

Photovoltaik – ein Baustein zur nachhaltigen Entwicklung netzferner Regionen

von Hansjörg Gabler und Klaus Preiser

Überblick

Photovoltaische Stromerzeugung ist eine technische Option für die Versorgung ländlicher Gebiete die bisher nicht von einem Stromnetz erreicht werden. Für Einzelhaushalte haben sich „Solar Home Systeme“ bewährt – ein Photovoltaikmodul von 0,5 m² Fläche und ein Batteriespeicher versorgen Lampen, Radio und Fernsehapparat. Strom in Netzqualität für eine 24-stündige Versorgung ländlicher Kliniken und Schulen, Werkstätten und Hotels kann von Photovoltaik-Hybridssystemen bereitgestellt werden. Solche Anlagen haben sich in Europa vielfach bewährt; sie sollten der „nächste Schritt“ sein bei einer Elektrifizierung ländlicher Räume in den Ländern des Südens.

Photovoltaic power is a technical option for the supply of rural areas which are not yet reached by electricity grids. "Solar Home Systems" have been successfully introduced for rural household electrification, supplying lamps and radio/television sets with a photovoltaic module of 0.5 m² area and a storage battery. Electric power in grid quality for a continuous 24 hour supply of rural clinics and schools, workshops and hotels can be provided by photovoltaic hybrid systems. These units have successfully been introduced in Europe; they should be the "next step" in the electrification of rural areas in the South.

1. Einleitung

„Nachhaltige Entwicklung“ verbindet untrennbar zwei Absichten: die Umwelt zu schützen sowie soziale und ökonomische Entwicklung zu fördern. Auf diese Definition haben sich die Staaten der Welt im Jahre 1992 auf der Konferenz der Vereinten Nationen zu Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro verständigt.

Photovoltaik, die Technik zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Sonnenlicht hat ein Anwendungsfeld gefunden, in dem die beiden Aspekte „nachhaltiger Entwicklung“ beispielhaft vereinigt sind: die Elektrifizierung netzferner Regionen.

In vielen Ländern sind die Elektrizitätsnetze bis heute nicht bis in die ländlichen Gebiete hinein ausgebaut worden. Weltweit leben zwei Milliarden Menschen ohne die modernen Energiedienste, die ein Stromnetz bietet [1]. Mit photovoltaischer Technik ließe sich heute eine Grundversorgung für

Licht und Fernsehempfang in netzfernen Regionen kostengünstiger und vor allem schneller realisieren als durch den Ausbau von Stromnetzen.

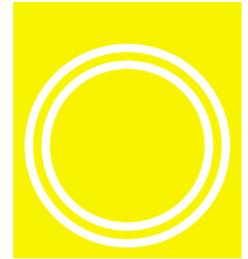
Über die Grundversorgung einzelner Haushalte hinaus stehen Techniken bereit, die auf der Basis von erneuerbaren Energien Strom mit Netzqualität auch an entlegenen Standorten für Infrastrukturaufgaben und für produktiven Einsatz liefern könnten.

2. Die Elektrifizierung ländlicher Haushalte

Der Elektrifizierungsgrad ländlicher Haushalte in der Region Südostasien ist in [Abbildung 1](#) dargestellt. Die Daten wurden einer Publikation der Asiatischen Entwicklungsbank [2] und einer von der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GTZ herausgegebenen Publikation [3] entnommen.

Insgesamt dürfte sich die Zahl der nicht elektrifizierten Haushalte in Asien, Lateinamerika und Afrika, in den vergangenen zwei Jahrzehnten nicht wesentlich verändert haben. Den Fortschritten im Ausbau der Stromnetze, die regional beträchtlich waren, steht die Zunahme der Absolutzahl ländlicher Haushalte entgegen.

Ländliche Haushalte haben niedrige Stromverbräuche. Die Investitionen die für den Ausbau der Netze getätigt werden müssen sind dagegen hoch. Die aus dem Verkauf von Strom erzielbaren Erlöse sind deshalb oftmals nicht ausreichend, um auch nur den Unterhalt der Netze zu finanzieren. Massive wirtschaftliche Probleme von Stromversorgungsunternehmen und häufige Stromabschaltungen können die Folge sein. Dies ist wohl auch der Grund dafür, daß die jährlichen Ausgaben, die weltweit für die Elektrifizierung ländlicher Regionen eingesetzt werden, seit Beginn der 80er Jahre deutlich zurückgegangen sind. Der allgemein zu beachtende Trend zur Deregulierung der Energieversorgung und speziell der Privatisierung von derzeit noch im Staatsbesitz befindlichen Stromversorgungsunternehmen weist in dieselbe Richtung. Eine flächendeckende Versorgung der ländlichen Bevölkerung in den entlegenen Teilen dieser Erde ist auch in vielen Jahrzehnten nicht zu erwarten.



Photovoltaischer Strom könnte eine ideale Option werden, die Lücke zu füllen.

Zu ihrer Nutzung muß keine zentrale Infrastruktur aufgebaut werden, ihre Modularität erlaubt die Anwendung in kleinen Leistungseinheiten. Die Technik photovoltaischer Stromerzeugung hatte 25 Jahre Zeit zu reifen und sich in vielfältigen Versorgungsaufgaben zu bewähren. Eine photovoltaische Industrie ist entstanden, die weltweit über eine Milliarde Dollar umsetzt. Und eben diese photovoltaische Technik schafft sich derzeit einen neuen Markt im Bereich der ländlichen Elektrifizierung.

3. Photovoltaik für Licht und Fernsehempfang

Ein Solar Home System ist eine Versorgungseinheit für einen einzelnen Haushalt. Es besteht aus einem photovoltaischen Modul mit einer Fläche von 0,5 m², einem elektrischen Energiespeicher („Autobatterie“) und etwas Intelligenz in einer elektronischen Schaltung, die die Energieströme über den Batteriespeicher regelt. Zum Solar Home System gehören üblicherweise drei energiesparende Leuchtstofflampen und ein Anschluß für Radio und Fernsehapparat. Bei einer typischen solaren Einstrahlung von 5 kWh/m² und Tag, das entspricht 5 vollen Sonnenscheinstunden, können Radio, Fernsehapparat und Licht für einige Stunden jeden Tag betrieben werden. Der Aufbau eines Solar Home Systems ist in Abbildung 2 dargestellt.

Eine Studie der Weltbank [4] macht folgende Kostenrechnung für ein Solar Home System in Indonesien auf:

PV-Modul (53 W mit Befestigungselementen)	200 US \$
Batterie (70 Ah, 12 V)	40 US \$
Batterieregler	35 US \$
Lampen, Verkabelung, Schalter	35 US \$
Lieferung, Installation, Erlöse	75 US \$
Zölle und Steuern	40 US \$
gesamt	425 US \$

Angenommen ist dabei, daß ein Händler für Solar Home Systeme jährlich 5.000 Einheiten in einem geographisch begrenzten Gebiet installieren kann. Die Preisannahme ist sicher recht optimistisch, reale Preise für die

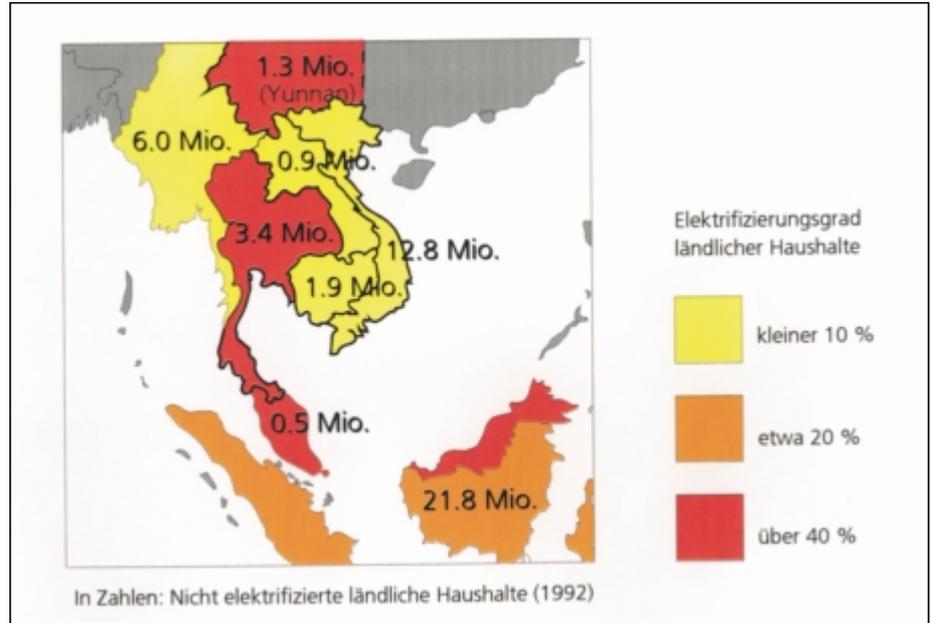
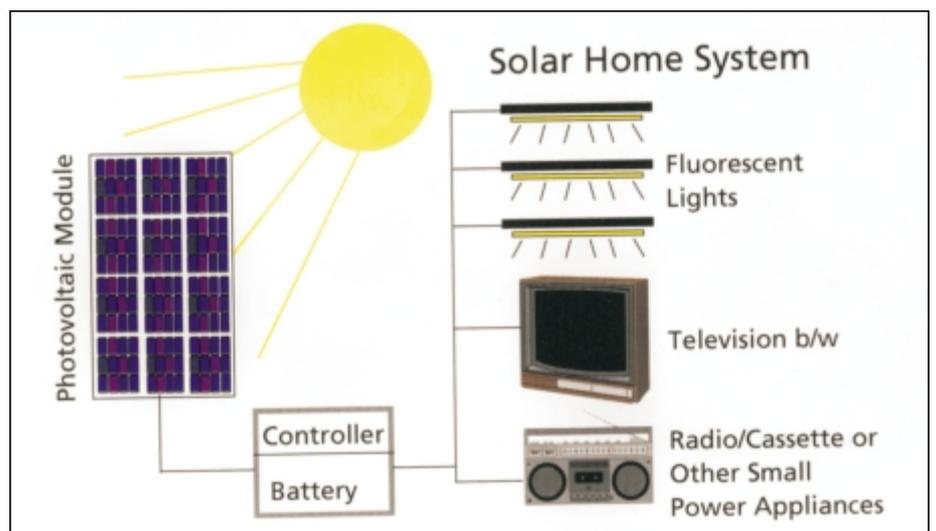


Abbildung 1: Der Elektrifizierungsgrad ländlicher Haushalte in Südostasien. Die Zahlen in der Abbildung geben die Gesamtzahl der nicht elektrifizierten Haushalte an. Mehr als 40 Millionen Haushalte in der Region verfügen nicht über Strom, der zentral erzeugt und über ein Stromnetz verteilt wird. Für Licht werden Kerosinlampen verwendet, für Radio und Fernsehapparate Trockenbatterien oder Bleibatterien, die zur Aufladung zu einer Ladestation gebracht werden. Verbreitet sind auch Dieselgeneratoren, die für einige Stunden des Tages einzelne Dörfer mit Strom versorgen. Sonnenenergie ist unerschöpflich, sauber, verfügbar an jedem Ort der Welt.

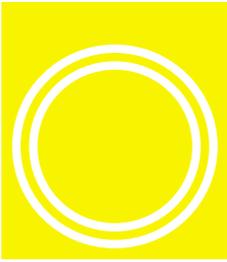
Abbildung 2: Das photovoltaische Solar Home System zur Versorgung von Einzelhaushalten mit Licht und Strom für Radio und Fernsehapparat. Im Jahr 1997 wurden mehr als 200 000 Solar Home Systeme in ländlichen Regionen neu installiert.



vollständigen Systeme liegen heute zwischen 500 US-\$ und 1.500 US-\$, je nach Größe des lokalen Marktes, Zöllen, Steuern und lokalem Produktionsanteil.

Die Kostenaufstellung weist auf die interessante Tatsache hin, daß das PV-Modul selbst nur einen Anteil von we-

niger als 50% an den Gesamtkosten hat. Auch wenn die Solarzelleneinheit importiert wird, ist die lokale Wertschöpfung in der Herstellung von Batterien, Reglern, Vermarktung, etc., beträchtlich. Den Kosten eines Solar Home Systems, beginnend bei 500 US-\$ je Einheit, müssen die Kosten eines



elektrischen Anschlusses an ein Stromnetz gegenübergestellt werden. Die Weltbank gibt für die Kosten eines Hausanschlusses in vergleichsweise dichtbesiedelten Regionen einen Mittelwert von 900 US-\$ (Jahr 1994) an. In dispersen Siedlungsstrukturen können diese Kosten mehrere 1.000 US-\$ je Anschluß betragen.

Angestoßen durch nationale Programme für die Elektrifizierung ländlicher Räume und unterstützt durch bilaterale oder multilaterale Programme (GTZ, KfW, Weltbank) sind Solar Home Systeme zu einer Option für die Basis-elektrifizierung geworden. Indonesien, Mexiko, Kenia, Marokko, China sind die Länder mit der derzeit höchsten Anzahl von Systemen. In einer Vielzahl weiterer Länder hat die Verbreitung begonnen. Allein im Jahr 1997 wurden mehr als 200.000 Einheiten neu installiert

Für die Hersteller von Photovoltaikmodulen ist das ein respektables Umsatzvolumen – etwa 10% der gesamten Photovoltaikproduktion des Jahres 1997 sind in diese spezielle Anwendung geflossen – aus der Perspektive der vielen hundert Millionen Haushal-

Abbildung 3: Sukatani in West Java wurde seit 1989 zu einem Musterdorf für die Nutzung von Solar Home Systemen entwickelt. Heute sind in Indonesien weit über 50.000 Solar Home Systeme im Einsatz



te, die ohne Elektrizität auskommen müssen, hat die Verbreitung der neuen Energietechnik noch kaum begonnen. Dennoch, die Technologie der Solar Home Systeme hat die Forschungslaboratorien verlassen, sie hat sich aus regierungsfinanzierten Demonstrationenprojekten befreit und befindet sich in der Phase des Aufbaus selbsttragender Märkte (Abbildung 3). Für einige Zeit wird die Unterstützung durch öffentliche Finanzierungsprogramme allerdings noch über den Verbreitungserfolg entscheidend sein.

Eine Analyse der Verbreitungsrealität von Solar Home Systemen zeigt auch Probleme, für die Lösungen noch gefunden werden müssen:

- Die Kosten eines Solar Home Systems sind für die anvisierten Käuferschichten sehr hoch; hier müssen dezentralisierte Finanzierungsmechanismen angeboten werden.
- Institutionelle Probleme resultieren aus der Tatsache, daß dezentralisierte Einzellösungen für die Stromversorgung nicht zu traditionellen Werkzeugen der Energieplaner in Regierungen oder Stromversorgungsunternehmen gehören; oft erschwert die Subventionierung klassischer Energietechniken die Einführung dezentraler Lösungen.
- Akzeptanzprobleme treten auf, wenn die Nutzer zu hohe Erwartungen an ihre Stromversorgung stellen, wenn Unzufriedenheit und ungeeignete Information zur Vernachlässigung auch der einfachsten Wartungsarbeiten führt.
- Technische Probleme – zu geringe Lebensdauer von Batterien, Lampen und Reglern – treten auf wenn Komponentenproduktion und Systeminstallation nicht durch Qualitätssicherungssysteme auf hohen, technischen Standard gebracht werden.

All diesen lösbaren Schwierigkeiten stehen die unbestreitbaren Vorzüge einer dezentralen photovoltaischen Versorgung gegenüber [5]. Licht, Information und Kommunikation für private Nutzer, Licht, das die Arbeitszeit im landwirtschaftlichen Hof und Einzelhandel, in Schulen und Gemein-

dezentren in den Abend hinein verlängern, kann in seiner Bedeutung nicht überschätzt werden. Solar Home Systeme können dieses Licht bereitstellen.

4. PV Hybridsysteme für Wechselstrom in Netzqualität

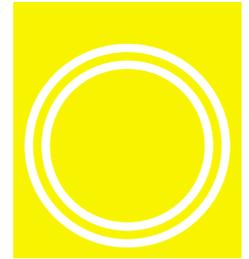
Elektrizität löst auch weitere Versorgungsaufgaben. Werkstätten, Lebensmittelkühlung und -verarbeitung, Infrastrukturaufgaben in Gesundheitswesen und Verwaltung oder die Entwicklung von Tourismus erfordern höhere tägliche Energien und höhere Leistungen als sie ein Solar Home System bereitstellen kann. Die nächste Stufe der Elektrifizierung wird durch Einzelanlagen größerer Leistung und folgend durch lokalen Verbund gebildet.

Die zu lösende technische Aufgabe besteht darin, Strom mit Netzqualität bereitzustellen. Aus Gründen der Versorgungssicherheit (Redundanz durch verschiedene Stromerzeuger) sowie zur Reduzierung des Investitionsbedarfes für sehr große Photovoltaikarrays oder Batteriespeicher werden Systeme für die Versorgung täglicher Lasten von einigen Kilowattstunden und mehr typischerweise als Hybridsysteme aufgebaut: ein Dieselmotorgenerator und ein photovoltaischer Generator – und möglicherweise noch weitere Energiekonverter für Wind- oder Wasserkraft – ergänzen sich in ihrer Energieproduktion. Zur Sicherung der Leistungsbereitstellung dient ein Batteriespeicher und unter Umständen weitere Einrichtungen zur Kurzzeitspeicherung von Energie. Die Verteilung der Leistung an die Lasten erfolgt durch Wechselspannung üblicher Frequenz und Amplitude.

Das Konzept des Hybridsystems ist nicht neu. Gefördert durch BMWi und EU, auch durch Energieversorgungsunternehmen in Europa, durch nationale und internationale Geldgeber auch auf anderen Kontinenten, wurden in den vergangenen beiden Jahrzehnten mehrere hundert Hybridanlagen errichtet, betrieben und evaluiert (Abbildung 4).

Hybridsysteme sollen folgende Versorgungsqualitäten erfüllen:

- zeitlich kontinuierliche (24-stündige) Stromversorgung hoher Versor-



gungssicherheit mit einphasiger oder dreiphasiger Wechselspannung.

- Bereitstellung größerer Leistungen zum Betrieb elektrischer Antriebe.

Verglichen mit einem Dieselgenerator, der bei Bedarf für mehrere Stunden des Tages betrieben wird, können Hybridsysteme den Brennstoffverbrauch, die Betriebsstundenzahl und damit die Ersetzungs- und Wartungskosten für die Dieselmachine wesentlich reduzieren.

Eine Mehrzahl der realisierten Anlagen haben diese Aufgaben mit Erfolg gemeistert, die technische Realisierbarkeit ist ohne jeden Zweifel nachgewiesen worden. Die Brücke zur Verbreitung in nicht-industrialisierten ländlichen Räumen Asiens, Afrikas oder Lateinamerikas ist aber noch nicht geschlagen.

Planung, Fertigung, Integration, Installation, Vermarktung, Betrieb und Wartung von Einzelanlagen sind derzeit noch extrem kostentreibend. Auch technische Aufgaben sind auf dem Weg zu robusten Systemen hoher Zuverlässigkeit und einfacher Wartungsfähigkeit vor Ort noch zu lösen. Wenn

die Schwelle zum Einsatz größerer Stückzahlen von Hybridsystemen überwunden werden kann, werden sich auch Firmen finden, die Systemintegration oder spätere Wartung übernehmen.

Ein Vergleich zwischen den Kosten der Ausweitung von Stromverbundnetzen in den ländlichen Raum und den Kosten für lokale Energieversorgungslösungen mit Hybridsystemen, sei es für Einzelverbraucher oder für kleine Versorgungsnetze mehrerer Verbraucher kann an dieser Stelle nicht ausgeführt werden. Sicherlich nicht falsch ist aber die Annahme, daß es auf viele Jahrzehnte hinaus weltweit hunderte-tausende von Versorgungssituationen gibt, in denen ein Strombedarf von einigen Kilowattstunden bis zu einigen hundert Kilowattstunden täglich aus lokaler Erzeugung gedeckt werden muß.

Von zentraler Bedeutung wird sein, daß die Felderfahrungen, die derzeit mit Hybridsystemen weltweit gemacht werden, schnell und umfassend wahrgenommen und für eine Weiterentwicklung der Systeme bei Herstellern und auch Forschungsinstituten verfügbar gemacht werden. Auch die durch-aus noch offenen Fragen nach dem

„Einstiegsmarkt“ für photovoltaische Hybridsysteme – Versorgung von Einzelobjekten oder von Siedlungen mit gemeinsamer Nutzung, isolierte Lösungen oder Planung für eine zukünftige Netzanbindung – werden sich dann klären.

Die Elektrifizierung ländlicher Räume ist nicht nur eine technische Aufgabe, sondern ist in äußerst komplexer Weise mit politischen und ökonomischen Entwicklungen verwoben. Sie ist entscheidend von Akzeptanzfragen und sich verändernden technischen Kulturen bestimmt. Diese vielschichtigen Randbedingungen können und werden dazu führen, daß sich für vergleichbare Aufgaben sehr unterschiedliche technische Lösungen herausbilden werden.

5. Dank

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), der Europäischen Kommission, DG XII und DG XVII, und der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), die uns die Möglichkeit geben in einer Reihe von Ländern an Programmen zur ländlichen Elektrifizierung mitzuarbeiten.

Literatur

- [1] „Rural Energy and Development – Improving Energy Supplies for Two Billion People“, The World Bank, Washington D.C. (1996)
- [2] „Energy Indicators of Developing Member Countries of ADB“, Asian Development Bank (1992)
- [3] Ramani, Islam, Reddy (Hrsg.) „Rural Energy Systems in the Asia-Pacific“, Asian and Pacific Development Centre, Kuala Lumpur und GTZ, Eschborn (1993)
- [4] „Best Practices for Household Electrification Programs: Lessons from Experiences in Selected Countries“, Asia Alternative Energy Unit ASTAE, World Bank Technical Paper 324 (1996)
- [5] „Basic Electrification of Rural Households“, GTZ, Eschborn (1995)

Abbildung 4: Der Rappenecker Hof im Schwarzwald wird seit mehr als 10 Jahren mit Strom aus der Sonne versorgt. Die Ausflugsgaststätte hat einen Tagesenergiebedarf von 10 kWh, der zu 70 % aus photovoltaischem Strom, zu 10% aus Windstrom und zu 20 % aus einem Dieselgenerator gedeckt wird.

