Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 77 (1986)

Heft: 6

Artikel: Solare Energieversorgungsanlagen in Entwicklungsländern

Autor: Muntwyler, U.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904178

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

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

Solare Energieversorgungsanlagen in Entwicklungsländern

U. Muntwyler

Der heutige Stand der Solartechnik erlaubt in vielen Entwicklungsländern eine vorteilhafte Energieerzeugung in dezentralen Anlagen.
Anhand einer 1984 in Rwanda, Zentralafrika, installierten Pilotanlage werden einige der dabei zu beachtenden Aspekte dargestellt. Die Betrachtung beschränkt sich auf kleine, isolierte Anlagen, d.h. Anlagen mit einem Dauerverbrauch von maximal einigen Kilowatt Leistung.

La situation actuelle de la technique solaire permet, dans de nombreux pays en voie de développement, de produire de l'énergie dans des installations décentralisées.
Sur la base d'une centrale pilote installée en 1984 en Afrique centrale, l'article présente certains aspects dont il faut tenir compte. L'analyse se limite à de petites installations isolées, c.-à-d. des installations ayant une consommation permanente de quelques kilowatts de puissance au maximum.

Adresse des Autors
Urs Muntwyler, El.-Ing. HTL, Ingenieurbüro Muntwyler, Postfach 73, 3000 Bern 9

1. Dezentrale, autonome Stromversorgungsanlagen in der Dritten Welt

Weite Gebiete in der Dritten Welt sind noch heute ohne Stromanschluss. In den oftmals dünn besiedelten Gebieten ein Verbundnetz aufzubauen, wie wir es z.B. in Europa kennen, bietet technische Probleme und ist sehr teuer. Ausserdem fehlt der Bevölkerung oftmals die Kaufkraft, um überhaupt von einem Netzanschluss profitieren zu können. Dies hemmt den Aufbau einer öffentlichen Stromversorgung zusätzlich.

1.1 Herkömmliche Stromversorgung mit Dieselgeneratoren

So produzieren in der Regel Krankenstationen, Spitäler, Schulen und vereinzelt Privatpersonen ihren Strom mittels eigenen Dieselgeneratoren. Laut einer Studie des «Nasa Lewis Research Centers» [1] von 1978 waren in der Dritten Welt 10 Millionen Dieselgeneratoren zur Stromerzeugung installiert. Diese Dieselgeneratoren produzieren eine Kilowattstunde Strom zu einem Preis von 1–3 SFr. [2] je nach dem lokalen Brennstoffpreis und dem Standort der Anlage.

Wichtigster Faktor für die Stromgestehungskosten dieser Anlagen ist der Preis für den Brennstoff; der Strompreis ist also mit dem tendenziell steigenden Erdölpreis verknüpft. Dazu kommen Wartungskosten und Kosten für Ersatzteile. Dieselgeneratoren bedürfen einer steten Wartung durch fachkundiges Personal. Fehlt eine regelmässige Wartung, so ist der Ausfall des Dieselgenerators nur noch eine Frage der Zeit. Oftmals wird der Betrieb durch den fehlenden Nachschub des Brennstoffs gefährdet. Rwanda beispielsweise bezieht seinen Brennstoff auf einer einzigen Strassenverbindung, die durch Uganda führt und immer wieder wegen politischer Unruhen unterbrochen ist.

1.2 Solare Stromversorgung: eine vielversprechende Möglichkeit

Viele dieser Probleme können elegant mit dem Einsatz einer solaren Stromversorgung gelöst werden. Die Fortschritte in der Photovoltaik (Umwandlung von Licht in elektrische Energie) in den letzten zehn Jahren haben zur Entwicklung von Solarmodulen geführt, die äusserst zuverlässig sind; dies bei einem sinkenden Preis. Dazu kommt der Hauptvorteil von Solargeneratoren – die erneuerbare Energiequelle. Beschaffung, Transport und der steigende Preis für den Brennstoff entfallen.

Dazu bieten solare Stromversorgungen einige weitere Vorteile:

- Solare Stromversorgungen sind komplette Lösungen, weil sie nicht neue zusätzliche Probleme schaffen. Gerade im Kraftwerksbau in der Dritten Welt werden immer wieder Anlagen gebaut, denen kein ausgewiesener und finanzierbarer Bedarf gegenübersteht. Solche Anlagen schaffen mehr neue Probleme, als sie alte Probleme lösen, ganz abgesehen von den oftmals verheerenden Folgen für die Umwelt und die traditionelle Lebensweise der Menschen.
- Solaranlagen sind modular aufgebaut und können laufend dem Bedarf der Verbraucher angepasst werden – nach oben oder nach unten. Wird das elektrische Netz eingeführt, so ist es möglich, die teueren Anlageteile zu demontieren und an einem anderen Ort zu installieren. Dies ist deshalb sinnvoll, weil die Arbeitskosten sehr gering sind und solche «Übungen» zum sparsamen Devisenverbrauch des Landes beitragen.

So sind heute solare Stromversorgungsanlagen den Dieselgeneratoren in den meisten Belangen überlegen. Hier liegt denn auch das kurz- und mittelfristig vielversprechendste Einsatzgebiet der Solarzellen. Hinzu kommt noch der Konsumgütermarkt (Taschenrechner, Uhren usw.), wo heute schon grosse Mengen von Solarzellen eingesetzt werden.

Trotz der Vorteile, die Solargeneratoren bieten, stellen sich bei ihrem Einsatz einige Probleme, die noch zu lösen sind. Diese Probleme liegen vorwiegend im nichttechnischen Bereich. Einige davon traten auch bei der Anlage in «Karama», bzw. treten bei den Folgeanlagen in Rwanda auf:

- Der Einsatz einer Solaranlage ist ein «Velosänderproblem»: Viele unqualifizierte Personen beteiligen sich am Entscheidungsprozess. Seriöse Kalkulationen spielen bei solchen Entscheiden keine grosse Rolle. Hier wirkt sich die mangelnde Zahl von Pilot- und Demonstrationsanlagen in den Entwicklungsländern und vor allem in den Industrieländern aus. Bei der Pilotanlage und den Folgeprojekten in Rwanda hatten und haben die Europäer mehr Vorurteile gegen Solaranlagen als die Rwandesen.
- Die Photovoltaikfirmen haben noch keine so gut ausgebauten Verkaufsnetze wie die Verkäufer von Dieselgeneratoren. Viele dieser Firmen sind Neugründungen, die ihre Finanzmittel nur beschränkt in ein ausgedehntes Verkaufsnetz stecken können. Dazu müssen die lokalen Verkäufer geschult werden, ausführliche Dokumentationen müssen erstellt werden; alles Dinge, die viel Zeit und Arbeit brauchen.
- Ein weiteres Hindernis für die Verbreitung von solaren Stromversorgungsanlagen ist auch die Tatsache, dass solche Anlagen weniger gut für Prestigeobjekte der Politiker taugen als Dieselgeneratoren oder Grosskraftwerke, die viel spektakulärer wirken.
- Ein Problem ist auch die Finanzierung. Solare Stromversorgungsanlagen erfordern eine höhere Anfangsinvestition als Dieselgeneratoren. Bei der desolaten Finanzlage und den hohen Zinsen ist das ein Hindernis für Solaranlagen aller Art. Das heisst, dass der Verkäufer sich unter Umständen auch noch um die Finanzierung kümmern muss. Dasselbe Problem stellt sich ja auch bei vielen Grossprojekten der Schweizer Industrie.

2. Pilotanlage «Karama»

Die Pilotanlage umfasst eine solare Stromversorgung für eine Krankenstation in Rwanda. Zur Vorwärmung des Waschwassers und zur Erwärmung des Brauchwassers wurde ausserdem ein rwandesischer Sonnenkollektor installiert.

2.1 Solare Stromversorgung

In Rwanda wird ein Grossteil der Krankenstationen und Spitäler von kirchlichen Organisationen betrieben. In solchen Fällen wird auch die Infrastruktur von der Diözese erstellt und unterhalten.

Die Schwierigkeiten mit den Dieselgeneratoren bewogen den Bischofsvikar der Diözese Butare, alternative Möglichkeiten zur Stromerzeugung zu suchen (Butare ist die Universitätsstadt von Rwanda, von der Grösse her ein «Marktflecken» mit ein paar tausend Einwohnern). Eine vielversprechende Möglichkeit erschien ihm die solare Stromversorgung. Er beauftragte 1980 den Ingenieur Charles Brülhart aus Düdingen, sich der technischen Aspekte anzunehmen.

Die Nutzung der Sonnenenergie in Rwanda ist sehr günstig:
- Weil das Land in Aequatornähe liegt, scheint die Sonne immer etwa 12 Stunden pro Tag.
- Die Sonnenscheindauer beträgt 2400 Stunden im Jahr (Bern: 1732 Stunden). Tage ohne direkte Sonnenstrahlung sind Ausnahmen. Die Temperatur liegt das ganze Jahr über bei 18 °C.

1982 wurden Planungsgrundlagen für sechs Krankenstationen bzw. Spitäler ermittelt. Dazu gehörte auch die Beschaffung der meteorologischen Daten von Rwanda. Mit dem «Centre d'études et d'application de l'énergie au Rwanda» (CEAR) der Universität von Rwanda in Butare wurden Kontakte geknüpft. Dieser Besuch führte zur Auswahl der Krankenstation «Karama» als Standort der Pilotanlage. Diese Krankenstation liegt etwa 1800 Meter über Meer und versorgt ein Gebiet von 40 000 Menschen mit medizinischer Pflege. Folgende Gebäude sollten durch den Solargenerator versorgt werden:
- Krankenstation (2 Gebäude)
- Hauswirtschaftsschule
- Schwesternhaus
- Angestelltenhäuser (2 Gebäude)

Die elektrische Energie des Solargenerators (s. Fig. 1) sollte für die Beleuchtung und einen Kühlschrank für Medikamente und Impfstoffe ausreichen.

Für die Konstruktion der solaren Stromversorgungsanlage wurde die Firma Hasler AG in Bern ausgewählt, die sich seit 1978 mit Solarzellen und ihrer Anwendung befasst [3].

2.2 Warmwasserproduktion

Das eigentliche Energieproblem in der Dritten Welt ist der akute Mangel an Brennholz. Dieses wird meistens mit einem schlechten Wirkungsgrad genutzt. In einigen Fällen kann ein thermischer Sonnenkollektor das Brennholz ersetzen.

In der Krankenstation «Karama» wurde Brennholz für das Warmwasser für die Wäscherei und das Brauchwasser benötigt. Dies kann sinnvoller mit einem Sonnenkollektor gemacht werden.

Das CEAR stellt einen solchen Warmwasserkollektor her. Dieser Son-

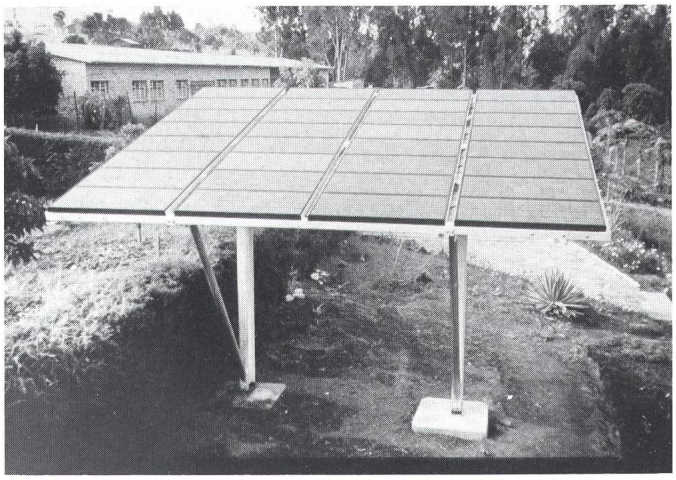

Fig. 1
Solargenerator mit Krankenstation
(Foto: Ingenieurbüro Muntwyler, Bern)

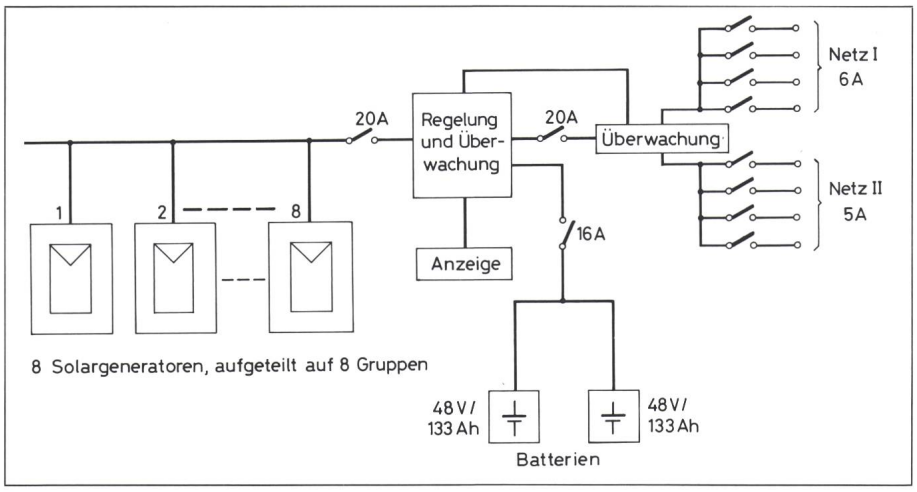

Fig. 2 Prinzipschema der solaren Stromversorgung «Karama»

nenkollektor wurde im Projekt «Karama» für die Warmwasserproduktion vorgesehen.

3. Solare Stromversorgung

3.1 Solargenerator

Der Solargenerator besteht aus 32 Modulen SX 110 mit 1280 Solarzellen aus polykristallinem Silizium. Seine Spitzenleistung beträgt etwa 1200 Wp. Mit einer einfachen einachsigen Schwenkvorrichtung kann der Solargenerator dem saisonalen Sonnenstand angepasst werden. Dadurch wird die Leistung bis zu 20% gesteigert. Auch die Reinigung der Solargeneratorfläche ist so weniger häufig nötig.

Die ganze Konstruktion besteht aus einer Aluminiumlegierung. Dadurch wird sie leicht und ist nicht korrosionsanfällig. Die Maststützen sind einbetoniert und gegen Blitzschlag geerdet worden. Die Konstruktion widersteht einer Windgeschwindigkeit bis zu 150 km/h.

Die Systemspannung beträgt 48 V. Diese Spannung wurde gewählt, um die Serieverluste gering zu halten, denn die Verbraucher sind bis zu 150 Meter von der Batterie entfernt.

Je acht Module sind nach der «Sammelschienentechnik» parallel geschaltet. Jedes Modul hat seriell eine Spezialdiode, die gekühlt wird. Sie verhindert eine nächtliche Rückspeisung aus der Batterie. Mit der «Sammelschienentechnik» werden die Auswirkungen der Exemplarstreuung der Module reduziert, eine Selektion der Module erübrigt sich damit.

3.2 Betriebssystem

Das Betriebssystem (Laderregler mit Überwachung und Verteilung, s. Fig. 2 und 3) besteht hauptsächlich aus vier Funktionseinheiten:

- Laderegler
- Überwachung
- Verteilung
- Registrierung der Betriebsdaten

Der Laderegler besteht aus einem Serieregler mit parallelgeschalteten P-Kanal MOS-FET Transistoren. Sinkt die Batteriespannung unter die Ladeendspannung, so werden die Transistoren von einem Relais überbrückt. Im Falle eines Ausfalls des Seriereglers verhindert ein zusätzliches Relais ein Überladen der Batterie.

Bei einer drohenden Tiefentladung wird Last abgeworfen. Die Verbraucher sind in zwei Prioritätsstufen aufgeteilt. Zuerst werden die «unwichtigen» Verbraucher abgetrennt, um die gespeicherte Energie für den Operationsbereich der Krankenstation zu sparen.

Analoginstrumente zeigen die wichtigsten Betriebsdaten an: Solargeneratorstrom, Verbraucherstrom und die Batteriespannung. Der Betriebszustand der gesamten Anlage kann zusätzlich noch mittels Leuchtdioden überprüft werden.

Alle Ein- und Ausgänge sind mit Sicherungsautomaten geschützt und können zentral ein- und ausgeschaltet werden. Überspannungsableiter und eine ausgedehnte Erdung schützen die Elektronik der Steuerung und der Verbraucher vor Blitzeinwirkungen.

Zur Ermittlung der Betriebsdaten der Pilotanlage werden die wichtigsten Daten durch einen Ah-Zähler und einen Mehrkanalschreiber registriert.

3.3 Batterie

Die Energie wird in speziellen Batterien gespeichert. Es wurde Wert darauf gelegt, dass sie in ihren Eigenschaften mit herkömmlichen Bleibatterien kompatibel sind. Das erleichtert den späteren Ersatz, der mit beliebigen in Rwanda erhältlichen Bleibatterien erfolgen kann. Bleibatterien müssen kontinuierlich ersetzt werden. Sie sind der einzige Teil einer solaren Stromversorgungsanlage mit einem grösseren Verschleiss. Es wurde eine Lebensdauer von mindestens sechs Jahren unterstellt. Dies ist aber eine eher pessimistische Annahme.

Die Systemspannung beträgt 48 V. Die Batterien sind mit Rekombinationsstopfen ausgerüstet, um den Verbrauch des destillierten Wassers zu vermindern und dadurch die Wartungsintervalle zu verlängern.

3.4 Verbraucher

Das Wichtigste bei einer solaren Stromversorgung sind Verbraucher mit einem hohen Wirkungsgrad. Deshalb ist es auch eher ein Vorteil, wenn man kein 220-V/50-Hz-Netz hat. So kommen die Benützer gar nie in Versuchung, die herkömmlichen Verbraucher einzusetzen. Natürlich hat das seinen Preis, die Mehrinvestition wird aber durch den kleineren und billigeren Solargenerator wettgemacht.

In der Pilotanlage «Karama» sind derzeit insgesamt 80 Speziallampen (Leuchtstoffröhren) zu Beleuchtungszwecken angeschlossen. Der eingesetzte Kühlschrank arbeitet mit einem Schwingverdichter-Kompressorsystem. Damit hat der Kompressor nur ein bewegliches Teil und benötigt sehr wenig Energie.

Daneben sind verschiedene Anschlussstellen für Operationsscheinwerfer (im Moment zwei) und für Kühlschränke (im Moment einer) montiert.

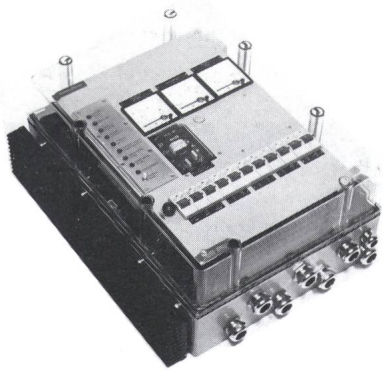

Fig. 3 Das Betriebssystem: Laderegler mit Überwachung, Verteilung und Registrierung
(Werkfoto: Hasler AG, Bern)

4. Reparatur- und Wartungsstrategie

Zentraler Punkt im Konzept dieser Anlage war die Zuverlässigkeit. Bewusst wurde auf einen «Maximum Power Tracker (MPT)» verzichtet [4]. Dieser hätte zwar eine Leistungserhöhung des Solargenerators gebracht, diese Schaltung kann aber in Rwanda nicht repariert werden. So wurde der Serienregler gewählt.

Die wichtigsten elektronischen Teile sind redundant ausgeführt. Dazu wurde mit dem Projektleiter (ein Elektroingenieur) die Anlage im Werk auf- und abgebaut (Fig. 4). Ebenso wurde mit ihm zusammen die Betriebs- und Wartungsanweisung erstellt.

Die Wartung der Anlage hat die rwandesische Firma «Economa» übernommen. Durch die Registriergeräte besteht die Möglichkeit, eine «Ferndiagnose» zu erstellen.

Die Daten werden vom Benützer regelmässig an die Hasler AG in Bern eingesandt. Die Aufzeichnungen dienen auch der Sammlung von Erfahrungen für die Konstruktion weiterer solarer Stromversorgungen.

Der in Figur 5 dargestellte Messstreifen stammt vom Februar 1985. Gut zu sehen ist die Ladeendspannung auf etwa 53,5 V. Der kurze periodische Spannungsabfall wird durch den Kühlschrank verursacht. Der gleichzeitige Anstieg des Solargeneratorstroms am Tag zeigt, dass die Anlage noch Leistungsreserven hat.

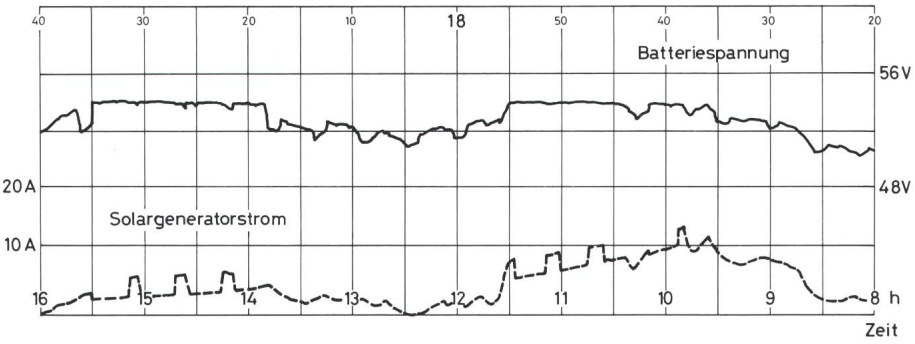

Fig. 5 Messstreifen der solaren Energieversorgung «Karama»

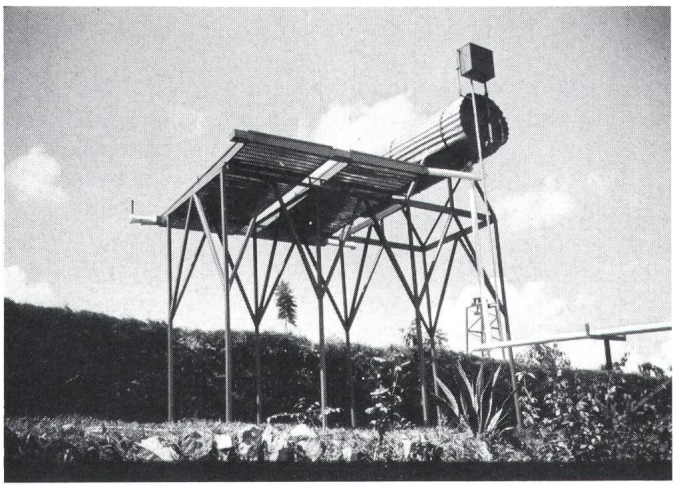

Fig. 6
Der rwandesische Sonnenkollektor in Karama
(Foto: Ingenieurbüro Muntwyler, Bern)

5. Sonnenkollektor

Der Sonnenkollektor aus Rwanda hat eine Absorberfläche von 5 m². Er arbeitet nach dem «Thermosyphonprinzip» und kann überall installiert werden, wo eine zuverlässige Wasserversorgung vorhanden ist.

Beim Thermosyphonprinzip ist der Speicher höher als der Kollektor angeordnet (Fig. 6). Damit stellt sich die Zirkulation auch ohne eine Pumpe ein. So kommt dieser Anlagetyp ohne Fremdenergie aus.

6. Montage und Inbetriebnahme

Die Montage der solaren Energieversorgung erfolgte im Sommer 1984 und dauerte vier Wochen. Das gesamte Material (über 2 Tonnen) wurde mit dem Flugzeug aus der Schweiz eingeflogen. Für die Montage und die Inbetriebnahme wurden 1500 Arbeitsstunden aufgewendet. Sechs Gebäude mit über 60 Verbrauchern wurden angeschlossen. Dazu mussten 240 m Gräben für die Hauptkabel gezogen werden, was einen Aushub von 50 m³ ergab. Für die Arbeiten wurden bis zu 30 einheimische Arbeiter beschäftigt.

Um die Bevölkerung mit der ungewohnten Anlage vertraut zu machen, wurde ein Eröffnungsfest organisiert. Der Bürgermeister der Gemeinde schaltete die solare Stromversorgung ein und erklärte den Anwesenden auch ihre Funktionsweise (Fig. 7).

Die soziale Akzeptanz in der Bevölkerung ist ein wichtiger Faktor beim Einsatz einer solaren Energieversorgung. Die «schönste Technik» hat keinen Sinn, wenn sie von der Bevölkerung nicht verstanden und begrüsst wird –, eine Feststellung, die nicht nur für Entwicklungsländer Gültigkeit hat.

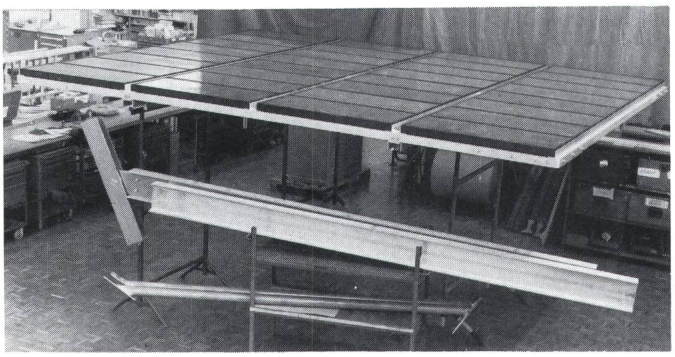

Fig. 4
Montage des Solargenerators im Werk Bodenweid der Hasler AG
(Werkfoto: Hasler AG, Bern)

7. Kosten der Pilotanlage

Die gesamte schlüsselfertige Pilotanlage inkl. Ersatzmaterial und Werkzeug kostete (in Preisen von 1984) SFr.

99 000.–. In diesem Preis eingeschlossen sind die erstmaligen Planungsarbeiten sowie die Vorarbeiten für sieben weitere Krankenstationen bzw. Spitäler. Der Solargenerator mit dem Betriebssystem kostete SFr. 34 000.–, was nur etwa ein Drittel der Gesamtkosten ausmacht. Das ist der Preis, den der Dieselgenerator während 20 Jahren Betriebszeit insgesamt kosten darf.

Pro Tag produziert der Solargenerator im Jahresschnitt maximal 6,2 kWh. Das ergibt in 20 Jahren eine Energieproduktion von maximal etwa 45 000 kWh. Die produzierte elektrische Energie kostet damit SFr. 0.75 pro kWh. Das liegt unter den in Kapitel 1.1 erwähnten Werten für Dieselmotoren. Für einen genauen Vergleich muss jede Anlage gesondert gerechnet werden. Auch müssen bei einer Evaluation noch qualitative Faktoren berücksichtigt werden.

Fig. 7
Der Bürgermeister erklärt der Dorfbevölkerung die solare Energieversorgung
(Foto: Ingenieurbüro Muntwyler, Bern)

8. Betriebserfahrung und Ausblick

Die Anlage funktioniert seit über einem Jahr zur vollen Zufriedenheit. Die Auswertung der Messstreifen hat ergeben, dass die Anlage noch Leistungsreserven aufweist. Das kommt daher, dass die Benützer die Verbraucher sparsamer als berechnet benützen. In einer ersten Stufe wurden deshalb 20 weitere Lampen angeschlossen.

Die Pilotanlage «Karama» zeigt, dass eine solare Energieversorgung mit vertretbarem Aufwand in kurzer Zeit realisiert werden kann. Bedingung dazu ist – neben der technischen Ausführung – der Kontakt mit den lokalen Behörden und die Zusammenarbeit mit einheimischen Firmen.

Literatur

[1] *L. Rosenblum* u.a.: «Photovoltaic Village Power Application: Assessment of the Near-Term Market», U.S. Nasa Lewis Research Center, Cleveland, 1978.

[2] *Paul D. Maycock* and *Edward N. Stirewalt:* «Photovoltaics: Sunlight to Electricity in one step», S. 97, 1981.

[3] Hasler Ltd.: «Reliable Electricity Supplies from Renewable Energy Sources», Swisscom News 1985 Nr. 6.

[4] *U. Muntwyler:* «Die Leistungsmaximierung bei Solargeneratoren», Technische Rundschau Nr. 22/83.