Solarzellen-Pilotanlage im Park-and-ride Bern-Neufeld

Autor(en): **Bärtschi, R. / Prechtl, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **80 (1989)**

Heft 10

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-903678

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Solarzellen-Pilotanlage im Park-and-ride Bern-Neufeld

R. Bärtschi und H. Prechtl

Auf Basis eines Vorprojektes für eine 74-kW-Solarzellenanlage hat sich das Elektrizitätswek der Stadt Bern (EWB) entschlossen, zunächst einen Modellversuch mit kleinerer Leistung durchzuführen, bei dem vor allem das Konzept der direkten Gleichstrom-Einspeisung in das Trolleybusnetz geprüft werden soll.

Sur la base de l'avant-projet d'une installation photovoltaïque de 74 kW, le Service de l'électricité de la ville de Berne (EWB) a décidé de réaliser d'abord un essai sur modèle avec une faible puissance. Cet essai devra permettre d'analyser avant tout le concept de la fourniture directe de courant continu dans le réseau d'approvisionnement des trolleybus.

Adressen der Autoren

R. Bärtschi, Elektrizitätswerk der Stadt Bern, Sulgeneckstr. 18, 3001 Bern

Dr. *Heinrich Prechtl, El.-Ing.*, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Bellerivestrasse 36, 8034 Zürich.

Einleitung

Das Elektrizitätswerk der Stadt Bern (EWB) hat sich in seinen Zielsetzungen für den Einsatz von erneuerbaren Energiequellen ausgesprochen. Für die Nutzung der Sonnenenergie bietet die Photovoltaik, bei der mit Hilfe von Solarzellen das Sonnenlicht direkt in elektrischen Strom umgewandelt wird, ein ausgezeichnetes Betätigungsfeld. Das Projekt einer Solarzellen-Pilotanlage im Park-and-ride Neufeld wurde von der Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG (EWI) im Auftrag des EWB in einer Studie erarbeitet. Die folgenden Ingenieurarbeiten, wie detaillierte Untersuchungen über Anlagengrösse und -konzept, Tragkonstruktionen, Netzeinspeisung und Messkonzept, werden in der genannten Studie genauer untersucht. Als Standort hat sich aufgrund seiner bautechnischen und situationsbedingten Vorteile rasch das Park-and-ride Neufeld herauskristallisiert.

Solarzellenfeld

Das oberste Parkgeschoss im Park-and-ride Neufeld weist eine Gesamtfläche von rund 3300 m² auf, wovon der grösste Teil für das Aufstellen von Solarmodulen geeignet ist. Das Solarzellenfeld ist in mehrere parallel angeordnete, nach Süden ausgerichtete Reihen aufgeteilt, die sich jeweils aus mehreren Arrays zusammensetzen. Ein Array misst etwa 6,5×2,5 m und fasst 40 Standardmodule zu einer elektrischen und mechanischen Einheit zusammen; 34 derartige Arrays ergeben eine aktive Fläche von rund 800 m² mit einer maximalen Leistung von 70 bis 75 kW.

Gewicht der Tragstruktur			
Variante 1 (Boden Parkdeck)		18	t
Variante 2 (erhöhte Tragkonstruktion)		42	t
Photovoltaik			
Installierte Nennleistung (bei 1000 W/m² Einstrahlung und 25 °C)	etwa	74	kW
Geschätzter Jahresertrag		70 000–75 000	kWh
Modulfläche		700–800	m²
Gewicht Solarzellen	etwa	10	t
Verbraucher			
Städtische Verkehrsbetriebe (1987)		15 229 800	kWh
Anteil Solarkraftwerk		0,46–0,49	%
Gelenktrolleybus Serie 30–55			
- Max. Anlaufstrom	etwa	460	A
- Anteil Solarkraftwerk	etwa	27	%
Kosten/Wirtschaftlichkeit			
Anlagekosten Variante 1	etwa	1 000 000	Fr.
Stromgestehungskosten	etwa	1.30	Fr./kWh
Lebensdauer der Anlage	etwa	20	Jahre
Energierückzahlzeit Solarzellen	etwa	10	Jahre

Tabelle I Technische Daten der Photovoltaik-Anlage Bern-Neufeld

Der mechanische Aufbau des Solarzellenfeldes wurde in zwei Varianten untersucht:

- Aufstellung auf dem Boden der Parkdecks;
- Montage auf einer erhöhten Tragkonstruktion.

Im ersten Fall bestehen die Grundelemente aus feuerverzinkten Dreigelenkrahmen, die vorgefertigt auf das Dach transportiert und mit den Arrays verschraubt werden. Das Gesamtgewicht dieser Konstruktion beträgt 18 t. Sie ist für Windlasten bis zu 110 kg/m² ausgelegt.

Soll das oberste Geschoss des geplanten P+R-Gebäudes für Parkzwecke zur Verfügung stehen, so müssen die Solarmodule auf einer erhöhten Tragkonstruktion montiert werden, welche Parkflächen und Verkehrswege möglichst wenig beeinträchtigt. Zu diesem Zweck wurde eine Stahlkonstruktion konzipiert, die auf dem Raster der bereits vorhandenen Deckenträger aufbaut und die Solararrays in 2,6 m Höhe emporhebt. Die gesamte Tragkonstruktion nach dieser Variante wiegt 42 t.

Hersteller Typ Kenngrösse		AEG MQ 10/40 40 × 49	Solarex MSX 60 40 × 31	Arco M 55 40 × 34	Kyocera LA441J59 40 × 37
U_{MPP-25}	(V)	703	700	703	696
U_{MPP-60}	(V)	591	599	586	589
U_{0-25}	(V)	895	851	871	863
U_{0-60}	(V)	770	749	758	752
J_{K-25}	(A)	118	113	111	114
P_{MPP-25}	(kW)	74,3	73,0	71,7	73,0
P_{MPP-60}	(kW)	62,6	63,5	58,6	61,6

Tabelle II Vergleich der Eigenschaften verschiedener Solarzellen-Typen für die Photovoltaik-Anlage in Bern-Neufeld bei Q = 1000 W/m², AM = 1,5

U_{MPP-25} Spannung des Feldes im Punkt maximaler Leistung bei einer Zellentemperatur von 25 °C
U_{MPP-60} Spannung des Feldes im Punkt maximaler Leistung bei einer Zellentemperatur von 60 °C
U_{0-25} Leerlaufspannung des Feldes bei einer Zellentemperatur von 25 °C
U_{0-60} Leerlaufspannung des Feldes bei einer Zellentemperatur von 60 °C
J_{K-25} Kurzschlussstrom des Feldes bei einer Zellentemperatur von 25 °C
P_{MPP-25} Maximalleistung des Feldes bei einer Zellentemperatur von 25 °C
P_{MPP-60} Maximalleistung des Feldes bei einer Zellentemperatur von 60 °C

Photovoltaik

In der kommerziellen Photovoltaik gibt es gegenwärtig zwei konkurrierende Systeme, die praktisch gleichwertig sind:

- monokristalline bzw.
- poly- und semikristalline Zellen bzw. Module.

Die Herstellung monokristalliner Siliziumzellen wurde aus der Mikroelektronik übernommen. Durch die vielen kostenaufwendigen Prozesse werden die Zellen recht teuer, zeichnen sich aber durch guten Wirkungsgrad und hohe Stabilität aus.

Solarzellen aus poly- oder semikristallinem Silizium sind potentiell kostengünstiger, da hier teure Prozesse wie die Kristallzüchtung durch relativ einfache Giessverfahren ersetzt werden, wobei an die Reinheit des Halbleitermaterials wesentlich geringere Anforderungen gestellt werden. Stabilität und Wirkungsgrad poly- oder semikristalliner Zellen kommen heute denjenigen der monokristallinen Zellen gleich.

Über die Lebensdauer von modernen Solarmodulen liegen naturgemäss noch keine gesicherten Erfahrungen vor. Die meisten Hersteller gewähren eine Garantie von 10 Jahren; die technische Lebensdauer (design life) wird mit 20 Jahren angegeben.

Netzeinspeisung

Die in Bern-Neufeld solar erzeugte Elektrizität soll in das Netz der Städtischen Verkehrsbetriebe Bern (SVB) eingespiesen werden. Dieser Gedanke liegt nahe, da es sich sowohl auf der Erzeuger- wie auf der Verbraucherseite um Gleichstromanlagen handelt und der Standort des Solarfeldes unmittelbar am Endpunkt der Trolleybuslinie 11 liegt. Nun hängt die Spannung des Netzes von der Belastung und die der Solaranlagen von der Einstrahlung und der Temperatur ab; daher ist mit gewissen Verlusten durch Fehlanpassung zu rechnen.

Nachführung der Solarzellen?

Unter dem Einfluss der Bilder grosser Solaranlagen in den USA (z.B. des 6,5-MW-Kraftwerkes der ARCO SOLAR mit 756 Heliostaten à 100 m² in Carrisa Plains) wird häufig die Frage gestellt, ob sich die Nachführung der Panels nach dem Sonnenstand nicht auch in der Schweiz lohne. Zu dieser Frage lässt sich folgendes sagen:

- Die Globalstrahlung in Kalifornien weist einen höheren Anteil an Direktstrahlung auf als hier in der Schweiz. Deshalb erbringen zweiachsig nachgeführte Anlagen dort einen Mehrertrag von 35 bis 40% gegenüber starren Systemen.
- Die Nachführung der Heliostaten ist sowohl unter statischen als auch steuerungstechnischen Aspekten sehr aufwendig und kostenintensiv. Die Angaben der wenigen Hersteller betreffend Preise und Lieferbedingungen sind zudem spärlich. Eine im Jahr 1984 im Auftrag des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich erstellte Studie rechnet mit spezifischen Preisen von SFr. 645.- pro m² Spiegelfläche, ohne Fundamentierung. Dies ist ein Mehrfaches starrer Montagestrukturen.

Um die Frage nach dem Mehrertrag nachgeführter Anlagen unter hiesigen Strahlungsbedingungen quantitativ beantworten zu können, wurden zwei Varianten mit Hilfe eines Simulationsmodells berechnet. Es handelt sich einmal um eine Heliostatenversion (permanent zweiachsig nachgeführt) und zum anderen um eine vereinfachte einachsige Nachführung, wobei der Anstellwinkel der Module einmal im Monat von Hand verstellt wird.

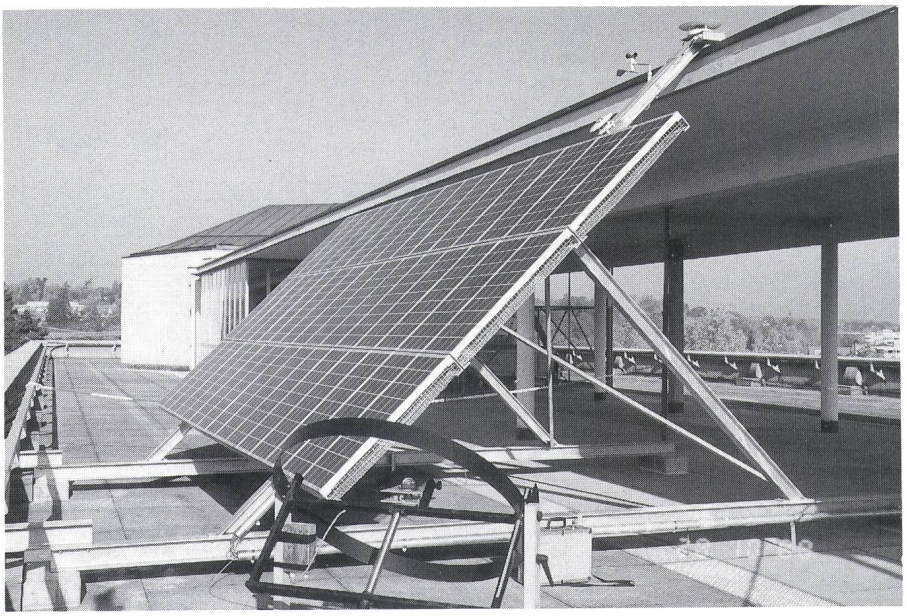
Die zweiachsige Nachführung erbringt übers ganze Jahr einen Mehrertrag von 25% (gegenüber starrer Südausrichtung mit 45° Neigung), wobei die Vorteile dieser Konstruktion vor allem im Sommer zum Tragen kommen (Juli: +33%).

Die einachsige Nachführung hingegen lässt im Jahresmittel allenfalls eine Verbesserung von knapp 6% erwarten; eine zweifellos zu bescheidene Ausbeute angesichts des beträchtlichen Aufwands.

Von den technischen und betrieblichen Problemen einmal ganz abgesehen, lohnt sich daher eine Nachführung der Sonnenzellen unter den Standortbedingungen in Bern-Neufeld nicht.

Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG

Ein Modellversuch mit 40 Modulen soll zeigen, wie hoch diese Verluste ausfallen, und ob sich das Konzept einer Direkteinspeisung in der Praxis bewährt. Als Alternative bietet sich der Einsatz eines Impedanzwandlers an, der mit Hilfe eines integrierten «Maximum Power Trackers» den Arbeitspunkt des Solarzellenfeldes entsprechend der Einstrahlung und Temperatur optimiert und stets ein Optimum an Energie aus der Anlage herausholt.



Figur 1 2-kW-Pilotanlage mit direkter Gleichstromeinspeisung ins Trolleybusnetz

Instrumentierung

Das Projekt in Bern-Neufeld stellt eine in ihrer Art bisher einzigartige Pilot- und Demonstrationsanlage dar. Demzufolge wird eine Reihe von Messeinrichtungen installiert, welche die aktuellen Betriebsparameter des gesamten Systems erfassen, zum Teil anzeigen und für eine spätere Auswertung abspeichern.

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die Investitionen einschliesslich Planung und Inbetriebnahme werden in der einfachsten Variante (Direkteinspeisung mit galvanischer Kopplung, Aufstellung der Arrays auf dem Boden des Parkdecks) auf rund 1 Mio Franken geschätzt.

Bei einer angenommenen Lebensdauer von 20 Jahren kann die Anlage die Kilowattstunde zu Gestehungskosten von Fr. 1.30 bereitstellen. Dies unterstreicht den Pilotcharakter des Projekts und legt eindrücklich dar, dass derartige Anlagen noch weit von einer wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit entfernt sind.

Pilotanlage

In der Zwischenzeit wurde eine Pilotanlage, bestehend aus 45 Modulen, auf dem Dach der Gewerblich-Industriellen Berufsschule Bern (GIBB) in Betrieb genommen. Diese Anlage mit 2 kW Nennleistung speist den Solarstrom direkt in das 600-V-DC-Netz der SVB ein. In einem vom Bundesamt für Energiewirtschaft unterstützten Forschungsauftrag werden Messdaten übere längere Zeit gesammelt, und mit Hilfe eines Simulationsmodells wird die Einspeisung mit Impedanzwandler untersucht.

Energierückzahlzeit von Solarzellen am Standort Bern-Neufeld

Generell gilt die Forderung, dass die zum Aufbau benötigte Energie möglichst rasch durch die regenerativ erzeugte Energie (hier: Solarstrom) wieder kompensiert werden sollte.

Als Mass dafür, wie gut diese Forderung erfüllt wird, gilt die Energierückzahlzeit. Diese sollte in jedem Falle erheblich kleiner sein als die Lebensdauer der betrachteten Anlagen.

Für die Abschätzung des Primärenergieeinsatzes verwendet man spezifische Verbrauchswerte aus der Prozesskettenanalyse, die neben dem Energieaufwand zur Rohmaterialherstellung auch denjenigen für die Weiter- und Endverarbeitung und den Transport bis zur Baustelle berücksichtigen (sog. graue Energie). Der entsprechende Wert für industriell gefertigte Solarzellen aus Silizium enthält den gesamten Energieverbrauch von der Herstellung des Silizium-Rohmaterials über die Weiterverarbeitung zu Scheiben und Zellen bis zum fertigen Modul.

Die folgende Tabelle quantifiziert den Energieaufwand zur Herstellung eines monokristallinen Photovoltaikmoduls, wie er heute auf dem Markt angeboten wird (Modulgrösse: 0,4 m²; Nennleistung: 55 W (Arco M55); Flächenwirkungsgrad: 14%; Rahmen: Aluminium, massiv).

Energieaufwand zur Herstellung eines Photovoltaikmoduls:

Silizium (Czochralski-Einkristall)	450 kWh
Zellenherstellung (Zertrennen, Diffusion, usw.)	40 kWh
Glas	10 kWh
Kunststoff	8 kWh
Alu-Rahmen	80 kWh
Prozess-Energie	3 kWh
Totaler Energiebedarf	591 kWh

Am Standort Bern-Neufeld erntet ein derartiges Solarmodul rund 55–60 kWh/a. Dies bedeutet, dass die Energierückzahlzeit bei rund 10 Jahren liegt, somit ziemlich genau der Garantiezeit des Herstellers entspricht.

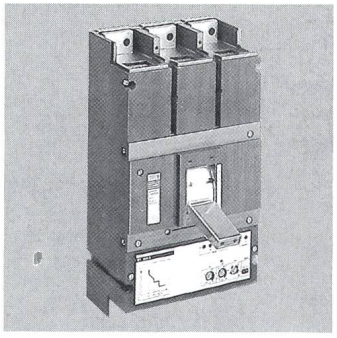
Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG

MERLIN GERIN

„Wir setzen COMPACT®-Leistungsschalter ein!“

Da gibt es kein „wenn“ und „aber“ mehr, denn die COMPACT-Schalter-Baureihe für die Niederspannung bietet für jede Anwendung das richtige Gerät. Durch die weltweite Präsenz von MERLIN GERIN ist diese Baureihe besonders auch für Exportanlagen geeignet.

Und dazu noch jede Menge weiterer Vorteile:



Modularer Systemaufbau, Nennströme von 10 A bis 3200 A, Einstecktechnik oder Festeinbau, alle Schalter auch strombegrenzend, hohes Schaltvermögen bis 150 kA, sicherheitstechnisch einheitliche Konfiguration (gefahrlos nachzurüsten durch 2-fache Isolation), konsequent mit elektronischen Auslösesystemen bei größeren Nennströmen, umfassendes elektrisches, mechanisches und Montage-Zubehör, wartungsfrei.

COMPACT-Schalter werden in Energieverteilungen beim Leitungs- und Generatorenschutz etc. eingesetzt.

COMPACT kommt von MERLIN GERIN.

Info anfordern

Fordern Sie Unterlagen und Beratung.
Wir stehen bereit.

Kompetent für elektrische Energietechnik

MERLIN GERIN AG
29 Pré-Bouvier
CH-1217 Meyrin
Tel. 022/782 83 11
Fax 022/782 86 01

MERLIN GERIN AG
Bahnweg 4
CH-5504 Othmarsingen
Tel. 064/56 01 11
Fax 064/56 21 87

Elektrotechnik mit Verstand

MERLIN GERIN

CH 03