

Photovoltaisches Versuchskraftwerk auf den Philippinen

Vorgestellt von Horst Höfling, Rainer Schröer und Andreas Wagner

Nach einer kurzen Erläuterung der klimatischen Randbedingungen am Projektstandort werden die Anlagenkomponenten und deren historische Entwicklung beschrieben. Einige typische Tagesabläufe veranschaulichen das Zusammenspiel der einzelnen Systemkomponenten. Der Analyse des Energieverbrauchs des Dorfes folgt ein Ausblick auf die Perspektiven künftiger Solaranlagen. (Über die Entwicklung eines Prüfstandes für Sonnenkollektoren am gleichen Standort ist ein Bericht in „Sonnenenergie“ 4/86 erschienen).

Die Philippinen sind ein Archipel im Pazifischen Ozean mit mehr als 7000 Inseln, von denen etwa 2300 bewohnt sind. Es besteht noch ein hoher Elektrifizierungsbedarf, da bisher lediglich auf 27 Hauptinseln ein Versorgungsnetz existiert [1,2]. Die philippinische Regierung betreibt deshalb seit einigen Jahren ein ehrgeiziges ländliches Elektrifizierungsprogramm. Ausgelöst durch den Schock der Ölkrise und den Mangel an fossilen Energieträgern werden regenerativen Energiequellen wie Biomasse, Geothermie, Wind und Solarenergie großes Interesse entgegengebracht. In diesem Zusammenhang wird die Frage gestellt, ob photovoltaische Anlagen als Alternative für konventionelle Systeme in naher Zukunft einsetzbar sind.

Auf Initiative der philippinischen Regierung wurde im Jahre 1978 ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt eingeleitet mit dem Ziel, die Einsetzbarkeit der Photovoltaik unter den tropischen Bedingungen der Philippinen zu untersuchen. Für dieses Projekt galt das Rahmenabkommen zur technischen Zusammenarbeit, das zwischen den Regierungen der Bundesrepublik Deutschland und der Philippinen bereits im Jahre 1971 abgeschlossen worden ist. 1981 wurde die Projektvereinbarung zwischen den beiden Regierungen unterzeichnet. Einer ihrer wesentlichen Bestandteile sind die angewandten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum Aufbau einer photovoltaischen Dorfstromversorgung [3]. Als weitere Aktivitäten sind die Arbeiten an sogenannten photovoltaischen Kleinapplikationen (1 kWp) vereinbart worden, die eventuell schon früher eine ökonomische Alternative zu konventionellen Systemen bieten können.

Das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) beauftragte die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, mit der Verwirklichung des Projekts. Von der GTZ wurde das Ingenieurbüro ITW (Ingenieurberatung in Technik und Wirtschaft), Iserlohn, als Unterauftragnehmer eingesetzt und mit der Projektdurchführung vor Ort betraut. Die philippinische Partnerorganisation ist das Energieforschungs- und Entwicklungsinstitut des Energieministeriums (ERDC).

Das Dorf Pulong Sampaloc, rund 60 km nördlich von der Hauptstadt Manila gelegen, wurde 1980 als Projektstandort ausgewählt. Mit 62 Haushalten und etwa 400 Einwohnern bietet Pulong Sampaloc zwar die für den Demonstra-

tionscharakter notwendige Nähe zur Großstadt, besitzt aber dennoch eine typisch ländliche Struktur. Im Jahre 1981 wurde das Dorf an das öffentliche Energieversorgungsnetz angeschlossen. Dieses wird seit dem Betrieb des Versuchskraftwerks zur „Back-up“-Versorgung herangezogen und ermöglicht vielseitige Experimente mit dem Kraftwerk, ohne die Verbraucher mit Stromausfällen zu konfrontieren. Mit den Bauarbeiten zu der Anlage ist im Jahre 1982 begonnen worden. Im Februar 1983 wurde der Betrieb aufgenommen und Pulong Sampaloc erstmals mit Solarstrom versorgt.

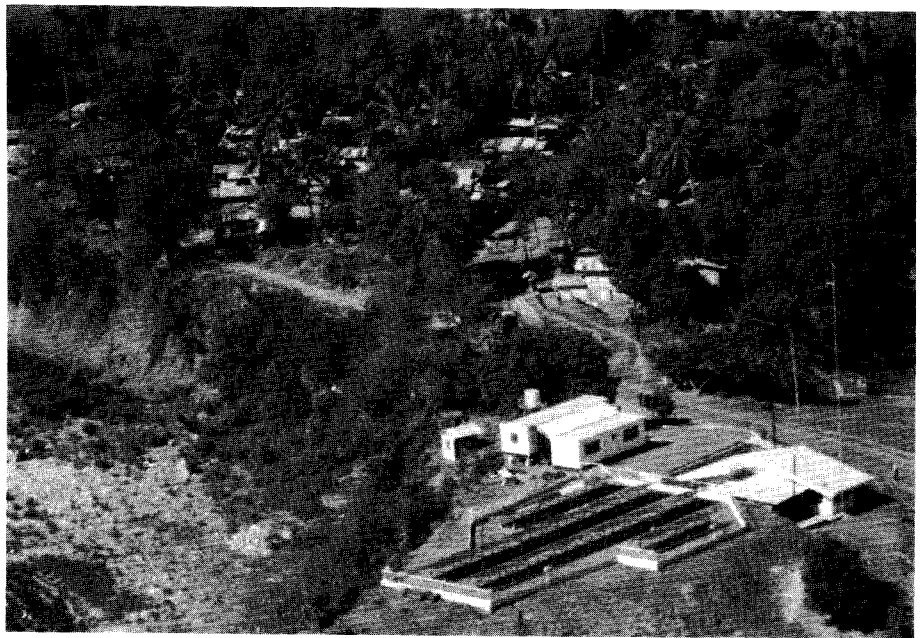


Bild 1: Philippinisches Dorf Pulong Sampaloc mit photovoltaischem Versuchskraftwerk

Klimatische Bedingungen

Die Philippinen sind ein tropisches Land und bieten gute klimatische Voraussetzungen für die wirtschaftliche Nutzung der Solarenergie. Seit der Inbetriebnahme der Versuchsanlage im Februar 1983 werden neben den Betriebsdaten auch die relevanten meteorologischen Daten erfaßt (Gesamtstrahlung auf eine um 15 Grad geneigte Fläche, Diffusionsstrahlung, Umgebungstemperatur, Windgeschwindigkeit u. a.). Die Bilder 2 und 3 zeigen die im Jahr 1985 in Pulong Sampaloc gemessenen Monatsmittelwerte der täglichen Gesamteinstrahlung (15 Grad geneigt) und das zugehörige Histogramm.

Der Jahresmittelwert der täglichen Gesamteinstrahlung betrug 1985 in Pu-

long Sampaloc 4,68 kWh/m² (bei einer Standortabweichung von 1,37 kWh/m²). Gemessen wurde mit einem Präzisionspyranometer (Modell PSP). Diese Einstrahlungsverhältnisse sind repräsentativ für die Philippinen. Nach [4] liegen die Jahresmittelwerte der täglichen Einstrahlung auf den gesamten Philippinen zwischen 4,5 und 5,5 kWh/m².

Anlagentechnik

Das solare Versuchskraftwerk in Pulong Sampaloc ist seit seiner Inbetriebnahme im Februar 1983 mehrfach modifiziert worden. Das Übersichtsschaltbild der Anlage in Bild 4 zeigt den Stand von Juni 1986. Der Solargenerator besteht aus 320 Modulen MQ 10/20 (monokristalline Solarzellen) und 360 Modulen PQ 10/20 (polykristalline Solarzellen). Die reale Ausgangsleistung beträgt 10,2 kW (284 V/38 A) unter einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m² und einer Paneeltemperatur von etwa

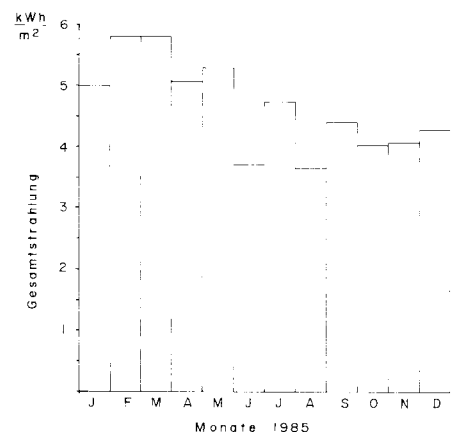
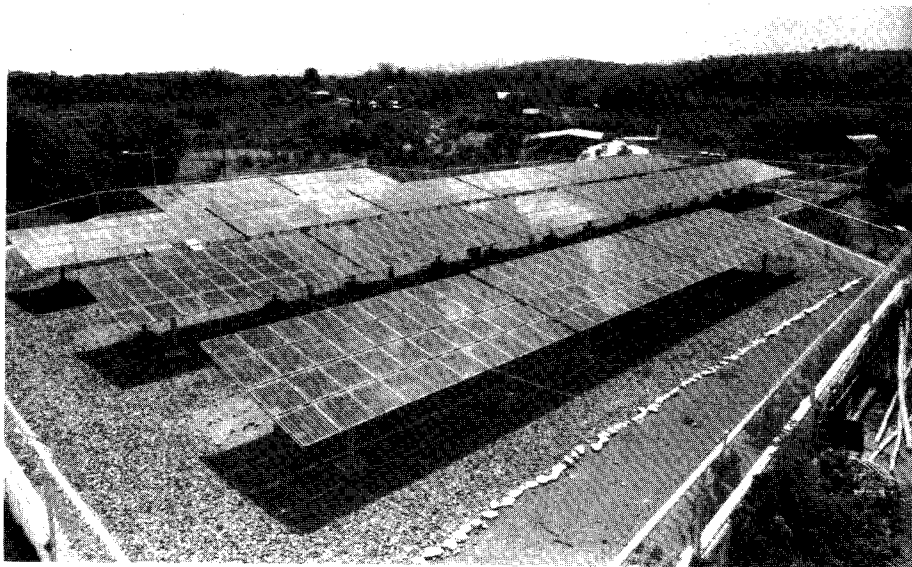


Bild 2: Monatliche Mittelwerte der täglichen Gesamteinstrahlung im Jahr 1985

Bild 1a. Feld mit Solarzellenpaneelen für eine Leistung von 13 kW_p.

62 °C. Mit einer aktiven Solarzellenfläche von 136 m² entspricht das einem Gesamtwirkungsgrad von 7,5 %. – Die Speicherbatterie besteht aus 135 Akkumulierzellen zu je 2 V/300 Ah.

Zu Beginn des Kraftwerksbetriebs wurde die Batterie direkt mit dem Solar-generator gekoppelt. Zur Batteriespannungsbegrenzung konnte der Generator stufenweise abgeschaltet werden (automatisch oder manuell). Die verwendeten sieben Schaltrelais wiesen einen relativ hohen Eigenverbrauch (16 W je Relais) auf. Im November 1985 wurde darum ein verbesserter Anpassungs- und Laderegler installiert. Der Regler betreibt den Solargenerator immer im Punkt maximaler Leistung und bewirkt über einen Tiefsetzsteller eine Leistungsanpassung an die Batterie. Eine unterlagerte Spannungsreglung begrenzt kontinuierlich die Batteriespannung auf die Ladeschlußspannung und vermeidet somit Leistungsverluste durch Schaltrelais und Hysteresiseffekte. Der Wirkungsgrad des Anpassungsreglers liegt bei 95 % für eine Ausgangsleistung von 2 kW (20 % der Nennleistung) und über 98 % ab 5 kW.

Die Wandlung von Gleichstrom in Wechselstrom (220 V/60 Hz, Sinus) wurde zunächst mit einem 10-kVA-Solarinverter (eine aus der industriellen Wechselrichtertechnik entwickelte Version) durchgeführt. Mit dieser seit etwa

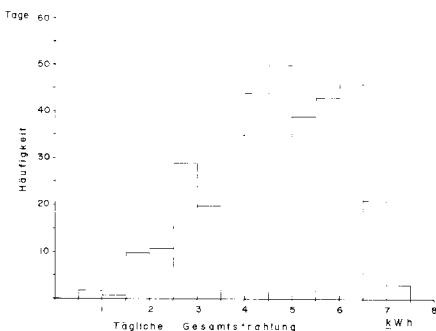


Bild 3. Histogramm der täglichen Gesamteinstrahlung im Jahr 1985

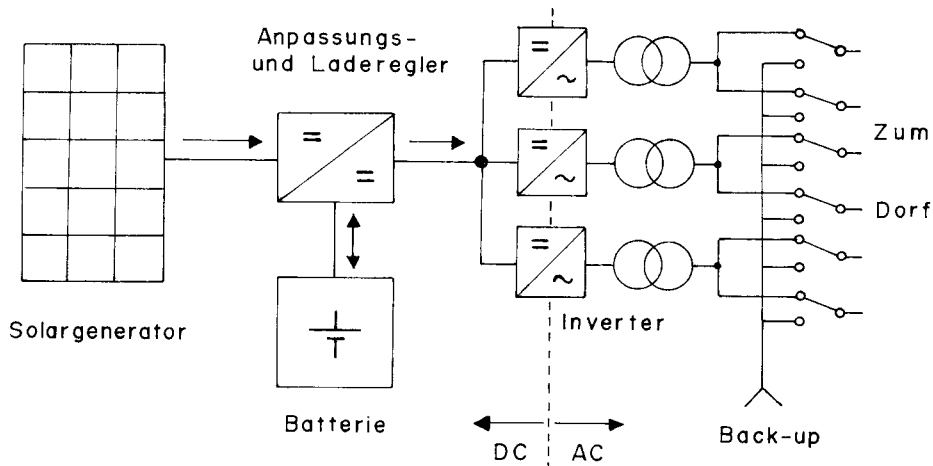


Bild 4. Prinzipschaltbild zum Versuchskraftwerk, wie es sich im Juni 1986 darstellte.

15 Jahren bewährten Technik gab es während des rund 33monatigen Dauerbetriebs keine gravierenden Störungen. Nachteilig bei diesem Invertertyp ist jedoch der schlechte Wirkungsgrad, vor allem im Teillastbereich. (siehe Bild 5).

Im November 1985 wurde ein neuer Dreiphaseninverter (3 x 3,4 kVA) installiert, der mit modernsten Bauteilen (Power – MOSFET) ausgestattet ist und einen deutlich besseren Wirkungsgrad, besonders im Teillastbereich, aufweist (Bild 5). Ein weiterer Vorteil des neuen Inverters liegt darin, daß jede der drei Phasen unabhängig voneinander als Einphaseninverter betrieben werden kann. Damit werden ebenfalls stark unsymmetrische Belastungen des Drehstromnetzes ermöglicht. Der neue Inverter arbeitet seit mehr als 8 Monaten im Dauerbetrieb störungsfrei.

Die Auswirkungen der Modifikationen der Anlage während der dreieinhalbjährigen Betriebszeit auf die tägliche Energieabgabe in Abhängigkeit von der täglichen Einstrahlung zeigt Bild 6.

Die 1983-Linie beschreibt den Systemausgang unmittelbar nach der Inbetriebnahme der Anlage. Nach dem Austausch von 360 polykristallinen

Solarpaneelen gegen monokristalline Paneele wurde die 1984/85-Linie erreicht. Nach Installation des neuen An-

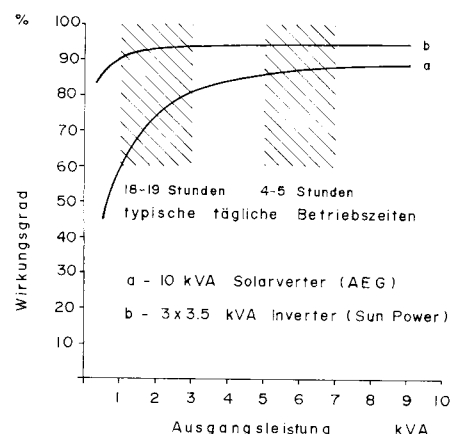


Bild 5. Inverter-Wirkungsgrade in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung

passungsladereglers und des neuen Inverters (Linie 1986) hat sich die tägliche Energieabgabe um mehr als 20 % erhöht (von jahresdurchschnittlich 30 kWh auf 36 kWh).

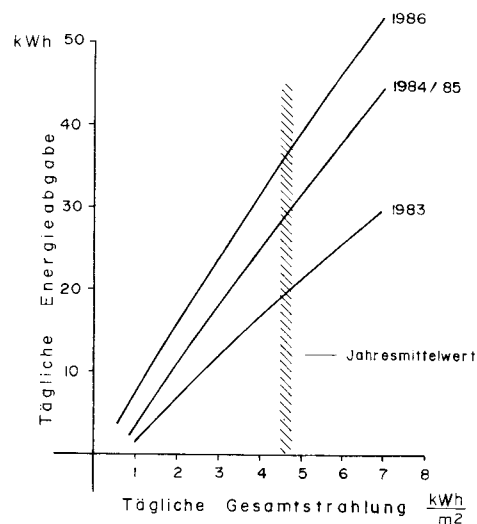


Bild 6. Tägliche Energieabgabe in Abhängigkeit von der Einstrahlung

Betriebsverhalten im Tagesverlauf

Die Bilder 7 bis 9 zeigen einige charakteristische Kenndaten der Solaranlage im Tagesverlauf. Die Kurven stellen 10-Minuten-Mittelwerte dar, die mit einer automatisierten Datenerfassungsanlage gemessen werden (insgesamt 16 Meßwerte simultan).

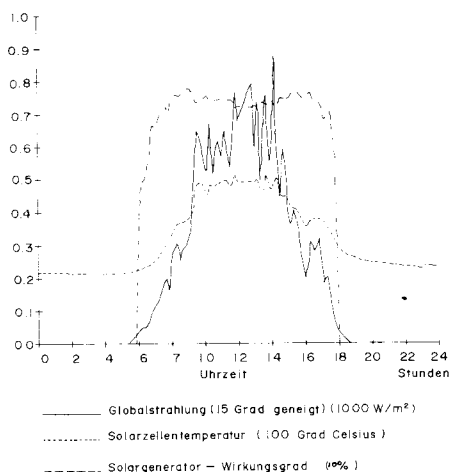


Bild 7. Tagesverlauf von Solarstrahlung, Solarzelltemperatur und Generatorwirkungsgrad; gemessen am 29. Mai 1986.

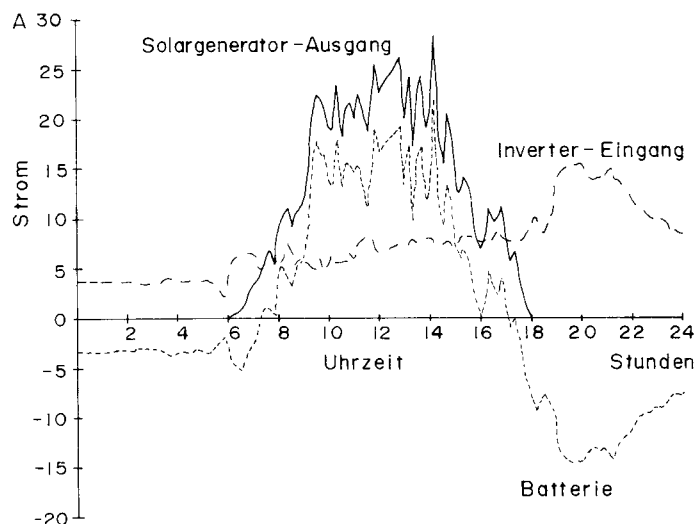


Bild 8. Tagesverlauf der Ströme von Solargenerator, Batterie und Invertereingang (am 29. 5. 1986)

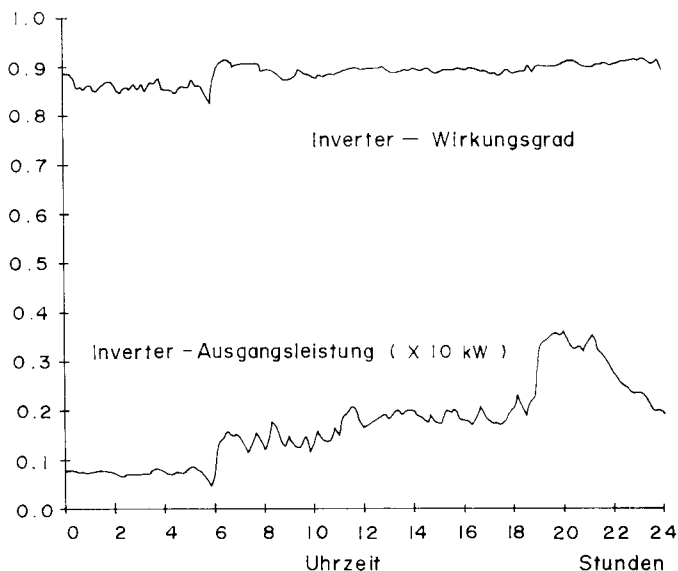


Bild 9. Tagesverlauf von Inverter-Wirkungsgrad und Inverter-Ausgangsleistung (29. 5. 1986)

Perspektiven für künftige Solaranlagen

Der Ausbau öffentlicher Stromversorgungsnetze mit dem Ziel einer 100 %igen Versorgung der Bevölkerung ist für Entwicklungsländer eine Utopie. Dünn besiedelte Landstriche und Streusiedlungen setzen die Grenzen. Dennoch ist der Wunsch nach Elektrizität auch in diesen Gebieten unverkennbar. In diesem Zusammenhang muß auch erwähnt werden, daß die Abwanderung der ländlichen Bevölkerung in die Ballungsgebiete und die daraus resultierende Vernachlässigung der Landwirtschaft ein Problem ist. Die Anhebung des Lebensstandards auf dem Lande, unter anderem durch Bereitstellung von Elektrizität (Licht, Kühlschrank, Ventilator, Radio, Fernsehgerät etc.), kann dem entgegenwirken.

Bild 10 zeigt den gesamten Dorfverbrauch an einem typischen Tag. Der Leistungsbedarf des Dorfes liegt tagsüber (6 bis 18 Uhr) zwischen 1,5 und 2 kW und während der Nacht zwischen 3 und 8 kW. Die stündlichen Leistungsspitzen werden von der Wasserpumpe des Dorfbrunnens verursacht. Die ausgeprägte Tageslastspitze tritt nach 18 Uhr auf (Sonnenuntergang, Lichtbedarf). Da die Bewohner in der Regel sehr zeitig aufstehen, um die kühlen Morgenstunden zur Feldarbeit zu nutzen, entsteht eine kleine Spitzenlast nach 4 Uhr morgens. — Bei der Planung des Kraftwerks wurde ein durchschnittlicher Verbrauch von 0,4 kWh je Haushalt und Tag angenommen. Dieser Wert ist typisch für ländliche Gebiete auf den Philippinen [5].

kauf werden und nach entsprechend kurzer Zeit ausgewechselt werden müssen.

An diesen beiden Beispielen ist erkennbar, daß sich der Energiebedarf der ländlichen Bevölkerung meist in sehr bescheidenen Grenzen hält. Der Gebrauch von kleinen Dieselmotoren ist beschränkt auf landwirtschaftliche Betriebe, Genossenschaften, öffentliche Dienststellen und hier und da reichere Familien. Wie das Beispiel mit den Autobatterien zeigt, weiß man sich zu helfen und ist bereit, dafür auch erheblichen Zeitaufwand in Kauf zu nehmen, von den Kosten gar nicht erst zu reden.

Würde man diese vorhandenen Batterien auf Solarenergieversorgung umstellen, so genügten bereits z. B. 40-W-Solarpaneele, um den benötigten Strom für die gesamte (und dort üblich bescheidene) Beleuchtung und den Betrieb eines Radiogerätes in einem philippinischen Haushalt sicherzustellen. Bei der ohnehin oft feststellbaren Streusiedlungsstruktur von Dörfern in Entwicklungsländern könnte man in der Bereitstellung von einzelnen kleinen, in sich

Doch wie sieht derzeit die Stromversorgung in diesen dünn besiedelten Landstrichen, Kleindörfern und Streusiedlungen aus? Auf den Philippinen ist der Gebrauch von Lampen, Radios, Fernsehgeräten und Kühlschränken überall dort weit verbreitet, wo es keine öffentliche Stromversorgung gibt. Umständliches Wiederaufladen in der Stadt und die Inkaufnahme langer und damit teurer Transportwege kennzeichnen diese Situation. Geht es nur um die Versorgung im Watt- und Milliwattbereich (z. B. von Transistorgeräten), so werden die auf den Philippinen hergestellten Trockenbatterien verwendet. Leider sind es meist die schlechten und deswegen billigen Batterietypen, die von der Masse der ländlichen Bevölkerung ge-

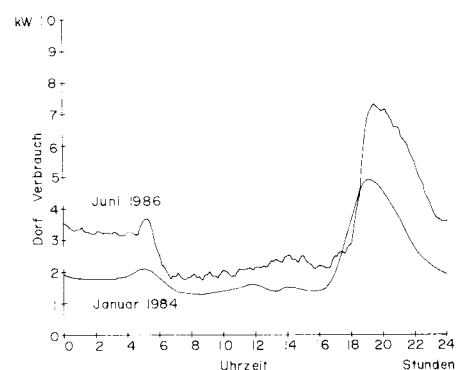


Bild 10. Lastprofil des Dorfes Pulong Sampaloc vom 29. Mai 1986

fertig verschalteten Solarsystemen für jeden Haushalt teure Ortsnetzinstallationen, Kraftwerksgebäude etc. einsparen und mit den vorhandenen finanziellen Mitteln wahrscheinlich einen sehr viel höheren Elektrifizierungsgrad in den ländlichen Siedlungsräumen erreichen, als dies gegenwärtig mit den konventionellen Netzversorgungssystemen möglich ist. Der Bedarf an elektrischer Energie in abgelegenen Regionen kann in diesem Aufsatz nicht erschöpfend behandelt werden. Die hier genannten Beispiele zeigen aber bereits, wie sehr Elektrizität auch für die ländliche Bevölkerung ein Bedürfnis dieser Tage geworden ist. Photovoltaische Versorgungseinheiten mit ihrem modularen Aufbau und ihrer dezentralen Anwendbarkeit scheinen uns deshalb eine aus technischer Sicht prakti-

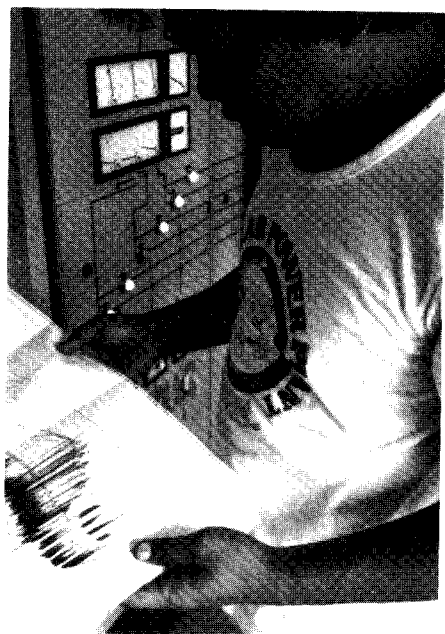


Bild 10a. Meßdatenerfassung an der 13-kW_p-Photovoltaikanlage in Pulong Sampaloc

kable Alternative darzustellen. Sie könnten eine neue Dimension in der Elektrifizierung ländlicher Räume eröffnen.

Noch allerdings gilt es, die technische Zuverlässigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Lebensdauer zu verbessern, die Gegenstand der F + E-Arbeiten für die nächsten zwei Jahre bilden werden. Inwieweit eine so große photovoltaische Anlage, wie sie in Pulong Sampaloc heute eingesetzt wird, eine wirtschaftliche Alternative ist, wird noch durch begleitende Projektstudien gründlich untersucht. Wie erwähnt, wurde der normale tägliche Elektrizitätsverbrauch eines ländlichen Haushalts mit 0,4 kWh ermittelt.

Die bestehende Solaranlage in Pulong Sampaloc ist demnach in der Lage, den Energieverbrauch von rund 100 ländlichen Haushalten zu decken. Der Preis für 1 kWh Solarstrom kann mit einer Bandbreite, abhängig von den verwendeten Systemkomponenten, zwischen 1,50 und 2,50 DM angegeben werden. Zu einer endgültigen Aussage für den Vergleich einer Solaranlage mit

einem Dieselgenerator (beide im Inselbetrieb) liegen noch nicht genügend standortspezifische Daten vor.

Hier spielen Fragen wie Betriebsbereitschaft und Zuverlässigkeit eine wesentliche Rolle. Die standortabhängige Betrachtung von Dieselstromgeneratoren ist stets verknüpft mit dem Teillastbetrieb, der Einhaltung von Wartungsvorschriften, der Qualität der Betriebsstoffe (Öl und Dieselmotorkraftstoff) sowie der Betreuung durch qualifiziertes Personal. Nach unseren vorläufigen Analysen wäre für eine Versorgung des Dorfes Pulong Sampaloc mit einem Dieselgenerator mit einem kWh-Preis von 1,40 bis 1,70 DM zu rechnen. Schon heute läßt sich allerdings sagen, daß photovoltaische Solaranlagen, die sehr weit unter 10 kW installierter elektrischer Leistung liegen, wirtschaftlich vorteilhafter sind als Dieselstromaggregate. (Ein genauer Vergleich der Wirtschaftlichkeit von photovoltaischen Solaranlagen gegenüber Dieselgenerator und Netzanschluß wird Gegenstand einer zukünftigen Veröffentlichung in dieser Zeitschrift sein).

Das **Ostbayerische Technologie-Transfer-Institut** veranstaltet sein

Zweites Symposium photovoltaische Solarenergie in Zusammenarbeit mit dem **Fraunhofer Institut** für **solare Energiesysteme** **17. und 18. März 1987** **Kloster Banz, 8623 Staffelstein**

Das Symposium wendet sich hauptsächlich an Unternehmen aus der Elektrotechnik, der Flachglas- und Kunststoffindustrie, der Kfz-Branche, der Uhrenindustrie, der Lampenindustrie, der Energieversorgung sowie an Bauingenieure und Architekten.

Wesentliche Themenfelder am ersten Tag werden die Zukunftschancen, Rahmenbedingungen, die Vermarktung und Basiskomponenten der Photovoltaik sein.

Am zweiten Tag des Symposiums werden Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzerfahrungen der Photovoltaik in der Bundesrepublik, Mitteleuropa und der Dritten Welt erörtert.

Tagungsbegleitend wird eine Fachausstellung zu Basis-Modulen und Anwendungsfeldern der Photovoltaik stattfinden.

Nähere Informationen erteilen wir gerne:

OTTI, Dr.-Martin-Luther-Straße 10, 8400 Regensburg, Telefon 09 41-5 27 00.

Zusammenfassung

An der photovoltaischen Pilotanlage in Pulong Sampaloc werden seit Februar 1983 umfangreiche Experimente durchgeführt mit dem Ziel, ein optimales System zu ermitteln. Die bisherigen Ergebnisse lassen deutlich erkennen, daß angewandte Forschung und Entwicklungsarbeiten notwendig sind, um ausgereifte Systemkomponenten zu erhalten. Die negativen Auswirkungen, die konventionelle Bauteile mit hohem Eigenverbrauch (z. B. Relais, Schütze, herkömmliche Inverter) auf den Systemwirkungsgrad einer Solaranlage haben, wurden durch die erzielten Verbesserungen deutlich erkennbar.

Es ist klar herauszustellen, daß nicht allein die Verbilligung von Solarpaneelen photovoltaische Systeme wirtschaftlicher macht, sondern auch eine ökonomische Ausnutzung der Energie wesentlich dazu beiträgt. Vor diesem Hintergrund wird man künftig auch über eine angepaßte Tarifpolitik für Solar-

strom nachdenken müssen. Wirtschaftliche Vergleiche mit einer Netzerweiterung, und speziell mit Dieselgeneratoren zeigen, daß die Größe der Anlage in Pulong Sampaloc mit 13 kW_p an der obersten Grenze der Wirtschaftlichkeit liegt. Für Anlagegrößen wesentlich darunter sieht die Wirtschaftlichkeitsanalyse [5] sehr vorteilhaft aus. Bei größeren Anschlußwerten ist eine Dieselversorgung oder eine Netzerweiterung ökonomischer.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß durch den realistischen Betrieb der Anlage Pulong Sampaloc ein Erfahrungszuwachs gewonnen wurde, der wesentlich dazu beigetragen hat, photovoltaische Systeme zu verbessern und an die Bedingungen auf den Philippinen anzupassen.

Literaturhinweise

[1] National Census Statistics Office (NCSO), Philippines 1986.

[2] Status of Rural Electrification. Report of the National Electrification Administration (NEA), Philippines 1985.

[3] „Sonnenenergie-Versuchskraftwerk“ Projektantrag zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Republik der Philippinen, 04. 11. 80.

[4] M. C. Bonjoc, R. D. Buan, V. Leano: The Profile of Solar Radiation in the Philippines. Philippines Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration (PAGASA), November 1985.

[5] P. H. A. de Bakker: Photovoltaics for Rural Electrification. PNOC – Energy Research and Development Center, Quezon City, Philippines Juni 1986.