

Elektrifizierung mit Photovoltaik

Strom für den ländlichen Raum

Fotos: Preiser



Die Elektrifizierung des ländlichen Raumes mittels kleiner dezentraler Photovoltaiksysteme ist eine Alternative für viele Haushalte, die nicht über zentrale Stromnetze versorgt werden. Diese Solar-Home-Systeme für Licht, Radio und Fernsehen sind billiger als neue Stromleitungen. In ihrem Artikel quantifizieren die Autoren das globale Marktpotential (mit Schwerpunkt auf Südostasien), beschreiben die Technik sowie Erfolge und Misserfolge der existierenden Märkte.

Der Zugang zu einer netzgebundenen Elektrizitätsversorgung ist in den ländlichen Gebieten vieler Länder unzureichend. Der Elektrifizierungsgrad ländlicher Haushalte in Südostasien beispielsweise liegt zwischen 5 % (Kambodscha) und 80 % (Malaysia). Mehr als 2 Mrd. Menschen müssen weltweit ohne den modernen „Energieservice“ Strom auskommen. Die absolute Zahl hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten nicht sehr verändert – sie wird sich auch in nächster Zukunft nicht ändern. Tab. 1 zeigt die aktuellen Nicht-Elektrifizierungsgrade und Bevölkerungsdaten für Südostasien. Allein dort warten mehr als 20 Mio. Haushalte auf elektrisches Licht.

Weltweit weniger Investitionen in Stromnetze

Ländliche Haushalte haben einen geringen Energieverbrauch und ein geringes Einkommen. Die Investitionskosten für die Ausweitung der Versorgungsnetze dagegen sind hoch – 1994 waren es weltweit durchschnittlich 900 US\$ pro Haushalt /3, 4, 5/. Das hat zur Folge, daß der Investitionsrücklauf für netzgebundene ländliche Elektrifizierung gering ist. In vielen Fällen decken die Zahlungen für die gelieferte Elektrizität nicht einmal die Instandhaltungskosten der Überlandleitungen. Dies führt zu einer mageren Wirtschaftsbilanz bei den Stromversorgungsunternehmen und zu einer störanfälligen Energielieferung.

Folglich fielen die jährlichen Ausgaben für netzgebundene ländliche Elektrifizierung zwischen 1981 und 1990 weltweit um 50 % auf etwa 7 Mrd. US\$.

Netzgebundene Elektrizität wird in ländlichen Gebieten für eine Fülle von Anwendungen genutzt: eine breite Palette an kommerziellen und landwirtschaftlichen Aktivitäten; im öffentlichen Sektor

für die Telekommunikation, zur Trinkwasserversorgung, im Gesundheitswesen, zur Schul- und Straßenbeleuchtung und nicht zuletzt in Privathaushalten zur Beleuchtung, Information und Unterhaltung sowie für Haushaltsgeräte.

Im folgenden konzentrieren wir uns auf die Anwendung von Strom in privaten Haushalten. Die Grenzen einer netzgebundenen, zentralen Energieversorgung erkennend stellen wir die Frage, ob es eine auf der Nutzung von Sonnenenergie basierende Lösung für die Elektrifizierung ländlicher Haushalte gibt. Diese Lösung muß den Kerzen und Kerosinlampen, den Trocken- oder Autobatterien für Radio und Fernsehen, wie sie in nicht-elektrifizierten ländlichen Haushalten benutzt werden, überlegen sein.

Solar-Home-Systeme im Kommen

Die Sonnenenergie – unerschöpflich, emissionsfrei, an jedem Platz der Erde erhältlich – spielte in der Diskussion über eine ländliche Energieversorgung zum ersten Mal nach der Ölpreiskrise in den späten 70ern eine Rolle. Heute, 20 Jahre später, sehen wir eine aufstrebende Solartechnik: das Solar-Home-System (SHS) – eine elektrische Energieversorgung für den einzelnen Haushalt durch die Nutzung von Sonnenlicht mittels Solarzellen.

Inzwischen hat sich eine Photovoltaik-Industrie entwickelt, die 1997 PV-Module mit einer elektrischen Nennleistung von mehr als 100 MW produzieren wird – bei einer jährlichen Wachstumsrate, die seit über einem Jahrzehnt etwa 15 % beträgt.

Ein PV-Modul mit einer Fläche von 0,5 m² liefert bei vollem Sonnenschein eine elektrische Leistung von ungefähr 50 W. Bei einer typischen Einstrahlung von 5 kWh/m² und Tag – das entspricht etwa fünf vollen Sonnenscheinstunden – produziert das Modul 0,25 kWh pro Tag.

Ist das PV-Modul mit einem elektrischen Energiespeicher („Autobatterie“) verbunden, kann es üblicherweise drei Leuchtstoffröhren, einen Schwarzweißfernseher und ein Radio täglich drei Stunden lang versorgen. Ein spezieller Laderegler muß die Batterie vor Tiefent- und Überladung schützen.

Chance für eine lokale Produktion

Die Kosten für ein SHS variieren derzeit zwischen 425 und 1.500 US\$; je nach Marktvolumen, Importzöllen und -steuer sowie dem Anteil der vor Ort produ-

Land	Bevölkerung (1993)	Ländliche Haushalte (Personen pro Haushalt)	Nicht-Elektrifizierungsgrad	Ländliche Haushalte nicht elektrifiziert
Kambodscha	10 Mio.	2,0 Mio. ⁽¹⁾	95 % ⁽²⁾	1,9 Mio.
Laos	5 Mio.	1,0 Mio. ⁽¹⁾	90 % ⁽²⁾	0,9 Mio.
Thailand	58 Mio.	9,7 Mio. ⁽³⁾ (4,46)	35 % ⁽⁴⁾	3,4 Mio.
Vietnam	71 Mio.	14,2 Mio. ⁽³⁾ (4,50)	90 % ⁽⁴⁾	12,8 Mio.
Yunnan (China)	37 Mio.	4,2 Mio. ⁽⁵⁾ (3,81) ⁽⁶⁾	39 % ^(4,7)	1,3 Mio.
Burma	45 Mio.	6,3 Mio. ⁽³⁾ (5,0)	96 % ⁽⁴⁾	6,0 Mio.
Malaysia	19 Mio.	2,4 Mio. ⁽³⁾ (4,21)	20 % ⁽⁴⁾	0,5 Mio.
Indonesien	187 Mio.	28,0 Mio. ⁽³⁾ (4,55)	78 % ⁽⁴⁾	21,8 Mio.

Tab. 1: Ländliche Elektrifizierung in Südostasien

⁽¹⁾ Daten für ländliche Haushalte nicht erhältlich. Annahmen: Anteil der ländlichen Bevölkerung: 90 % der Gesamtbevölkerung. Durchschnittliche Haushaltsgröße: 4,5 Personen.

⁽²⁾ Prozentualer Anteil der Gesamtbevölkerung ohne Zugang zu elektrischem Versorgungsnetz 1990, /1/

⁽³⁾ Anzahl an ländlichen Haushalten und durchschnittliche Familiengröße, /2/

⁽⁴⁾ Anteil der ländlichen Haushalte ohne Zugang zu elektrischem Versorgungsnetz 1989, /2/

⁽⁵⁾ Ländliche Bevölkerung in China: 43,5 % der Gesamtbevölkerung, /2/

⁽⁶⁾ Durchschnittlicher Wert für China, /2/

⁽⁷⁾ Durchschnittlicher Wert für die Provinzen Yunnan, Guishan und Sichuan /2/

	Kosten [\$]	Kosten [%]	Lebens- dauer [Jahren]	Kosten [\$] in 20 Jahren	Kosten [%] in 20 Jahren
PV-Modul (53 W)	200	47	20	200	28
Batterie (70 Ah)	40	9	4	200	28
Laderegler	35	8	10	70	10
Lampen, Kabel, Schalter	35	8	5	140	19
Transport, Installation, Gewinnspanne für Handel	75	18	-	75	10
Zölle, Steuern	40	10	-	40	5
Gesamt	425	100		725	100

Tab. 2: Kosten für ein Solar Home System in Indonesien

Die Daten in Spalte 1 und 2 sind aus [3] wiedergegeben. Sie gelten für die Situation in Indonesien und basieren auf jährlichen Verkäufen von 5.000 bis 6.000 SHS pro Hersteller sowie einer bescheidenen Annahme für zukünftige Preisreduktionen. Die Systempreise für 1996 lagen ungefähr 20 % höher als der in Spalte 1 angegebene Gesamtpreis.

Die Annahmen für die Lebensdauer in Spalte 3 entsprechen unseren eigenen (optimistischen) Erwartungen.

Wartungskosten sind in der Tabelle nicht enthalten.

zierten Komponenten. Das in Tab. 2 aufgezeigte Beispiel stammt aus Indonesien – bis heute einer der erfolgreichsten Märkte für SHS.

Die Kosten für SHS sind gegenüber dem Finanzierungsaufwand für den konventionellen Ausbau eines Stromversorgungsnetzes, der bei günstigsten Bedingungen in dicht besiedelten Gebieten in Asien mit 400 bis 600 US\$ pro Haushalt angegeben wird und der anderswo bis auf mehrere tausend US\$ steigen kann, weitaus günstiger.

Das Beispiel Indonesien zeigt: mehr als 50 % des Wertes eines SHS beruhen auf lokalen Leistungen. Die einzige Komponente, die importiert werden muß, ist das PV-Modul selbst. Aber auch die lokale Durchführung der letzten Produktionsschritte einer Modulfertigung – Modulmontage und -laminierung – kann in der nahen Zukunft übliche Praxis werden.

In Indonesien werden die SHS von dem größten Einzelhersteller des Landes über ein Abzahlungs-Angebot vermark-



Abb. 2: SHS-Pilotdorf Sukatani, Indonesien

tet. Dabei zahlt der Nutzer eine Anzahlung von 35 % der gesamten Investitionssumme von etwa 500 US\$, und monatliche Raten von rund 10 US\$ (über drei Jahre). Diese monatlichen Kosten sind mit den Kosten für Kerzen, Kerosin und Batterien vergleichbar. Die Zahlungen werden direkt an den lokalen Händler des Herstellers vorgenommen.

In ihrem Buch über eine Basisversorgung von ländlichen Haushalten mit elektrischer Energie gibt die *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)* folgende typischen monatlichen Ausgaben für Energie an [6]: Familien mit geringem Einkommen (20 % der ländlichen Haushalte) geben monatlich eine Summe von 4 US\$ aus, Familien mit mittlerem Einkommen (70 % der ländlichen Haushalte) geben 8,50 US\$ aus und Familien mit höchstem Einkommen können im Mittel knapp unter 20 US\$ ausgeben. Mit diesen sehr groben ökonomischen Annahmen ergibt sich genügend Raum für eine weite Verbreitung von SHS.

Erfolge und Probleme

Tab. 3 zeigt den aktuellen Stand der Verbreitung von SHS. Die absolute Zahl an bereits installierten SHS verdeutlicht: die Technik hat zweifelsohne die Forschungslaboratorien verlassen und auch die Phase regierungsfinanzierter Demonstrationsprojekte hinter sich gelassen. Sie befindet sich vielmehr in einem Stadium, in dem eine weiträumige Einführung unter realen Marktbedingungen stattfindet.

Erfolge und Mißerfolge beim Einsatz von SHS wurden in einigen von der *Weltbank* und der *GTZ* herausgegebenen Studien analysiert. Zusätzlich findet sich wertvolles Material in Veröffentlichungen von Lysen [7], Gregory und McNelis [8] sowie Hankins [9]. Alle Versuche zur Verbreitung von SHS haben die folgenden Probleme gemeinsam:

- Die **Investitionskosten** für ein SHS sind für die Familien auf dem Land zu hoch, um auf einmal aufgebracht werden zu können. Dieses Problem muß durch angemessene Finanzierungsprogramme überwunden werden. Banken haben jedoch meist nicht die weitver-

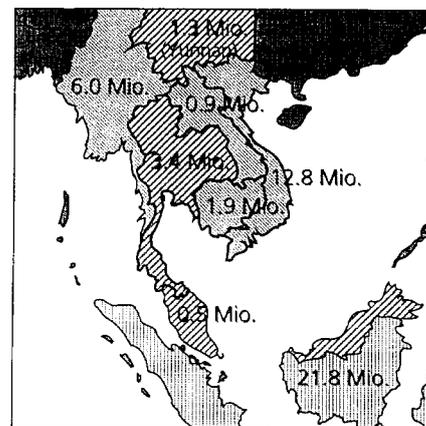


Abb. 1: Mehr als 20 Mio. Haushalte sind in Südostasien ohne Zugang zu einem Stromnetz

zweigte dezentrale Struktur, um zehntausende von Mikrokrediten handhaben zu können. Von besonderem Interesse ist deshalb die Erfahrung der *Grameen Bank*, der „Bank der Armen“ in Bangladesch. Sie hat kürzlich ein Kreditprogramm für 300.000 SHS angekündigt, das den 2 Mio. Mitgliedern der Bank offen steht.

- **Institutionelle Probleme** haben ihren Grund wohl in der Tatsache, daß dezentralisierte technische Lösungen bisher noch nicht allgemein akzeptierter Teil des Handwerks von Energieplanern der nationalen Regierungen oder Stromversorgungsunternehmen sind. Es wurde davon berichtet, daß SHS manchmal fälschlicherweise als Konkurrenz anstatt als Ergänzung zur Elektrifizierung durch Ausweitung des Stromnetzes betrachtet werden.
- **Soziale Probleme** kamen auf, wenn Nutzer nicht gründlich darüber informiert wurden, welche Dienstleistung ein SHS leisten kann und welche nicht. Waren die Erwartungen zu hoch und die Einführung für den Nutzer nicht ausreichend, führte die sich dar-

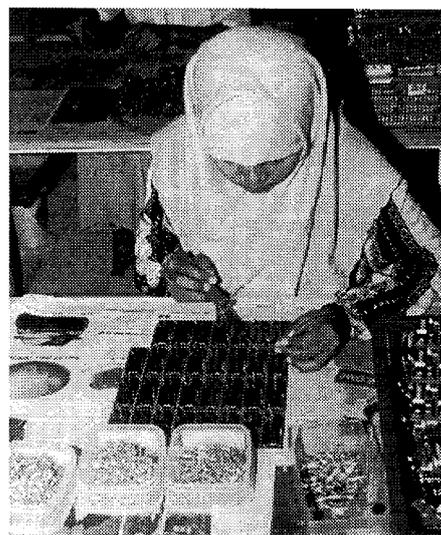


Abb. 3 Lokale Produktion von Lampen und Laderegler bei Fa. Sundaya in Indonesien

Land	Anzahl an SHS	Bemerkungen
Einige frühere Projekte		
Pazifische Inseln	mehrere Tausend	sehr frühes Programm in den 80ern; finanziert durch die französische Regierung und die EU
Philippinen	1.600	Demonstrationsprogramm; GTZ, in den 80ern
Dominikanische Rep.	4.000	Marktansatz, Beteiligung von Nichtregierungsorganisationen
Bolivien	1.500	Programm finanziert durch die EU und anderen; Schwerpunkt auf der Bildung einer lokalen Produktionskapazität
Die heute führenden Länder		
Indonesien	40.000	Privatwirtschaft unterstützt von der Regierung und einem Weltbank-Programm
Mexiko	35.000	Regierungsprogramm und Privatwirtschaft
Kenia	20.000 bis 40.000	Privatwirtschaft
China	20.000	Mongolei, Tibet, Qinghai; Regierungsprogramm, das Privatfinanzierung enthält; hauptsächlich 30Wp-SHS
In Vorbereitung befindliche Programme		
Indonesien	200.000	Weltbank, GEF
Bangladesch	300.000	Grameen Bank
Weltmarkt heute: 40.000 SHS jährlich entspricht 20 Mio. US\$		

Tab. 3: Verbreitung von Solar Home Systems in ausgewählten Ländern (1995)

aus ergebende Enttäuschung oft zu einer Nachlässigkeit bei den einfachsten Wartungsaufgaben und zu einer raschen Zerstörung der Anlage.

- Eine ausreichende **Infrastruktur**, nicht nur für die Herstellung und das Marketing von SHS, sondern auch für Reparatur und Wartung ist unentbehrlich für den Erfolg von Elektrifizierungsprogrammen mit SHS.
- **Technische Probleme** wurden in den meisten SHS-Programmen beobachtet. Eine inakzeptabel niedrige Lebensdauer von Batterien, Laderegler, Lampen und Schaltern muß durch Qualitätsprodukte und durch Qualitätssicherung bei der Komponentenherstellung, bei der Systeminstallation und durch eine ausreichende Instandhaltung vermieden werden.

Verbesserung der Lebensqualität

Es wurde oft argumentiert, daß die Einführung von SHS als eine Möglichkeit zur ländlichen Elektrifizierung keine Unterstützung durch Regierungen oder internationale Finanz- und technische Hilfsorganisationen verdient, weil die SHS nicht Anwendungen dienen, die im traditionellen Sinne produktiv sind.

Diese Position vernachlässigt bzw. unterschätzt jedoch die Vorteile, die eine weite Verbreitung von SHS mit sich bringt. Der bereits erwähnte Bericht der GTZ erläutert detailliert die Vorteile für den Nutzer, die als „Quantensprung“ für die Lebensqualität beschrieben werden können – aufgrund der Qualität des hellen, kontinuierlichen, rauchlosen elektrischen Lichts, das so viel besser ist als das Licht von Kerosinlampen.

Die Photovoltaik kann die Ungleichheit zwischen den elektrifizierten städtischen Gebieten und den nicht elektrifizierten ländlichen Räumen vermindern, weil sie auch auf dem Land den regelmäßigen Gebrauch von Radio und Fernsehen und damit einen „modernerer“ und „städtischeren“ Lebensstandard ermöglicht.

Die erfolgreiche Verbreitung von SHS, die wir gerade beobachten, verdankt sich mehrerer treibender Kräfte. In verschiedenen Ländern und unter den multilateralen Entwicklungsbanken erfolgt ein Politikwechsel: weg von regierungsfinanzierten Projekten hin zu einer Orientierung auf den Privatsektor und einer Beteiligung des Endnutzers bei der Finanzierung der Energieprojekte. Dezentrale Elektrifizierung mit SHS paßt perfekt in dieses Bild.

Außerdem bevorzugt ein global wachsendes ökologisches Bewußtsein den Einsatz erneuerbarer Energien. Und nicht zuletzt hat sich weltweit eine Photovoltaik-Industrie entwickelt, die ihre Anstrengungen verstärkt, um Märkte für ihre Produkte zu öffnen – und damit Arbeitsplätze für die Menschen in den industrialisierten Ländern sowie in den „Entwicklungsländern“ schafft.

Hansjörg Gabler, Jos Beurskens

Literatur

- /1/ Asian Development Bank: Energy Indicators of Developing Member Countries of ADB (1992)
- /2/ Ramani, Islam, Reddy (Hrsg.): Rural Energy Systems in the Asia-Pacific. Published by: Asian and Pacific Development Centre, P.O. Box 12224, Pesiaran Duta, Kuala Lumpur, Malaysia and GTZ, Germany (1993)
- /3/ Asia Alternative Energy Unit ASTAE: Best Practices for Household Electrification Programs: Lessons from Experiences in Selected Countries. World Bank Technical Paper, Number 324 (1996)
- /4/ Gerald Foley: Electricity for Rural People. Panos Publication Lmt., 9 White Lious Street, London N1 9PD, UK (1990)
- /5/ Gerald Foley: Photovoltaic Applications in Rural Areas of the Developing World. World Bank Technical Paper, Number 304 (1995)
- /6/ GTZ: Basic Electrification of Rural Households. Deutsche Ges. für Technische Zusammenarbeit GTZ GmbH, 65726 Eschborn, Germany (1995)
- /7/ E. H. Lysen: Photovoltaics in the South. 12th European Solar Energy Conference (1994), Amsterdam, The Netherlands
- /8/ J. A. Gregory and B. McNelis: Non-Technical Barriers to the Commercialisation of PV in Developing Countries. First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (1994), Hawaii
- /9/ Mark Hankins: Solar Electric Systems for Africa. Commonwealth Science Council, Marlborough House, Pall Mall, London SW1Y 5HX, UK (1995)

Über die Autoren:

Dr. *Hansjörg Gabler* ist Leiter der Abteilung „Photovoltaische Systeme und Meßtechnik“ am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg. *Dipl.-Ing. Jos Beurskens* ist Leiter des Bereiches „Erneuerbare Energien“ in der Niederländischen Energie Forschung Stiftung ECN in Petten.

Übersetzung aus dem Englischen:
Joachim Berner

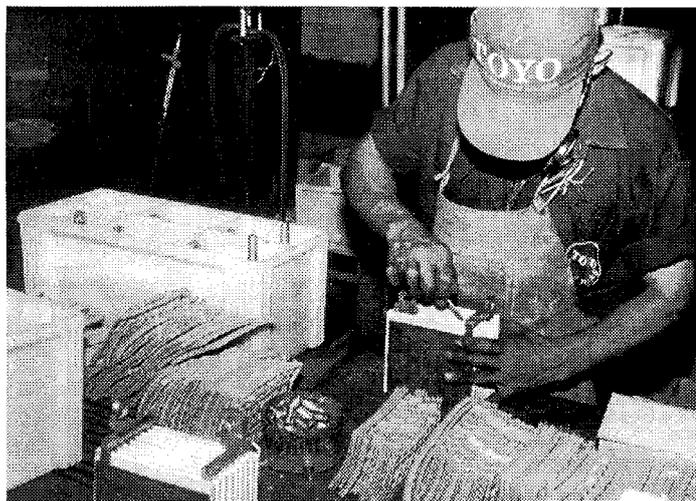


Abb. 4: Lokale Produktion von Solarbatterien bei Fa. BATEBOL in Bolivien