

PV in Lehre und Forschung

Die PV-Anlage der Universität Potsdam

von E. Schmeer, A. Liermann, W. Severin, W. Thiele

Am Institut für Berufspädagogik/Berufliche Fachrichtungen Elektro- und Metalltechnik der Universität Potsdam werden Studiengänge für das Lehramt Sekundarstufe II, berufliches Schulwesen, in den beruflichen Fachrichtungen Elektro- und Metalltechnik durchgeführt. Ein Schwerpunkt im Rahmen der anwendungsorientierten Forschung stellt der Bereich der regenerativen Energien dar. Zur Realisierung von Forschungs-, Lehr- und Demonstrationsaufgaben wurde deshalb eine PV-Anlage errichtet.

Das Bewußtsein zur Nutzung regenerativer Energien und die damit verbundenen Maßnahmen zur Erhaltung einer besseren Umwelt müssen in verstärktem Maße in die allgemeine und berufliche Bildung eingebracht werden.

Im DGS-Fachausschuß Aus- und Weiterbildung wurde bereits über die Anwendung überarbeiteter Unterweisungspläne mit solartechnischen Schwerpunkten für die überbetriebliche berufliche Bildung in der handwerklichen Berufsausbildung der Elektroinstallateure, der Gas- und Wasserinstallateure und der Zentralheizungs- und Lüftungsbauer diskutiert [1]. Eine bessere Zusammenarbeit zwischen der berufsbildenden Schule, den überbetrieblichen Ausbildungsstätten und der Lehrerbildung für berufsbildende Schulen könnte das Anliegen der fachlichen Qualifizierung in diesen Berufsbereichen unterstützen.

Im Zusammenhang mit der Aufnahme von solartechnischen Ausbildungsinhalten in vorhandene Berufsbilder muß aber auch an die Entwicklung neuer Berufsbilder gedacht werden. So soll an dieser Stelle die Entwicklung eines Berufsbildes zum So-

larmechaniker bzw. Solarmechatroniker vorgeschlagen werden.

Aufbau und Funktionsweise der PV-Anlage

Die PV-Anlage der Universität Potsdam besteht im wesentlichen aus einem feststehenden Anlagenteil mit einer Gesamtfläche von ca. 50 m² und einem der Sonne nachgeführten Anlagenteil mit einer Gesamtfläche von ebenfalls ca. 50 m² (Abb. 1). Die Gesamtleistung der Anlage beträgt ca. 7,5 kW_p, davon 7 kW_p im Netzparallelbetrieb und 0,5 kW_p im Inselbetrieb.

Der **feststehende Anlagenteil** ist unter einem Neigungswinkel von 45° nach Süden ausgerichtet und mit zwei verschiedenen Solarzellentypen bestückt (M55-Module von Siemens und PS184 MC180-Module von Nukem). Bei den M55-Modulen (im folgenden Siemens-Module genannt) handelt es sich um monokristalline Silizium-Solarzellen mit einer Nennleistung von 53 W_p pro Modul. Das ergibt bei 50 installierten Modulen eine Gesamtleistung von 2.650 W_p bei einer Modulfläche von 21,5 m².

Die zwölf eingesetzten PS184 MC180-Module (Nukem-Module) bil-

den eine Modulfläche von 22,1 m². Es handelt sich um Metall-Isolator-Silizium-Inversionsschicht-Solarzellen mit einer Nennleistung von 180 W_p pro Modul. Das ergibt eine Gesamtleistung von 2.160 W_p.

Abb. 2 zeigt den detaillierten Aufbau der feststehenden Siemens-Anlage. Je fünf Module sind zu einer Modulgruppe mit einer Nennspannung von 87 V zusammengeschaltet. Vier dieser Modulgruppen parallel geschaltet ergeben einen Nennstrom von 13 A. Die so gebildeten Modulgruppen mit positivem und negativem Potential ergeben bei entsprechender Schaltung eine Nennspannung von 175 V am Eingang des Wechselrichters. Zum Einsatz kommt der Siemens-Wechselrichter PV-V 2500 mit einer Nennleistung von 2.500 W. Der von den 40 Modulen erzeugte Strom wird in das öffentliche Stromversorgungsnetz eingespeist (Netzparallelbetrieb).

Zehn der Module mit einer Nennleistung von 530 W_p werden ausgekoppelt und dienen der Demonstration des Inselbetriebs im Kleinspannungsbereich mit Batteriepuffer (Abb. 3). Die Verschaltung zu zwei Modulgruppen mit je fünf parallel geschalteten Modulen ergibt eine Nennspannung von 35 V und einen Nennstrom von 16 A. Die Batterieanlage besteht aus gasdichten Bleiakumulatoren mit einer Gesamtkapazität von 500 Ah und einer Systemspannung von 24 V.

Abb. 4 zeigt den Aufbau der Nukem-Anlage. Die Nukem-Module enthalten vier extern parallel oder in Serie schaltbare Stringgruppen. Jeweils sechs dieser Stringgruppen, das entspricht anderthalb Modulen, sind in Reihe geschaltet. Die so entstandenen Strings mit einer Nennspannung von 110 V sind parallel geschaltet und ergeben einen Nennstrom von 20 A. Der erzeugte Strom wird ebenfalls in das öffentliche Netz eingespeist. Dies geschieht über einen netzgeführten Wechselrichter PV-V 2100 (Deutsche Aerospace AG) mit einer Nennleistung von 1.800 W.

Auf der **nachgeführten Anlage** sind 48 der bereits beschriebenen Siemens-Module mit einer Gesamtleistung von 2.544 W_p und einer Modulfläche von 20,6 m² installiert. Zur Steigerung der Energieausbeute sind außerdem 48 Booster-Spiegel angebracht, die zusätzlich Sonnen-

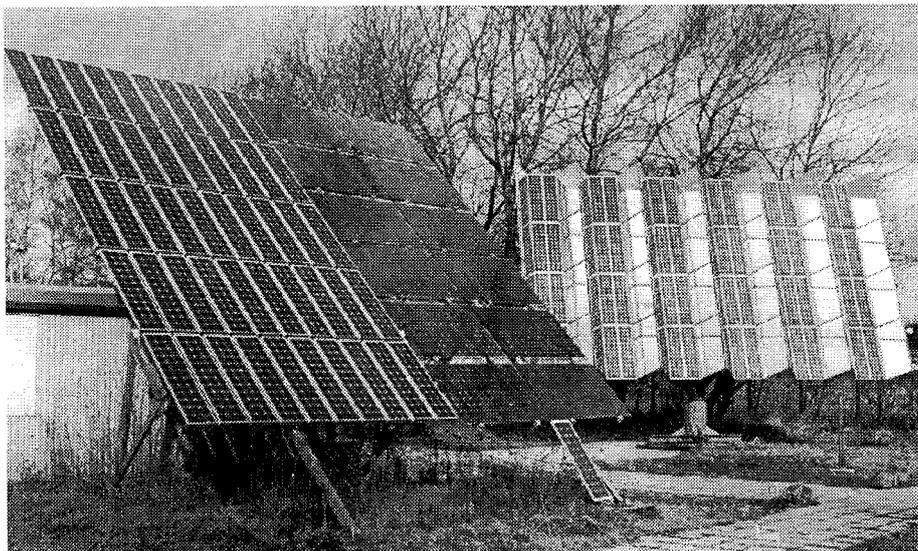


Abb. 1: Ansicht der PV-Anlage an der Universität Potsdam

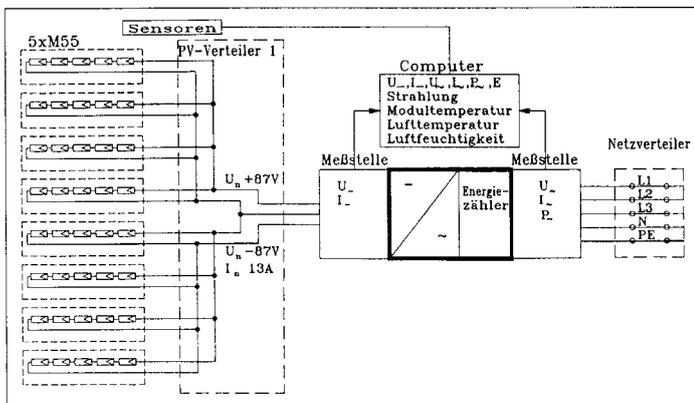


Abb. 2: Aufbau der feststehenden Siemens-Anlage

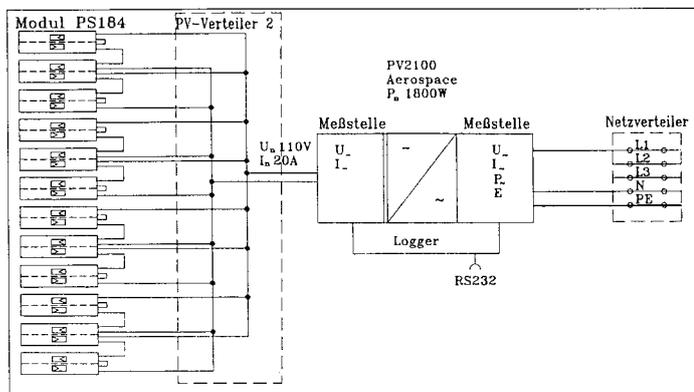


Abb. 4: Aufbau der Nucom-Anlage

licht auf die Solarmodule reflektieren. Die Booster-Spiegel haben eine Größe von je 0,9 m² und stehen in einem Winkel von 120° zu den Modulflächen.

Solarzellen und Spiegel sind auf einer zweiachsigen Nachführeinrichtung montiert, die es ermöglicht, die Anlage sowohl dem Azimut- als auch dem Höhenwinkel der Sonne nachzuführen.

Grundlage für die Steuerung der Nachführeinrichtung bildet die für den geographischen Standort der Anlage berechnete Jahressonnenbahn. Abhängig von Datum und Tageszeit wird die Anlage dem berechneten Sonnenstand im Abstand von ca. 16 Minuten, das entspricht ca. 4° (Azimut), nachgeführt (Festwertsteuerung). Der Antrieb der Nachführeinrichtung erfolgt mit Hilfe von Frequenzumrichter-motoren. Bei trübem Wetter wird die Anlage nur dem Azimut nachgeführt. Der Neigungswinkel der Anlage wird nicht verändert. Er ist auf 45° eingestellt. Bei Sturm wird die Anlage aus Sicherheitsgründen in eine waagerechte Position gefahren.

Abb. 5 zeigt den detaillierten Aufbau der nachgeführten Anlage. Jeweils sechs Module sind hintereinander geschaltet und bilden eine Modulgruppe. Je drei parallelgeschaltete Modulgruppen bilden den ersten und zweiten Strang mit einer Leistung von jeweils 945 W_p. Der dritte Strang wird aus zwei parallelgeschal-

ten Modulgruppen gebildet und weist eine Leistung von 636 W_p auf. Jeder dieser drei Stränge speist über einen eigenen SMA-Wechselrichter PV-WR 1800 in das öffentliche Netz ein.

Die zum Betrieb der Anlage notwendige Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik sowie die technische Ausrüstung zur Meßwerterfassung sind in einem separaten Containergebäude untergebracht. In diesem befinden sich in einem abgeschlossenen und belüfteten Raum auch die Batterien der Inselanlage.

Die Meßtechnik

Gemessen werden anlagenspezifische (Gleichspannung und -strom im PV-Generatorfeld, Wechselspannung und -strom, Wirkleistung, Energie und Modultemperatur) und meteorologische Meßgrößen (Einstrahlung, Außentemperatur, Luftfeuchtigkeit und Benetzung).

Die Erfassung der Gleich- und Wechselstromgrößen ist notwendig, um das Verhalten der Wechselrichter genauer zu studieren, die für eine möglichst verlustfreie Wandlung von Gleich- in Wechselspannung verantwortlich sind. Die Bestimmung einer optimalen Anpassung der Anlagenkomponenten unter verschiedenen Betriebsbedingungen zählt zu den interessanten Problemstellungen bei der wissenschaftlich-technischen Betreuung von PV-Anlagen.

Bei den meteorologischen Einflußfaktoren ist der Komplex der Strahlungsmessungen besonders wichtig, weil auf dieser Basis eine

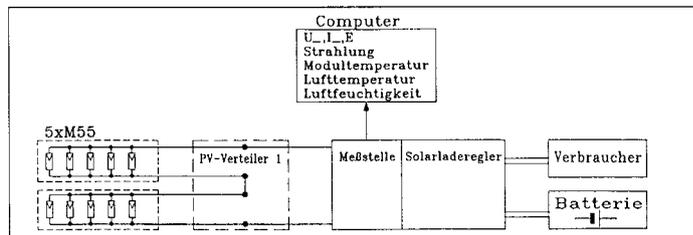


Abb. 3: Aufbau des Anlagenteils im Inselbetrieb

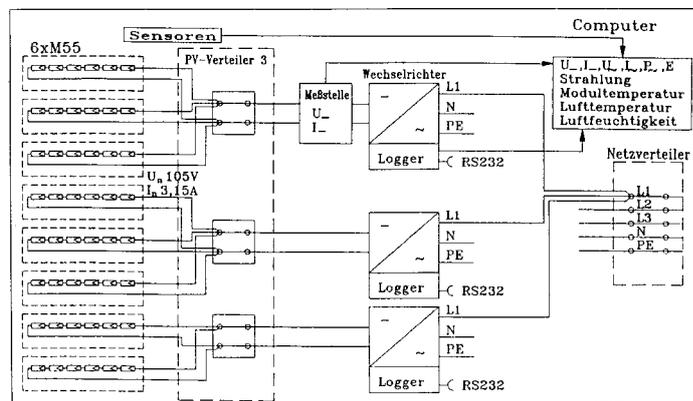


Abb. 5: Aufbau der nachgeführten PV-Anlage

Berechnung von Wirkungsgraden für die Anlagenteile möglich wird.

Aus der Darstellung des Aufbaus der PV-Anlage ging bereits hervor, daß sie jeweils aus mehreren Anlagenteilen besteht. Diese Anlagenteile sind vergleichbar aufgebaut, haben jedoch Ausstattungskomponenten verschiedener Hersteller. Damit werden vergleichende Betrachtungen möglich. Die meßtechnische Ausrüstung ist jedoch nicht in allen Teilen der Anlage identisch.

Die Erfassung der verschiedenen Kenngrößen erfolgt mit zusätzlich installierten Sensoren und Meßwandlern. Aber auch die in den Wechselrichtern bereits vom Hersteller eingebauten Meßeinrichtungen liefern wichtige Meßdaten.

Die Gleichstrom- und Gleichspannungsmessungen erfolgen unter Verwendung industrieller Meßwandler. Zur Ankopplung an ein rechnergestütztes Meßdaten-Erfassungssystem liefern diese Meßwandler die in der Meßtechnik üblichen Ausgangssignale.

Die meßtechnische Ausstattung der Wechselrichter erlaubt es ebenfalls die Gleichspannung im Generatorteil zu erfassen. Der Schwerpunkt der Messungen liegt hier jedoch bei den Wechselgrößen.

Zur Messung der Energiebeträge verwenden wir handelsübliche Wechselstromzähler, die in verschiedenen Anlagenteilen zum Einsatz kommen.

Für die Strahlungsmessungen kommen zwei Systeme zum Einsatz. Die Einstrahlung in der Horizontalen sowie in der Modulebene wird jeweils mit PHAR 2.1-Sensoren und mit CM11-Sensoren gemessen.

Mit Pt 100- Elementen werden die unterschiedlichen Temperaturmessungen realisiert.

Die Datenerfassung

Derzeit steht kein zentrales Meßdatenerfassungssystem zur Verfügung, obwohl das sicher die günstigste Lösung aus der Sicht des Experimentators wäre. Begründet durch die Entstehungsgeschichte der Anlage kommen unterschiedliche Datenerfassungs-Varianten zum Einsatz. Dieser Umstand hat aber positive Aspekte im Hinblick auf die Nutzung der PV-Anlage als Schulungs- und Demonstrationsanlage.

Die nachgeführte Anlage ist bereits vom Hersteller mit einem Computer ausgerüstet, der für die Erfassung, Auswertung, Präsentation sowie Dokumentation der Meßdaten zuständig ist. Im Abstand von vier Minuten erfaßt und speichert das System die jeweils vorhandenen Momentanwerte. Parallel zu den Messungen können auch Auswertungen der aufgenommenen Meßwerte am Monitor betrachtet werden.

Es ist ein komplettes Auswertungs- und Präsentationsprogramm vorhanden, das auch auf die Spezifika einer PV-Anlage ausgerichtet ist.

Neben dieser Variante kommen zugleich Datenlogger zum Einsatz, die über einige Wochen hinweg die Daten von Sensoren aufzeichnen. Vor allem für die Erfassung der meteorologischen Daten eignen sich diese Geräte, weil es auch bei unterschiedlichen Versuchen zur Betriebsweise der Anlage ein Interesse an der kontinuierlichen Aufzeichnung dieser Werte gibt.

Die zusätzlich in die Anlagen eingebauten Meßwandler werden bei Bedarf direkt mit einem Computersystem abgefragt. Hier hat sich ein Macintosh-Computer bewährt, der für diese Meßaufgaben mit einer Multifunktionskarte ausgerüstet worden ist. Er kann gleichzeitig einer große Zahl von Meßkanälen bedienen. Mit einem grafischen Programmiersystem lassen sich in kurzer Zeit spezielle Computerprogramme für eine Versuchsdurchführung erstellen.

LabView für Macintosh hat sich in dieser Hinsicht als ein sehr flexibles und leistungsfähiges Programmiersystem bewährt. Mit diesem Programmiersystem wurden einige Standardprogramme für die Beobachtung des zeitlichen Verlaufes von Meßgrößen geschaffen.

So sind Kurzzeitmessungen im Bereich weniger Millisekunden möglich, um Schalt- oder Einstellvorgänge zu beobachten. Langzeitmessungen, die sich über Wochen oder Monate erstrecken, bereiten dem Meßsystem

ebenfalls keine Schwierigkeiten. Bei Langzeitmessungen kann bereits während der Meßdatenaufnahme eine Umrechnung oder Reduktion der Daten erfolgen. Zusätzlich ist die Visualisierung der Prozesse möglich.

Alle Meßdaten, die von den Wechselrichtern mit ihrer integrierten Meßtechnik erfaßt und von integrierten Loggern gespeichert werden, gelangen per serieller Übertragung in einen Rechner. Die Geräte sind werkseitig so eingestellt, daß sie alle 15 Minuten einen Mittelwert der Meßgröße über dieses Intervall abspeichern. Die Speicherkapazität der Logger macht eine selbständige Arbeit von etwa drei Wochen möglich.

Für alle dargestellten Varianten der Erfassung von Meßdaten gilt weiterhin, daß sie eine Schnittstelle für die Datenfernübertragung von Meßdaten aufweisen. Die Daten können jederzeit per Modem abgefragt oder anderen Partnern im Rahmen gemeinsamer Arbeiten zur Verfügung gestellt werden.

Angesichts der unterschiedlichen Fragestellungen bei der Auswertung der Daten kommen einige Spezialprogramme und überwiegend Standardprogramme zum Einsatz. Unter Verwendung der in diesen Programmen integrierten Makrosprachen wird versucht, anfallende Routinearbeiten effizienter zu gestalten.

Erste Ergebnisse

Für die Jahre 1995 und 1996 liegen für die PV-Anlage komplette Meßwertreihen vor. Tab. 1 zeigt die Energiebilanz für beide Jahre.

Angegeben sind die Energien (AC) für die drei Anlagenteile: die feststehende Anlage bestückt mit Siemens-Modulen M55, die feststehende Anlage bestückt mit Nukem-Modulen PS 184 MC 180 und die der Sonne nachgeführte Anlage bestückt mit Siemens-Modulen M55 und Booster-Spiegeln.

Außerdem sind die von allen drei Anlagenteilen erzeugten Energien (AC), die ins Netz eingespeiste Energie und der Eigenbedarf der gesamten Anlage angegeben. Zum Eigenbedarf zählen z.B. der Energiebedarf der Meßtechnik, der Wechselrichter und der Steuerung der nachgeführten Anlage.

1995 ergab sich aufgrund der günstigeren Witterungsverhältnisse insgesamt eine bessere Ausbeute als 1996. Bei der nachgeführten Anlage traten allerdings 1995 einige Störungen auf. Dadurch ergibt sich eine geringere Ausbeute als 1996. Ebenfalls dargestellt sind die auf 1 m² Modulfläche bezogenen Energieerträge.

Die feststehende Siemens-Anlage lieferte pro Jahr bezogen auf 1 m² Modulfläche ca. 40% mehr Energie als die feststehende Nukem-Anlage. Nach Datenblatt haben die m-Si-Zellen M55 eine um ca. 26% höhere Ausbeute pro m² Modulfläche als die MIS-Solarzellen PS 184 MC 180. Wegen der besseren Vergleichbarkeit sollten ursprünglich Nukem-Module PS 184 MC 204 mit einer höheren Nennleistung bei gleicher Modulfläche eingesetzt werden. Die Module konnten aber während des Baus der Anlage wegen großer Nachfrage nicht rechtzeitig geliefert werden. Um die Fertigstellung der gesamten Anlage nicht zu gefährden, wurde auf die leistungsschwächeren Module zurückgegriffen.

Für die nachgeführte Anlage mit Siemens-Modulen ergibt sich bezogen auf 1 m² Modulfläche eine um ca. 45% höhere Ausbeute als bei der feststehenden Anlage mit Siemens-Modulen (ohne Berücksichtigung der Zeiten mit Ausfällen der Steuerung der nachgeführten Anlage). Der Mehrertrag ist sowohl auf die Nachführung als auch auf den Einfluß der Booster-Spiegel zurückzuführen. Ein Vergleich der nachgeführten Anlage mit der feststehenden Anlage mit Nukem-Modulen ergibt eine ca. doppelt so hohe spezifische Ausbeute.

Abb. 6 zeigt die 1996 erzeugte elektrische Energie (AC) für die drei Anlagenteile, aufgeschlüsselt auf die einzelnen Monate. Zum besseren Vergleich der Anlagen untereinander wurden die Energien auf 1 m² Modulfläche bezogen. Der typische jahreszeitliche Verlauf in Abhängigkeit von den Strahlungsverhältnissen ist gut erkennbar.

In Tab. 2 sind die Monatssummen der erzeugten elektrischen Energie (AC) bezogen auf 1 m² Modulfläche der Anlagenteile zusammengestellt.

Tab. 3 zeigt den Vergleich der drei Anlagenteile untereinander. Angege-

	Energie in kWh		spez. Energie in kWh/m ²	
	1995	1996	1995	1996
festst. Anlage (Siemens)	1.850	1.690	108	99
festst. Anlage (Nukem)	1.720	1.570	78	71
nachgef. Anlage (Siemens)	2.800	2.940	137	144
Gesamt	6.370	6.200	107	104
ins Netz	5.210	5.260		
Eigenbedarf	2.480	2.160		

Tab. 1: Energiebilanz der Anlagenteile für 1995 und 1996

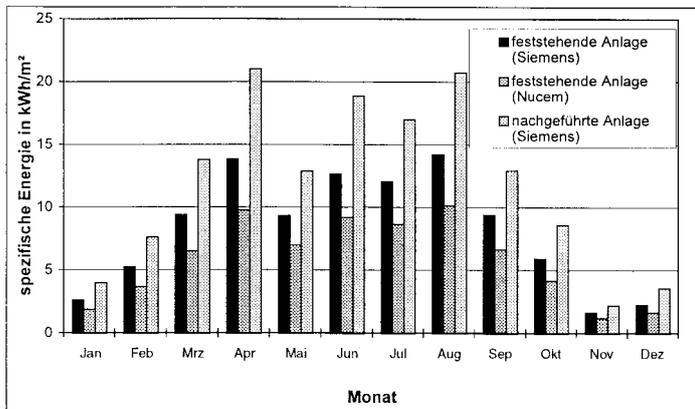


Abb. 6: Monatssummen der ins Netz eingespeisten elektrischen Energie 1996 (bezogen auf 1 m² Modulfläche)

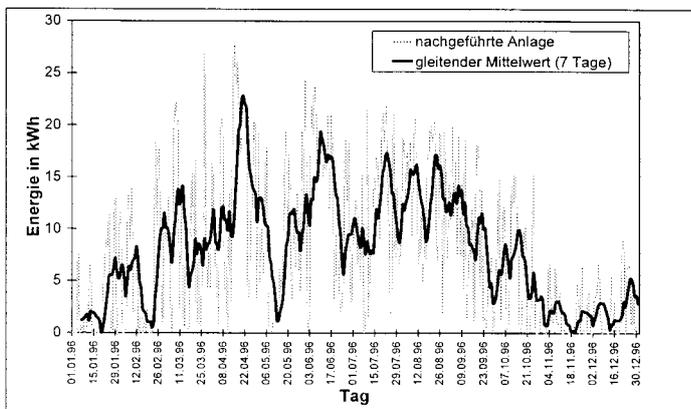


Abb. 7: Jahresgang der ins Netz eingespeisten elektrischen Energie der nachgeführten Anlage 1996

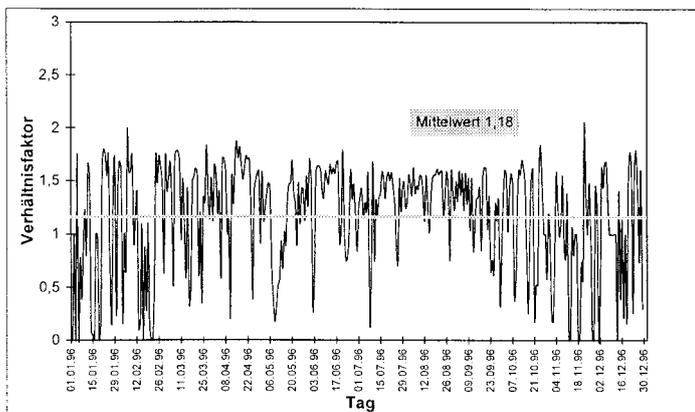


Abb. 8: Verhältnis der Energieausbeuten der nachgeführten und der feststehenden Anlage (Siemens) 1996 (bezogen auf 1 m²)

ben sind die Verhältnisse der Monatssummen der erzeugten elektrischen Energie (AC) bezogen auf 1 m² Modulfläche. Die Größe der Mehrerträge der nachgeführten Anlage im Vergleich zu den feststehenden Anlagen schwankt um die angegebenen Mittelwerte und ist im wesentlichen vom Anteil der direkten Solarstrahlung an der Gesamtstrahlung in dem entsprechenden Monat abhängig. Andere Wetterfaktoren, wie die Temperatur, spielen auch eine Rolle.

	festst. Anlage (Siemens)	festst. Anlage (Nukem)	nachgef. Anlage (Siemens)
Jan	2,624	1,895	3,999
Feb	5,261	3,682	7,661
Mrz	9,438	6,545	13,838
Apr	13,872	9,787	21,055
Mai	9,379	7,033	12,935
Jun	12,671	9,240	18,892
Jul	12,097	8,688	17,017
Aug	14,288	10,185	20,776
Sep	9,449	6,689	12,979
Okt	5,952	4,184	8,647
Nov	1,675	1,244	2,231
Dez	2,302	1,687	3,594
1996	99,010	70,859	143,623

Tab. 2: Monatssummen der erzeugten elektrischen Energie [kWh/m²] der Anlagenteile 1996 (Energieausbeute bezogen auf 1 m² Modulfläche)

Will man detailliertere Einblicke in den Energieertrag erhalten, kann man z.B. den Jahresgang der Tagesenergieerträge heranziehen. Abb. 7 zeigt diesen für die nachgeführte Anlage. Die teilweise stark schwankenden Energieerträge in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen sind gut erkennbar. Zusätzlich eingezeichnet ist ein gleitender Mittelwert über sieben Tage.

Zieht man diese Tagesenergieerträge für einen Vergleich der Anlagenteile heran, erhält man Abb. 8. Dargestellt ist das Verhältnis der spezifischen Energieausbeuten pro Tag der nachgeführten und der feststehenden Siemens-Anlage.

Bei gleicher Energieausbeute würde sich ein Verhältnisfaktor von 1 er-

	nachgef./festst. A. (Siemens)	nachgef./festst. A. (Nukem)	festst. Siemens/Nukem-A.
Jan	1,52	2,11	1,38
Feb	1,46	2,08	1,43
Mrz	1,47	2,11	1,44
Apr	1,52	2,15	1,42
Mai	1,38	1,84	1,33
Jun	1,49	2,04	1,37
Jul	1,41	1,96	1,39
Aug	1,45	2,04	1,40
Sep	1,37	1,94	1,41
Okt	1,45	2,07	1,42
Nov	1,33	1,79	1,35
Dez	1,56	2,13	1,36
Max.	1,56	2,15	1,44
Min.	1,33	1,79	1,33
Mittel	1,45	2,02	1,39

Tab. 3: Verhältnis der Energieausbeuten der Anlagenteile (bezogen auf 1 m² Modulfläche)

geben. Zu erwarten ist eine deutlich bessere Ausbeute der nachgeführten Anlage und damit ein Wert für den Verhältnisfaktor von über 1. Der Vergleich zeigt Spitzenwerte von ca. 2. Die nachgeführte Anlage liefert also

Was Sie von einem Solarspeicher heute erwarten können?

- Keine Legionellen-Keime durch Durchlauferhitzer-Prinzip
- Sehr gute Umweltverträglichkeit von der Herstellung bis zur Entsorgung
- Sofort warmes Wasser durch neuartiges Schichtensystem
- Heizungsunterstützung mit serienmäßigem Heizungswärmetauscher

CONUS 500 Der Solarspeicher
s. a. Bericht in Sonnenenergie 6/95

Consolar Energiespeicher- und Regelungssysteme GmbH, Dreieichstraße 48
D-60594 Frankfurt am Main Telefon: 069-6199-11-29 Telefax: 28

spezifisch mehr als doppelt so viel Energie wie die feststehende Anlage. Es ergeben sich aber auch sehr häufig Werte weit unter 1 für den Verhältnisfaktor, d.h. die nachgeführte Anlage ist wesentlich schlechter als die feststehende Anlage.

Bei genauerer Betrachtung kann man feststellen, daß eine nachgeführte Anlage bei schönem Wetter (hoher Anteil an direkter Strahlung) deutliche Vorteile gegenüber einer feststehenden Anlage zeigt. An Tagen mit einem hohen Anteil an diffuser Strahlung kann eine nachgeführte Anlage gegenüber einer feststehenden Anlage auch geringere Erträge erbringen.

Bei der Art dieses Vergleichs erreicht die nachgeführte Anlage im Jahresmittel im Vergleich mit der feststehenden Siemens-Anlage spezifisch einen um den Faktor 1,18 höheren Ertrag und im Vergleich mit der feststehenden Nukem-Anlage einen um den Faktor 1,60 höheren spezifischen Ertrag.

Ursachen für den teilweise schlechten Ertrag der nachgeführten Anlage sind insbesondere:

- die hohe Störanfälligkeit der Steuereinrichtung und dadurch bedingte Ausfälle in der Nachführung (Probleme mit dem Steuerrechner und mit den Frequenzumrichtern für die Nachführantriebe),
- die nicht optimal eingestellte Steuerung (die Nachführung erfolgt beispielsweise auch bei minimaler Einstrahlung; dadurch steigt der Eigenverbrauch der Anlage),
- die schlechte Abstimmung zwischen der Solargeneratorleistung und der Wechselrichterleistung (bei geringer Einstrahlung kaum Energieeinspeisung ins Netz).

Maßnahmen zur Verbesserung der Energieausbeute der nachgeführten Anlage wurden bereits eingeleitet.

Detailliertere Untersuchungen, z.B. zu den erzeugten Energien (DC), den Wirkungsgraden der Solarzellen und der Wechselrichter, dem Einfluß der Booster-Spiegel und ein Vergleich mit einer einachsigen nachgeführten Anlage sind in Bearbeitung.

Forschungskooperationen

Im Rahmen unserer Arbeit ist der Erfahrungsaustausch mit Betreibern vergleichbarer PV-Anlagen von Bedeutung.

Anläßlich des Hansgrohe Umweltforums 1995 in Offenburg, bei dem ein Erfahrungsaustausch mit Fachleuten aus Hochschulen, Kommunen und Energieberatungsstellen durch-

geführt wurde, konnte eine Kooperation bezüglich der vergleichenden Analyse der Meßtechnik und von Meßwtergebnissen angebahnt werden.

Das Hansgrohe Solarkraftwerk ist mit monokristallinen Solarzellen der Firma *Siemens* belegt und wird aufgrund einer berechneten Jahreslinie dem jeweiligen Sonnenstand nachgeführt (6,6 kW_p) /2/.

Parallel dazu wurde eine mit identischen Elementen aufgebaute netzgekoppelte PV-Anlage mit ebenfalls 6,6 kW_p auf dem Dach einer Fertigungshalle in Südrichtung und mit einem Neigungswinkel von 30° fest installiert.

Beide Anlagenteile der Hansgrohe PV-Anlage bieten aufgrund der vergleichbaren Größe mit den beiden Anlagenteilen der PV-Anlage der *Universität Potsdam* gute Vergleichsmöglichkeiten, die nach einer ungefähr gleichen Betriebszeit (seit Jahresmitte 1994) wissenschaftlich fundierte Meßergebnisse für einen Standort im südlichen und für einen Standort im nördlichen Teil der Bundesrepublik erwarten lassen.

Ein weiterer Kontakt wurde mit dem *Diakonischen Werk Berlin-Brandenburg e.V.* in Berlin-Steglitz angebahnt, das auf dem Dach des Hauses der Diakonie eine feststehende PV-Anlage errichtet hat. Die Anlagengröße umfaßt 10 kW_p. Die Module (M 55 von *Siemens*) sind auf 136 m² Dachfläche mit einer Neigung von 30° angeordnet. Die Anlage wurde von der Senatsverwaltung für Wirtschaft und Technologie Berlin gefördert. Bestandteil der Förderung war eine einjährige wissenschaftliche Begleituntersuchung /3/. Die PV-Anlage ist seit Mitte des Jahres 1993 in Betrieb und hat bei geringen Ausfallzeiten, die durch Steuerungsprobleme bei der Betriebsführung des Wechselrichters bedingt waren, einen weitgehend störungsfreien Verlauf zu verzeichnen.

Ebenso bestehen Verbindungen zu der *Energieversorgung Schwaben*. Deren PV-Anlage in Laichingen diente als Anregung für den Aufbau der Anlage an der *Universität Potsdam*.

Die Laichinger Gesamtanlage besteht aus zwei feststehenden Teilanlagen und einer dem Sonnenstand nachgeführten Teilanlage. Von den beiden feststehenden Anlagen sind auf der ersten Anlage die Module (*Telefunken*) unter 45° nach Süden ausgerichtet und liefern eine Leistung von 2 kW_p. Bei der zweiten Anlage sind die Module (*Siemens*) in südlicher Ausrichtung zwischen 30° und 45° verstellbar angeordnet /4/. Diese Anlage ist bereits seit Mitte des Jahres 1990 in Betrieb.

Perspektiven zur Weiterentwicklung

Im Rahmen der anwendungsorientierten Forschung ist die Erprobung effizienterer Solarzellentypen vorgesehen. Insbesondere bietet sich der Test von Solarzellen an, die nach Verfahren der Dünnschichttechnologie auf Siliziumbasis oder auf der Basis von Kupfer-Indium-Diselenid/Disulfid hergestellt werden.

Aufgrund einer Kooperation mit der *Gesellschaft für Solartechnologie* in Frankfurt (Oder) besteht die Möglichkeit, Prototypen von neuentwickelten CIS-Zellen, die nach einem besonderen Herstellungsverfahren auf ein Trägermaterial aus Kupferbändern aufgebracht werden, in nächster Zeit unter Realbedingungen zu erproben.

Mit diesem Konzept ist die Herstellung kostengünstiger und mit einem entsprechend guten Wirkungsgrad ausgestatteter Solarzellen geplant. Durch die Anwendung von Bänder-solarzellen ist eine größere Verbreitung der Photovoltaik im Rahmen der Solararchitektur vorgesehen, so daß bei einer Produktionsaufnahme unter Berücksichtigung einer entsprechenden Jahreskapazität weitere Kostenreduzierungen zu erwarten sind. Damit wäre ein Beitrag zu einer umfangreicheren Nutzung von Solarenergie durch PV-Anlagen geleistet.

Literatur

- /1/ Berner, J.; Lambrecht, K.: Sonne in die berufliche Bildung. In: *Sonnenenergie*, 21. Jg. (1996), Heft 4, S. 15
- /2/ Prösler, M.: Das Hansgrohe Solarkraftwerk. Ein Erfahrungsbericht. In: *Sonnenenergie*, 21. Jg. (1996), Heft 5, S. 38-39
- /3/ Knoch, A.; Schirmeier, B.: Ökologische Bewirtschaftung des Hauses der Diakonie, insbes. Photovoltaik-Anlage. Projektbericht 1994. Diakonisches Werk Berlin-Brandenburg e.V.
- /4/ Energieversorgung Schwaben (Hrsg.): Technische Beschreibung der Anlagen-2 Laichingen: Photovoltaik. EVS Stuttgart, K-UG.Hum.02/91

Weitere Literatur

- /5/ Knaupp, W.: Netzgekoppelte PV-Anlage und das „Bund-Länder-1000-Dächer-Photovoltaik-Programm“, Forschungsverbund Sonnenenergie: „Themen 92/93“
- /6/ Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg: „1000-Dächer Meß- und Auswertprogramm“, Jahresjournal 1995
- /7/ Delta, G.: Photovoltaikstrom im Haushalt - Erfahrungen mit einer netzgekoppelten Photovoltaik-Anlage, Gesamthochschule Kassel - Universität 1992

Prof. Dr. Ernst Schmeer ist Direktor des Instituts für Berufspädagogik/Elektro- und Metalltechnik an der Universität Potsdam. *Dr.-Ing. Angelika Liermann*, *Dr. Wolfgang Severin* und *Dr.-Ing. Wolfgang Thiele* sind wissenschaftliche Mitarbeiter des Instituts.