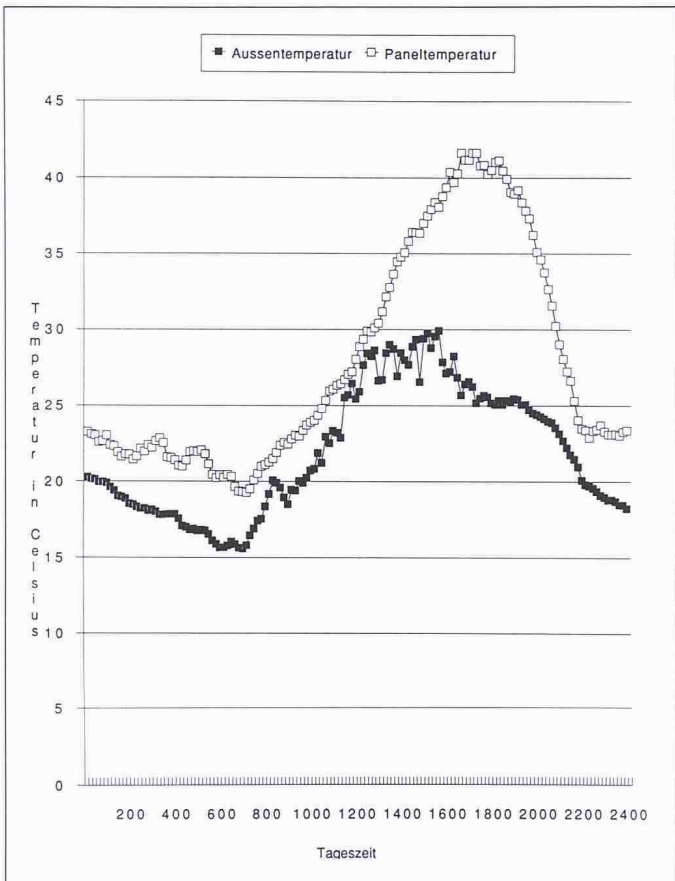


Bild 5. Tagesgänge der Temperatur des Aussenraumes und der Panels am 19. Juli 1989

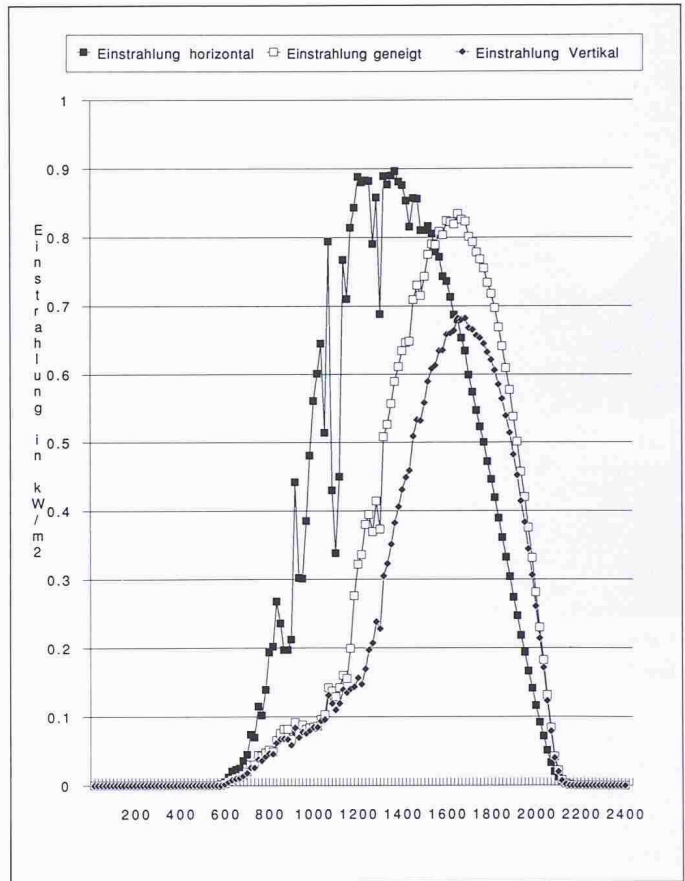


Bild 6. Horizontale, geneigte und vertikale Einstrahlung am 19. Juli 1989, aufgetragen über die Tageszeit

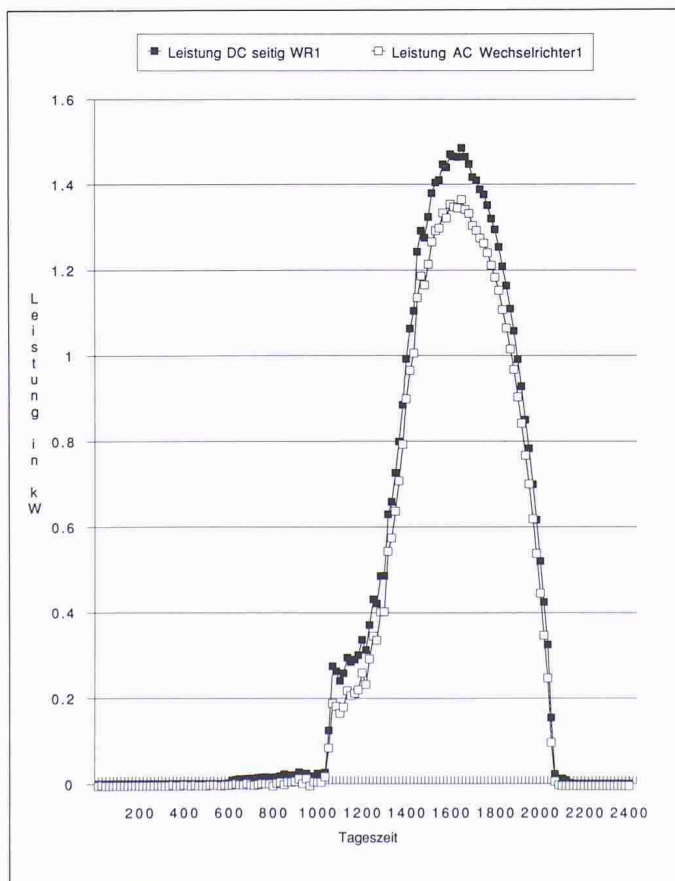


Bild 7. Tagesverlauf der Leistung eines Teils der Anlage vor und nach dem Wechselrichter am 19. Juli 1989

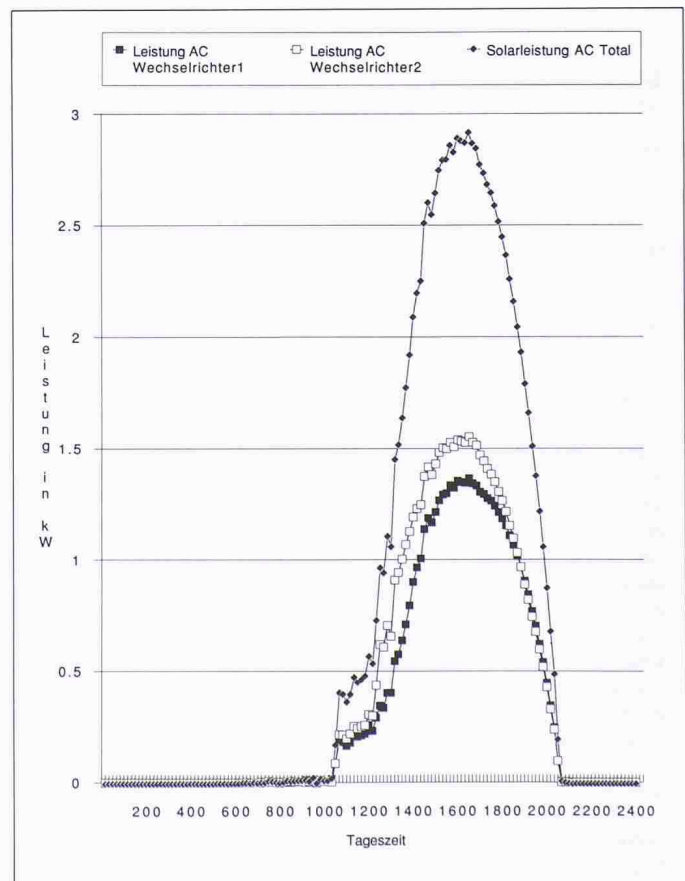


Bild 8. Tagesverlauf der Leistung der beiden Wechselrichter sowie ihrer Summe am 19. Juli 1989

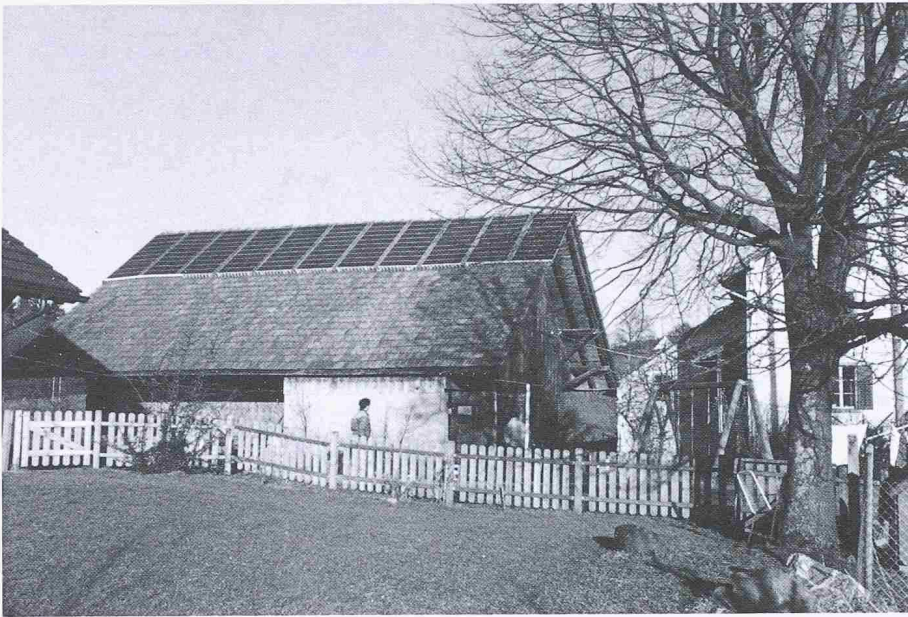


Bild 9. Die Solarzellenanlage auf einem Nebengebäude in der Wohnzone von Mönchaltorf

eine Halbierung dieser Zahl in den nächsten Jahren allgemein erwartet wird. Bei konventionellen Fassaden ist der Trend gegenläufig: Dort ist mit weiterhin steigenden Kosten zu rechnen. Der Zeitpunkt ist also absehbar, an dem die Solarfassade nur noch eine unwesentliche Verteuerung konventioneller Bauweisen verursacht. In diese Richtung zielt das Pilotprojekt «Gebäudeintegration von Solarzellenanlagen». Eine Projektgemeinschaft von fünf Fir-

men, die alle als Spezialisten des Dach und Fassadenbaus sowie der Solartechnik gelten, erarbeiten Vorschläge zur Fassadenintegration von Solarzellen. Ein Bauphysiker begutachtet die Lösungen in bezug auf Wärmedämmung, Kondenswasserbildung und anderen physikalischen Kriterien:

□ Eine der möglichen Integrationen sieht die Kombination von Eternitdachelementen mit Solarzellen vor. Auf

dem sichtbaren Teil der 30 auf 60 cm messenden Eternitplatte liegen die Solarzellen. Diese Dachvariante ist wasserdicht, begehbar und wegen des modularen Aufbaus einfach montierbar. Nachteilig wirkt sich die grosse Anzahl von Verbindungen aus. Dass gleiche Prinzip der Integration lässt sich auch auf Blechziegeln und Fassadenplatten bewerkstelligen.

□ Bei einem handelsüblichen Produkt sind amorphe Solarzellen in einem Glasbaustein bereits eingegossen. Die transparenten Bausteine können an der Fassade beispielsweise als Vormauerung oder in der Art von Dachziegeln zum Einsatz kommen. Als Nachteil sind auch bei diesem Element die Kleinteiligkeit und damit die vielen Verbindungs- und Kontaktstellen mit den damit einhergehenden Verlusten zu erwähnen.

□ Bei einem weiteren vielversprechenden Vorschlag sind Stahlformbleche, wie sie im modernen Fassadenbau häufig angewendet werden, Träger der Solarzellen. Das mit Zellen bestückte Laminat wird in der Werkstätte auf die Formbleche geklebt. Dadurch entfallen aufwendige Montagearbeiten auf der Baustelle. Diese Lösung ist mit den unterschiedlichsten Formen von Blechen möglich und zudem sowohl an der Fassade wie auf dem Dach anwendbar.

□ Besonderes Interesse im Zuge dieser Entwicklungsarbeiten richtet sich auf die Kombinationen von üblichen Unterdachsystemen mit Solarzellen. Wegen der guten Schlagregendichtigkeit der geprüften Fabrikate bestehen keinerlei Bedenken für die Qualität des Daches.

Die Lamine werden mittels Aluprofilen direkt auf das Unterdach geschraubt. Das Dach dürfte allerdings nur beschränkt begehbar sein.

□ «Structural Glazing» heisst eine der Techniken der vorgehängten Glasfassade. Statt der zweiten, äusseren Glasscheibe werden – so ein weiterer Vorschlag – bereits in der Produktionshalle die Solarzellen montiert. Diese Lösung der Fassadenintegration kann von der gut entwickelten Technik und von den Erfahrungen des «Structural Glazing» profitieren.

Die Projektpartner dieses Forschungs- und Entwicklungsprojektes stecken mitten in der Arbeit. Abschliessende, insbesondere wertende Aussagen in bezug auf die angeführten Lösungen der Fassadenintegration von Solarzellen folgen erst in einigen Monaten.

Adresse des Verfassers: Othmar Humm, Edisonstrasse 22, 8050 Zürich, und Felix Jehle, Energiefachstelle des Kantons Zürich, 8090 Zürich.

Energiepilotprojekte des Kantons Zürich

Das Energiegesetz vom 19. Juni 1983 und die zugehörige Energieverordnung vom 6. November 1985 (in Kraft seit 1. Juli 1986) ermöglichen dem Kanton Zürich die Unterstützung von Pilotprojekten, welche der Erprobung und Anwendung von neuen, den Zwecken des Energiegesetzes entsprechenden Verfahren der Energieversorgung und -nutzung dienen, also energiesparenden und umweltschonenden Verfahren sowie solchen zur Anwendung erneuerbarer Energien und zur Minderung der Abhängigkeit von einzelnen Energieträgern.

Die Verfahren müssen in ihrer Art oder Anwendung neu sein und für den Kanton relevante Resultate erwarten lassen. Die möglichen Staatsbeiträge betragen 10 bis 30%, in besonderen Fällen bis 50% der nicht amortisierbaren Mehrkosten gegenüber einem konventionellen Verfahren. Für Projekte, die bei positivem Ausgang einen wirtschaftlichen Betrieb erwarten lassen, können auch Risikogarantien von bis zu 30% der nicht amortisierbaren Kosten gewährt werden.

Der Kanton übernimmt mit dieser Möglichkeit eine wichtige Aufgabe zwischen Forschung und industrieller Anwendung, die durch keine Bundesgelder subventioniert werden kann.

Die bisher unterstützten Projekte befassen sich u.a. mit folgenden Themen:

- Einfamilienhaus mit hochisolierenden HIT-Fenstern
- Messungen an Schulhaus mit künstlichem Luftwechsel und Luftwärmepumpenheizung
- Entwicklung eines kleinen Elektrofahrzeuges für den Nahverkehr
- Geothermiebohrungen
- Holzofen mit Low-NO_x-Technik
- Designwettbewerb für Stromsparleuchten für den Haushalt
- Dezentrale Elektroboiler mit Vorwärmung durch Heizungsverlauf.

Von den erwähnten Pilotprojektbeiträgen wurden vom Kanton Zürich in den Jahren 1986 keine Beiträge, 1987 28% und 1988 17% der Beiträge photovoltaischen Projekten zugesprochen.

Der «Schweizer Ingenieur und Architekt» berichtet in unregelmässigen Abständen über diese Projekte (vgl. bisherige Beiträge in Heft 43/86, Seite 1096; 40/87, Seite 1163; 1-2/88, Seite 9; 36/89, Seite 931; 39/89, Seite 1002; 45/89, Seite 1215 und 14/90, Seite 367).

Beitragsgesuche sind zu richten an die Kantonale Energiefachstelle, Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich, 8090 Zürich (Tel. 01/259 41 70).