

Das photovoltaische Solarkraftwerk Phalk 500 Mont-Soleil

R. Minder und A. Bertschinger

Das 500-kW-Solarzellenkraftwerk Phalk 500 Mont-Soleil ist als nationales schweizerisches Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekt gedacht. Bereits haben sich neben der Bernische Kraftwerke AG und der Elektrowatt AG verschiedene weitere Unternehmen an diesem Konsortium beteiligt, und es bestehen enge Kontakte mit Vertretern des Bundes, von Hochschulen, Ingenieurschulen und der Industrie.

La grande centrale photovoltaïque Phalk 500 (500 kW) sur le Mont-Soleil est prévue comme projet national suisse de recherche, de développement et de démonstration. Diverses entreprises dont, en particulier, les Forces Motrices Bernoises SA et Elektrowatt AG participent à ce consortium. De plus, des contacts étroits existent avec des représentants de la Confédération, des grandes écoles, des écoles d'ingénieurs et de l'industrie.

Adressen der Autoren

Dr. Rudolf Minder, Leiter Projektbereich
Alternativenergie, Elektrowatt
Ingenieurunternehmung AG, Bellerivestr. 36,
8034 Zürich

Dr. Andres Bertschinger, Chef Abteilung für
Anwendungstechnik, Bernische Kraftwerke AG
(BKW), Viktoriaplatz, 3000 Bern 25

Einleitung, Stand des Projekts

Das heutige Projekt eines 500-kW-Solarzellenkraftwerks auf dem Mont-Soleil, Gemeinde St-Imier BE, basiert auf mehrjährigen Vorarbeiten.

In den Jahren 1986/87 wurde von der Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich (EWI), eine standortunabhängige Konzeptstudie mit finanzieller Unterstützung des Bundesamtes für Energiewirtschaft erarbeitet [1, 2]. Der Titel der Studie «Phalk 500» ergab sich als Abkürzung für photovoltaisches alpines Kraftwerk mit 500 kW Leistung.

Im Anschluss an diese Studie wurde das Projekt auf zwei Ebenen weiterverfolgt: Einerseits wurden Standortabklärungen in verschiedenen Gebieten im Alpenraum durchgeführt; andererseits wurden Kontakte mit interessierten Stellen beim Bund, bei Kantonen, in der Elektrizitätswirtschaft und in der Industrie aufgenommen, mit dem Ziel, eine Trägerschaft für das Projekt zu bilden.

Anfang 1988 beschlossen die Bernische Kraftwerke AG (BKW) und die Elektrowatt AG, das Projekt als Konsortium Phalk 500 gemeinsam voranzutreiben. Mit der Beteiligung der BKW konzentrierte sich die Standort-suche auf den Kanton Bern, wo sich rasch das Gebiet Mont-Soleil im Berner Jura als sehr geeignet herauskristallisierte. Ende 1988 beschloss die Bürgergemeinde St-Imier, dem Konsortium eine geeignete Landparzelle südlich des Gipfels des Mont-Soleil im Baurecht zur Verfügung zu stellen. Bezogen auf diesen Standort, wurde nun ein Vorprojekt für die Anlage erarbeitet.

Am 17. Mai 1989 wurde das Projekt den Medien vorgestellt. Gleichzeitig wurde den zuständigen Behörden ein generelles Baugesuch eingereicht, dessen Einsprachefrist unterdessen unbe-

nützt abgelaufen ist. In der Zwischenzeit konnte auch die Trägerschaft für das Projekt erweitert werden. Ihre Mitwirkung zugesagt haben die Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg AG (EGL), die ABB Asea Brown Boveri AG, das Aargauische Elektrizitätswerk (AEW) sowie das Elektrizitätswerk Wynau. Gespräche mit weiteren möglichen Partnern sind im Gang, so mit dem Elektrizitätswerk der Stadt Bern, der Electricité Neuchâteloise SA (ENSA), Entreprises Electriques Fribourgeoises, sowie der Azienda Elettrica Ticinese (AET).

Der Nationale Energie-Forschungs-Fonds NEFF wurde ebenfalls um Unterstützung des Projekts angegangen. Schliesslich beabsichtigt das Konsortium, auch beim Kanton Bern eine Unterstützung zu beantragen.

Projektziele

Phalk 500 Mont-Soleil ist ein schweizerisches Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekt im Gebiet der photovoltaischen Elektrizitätserzeugung. Das Projekt umfasst die Planung, den Bau und den Betrieb eines nach heutigem Stand technisch und wirtschaftlich optimierten Solarzellen-Kraftwerks mit 500 kW Spitzenleistung. Das Projekt soll ausgedehnte, auch längerfristige Möglichkeiten für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowohl am Gesamtsystem als auch an einzelnen Komponenten bieten. Ebenso soll es für Ausbildungszwecke genutzt werden können. Der gewählte Standort soll repräsentativ für Gebirgsstandorte mittlerer Höhe in der Schweiz sein.

Die Wahl des Standortes Mont-Soleil

Der Entscheid für den Standort Mont-Soleil erfolgte nach umfangrei-

chen Vorarbeiten und sorgfältigen Abklärungen. Mögliche Standorte in verschiedenen Regionen der Schweiz wurden geprüft, wobei folgende wichtigste Auswahlkriterien berücksichtigt wurden:

Höhenlage: Der ausgewählte Standort sollte repräsentativ für Gebirgsstandorte mittlerer Höhenlage sein.

Besonnung: Die lokalen Besonnungsverhältnisse sollten möglichst optimal sein (geringe Beschattung, oberhalb Nebelgrenze).

Infrastruktur: Der Standort sollte möglichst gut erschlossen sein, so dass keine langen Zufahrtsstrassen und Leitungen zum Netz erstellt werden müssen. **Zugänglichkeit:** Der Standort sollte während des ganzen Jahres gut zugänglich sein; eine Verbindung mit öffentlichen Verkehrsmitteln ist wünschenswert. **Akzeptanz:** Das Projekt sollte bei der lokalen Bevölkerung sowie bei den Behörden von Standortgemeinde und -kanton positiv aufgenommen werden. **Ästhetik:** Die Einbettung der Anlage in die Landschaft sollte gut möglich sein.

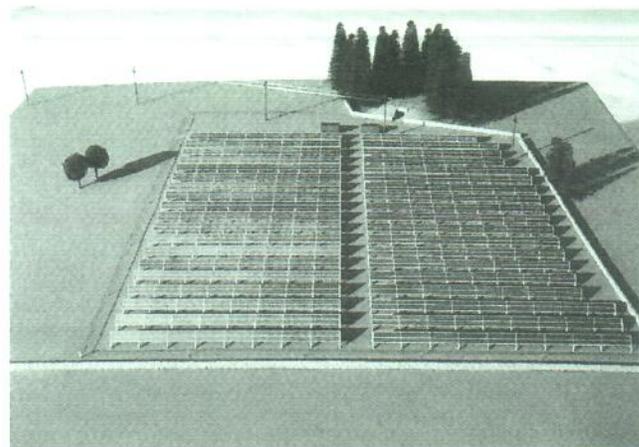
Mit dem relativ geringen Platzbedarf der Anlage von rund 2 ha (20 000 m²) lassen sich in Gebirgsregionen der Schweiz ohne Zweifel viele günstige Standorte finden. Die Projektträger sind jedoch überzeugt, dass mit dem Standort Mont-Soleil für eine erste Anlage dieser Art in der Schweiz ein nahezu idealer Standort gefunden wurde.

Figur 1 zeigt eine Photographie des im Massstab 1:200 gebauten Modells der Anlage.

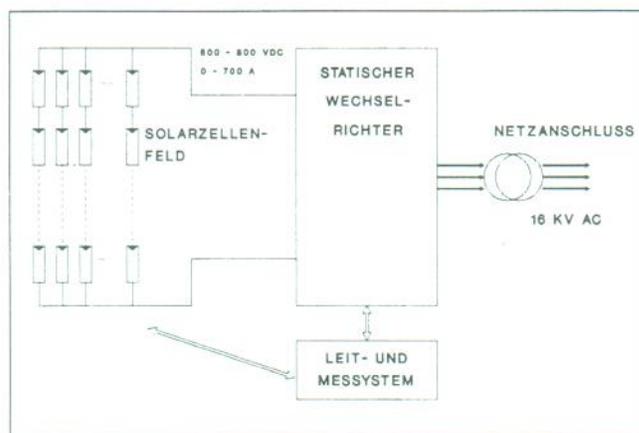
Das technische Konzept der Anlage

Das technische Konzept des Solarzellen-Kraftwerks lässt sich anhand des Prinzipschemas (Fig. 2) leicht verstehen. Die Hauptkomponenten seien im folgenden kurz diskutiert.

Figur 1
Modellaufnahme
des 500-kV-Solar-
kraftwerkes



Figur 2
Prinzipschema
Phalk 500
Mont-Soleil



Im Solarzellenfeld wird die Sonnenstrahlung in Elektrizität (Gleichstrom) umgesetzt. Dieser Gleichstrom wird im Wechselrichter in einen netzkonformen Wechselstrom umgewandelt und über einen Transformator in die den Standort überquerende 16-kV-Leitung eingespeisen. Ein Leitsystem sorgt für einen automatischen Betrieb im optimalen Arbeitspunkt. Wechselrichter und Leitsystem bilden eine Einheit und stellen den technisch anspruchsvollsten Teil der Anlage dar. Die wichtigsten technischen Daten des Projekts sind im Kästchen zusammengestellt.

Bei der Ausführung des Solarzellenfelds wird versucht, neue, kostengünstige Lösungen zu finden. Anstelle der aufwendigen Montage und Verkabelung von 10 000 einzelner Panels ist eine Lösung vorgesehen, bei welcher vorfabrizierte Grossmodule eingesetzt werden. Damit sollte der Aufwand in Bezug auf Material und Montage vor Ort deutlich gesenkt werden können. Durch die Verwendung von ungefrähten Panels, sogenannten Laminaten, können mindestens 10 Tonnen Aluminium eingespart werden. Die Herstellung dieser Menge Aluminium benötigt nahezu einen Jahresenergieertrag des ganzen Kraftwerks!

Aus verschiedenen Gründen kommen für das Projekt nur kristalline Solarzellen (mono- oder polykristalline) in Betracht. Dünnschicht- bzw. α -Si-Zellen haben zurzeit noch um rund einen Faktor 2 schlechtere Wirkungsgrade. Damit liessen sich auf dem verfügbaren Grundstück bestenfalls 300 kW Spitzenleistung installieren. Zum zweiten sind die erforderlichen hohen Betriebsspannungen mit Dünnschichtzellen nicht erreichbar, da deren Spannungsfestigkeit noch nicht gewährleistet werden kann.

Nennbetriebsdaten: Einstrahlung auf Panelebene	1000 W/m ²
Lufttemperatur	20° C
Sonnenstand: Höhe	43°
Azimut	0°
Leistung des Solarzellenfeldes	510 - 570 kW (DC)
Einspeiseleistung ins 16-kV-Netz	450 - 500 kW (AC)
Orientierung der Solarzellen-Panels	etwa 30° gegen Osten 45° Anstellwinkel
Betriebsspannung des Solarzellen-Feldes	600 - 800 V DC
Panelfläche total	4000 - 5000 m ²
Grundstückfläche	etwa 20 000 m ²

Auch beim Wechselrichter werden neuartige Lösungen angestrebt. Derzeit im Vordergrund steht der Einsatz eines niederfrequent getakteten GTO-Wechselrichters mit 2 Gruppen zu 6 Schaltelementen. Diese werden versetzt getaktet, womit sich ein guter Wirkungsgrad bei geringem Oberwellenanteil erreichen lässt.

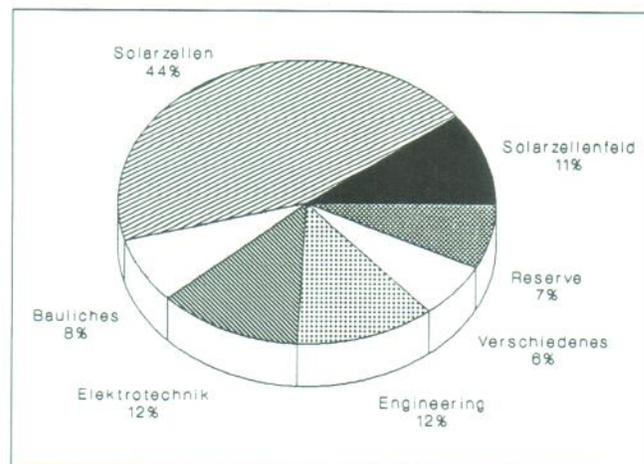
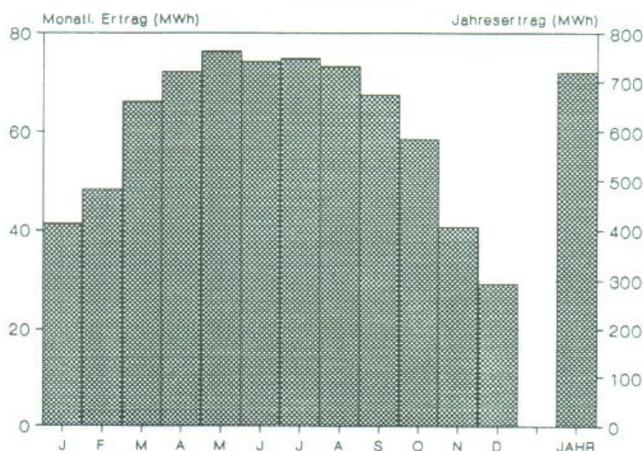
Das Gerät wird so ausgelegt, dass es später mit einem hochfrequent getakteten, pulsbreitenmodulierten Wechselrichter kleinerer Leistung (z.B. 100 kW) kombiniert werden kann.

Dieser kleine Wechselrichter könnte im Teillastbereich 0–20% mit hohem Wirkungsgrad allein arbeiten und im Bereich von 20–100% Last parallel zum grossen Wechselrichter die Rolle eines aktiven Oberwellenfilters übernehmen. Zurzeit sind Vorabklärungen gemeinsam mit dem Institut für Automatik und Industrielle Elektronik der ETHZ und dem Geschäftsbereich Antriebe und Leistungselektronik der ABB im Gang (vgl. Artikel von F. Jeni et al. in dieser Nummer).

Der Energieertrag

Die maximale Leistung des Solarkraftwerks von 500 kW tritt nur an einem klaren Tag um die Mittagszeit auf, wenn Strahlung und Temperatur den Nennbetriebsdaten (siehe Kästchen) entsprechen.

Da die einfallende Sonnenstrahlung meist geringer ist als das an klaren Tagen beobachtete Maximum von etwa 1 kW pro m², ergibt sich für ein Solarkraftwerk eine vergleichsweise bescheidene jährliche Vollbetriebsstundenzahl von 1000–1500 Stunden, je nach Standort. Für das Projekt auf dem Mont-Soleil bedeutet das, dass eine Jahresproduktion von etwa 720 000 kWh zu erwarten ist.



Figur 4
Aufteilung der
Anlagekosten

Für den Energiewirtschaftler von Interesse ist die Produktionscharakteristik der Anlage. Figur 3 zeigt den Jahresverlauf der monatlichen Produktion. Durch die auf dem Mont-Soleil, verglichen mit dem Mittelland, hohe Sonnenscheindauer im Winter ergibt sich ein relativ hoher Anteil des Winterhalbjahres von rund 40% der Jahresproduktion.

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die Anlagekosten für Phalk 500 Mont-Soleil wurden im Rahmen des Vorprojekts zu 8,2 Mio Fr. ermittelt (ohne die Kosten für das Forschungs- und Entwicklungsprogramm). Davon entfallen 3,6 Mio Fr. oder 44% auf die Solarzellenpanels (Lamine), welche importiert werden müssen. Die Aufteilung der Anlagekosten ist in Figur 4 dargestellt.

Da es sich bei Phalk 500 Mont-Soleil um ein Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekt

handelt, steht die Frage der Wirtschaftlichkeit bzw. der Stromgestehungskosten nicht im Zentrum. Im Hinblick auf einen zukünftigen vermehrten Einsatz der Photovoltaik zur Stromerzeugung ist eine Betrachtung der Stromgestehungskosten heutiger Anlagen dennoch interessant. Für Phalk 500 Mont-Soleil erwartet man heute Kosten von rund 80 Rp./kWh. Diese Kosten betragen zwar noch immer ein Mehrfaches der Kosten konventioneller Stromerzeugung. Gegenüber früheren Anlagen, welche in Europa gebaut wurden, kann jedoch voraussichtlich eine Reduktion um einen Faktor 2–3 erzielt werden.

Die Kostenüberlegungen sind heute bereits wichtig, weil daraus die Ziele für die Weiterentwicklung der photovoltaischen Technik abgeleitet werden können. Die wichtigsten Ziele sind:

- Verbesserung des Zellenwirkungsgrads: Dies ergibt einen reduzierten Flächenbedarf und eine Reduktion aller von der Fläche abhängigen Kosten. Zielwert: besser als 20%.
- Reduktion der Herstellungskosten der Solarzellen.
- Verbesserung und Verbilligung der Leistungselektronik.
- Vereinfachung und Verbilligung der mechanischen und elektrischen Montageverfahren (speziell für Anlagen, welche in Gebäuden integriert sind).

Forschungs- und Entwicklungsziele des Projekts

Phalk 500 Mont-Soleil ist ein schweizerisches Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekt.

Sonnenenergie – Chancen und Grenzen

Auszug aus der Ansprache von Rudolf von Werdt, Direktionspräsident Bernische Kraftwerke AG (BKW), anlässlich der Präsentation des Projektes Phalk 500 Mont Soleil am 17.5. 1989 in St. Imier

Vorab eine Bemerkung zum Sprachgebrauch: Der Begriff der «Alternativenergien», wie wir ihn auch hier verwenden wollen, hat in den letzten Jahren Eingang gefunden in die allgemeine Umgangssprache. Er wird allerdings mit sehr unterschiedlichen Inhalten gefüllt. Seine aktuelle politische Popularität bringt es mit sich, dass er mitunter auch – bewusst oder unbewusst – zu sachfremden Zwecken missbraucht wird.

Die Sonnenenergie – eine entwicklungsfähige Technik

Angesichts der heute massgebenden Tatsachen und Erkenntnisse muss die Fragestellung aus der Sicht der für die Energieversorgung Verantwortlichen richtigerweise so lauten: Welche Alternativenenergien können in absehbarer Zeit einen nennenswerten Beitrag an die Stromversorgung unseres Landes leisten?

Die alternative Stromproduktion, die auf erneuerbaren, einheimischen Energien beruht, hat unseres Erachtens Zukunftschancen, und zwar vor allem auf lange Sicht. Es gilt indessen zu differenzieren zwischen den verschiedenen zur Diskussion stehenden Energieträgern und Produktionstechniken.

Bei der Nutzung der Sonnenenergie ist zu unterscheiden zwischen Anwendungen im Bereich der Niedertemperatur, vor allem Raumwärme und Warmwasser (Sonnenkollektoren), einerseits und der Photovoltaik für Elektrizitätsgewinnung andererseits (als langfristige Zukunftsvision wäre auch die photochemische Herstellung von Wasserstoff zu erwähnen).

Schon heute unbestritten ist der Einsatz von solaren Stromsystemen für Einzelgeräte (z.B. Uhren, Taschenrechner) bzw. in Kleinanlagen im Inselbetrieb (Alphütten, Boote, Raumfahrt etc.) Mit tarifarischen Anreizen fördert die BKW die kleinen Solarstromanlagen, und zwar mit Blick auf das beachtliche technische Entwicklungspotential dieser Anlagen. Die Bedeutung dieser Anlagen für die Stromversorgung fällt jedoch nicht ins Gewicht.

Demgegenüber bestehen noch teilweise auseinanderlaufende Meinungen bezüglich des Einsatzes der Photovoltaik zur eigentlichen Stromversorgung in der Schweiz.

- Übereinstimmung besteht generell, dass heute derartige Anlagen noch viel zu teuer sind und dass sie allein unser Stromproblem auch langfristig nicht lösen können. Ebenfalls unbestritten ist, dass die Photovoltaik aus technischer Sicht noch bei weitem nicht ausgereift und ein grosser Forschungs- und Entwicklungsbedarf mit entsprechenden Erfolgchancen gegeben ist. Der weltweite Einsatz im Bereich Forschung und Entwicklung ist enorm, wobei neben wissenschaftlichen Instituten und Hochschulen auch Industriekonzerne wie Siemens und AEG mit an vorderster Front liegen.
- Ungewiss ist demgegenüber langfristig die Wirtschaftlichkeit und das Einsatzpotential der photovoltaischen Stromerzeugungsanlagen im Sinne eines auch quantitativ substantiellen Produktionsbeitrages. Mehrheitlich wird von der Photovoltaik im überschaubaren Zeitraum nur ein relativ bescheidener Beitrag an die gesamte Stromproduktion in der Schweiz erwartet. Wer mit 5% rechnet, dürfte wohl auf der optimistischen Seite stehen; trotzdem, auch diese Chance gilt es auszutesten! Die Klärung dieser Fragen kann jedoch nur aufgrund konkreter Projekte vorangetrieben werden.

Zum geplanten Sonnenkraftwerk Mont Soleil

Für die BKW liegt der Einstieg in die Photovoltaik darin begründet, dass wir mit der Realisierung eines eigentlichen Sonnenkraftwerkes in der Schweiz die Möglichkeiten und Grenzen im Massstab 1:1 erfahren und aufzeigen wollen. Entscheidend ist dabei, dass es sich um ein Pilot-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekt handelt, welches Grundlagen für neue Erkenntnisse und Verbesserungen liefert. Wer nichts wagt und nichts riskiert, wird auch vom Fortschritt ausgeschlossen.

Es ist offensichtlich, dass das Projekt Mont Soleil für sich allein genommen weder die Versorgungsaufgabe der BKW lösen kann, noch in den Bereich der Wirtschaftlichkeit fällt. Das Projekt soll und kann jedoch einen Beitrag an die weltweiten Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen leisten, wobei die spezifisch schweizerischen Aspekte von besonderer Bedeutung sind.

Das Projekt soll ein nationales Zentrum werden, wo Forschergruppen öffentlicher und privater Institutionen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich photovoltaischer Systeme durchführen können. Zu diesem Zweck soll das Projekt mit einer entsprechenden Infrastruktur versehen werden.

Schwerpunkte liegen dabei vor allem in den folgenden Bereichen:

- Optimierung von grossen Solarzellenfeldern
- Entwicklung und Test von hocheffizienten Wechselrichtern grösserer Leistung
- Untersuchungen und Entwicklung von Optimierungsmethoden für grössere Photovoltaik-Systeme
- Entwicklung und Test von neuarti-

gen, kostengünstigen Montage-, Installations- und Verkabelungsmethoden

- Test von neuen Komponenten und Subsystemen.

Vorgesehen ist, dass ein Teil des Solarzellenfeldes für die Installation von neuen, noch wenig erprobten Zellentypen reserviert wird. Ohne Störung des Kraftwerksbetriebs können dort Tests und Vergleichsmessungen durchgeführt werden.

Das Konsortium Phalk 500 beabsichtigt, für die Aufwendungen in Zusammenhang mit dem Forschungs- und Entwicklungsprogramm Förderbeiträge vom Bund zu beantragen. Dabei ist eine enge Koordination mit in- und ausländischen Forschungsvorhaben – insbesondere mit

dem Photovoltaik-Programm der EG – vorgesehen. Deshalb soll das mit Phalk 500 verbundene Forschungs- und Entwicklungsprogramm von einem wissenschaftlichen Beirat mit Vertretern von Hochschulen, Ingenieurschulen und der Industrie begleitet werden.

Ihr Interesse an einer Mitwirkung am Projekt bekundet haben die folgenden Stellen: die Universität Neuenburg (Institut de microtechnique, Prof. A. Shah), die ETH Zürich (Institut für Automatik und Industrielle Elektronik, Prof. F. Zwicky) sowie die Ingenieurschulen in Burgdorf, Biel und St. Imier. Ein enger Kontakt zur Programmleitung Photovoltaik des Bundesamtes für Energiewirtschaft ist ebenfalls bereits etabliert.