

# In Europa einmalig

## Autarke Inselstromversorgung im Bayerischen Wald

von E. Wild

Die solare Inselstromversorgung der Ansiedlung Flanitzhütte ist ein Pilotprojekt des Bayernwerks, das vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie zu knapp 35 % der förderfähigen Kosten unterstützt wurde. Von seiner wissenschaftlichen und anwendungsspezifischen Bedeutung her deckt diese „Solarinsel“ einen wichtigen Bereich zur Entwicklung marktfähiger Anwendungsmodelle für entlegene Orte – z. B. in den Alpen – und vor allem für sonnenreiche Länder der Dritten Welt mit fehlenden Stromversorgungsstrukturen ab. Nach drei Jahren Betrieb mit begleitender Forschung wurde anhand der mit aufwendiger Meßtechnik gesammelten Meßdaten eine erste Bilanz gezogen.

Soviel vorweg: Die in Europa in dieser Form einmalige Pilotanlage zur Stromversorgung eines vom öffentlichen Stromnetz vollkommen abgekoppelten Ortes funktioniert! Allerdings unter enormen Kosten und mit einem erheblichen Aufwand an Know-how.

Rund 63 % des Strombedarfs in Flanitzhütte werden von der Sonne gedeckt. Die entsprechende Technik zur photovoltaischen Stromerzeugung ist vorhanden und kann durch sorgfältige Auswahl der verschiedenen technischen Komponenten und entsprechendes Engineering zuverlässig die Stromversorgung gewährleisten. Um mit „Solarinseln“ die Versorgung sicherstellen zu können, muß das Zusammenspiel von Solarzellen-Generator, Batteriespeicher, gasbetriebenen Reserve-Aggregat sowie einer extra entwickelten Software zur vollautomatischen Steuerung der Gesamtanlage reibungslos funktionieren.

Ziel war und ist es, daß die „Flanitzhüttler“ bei der Stromversorgung keinen Unterschied zur herkömmlichen öffentlichen Versorgung spüren.

Gut eineinhalb Jahre benötigten die Techniker, diesem Anspruch gerecht zu werden. Das lag aber nicht etwa an den regenerativen Erzeugungskomponenten. Vielmehr traten die anfänglichen Störungen interessanterweise an konventionellen Anlagenteilen wie Gasmotor oder Regelungstechnik auf. Hier erwies sich die aus Zeiten präsolarer Technik noch bestehende 20.000-Volt-Mittelspannungsfreileitung als wertvolles Hilfsmittel. Seit Anfang 1994 läuft die Anlage störungsfrei, die stillgelegte Stromleitung wird vollständig abgebaut.

Es gab sogar schon die Situation nach einem Unwetter, daß rund um Flanitzhütte die Stromversorgung unterbrochen war und nur in der Sonneninsel Flanitzhütte die elektrischen Lichter nicht ausgingen.

### Idealer PV-Standort

Flanitzhütte gehört zur Gemeinde Spiegelau und liegt in 650 Meter Höhe am Rande des Nationalparks Bayerischer Wald. Mit 1.700 Sonnenscheinstunden pro Jahr gehört die

Ansiedlung zu den sonnenverwöhnten Gebieten Deutschlands. Über 1.100 kWh/m<sup>2</sup> Einstrahlungsenergie pro Jahr bieten gute Rahmenbedingungen für den Betrieb einer PV-Anlage.

Bis zur Verwirklichung des Solarprojekts wurde der aus drei Wohnhäusern, einem Ferien-Appartementhaus und der Ferienpension mit Gasthof bestehende Weiler über eine Freileitung versorgt. Diese altersbedingt sanierungsbedürftige Leitung führte durch ein Waldgebiet und war vor allem im Winter sehr störanfällig.

Die Lebensgrundlage der 10 ständigen Bewohner von Flanitzhütte ist vor allem der Fremdenverkehr, der bis zu 70 Gäste zusätzlich nach Flanitzhütte bringt.

Die Kombination all dieser guten Voraussetzungen, nämlich überschaubare Größe des Weilers, keine weitere Bebauung, hohes Sonnenenergieangebot und maximaler Stromverbrauch im Sommer, prädestinierte Flanitzhütte für eine solare Inselstromversorgung sowie als Mustersiedlung für neue sparsame Energiekonzepte.

### Solkraftwerk Flanitzhütte

Der Solargenerator in Flanitzhütte besteht aus 840 rahmenlosen PV-Modulen mit jeweils 50 Watt Leistung und einer Gesamtmodulfläche von 360 m<sup>2</sup>. Bei sonnigem Wetter erreicht der Solargenerator eine Spitzenleistung von 40 kW. Damit ist Flanitzhütte die größte Inselstromversorgungsanlage Deutschlands.

Der nächtliche Bedarf und Schlechtwetterperioden von bis zu drei Tagen werden durch trockene Blei-/Säure-Gel-Batterien mit einer Speicherkapazität von 480 kWh überbrückt. Die 216 Batteriezellen mit einem Gesamtgewicht von 18 t sind wartungsfrei. Bei länger andauernden Schlechtwetterperioden und im Winter liefert die Flüssiggasmotor-Generator-Einheit den Strom für Flanitzhütte. Gesteuert wird das Zusammenspiel der einzelnen Anlagenteile über programmierbare Mikroprozessoren.

Die Anlage arbeitet vollautomatisch und wird vom Bayernwerk-Kraftwerk Pleinting fernüberwacht. Hierfür wurde eine eigene Steuerungs- und Überwachungssoftware entwickelt, die laufend rund 80 Meßwerte und weit über 100 Anlagenzustandsmeldungen erfaßt. Nach einigen Änderungen und Betriebsoptimierungen funktionierte sie wunschgemäß.



Abb. 1: Der Weiler Flanitzhütte im Bayerischen Wald

Fotos: Bayernwerk AG

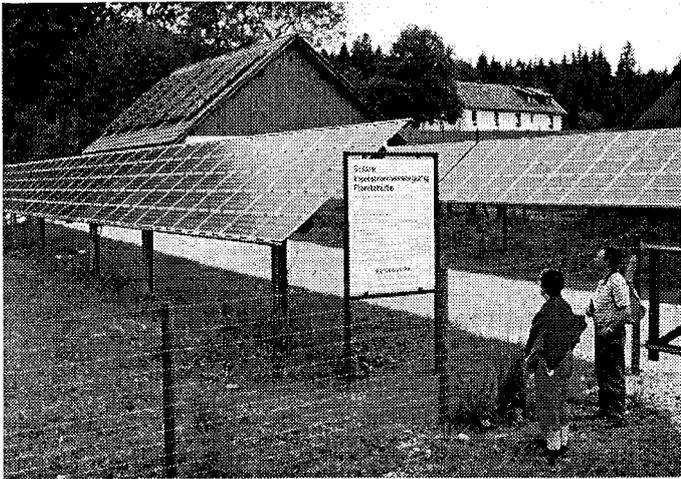


Abb. 2: Das Betriebsgebäude ist mit Solarzellen bestückt.

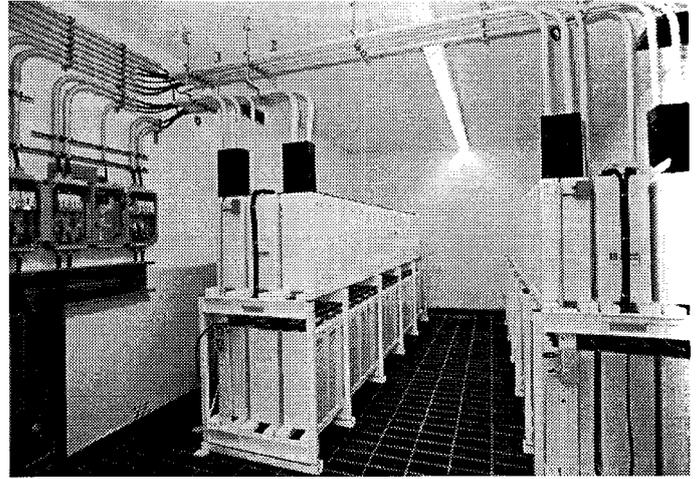


Abb. 3: Die insgesamt 216 Batteriezellen im Batterieraum

**Ergebnisse des Solarbetriebs**

Zwischen Oktober 1992 und September 1994, also über einen kontinuierlichen Meßzeitraum von 24 Monaten, wurden im Durchschnitt annähernd zwei Drittel des Strombedarfs durch die PV-Module gedeckt. Den Rest erzeugte das bereits erwähnte mit Flüssiggas betriebene Reserve-Aggregat. In den Schönwetterperioden im Frühjahr und Sommer konnte die PV-Anlage den Ort zu 100 % versorgen.

Rein rechnerisch könnte die PV-Anlage rund 40.000 kWh/a erzeugen und den Jahresstromverbrauch des Ortes decken. In der Praxis wird die Stromerzeugung aber von der Sonneneinstrahlung, der Stromverbrauch dagegen von den Anwohnern diktiert. Beides stimmt zeitlich nur selten genau überein. Insbesondere im Frühsommer, wenn ohne die Feriengäste ein relativ geringer Strombedarf besteht, kommt es zu einem Überangebot an Solarstrom. Die Pufferbatterie kann zwar einen Teil davon über den Tag verteilt speichern, ist sie aber voll geladen und der Stromverbrauch der Anwohner zu gering, so muß der Stromüberschuß mit Hilfe der Steuerung weggeregelt werden.

**Wechselrichter als Stromfresser**

Neben den PV-Modulen benötigt ein Solarkraftwerk zahlreiche zusätzliche Einrichtungen, damit der Strom wie gewohnt aus der Steckdose kommt. Diese Einrichtungen, z. B. zur Regelung und Stromumwandlung, verbrauchen im Jahr nahezu 8.000 kWh Strom. Den größten Anteil an diesem sogenannten Eigenbedarf haben die beiden Wechselrichter mit jährlich über 7.000 kWh. Zum Vergleich: Ein deutscher Durchschnittshaushalt braucht rund 3.000 kWh/a. Hier besteht noch erheblicher Entwicklungsbedarf für energiesparendere Typen.

Wechselrichter sind ein wesentlicher Baustein von PV-Anlagen, denn sie wandeln den Gleichstrom aus

den Solarmodulen oder dem Batteriespeicher in den haushaltsüblichen Wechselstrom um.

**Batterien problemlos**

Waren bei ersten autarken PV-Anlagen die Pufferbatterien noch ein teurer und störanfälliger Anlagenteil, so hat sich das für Flanitzhütte neuentwickelte Batteriekonzept mit wartungsfreien, trockenen Blei-/Säure-Gel-Batterien bewährt. Bisher ist keine betriebsbedingt ausgefallen. Lediglich wegen mechanischer Beschädigungen wurden drei Zellen im Rahmen der Garantie vorsorglich ausgetauscht.

Auch der Lade-/Entlade-Wirkungsgrad ist überdurchschnittlich gut und liegt bei über 90 %; das heißt von 10 kWh, die hineingeladen werden, gibt die Batterie wieder 9 kWh zur Nutzenanwendung ab. Zum Vergleich: Eine normale Auto-Starterbatterie erreicht nur die Hälfte dieses Wertes.

**Energiespar-Mustersiedlung**

Aus dieser kleinen abgeschlossenen „Inselwelt“ eine Energiespar-Mustersiedlung zu machen, war eines der wesentlichen Ziele des Projekts Flanitzhütte. Denn ohne optimiertes rationelles Energieverbrauch-Verhalten der Kunden und ohne stromsparende Geräte im Haushalt hätte sich die solare Inselstromversorgung nur mit einem nicht mehr vertretbaren Zusatzaufwand an Geld und Material verwirklichen lassen.

**Least-Cost Planning**

Das von Öko-Kreisen geforderte Least-Cost Planning, die Kostenoptimierung bei der Energieversorgung, konnte in Flanitzhütte realisiert werden. Schon bei der Planung und Auslegung der Anlage wurden unter einem ganzheitlichen und langfristigen Denk- und Planungsansatz die Belange der Kunden ebenso berücksichtigt wie die des Energieversorgungsunternehmens. Das kann, besonders bei so teuren Stromerzeu-

gungstechniken wie der Photovoltaik, zu Anfang durchaus höhere Investitionen rechtfertigen.

Das Bayernwerk hat bei der Forschungsstelle für Energiewirtschaft in München eine detaillierte Studie über die gleich zu Anfang verwirklichten Maßnahmen und weitere Maßnahmen zur Energieeinsparung und Anlagenoptimierung im Solardorf Flanitzhütte in Auftrag gegeben.

**Günstige Energiesparbilanz**

Der Jahresstrombedarf in Flanitzhütte lag 1992 vor der Inbetriebnahme des Solarkraftwerkes bei über 43.000 kWh. Schon nach ersten Energiespar-Maßnahmen im Bereich der Beleuchtung konnten rund 2.000 kWh eingespart werden.

Zusätzlich wurde bereits in der Planungsphase der PV-Anlage ein Stromsparprogramm für die Kunden erarbeitet. Ziel war, den Leistungs- und Energiebedarf so weit wie möglich zu senken, um dadurch die sehr teure PV-Anlage so klein wie möglich auslegen zu können.

Durch die Stromsparmaßnahmen sank der Jahresstrombedarf ein Jahr später um weitere 5.000 kWh, also auf etwa 36.000 kWh. Dies entspricht Stromeinsparungen von über 16 %.

Eckpfeiler des Maßnahmenkatalogs waren die Beratung der Anwohner in Sachen rationelle Energieanwendung sowie eine Energiesparanalyse jedes einzelnen Haushaltes. Außerdem wurden veraltete Haushaltsgeräte mit hohem Stromverbrauch gegen neue, wesentlich effizientere Geräte ausgetauscht. Insgesamt wurden über 100 Stromsparlampen und 25 Haushaltsgeräte gegen eine geringe Kostenbeteiligung der Anwohner als Ersatz zur Verfügung gestellt. Die restlichen Kosten von rund 40.000 DM wurden vom Bayernwerk sowie vom Elektrohaus Fröschl und Philips-Licht übernommen.

Ohne diese Energiespar-Maßnahmen hätte das Solarkraftwerk bei gleich-

chem Solarstromanteil von rund 60 % ein Viertel größer bzw. mit 10 kW mehr PV-Leistung gebaut werden müssen. Dafür wären zusätzliche Investitionskosten von über 200.000 DM notwendig gewesen, also fünfmal mehr als für die Energiesparmaßnahmen.

### Energiesparziel

Mit den Stromeinsparmaßnahmen wurde das denkbare Ziel fast erreicht. Von den technisch machbaren 9.000 kWh konnten ca. 7.000 kWh eingespart werden, obwohl das übliche Kundenverhalten bei der Stromanwendung das Gegenteil befürchten ließ: Die energiesparenden Geräte verlocken zu einem etwas großzügigeren Einsatz, eine Erfahrung, die Energieberater immer wieder machen.

### Was läßt sich verbessern?

Die Auswertung des bisherigen Betriebes hat gezeigt, daß noch weitere Verbesserungen möglich sind. Derzeit werden die bei der Forschungsstelle für Energiewirtschaft ermittelten Verbesserungsmöglichkeiten umgesetzt. Ziel ist die Erhöhung des solaren Deckungsgrades, die Verringerung des zeitweiligen und nicht verwertbaren Solarstromüberschusses und die Erweiterung des direkt verbrauchten PV-Stroms, also ohne den Umweg über die Zwischenspeicherung in der Batterie, um letztendlich eine deutliche Verringerung der Stromerzeugung mittels des Reserve-Aggregats zu erreichen.

Weitere Einsparmöglichkeiten auf der Anlagenseite können sich vor allem mit einer neuen intelligenten Steuerungssoftware für die Betriebsführung ergeben. Dadurch ließen sich rund 8 % des Jahresstrombedarfes zusätzlich einsparen.

Auch auf der Kundenseite könnten mit optimiertem Verbrauchsverhalten weitere 5 % eingespart werden.

Falls zukünftig neue, wirkungsvollere Wechselrichter mit weniger Umwandlungsverlusten eingesetzt wer-

den könnten, ließen sich nochmals einige tausend kWh/a einsparen.

In der Summe ließen sich also weitere 20 % oder 7.500 kWh des derzeitigen Jahresstrombedarfes vermeiden. Der sogenannte solare Deckungsgrad ließe sich dann auf über 75 % steigern, ohne die Photovoltaikleistung ausbauen zu müssen.

### Hohe Stromkosten unter Forschungsaspekt vertretbar

Die Projektkosten für die solare Inselstromversorgung liegen bei rund 3,5 Mio DM. Insgesamt konnte das Bayernwerk bei der Realisierung des Projekts 100.000 DM einsparen.

Von den förderfähigen Kosten hat das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie rund 1,2 Mio DM übernommen.

Der in Flanitzhütte erzeugte Strom kostet daher statt der veranschlagten 10 DM/kWh „nur“ 7,50 DM/kWh, wobei die Kunden natürlich nur den Normaltarif von rund 30 Pfg/kWh ohne Kohlepfennig und Mehrwertsteuer bezahlen. Der Löwenanteil der Erzeugungskosten mit 83 % entfällt dabei auf die hohen Investitionskosten. Die Wartungs- und Instandhaltungskosten betragen rund 15 %. Die Brennstoffkosten für den Gasmotor belaufen sich auf knapp 2 %.

Bei diesen Zahlen ist hervorzuheben, daß es sich bei dem Projekt Flanitzhütte ausschließlich um eine Pilotanlage zur Weiterentwicklung und Erprobung neuer Technologien handelt und nicht auf entsprechende Erfahrungen zurückgegriffen werden konnte.

Eine einfachere Anlage mit verringertem Ingenieur- und Meßtechnikaufwand könnte die Kilowattstunde Strom für ca. 5 DM produzieren. Damit wäre der Strom aus einer solchen solaren Inselstrom-

versorgungsanlage z. B. bei Berghütten, Einödhöfen oder in Entwicklungsländern ohne Stromversorgungs-Infrastruktur durchaus im Bereich der Wirtschaftlichkeit, denn die bis dato übliche Versorgung durch störanfällige, umweltbelastende und wartungsintensive Diesellaggregate verursacht ebenfalls Stromkosten von 4 bis 5 DM/kWh.

Alternativ hätte Flanitzhütte über ein Erdkabel als Ersatz für die erneuerungsbedürftige Freileitung mit Strom versorgt werden müssen. Die Kilowattstunde hätte bei dieser Variante mit rund 1,20 DM zu Buche geschlagen. Dies ist zwar preisgünstiger, zeigt jedoch, daß die Stromversorgung für kleine abgelegene Siedlungen nie kostendeckend erfolgen kann.

### Vielfältige Anwendungsforschung für Solarenergienutzung

Der Photovoltaik wird innerhalb der regenerativen Energien langfristig das größte Potential zuerkannt. Bereits heute kann sie in abgelegenen Regionen wertvolle Beiträge zur Energieversorgung leisten. Aber gegenüber bestehenden Stromversorgungsstrukturen ist die Photovoltaik auf lange Zeit noch nicht konkurrenzfähig – weder von den hohen Kosten, noch von den normalerweise benötigten Strommengen und auch nicht von der besten Verfügbarkeit her.

Das Konzept Flanitzhütte könnte dennoch weltweit zum Modell für Anlagen werden, wo eine Stromversorgung bisher überhaupt nicht besteht und sich auch künftig nicht rechnen wird.

### Technische Daten

**Solargenerator** (Rahmenlose Solarmodule mit je 36 monokristallinen Siliziumzellen):

- Anzahl der Module: 840 Module (bisher keine Ausfälle) à 50 Watt
- Spitzenleistung d. Module: 40 kW
- Ausrichtung d. Gestelle: südorientiert, im 40 Grad Winkel
- Wirkungsgrad: ca. 12 %
- Nennspannung: 200 V
- Grundstücksfläche: 2.000 m<sup>2</sup>

**Stromumwandlung:**

- Wechselrichter/Gleichrichter: Je zwei – 25 und 40 kW
- Netzspannung: 230/400 V Wechselspannung

**Batteriespeicher:**

- Batterien: 216 wartungsfreie Blei-Gel-Batterien
- Gewicht: ca. 18 t (82 kg je Zelle)
- Lebenserwartung: über 10 Jahre
- Max. Speicherkapazität: 480 kWh
- Nennspannung: 220 V Gleichspannung
- Überbrückungszeit: ca. 3 Tage
- Lade-/Entladewirkungsgrad: über 90 %

**Spitzen-/Reserve- und Notversorgung** (Gasmotor-Generator-Aggregat):

- Motorart: 6-Zylinder-Gas-Ottomotor (45 kW Leistung)
- Brennstoff: Flüssiggas in unterirdischem 3 t-Tank
- Generatorleistung: 40 kW
- Nennspannung: 230/400 V Wechselspannung
- Betriebsdauer: rund 500 Std./a

**Steuerung:**

Vollautom. Mikroprozessorsteuerung mit Meßdatenerfassung und Fernüberwachung durch das Bayernwerk-Kraftwerk Pleinting bei Passau

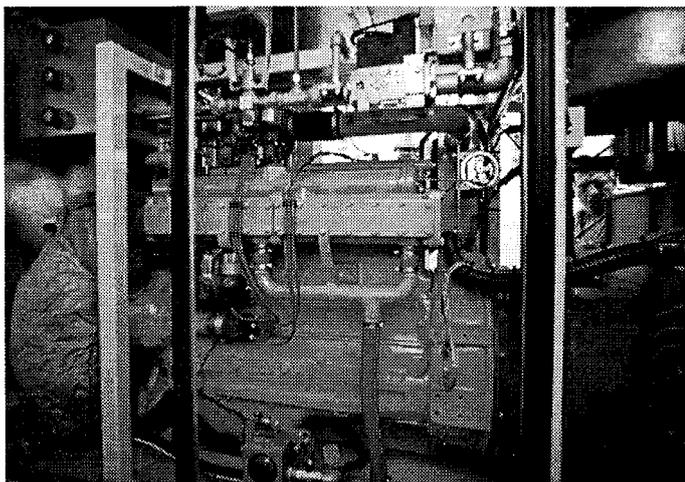


Abb. 4: Das Motor-Generator-Aggregat als Reserve