

# ISES Solar World Congress

## Ein neuer Start für die Solarenergie?

von Hans Dieter Sauer

Das Kongreßzentrum Hamburg war vom 14. bis 18. September der Treffpunkt der internationalen Solarenergie-Gemeinde. Die International Solar Energy Society (ISES) hielt zum zehnten Mal ihren Weltkongreß ab. Die Bundesrepublik war zum ersten Mal Gastgeberland.

Die Tagung ist die bedeutendste internationale Veranstaltung zur Nutzung der Sonnenenergie und bietet eine einzigartige Gelegenheit, sich einen weltweiten Überblick zu verschaffen zu Stand und Aussichten der verschiedenen Solartechniken. Nimmt man die Beteiligung am Kongreß als Maßstab, so geht es mit der Solarenergie wieder aufwärts. 1700 Teilnehmer aus 80 Staaten wurden registriert, gegenüber dem letzten Kongreß 1985 in Montreal, wo es nur 1000 waren, eine deutliche Zunahme. Man knüpft wieder an den Aufschwung zu Beginn des Jahrzehnts an, als sich 1981 in dem englischen Seebad Brighton fast ebensoviele Besucher eingefunden hatten.

## Teilnehmer

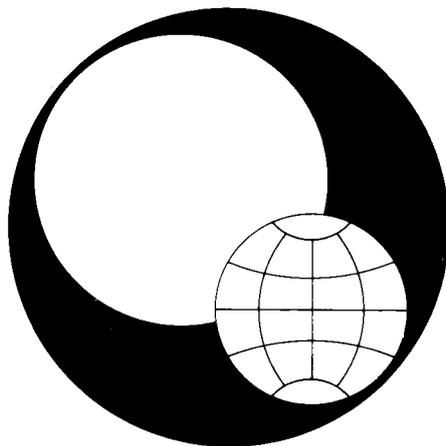
Das größte Kontingent stellte diesmal naturgemäß die Bundesrepublik Deutschland mit 660 Teilnehmern, gefolgt von den USA mit 100. Das Interesse an der Nutzung der Sonnenenergie korreliert offenbar nur sehr schwach mit dem Angebot an Solarstrahlung. Aus Großbritannien, den Niederlanden und Schweden waren jeweils mehr Besucher als aus den sonnenreichen Mittelmeerländern Griechenland, Italien, Frankreich und Spanien. Erste Kontakte zu Osteuropa wurden geknüpft. Aus der Sowjetunion, Polen, Ungarn und der Tschechoslowakei hatten einige Wissenschaftler Beiträge eingereicht. Die DDR war nicht beteiligt. Obwohl 50 Entwicklungsländer vertreten waren, waren die Teilnehmer aus den 30 Industriestaaten bei weitem in der Überzahl, weil die Entwicklungsländer jeweils nur kleine Delegationen entsandt hatten. Eine Ausnahme bildete Indien mit 40 Teilnehmern. Die Volksrepublik China hatte 13 Vertreter entsandt.

## Ablauf

Der Kongreß behandelte das gesamte Spektrum der direkten und indirekten Sonnenenergienutzung mit Ausnahme der etablierten Energiequelle Wasserkraft. Insgesamt wurden 1000 Beiträge angenommen. Das Programm-Komitee mit Professor Bloss von der Universität Stuttgart an der Spitze hatte sich alle erdenkliche Mühe gegeben, die schier unüberschaubare Materialfülle zu strukturieren. Am Vormittag wurden von eingeladenen Sprechern Übersichtsvorträge zu einem der großen Themenbereiche gegeben. In Arbeitskreisen (workshops) wurden die Themenbereiche weiter aufgegliedert und zu einem Unterthema jeweils 2 – 3 Referate gehalten. Die einzelnen Beiträge waren auf Stellwänden (Poster) dargestellt, die während der gesamten Dauer des Kongresses in einer großen Halle ausgestellt waren. Zu bestimmten

Fragestellungen wurden Poster-Sitzungen abgehalten. Dazu wurden die Poster in den Sitzungsraum gebracht, wo man mit den Autoren direkt sprechen konnte und anschließend eine allgemeine Diskussion stattfand.

Die Menge der Beiträge zwang dazu, jeweils 10 Arbeitskreise und Poster-Sitzungen parallel abzuhalten. Selbst der eifrigste Tagungsteilnehmer konnte also nur einen kleinen Ausschnitt mitbekommen. Zudem soll eine solche Konferenz gerade auch dazu dienen, Kontakte anzuknüpfen und persönliche Gespräche zu führen. Es drängt sich die



Frage auf: Muß es soviel sein? Schon beim Durchblättern der beiden dicken Bände mit den Zusammenfassungen bemerkt man, daß die Qualität und Originalität der Beiträge von recht unterschiedlichem Rang ist. Spätestens dann, wenn sich die Hoffnung erfüllen sollte, daß es mit der Solarenergie aufwärts geht und sich in aller Welt weit mehr Forscher und Ingenieure als heute mit der Nutzung der Sonnenenergie befassen, wird man über eine Begrenzung nachdenken müssen, um nicht in einer Informationsflut zu ertrinken.

## Experimente

In Hamburg wurde der nachahmenswerte und erfolgreiche Versuch unternommen, sich mit einer Veranstaltung direkt an die Öffentlichkeit zu wenden. In einem brillanten Experimentalvortrag führte Professor Rudolf Sizmann von der Ludwig-Maximilians-Universität München, unterstützt von seinen professionell agierenden Mitarbeitern Dieter Jung und Werner Stadler, auf großer Bühne eindrucksvolle Experimente zu den vielfältigen Möglichkeiten der Sonnenenergienutzung vor, von der Leistungsfähigkeit verschiedener Kollektortypen über das Modell eines solaren Turmkraftwerkes bis zur Demonstration der solaren Wasserstoffwirtschaft. Diese faszinierende Solarschau sollte noch mindestens in einem Dutzend weiterer Großstädte gezeigt werden, um möglichst vielen Menschen das Wissen über die sauberste und ergiebigste Energiequelle nahezubringen. Von den Eingeweihten wird oft übersehen, daß die grundlegenden Tatsachen zur Sonnenenergienutzung noch keineswegs zum allgemeinen Bildungsgut gehören.

## Ausstellung

Verbunden mit dem Kongreß war eine gut besetzte internationale Ausstellung, in der 70 Firmen ihre solartechnischen Produkte und Verfahren vorstellten. Im Obergeschoß der Halle präsentierten 60 Institute von Hochschulen und Forschungseinrichtungen aus der Bundesrepublik ihre Arbeiten zur Sonnenenergienutzung. Diese Gemeinschaftsschau bot erstmals einen umfassenden Überblick aller Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet. (Ein Bericht mit einer Kurzfassung der vorgestellten Arbeiten kann von der Zentralstelle für Solartechnik, Verbindungsstr. 19, 4010 Hilden gegen Einsendung eines mit 1,80 DM frankierten gefütterten DIN C-5 Umschlages bezogen werden, der mit der Anschrift des Empfängers und dem Vermerk „Büchersendung“ beschriftet ist.)

## Themenvielfalt

Bei dem Umfang der Konferenz kann ein einzelner Berichtersteller notgedrungen nur Ausschnitte behandeln. Die folgende Übersicht beschränkt sich im wesentlichen auf Solarthermik, passive Nutzung und Photovoltaik. Chemische Konversion und die indirekte Nutzung der Sonnenenergie mit Biomasse, Wind und Umgebungswärme (Wärmepumpen) werden nur gestreift.

## Solarthermik Erfolge und Rückschritte

Die thermische Nutzung der Solarstrahlung ist nach wie vor der Bereich, in dem sich die meisten Aktivitäten in Forschung, Entwicklung und Anwendung abspielen. Ein Drittel aller Beiträge zur Konferenz behandelte Fragen aus diesem Gebiet. Weltweit sind etwa 1,25 Millionen solare Brauchwasseranlagen und 250 000 Anlagen zur Unterstützung der Hausheizung installiert. Die niedrigen Ölpreise und nachlassende staatliche Unterstützung lassen inzwischen auch in Ländern wie Frankreich und USA, die in der ersten Hälfte der 80er Jahre nicht einen solchen Einbruch erlebten wie die Bundesrepublik, die Verkaufszahlen zurückgehen. Eine Ausnahme macht Israel, wo bei Neubauten die Installation von Solaranlagen per Gesetz vorgeschrieben ist.

Kollektoren sind relativ einfache Produkte, trotzdem ist die Entwicklung keineswegs abgeschlossen. Eine Neuentwicklung z. B. ist ein evakuierter Röhrenkollektor von 15 cm Durchmesser mit einem Speicher innerhalb der Röhre. Aus diesem Baustein soll sich



ein hocheffizientes kostengünstiges Brauchwassersystem zusammensetzen lassen. An mehreren Forschungsinstituten wird an der Entwicklung von Vakuumkollektoren mit internen Parabolreflektoren gearbeitet. Damit sollen Temperaturen von 200 °C erreicht werden.

Aber auch beim Flachkollektor sind die Möglichkeiten keineswegs ausgereizt. Mit Abdeckungen aus transparenten Dämmstoffen wie Aerogelen oder Honigwabenstrukturen aus Polycarbonatfolien, die Konvektion und Abstrahlung wirksam unterdrücken, lassen sich Temperaturen von weit über 100 °C erreichen und dabei Wirkungsgrade von 0,5 erzielen.

Die transparenten Dämmstoffe eröffnen auch die Möglichkeit, sehr einfach aber trotzdem effiziente solare Brauchwasseranlagen zu konstruieren, die sogenannten integrierten Kollektor/Speicher-Systeme. Kollektor und Speicher sind dabei in einem sehr gut wärmegeämmten Block zusammengefaßt, der

mit einem transparenten Dämmstoff abgedeckt ist. Die Anlage wird vom Leitungswasser direkt durchströmt. Damit entfällt der Kollektorkreislauf mit Frostschutzmittel, Wärmetauscher, Pumpen und Regelung.

Versuche im Freiburger Klima haben gezeigt, daß eine solche Anlage auch im Winter nicht einfriert. Von November 1986 bis Juli 1987 wurde ein Systemwirkungsgrad von 31 % gemessen.

Die Heizung von Häusern allein mit Sonnenenergie scheitert bisher am ungelösten Speicherproblem. In Schweden wird in mehreren Projekten die saisonale Speicherung mit großen unterirdischen Wasserspeichern untersucht. Bei dem größten Vorhaben in Lyckebo wird der jährliche Wärmebedarf von 8 GWh für eine Siedlung von 550 Häusern in einer Felskaverne von 100 000 m<sup>3</sup> Inhalt gespeichert. Bis jetzt wird der größte Teil der Wärme von einem 6 MW Elektrospeicher geliefert und nur 15 % von einem Kollektorfeld von 4320 m<sup>2</sup>. Aber es ist geplant, die Kollektorfläche soweit zu vergrößern, daß 80 % des Wärmebedarfs solar gedeckt werden können. Es errechnen sich Kosten von 15 Pfennig pro Kilowattstunde gelieferte Wärmeenergie.

Firmen zeigen ihre Produkte bei der ISES-Veranstaltung (Photo CCI)

## Kommerzielle Solarkraftwerke

Zur solarthermischen Stromerzeugung werden drei Konzepte verfolgt:

- Turmkraftwerke
- Parabolschüsseln mit dem Energiewandler im Brennpunkt
- Solarfarmen mit Parabolrinnen, wo der Wärmeträger zu einem zentralen Energiewandler geleitet wird.

Solarfarmen mit Parabolrinnen haben das Stadium der kommerziellen Nutzung erreicht. In der Mojave-Wüste nordöstlich von Los Angeles sind vier Solarkraftwerke dieses Typs mit einer Gesamtleistung von über 100 MW<sub>e</sub> auf rein kommerzieller Basis errichtet worden. Der Strom wird in das Netz von Southern California Edison eingespeist. Die Hersteller- und Betreiberfirma LUZ hat mit dem EVU Verträge über die

Stromabnahme aus 15 weiteren Solarfarmen abgeschlossen. Bis 1995 sollen 550 MW<sub>e</sub> am Netz sein.

Für ein 30 MW<sub>e</sub> Kraftwerk, das im Schnitt jährlich 85 GWh Strom erzeugt, ist ein Kollektorfeld von 204 000 m<sup>2</sup> zu installieren. Die Parabolrinnen werden einachsig der Sonne nachgeführt. In der Brennlinie ist in einem Vakuumrohr ein Röhrenabsorber angebracht, der von einem synthetischen Öl durchströmt wird, das auf 350 °C erhitzt wird. Über einen Wärmetauscher wird Dampf von 43 bar und 327 °C erzeugt, der die Turbine antreibt. Parallel zum Kollektorfeld kann Dampf auch mit einem Gasboiler erzeugt werden.

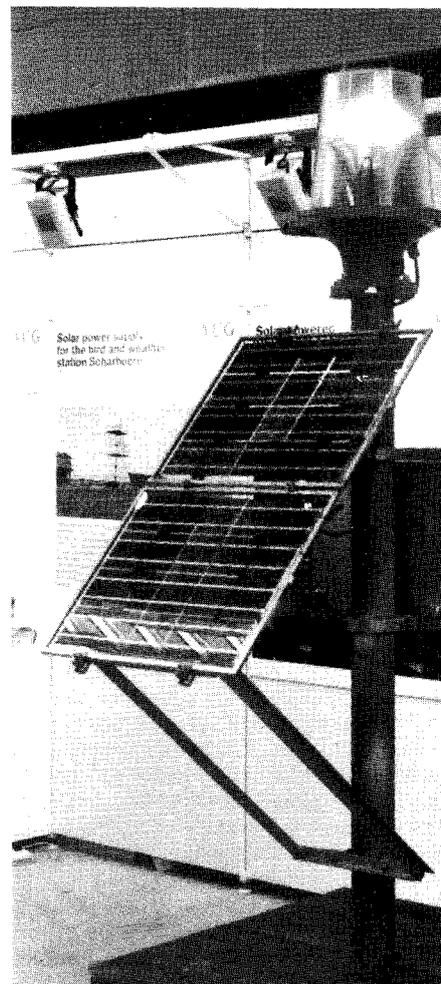
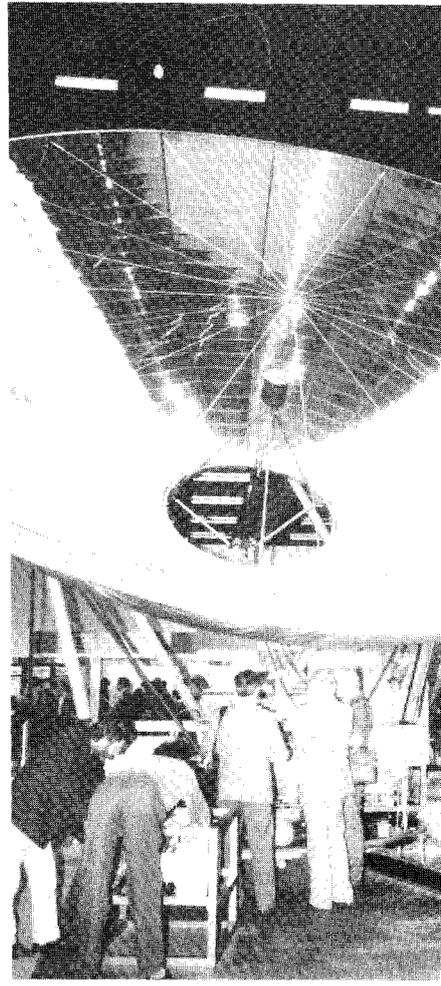
Gegenwärtig hat ein Parabolkollektor eine Fläche von 235 m<sup>2</sup>. Für die zukünftigen Anlagen strebt man 545 m<sup>2</sup> an. Die Kollektoren werden von der deutschen Firma Flabeg, einer Tochter der Flachglas, geliefert.

Der kommerzielle Erfolg dieser Anlagen wurde möglich durch das Zusammentreffen von günstigen klimatischen, energiewirtschaftlichen und finanziellen Rahmenbedingungen. Das Wüstenklima der Standorte 3600 – 4000 Sonnenstunden pro Jahr mit einem hohen Anteil direkter Solarstrahlung. Sonneneinstrahlung und Stromnachfrage laufen in Südkalifornien parallel. Höchstlasten treten im Sommer auf, wenn die zahllosen Klimaanlage in Betrieb sind. Die Solarkraftwerke können also Spitzenlast abdecken. Entsprechend kann der Strom zu günstigen Konditionen abgesetzt werden. Schließlich konnten aufgrund von Bundes- und Landesgesetzen bei Investitionen in regenerative Energiequellen Steuernachlässe bis zu 50 % erzielt werden. Dies machte Solarkraftwerke für zahlreiche Investoren zu einer rentablen Anlage. Ende 1988 werden die Steuervergünstigungen des Bundes auslaufen, LUZ hofft, durch weitere Kostensenkungen bei Errichtung und Betrieb der Solarfarmen auch unter den erschwerten Bedingungen bestehen zu können. Die jetzt errichteten 30 MW<sub>e</sub>-Blöcke kosteten rund 100 Mio. US \$. Für die nächsten Anlagen will man die spezifischen Investitionskosten auf 2500 US \$/kW senken und damit Stromerzeugungskosten von 0,07 US \$/kWh erreichen. Kalifornien ist überhaupt der goldene Westen für die Nutzung regenerativer Energiequellen. In verschiedenen Pässen, durch die ein beständiger Wind von der kühlen Küste ins heiße Landesinnere weht, waren 1986 15 000 Windturbinen mit einer Gesamtleistung von 1400 MW in Betrieb, die 1200 GWh produzierten. In der gesamten übrigen Welt wurden 225 GWh produziert. Die Windfarmen in Kalifornien stellen eine Investitionssumme von 2 Milliarden Dollar dar. Die jetzt installierten Turbinen produzieren bei einer vorausgesetzten Lebensdauer von 30 Jahren Strom zu Kosten von 0,05 US\$/kWh. Drei Photovoltaik-Anlagen mit einer Spitzenleistung von knapp 10 MW<sub>p</sub> runden das Bild ab. In Kalifornien sind 90 % der weltweiten Sonnen- und Windkraftleistung installiert.

## Biomasse:

Biomasse ist gleichzeitig ein traditioneller und moderner Energieträger. In der Dritten Welt ist Holz immer noch der wichtigste Brennstoff. Aber auch in einigen Industrieländern ist Biomasse ein wichtiger Posten in der Energiebilanz. In Schweden werden 10 %, in Kanada 7 % und in USA 4 % der Primärenergie aus Biomasse gewonnen. In den beiden letzten Ländern übertrifft Biomasse die Kernenergie und ihr Anteil nimmt noch zu. In der europäischen Gemeinschaft entspricht die genutzte Biomasse dem Äquivalent von 8 Mio. t Öl, was etwas weniger als 1 % des Primärenergieverbrauchs ist. Bis zum Jahr 2000 ließe sich der Anteil verdreifachen, womit man den gesamten Energiebedarf der Landwirtschaft decken könnte. Das gesamte Potential wird auf 43 Mio. t Öl-äquivalent geschätzt. Die EG Kommission fördert von 1985 – 1988 mit etwa 40 Millionen DM 108 Projekte zur stärkeren Nutzung der Biomasse. In Dänemark werden Stroh und Holzabfälle bereits in großem Umfang genutzt. Stroh wird in 15 000 Strohburnern und in 25 Heizwerken zur Fernwärmeversorgung verbrannt. Man geht nun daran, Stroh auch in der Wärme-Kraft-Kopplung einzusetzen. Bis 1995 sollen dezentralisierte Heizkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 100 MW<sub>e</sub> installiert sein. Forstabfälle, die vor allem beim Ausdünnen von Jungwald anfallen, werden zu 75 % in Heizwerken verbrannt. Die Bäume werden zunächst auf dem Stamm getrocknet. Dabei verlieren sie etwa ein Viertel ihrer Feuchtigkeit. Außerdem fallen die Nadeln ab, so daß dem Boden wieder ein Teil der Nährstoffe zugeführt wird. Die getrockneten Bäume werden zu Holzschnitzeln verarbeitet. In jüngster Zeit geht man dazu über, statt Schnitzeln Holzstücke einzusetzen. Sie lassen sich problemlos lagern und verbrennen oft auch besser als Schnitzel. Die günstigste Anlagengröße liegt bei einer Wärmeleistung von 1 – 2 MW.

Als die Ölpreise ihren Höhepunkt erreicht hatten, schienen Biogas-Generatoren (Vergasung von Biomasse mit anschließendem Einsatz des Gases in einem Verbrennungsmotor) eine der wenigen Möglichkeiten zu sein, in Entwicklungsländern zu vertretbaren Kosten noch Maschinen antreiben zu können. Bei der Holzvergasung handelt es sich um eine alte Technik vom Anfang des Jahrhunderts, deren Wiedereinführung keine großen Schwierigkeiten machen sollte. Aber die Erfahrungen waren sehr negativ. Die meisten der einige Tausend Anlagen, die nach 1980 errichtet wurden, sind nicht mehr in Betrieb. In den meisten Fällen lag es daran, daß die Anlage nicht den speziellen Bedingungen angepaßt und das Betriebspersonal nicht genügend ausgebildet war. Ein ungelöstes Problem sind die Kondensatrückstände, die entweder die Umwelt belasten oder eine aufwendige Behandlung erfordern.



## Direkte chemische Umwandlung

Die größte Hürde für die Nutzung der Sonnenenergie ist das Speicherproblem. Sie ließe sich im Prinzip mit der chemischen Umwandlung von Sonnenlicht in beliebig lange speicherbare chemische Bindungsenergie überwinden. Die Natur hat das Problem mit der Photosynthese gelöst. Aber die Wirkungsgrade sind gering (1% – 5%) und die komplexen organischen Verbindungen sind abgesehen durch Verbrennung nicht direkt energetisch nutzbar. Für die Anforderungen einer Industriegesellschaft müssen aus ihnen erst nutzbare Treibstoffe und chemische Grundstoffe wie Methan, Äthanol oder Kohlenmonoxid/Wasserstoff erzeugt werden. Im Gegensatz dazu ist die direkte chemische Umwandlung ein einstufiger Prozeß, bei dem durch Einwirkung von Sonnenlicht auf Stoffe wie Wasser, Kohlendioxid oder Stickstoff direkt Wasserstoff, Kohlenwasserstoffe, Alkohole oder Stickstoffverbindungen erzeugt werden. Die erreichbaren Wirkungsgrade liegen bei 25%. Ein weiterer Vorteil der direkten chemischen Konversion gegenüber der Biomassenerzeugung ist die Tatsache, daß bei ihr mit Ausnahme der Photobiologie keine lebenden Organismen beteiligt sind, sie also in sehr lebensfeindlicher Umgebung vonstatten gehen kann und somit beim Platzbedarf nicht in Konflikt mit der Landwirtschaft und anderen menschlichen Aktivitäten geraten kann.

Die direkte chemische Konversion kann nach Verfahren der Photochemie, Thermochemie oder Photobiologie realisiert werden. Bei der Photochemie laufen die Reaktionen bei Raumtemperatur ab, während bei der Thermochemie die Reaktionszyklen hohe Temperaturen erfordern, die durch Absorption von konzentriertem Sonnenlicht erzeugt werden. Bei der Photobiologie werden bestimmte Algen und Bakterien eingesetzt, die die gewünschten Endprodukte erzeugen.

Photochemische Prozesse, die intensiv untersucht worden sind, sind die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff, die Photoreduktion von Kohlendioxid mit Wasser zur Erzeugung von Methan und Methanol, sowie die Photoreduktion von Stickstoff, um z. B. Ammoniak zu erzeugen. Ebenso ist die Spaltung von Wasser mit thermochemischen Prozessen untersucht worden.

oben:  
Parabolspiegel zur Strahlungskonzentration

unten:  
Photovoltaisch betriebene Navigationshilfe

rechts:  
ISES-Ausstellung, Freigelände und in der Halle

(Photos CCI)

## Wärmepumpen Uneinheitliches Bild

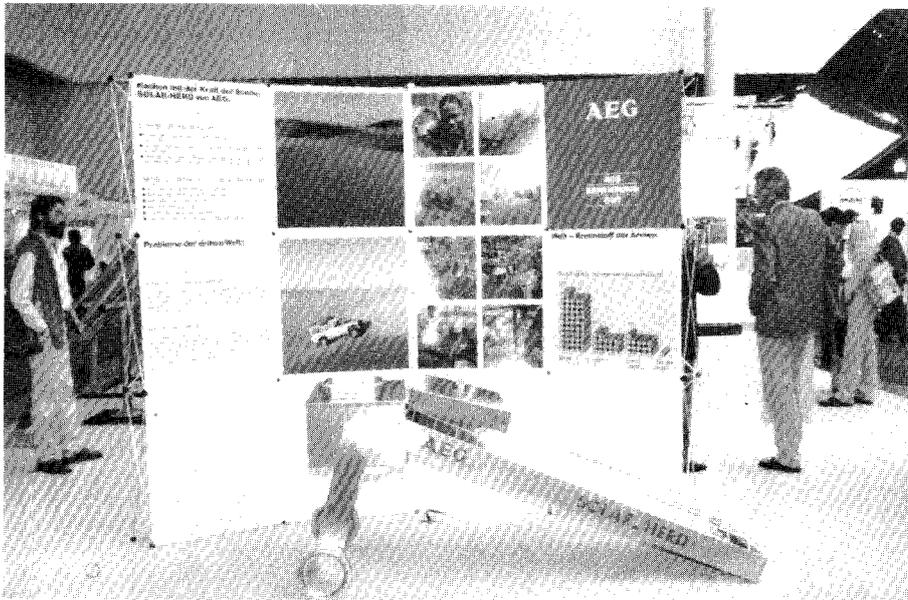
International gesehen bietet sich bei Wärmepumpen ein sehr uneinheitliches Bild. In der Bundesrepublik sind 50 000 Einheiten mit einer Gesamtleistung von 350 MW<sub>e</sub> installiert. Der Einbau von Wärmepumpen zur Heizung ist auf 4000 Einheiten pro Jahr gesunken. Die Verkäufe von Brauchwasserwärmepumpen haben sich bei 30 000 pro Jahr eingependelt. Nach Meinung von Bernd Stoy vom RWE wird sich die Situation aber verbessern. Anfang der 90er Jahre sollen die Elektrizitätspreise stabil bleiben oder sogar fallen, während die Öl- und Gaspreise wieder anziehen.

In den USA ist in den letzten 10 Jahren mit steigender Tendenz ein Viertel aller Neubauten mit Wärmepumpen ausgerüstet worden.

Einschließlich Ersatzbeschaffungen und Umrüstungen werden jährlich eine Million Einheiten eingebaut. Das typische Aggregat ist eine elektrisch angetriebene Luft/Luft-Wärmepumpe, die wahlweise heizt oder kühlt, und deren Heizleistung zwischen 5 und 12 kW<sub>th</sub> liegt. In Japan hat der Einsatz von Wärmepumpen seit 1980 stark zugenommen. Der Verkauf stieg von 500 000 Einheiten/Jahr auf 2,1 Mio./Jahr.

In Schweden werden große elektrische Wärmepumpen zur Fernheizung (district heating) eingesetzt. Es sind 90 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 1300 MW<sub>e</sub> in Betrieb, die 15 % bis 20 % der gesamten Fernwärme des Landes liefern. Mit dem jetzigen Ausbau ist eine gewisse Sättigung erreicht. Die weite Verbreitung beruht auf zwei Faktoren. Einmal wird die Hälfte aller schwedischen Mehrfamilienhäuser mit Fernwärme geheizt. Zum anderen sind die Elektrizitätspreise sehr niedrig; sie liegen bei 6 Pf/kWh. So ergibt sich selbst bei den jetzigen niedrigen Ölpreisen noch ein Kostenvorteil für Heizwärme, die mit einer elektrischen Wärmepumpe erzeugt wird.

In dem schwedischen Beitrag wurde das von Wärmepumpen ausgehende Umweltproblem angesprochen. Die genannten Wärmepumpen verlieren jährlich knapp 10 % ihres Kältemittels Freon durch kleine Undichtigkeiten. Freon trägt sehr effektiv zum Treibhauseffekt bei, da es die Fenster im CO<sub>2</sub> Spektrum schließt. Der Treibhauseffekt durch den 10%-igen Kältemittelverlust ist ebenso groß wie der durch das CO<sub>2</sub>, welches entstanden wäre, wenn der gleiche Betrag an Heizwärme in einem kohlebefeuerten Kessel erzeugt worden wäre. Zusätzlich ist der nachteilige Einfluß von Freon auf die Ozonschicht zu berücksichtigen. Deshalb wird die Forderung erhoben, die Freonverluste auf höchstens 5 % zu drücken. Es ist hinzuzufügen, daß in Schweden praktisch kein Strom in Kohlekraftwerken erzeugt wird. Kommt der Strom für die Wärmepumpen aus einem Kondensationskraftwerk, ist der Vorteil der Wärmepumpe im Hinblick auf das CO<sub>2</sub>-Problem von vornherein aufgehoben.



## Solararchitektur

### Neuland mit alten Konzepten

Solararchitektur bedeutete bis vor kurzem vor allem passive solare Heizung von Wohnhäusern in gemäßigten Klimazonen. Inzwischen wird das Konzept umfassender gesehen. Dazu gehört auch die Beleuchtung mit Tageslicht in gewerblichen und öffentlichen Bauten und die natürliche Kühlung von Gebäuden in den Tropen oder heißen ariden Gebieten.

Zum Teil handelt es sich um die Wiederentdeckung alter Prinzipien klimagerechten Bauens, die in den Zeiten des Energieüberflusses in Vergessenheit geraten waren. So befaßte sich ein Beitrag mit dem wohltuenden Einfluß von Laubbäumen auf das Innenklima von Solarhäusern; im Sommer wird durch Schattenwurf Überhitzung vermieden, im Winter dagegen die Solarstrahlung nahezu ungehindert durchgelassen. Es wurden zwei Computerprogramme vorgestellt, mit denen das thermische Verhalten von Gebäuden im Schatten von Bäumen stundenweise dargestellt werden kann. Allerdings erschöpft sich Solararchitektur nicht in einer Wiederbelebung alter Bauformen, sondern durch neue Materialien und Konstruktionselemente werden auch weitergehende Möglichkeiten erschlossen.

In unserem Klima erfordert passive solare Heizung gleichzeitig sehr guten Wärmeschutz. Die Vermessung der 25 Häuser des „Modellvorhabens Landstuhl“ hat gezeigt, daß ohne gute Wärmedämmung Solarhäuser eher einen höheren Energieverbrauch aufweisen als vergleichbare Referenzhäuser. Ein noch umfangreicheres Projekt in Holland mit 56 Einfamilienhäusern ergab ebenfalls, daß nur auf der Grundlage eines guten Wärmeschutzes energetisch zufriedenstellende Solarhäuser gebaut werden können.

Häuser werden nicht zum Energiesparen sondern zum Wohnen gebaut. In dieser Hinsicht schneiden Solarhäuser sehr gut ab. Die Bewohner fühlen sich wohl darin, wozu vor allem die Öffnung nach Süden, Wintergärten und großzügig angelegte Räume beitragen. Untersuchungen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik haben gezeigt, daß mit Wintergärten Energieeinsparungen von 10 % – 15 % zu erzielen sind. Aber nicht diese relativ geringen Energieeinsparungen, die nach streng ökonomischer Betrachtungsweise auch nicht die Investition rechtfertigen, erklärt die Beliebtheit von Wintergärten, sondern die Erhöhung der Wohnqualität und die Ausweitung des bewohnbaren Raums über einen weiten Zeitraum des Jahres. In einem Solarhaus werden die Jahreszeiten intensiver erlebt.

Solarhäuser reagieren empfindlich auf Änderungen der Solarstrahlung. Dies erfordert vom Bewohner Eingriffe, speziell um Überhitzungen zu vermeiden. Allerdings werden die zu ergreifenden Maßnahmen bald zur Routine. Im

Tagesverlauf und zwischen den Räumen des Hauses variieren die Temperaturen stärker als bei Standardhäusern. Wenn die Bewohner sich darauf einstellen und dies akzeptieren, ist ihr Energieverbrauch erheblich geringer als bei nicht angepaßtem Verhalten. Der Energieverbrauch von Solarhäusern wird also im entscheidenden Maß vom Verhalten der Bewohner beeinflusst.

Fenster und Verglasungen sind zentrale Elemente der Solararchitektur. Verbesserungen richten sich vor allem auf geringere Wärmeverluste und Steuerung der Lichtdurchlässigkeit. Für das Fenster als Ganzes werden heute k-Werte von  $1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  erreicht, als untere Grenze wird  $0,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  angesehen. Dieser Wert kann erreicht werden, wenn zwischen beschichteten Scheiben mit geringem Emissionsgrad im Infraroten noch die Wärmeleitung unterdrückt wird, sei es durch Herstellen eines Vakuums oder durch transparente Dämm-

tengrad. Der Grund für dieses überraschende Ergebnis ist simpel. Durch die längere Heizperiode kann in höheren Breiten mehr Sonnenenergie genutzt werden und dadurch wird der Nachteil geringerer Solarstrahlung mehr als aufgehoben. Mit Solarhäusern auf den Äußeren Hebriden und bei Trondheim in Norwegen hat man denn auch durchaus gute Ergebnisse erzielt. Besonders günstig ist passive solare Heizung im Gebirge, wo oft hoher Heizbedarf und hohe Einstrahlung zusammentreffen.

Werden gewerbliche und öffentliche Bauten auch tagsüber vorwiegend elektrisch beleuchtet, so macht der Strombedarf dafür einen beträchtlichen Teil des Gesamtenergiebedarfs aus. Beleuchtung mit Tageslicht kann den Elektrizitätsverbrauch erheblich senken. Durch die Verminderung der künstlichen Beleuchtung nimmt zudem die interne Last ab, so daß im Sommer Kühlmaßnahmen verringert oder ganz ver-



Stellwände mit einer fast unüberschaubaren Menge von Postern

(Photo CCI)

stoffe. Verglasungen und Fenster mit hoher Wärmedämmung und hoher Lichtdurchlässigkeit müssen bei Sonnenschein und steigenden Temperaturen abgeschattet werden, da sonst rasch Überhitzung auftritt. „Intelligente Fenster“ sollen mit speziellen Beschichtungen die Lichtdurchlässigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur oder einer angelegten Spannung selbstständig steuern.

Es dürfte als Binsenweisheit gelten, daß weiter im Norden passive solare Heizung weniger aussichtsreich ist als im Süden. Eine sorgfältige Auswertung von Arbeiten aus Nordamerika und Europa hat jedoch gezeigt, daß das Gegenteil der Fall ist. Zwischen dem 35. und 70. Breitengrad steigt der Anteil nutzbarer Solarenergie mit dem Brei-

mied werden können. „Daylighting“ ist in den USA inzwischen bei vielen Neubauten eine Vorgabe, an der sich der Entwurf des Gebäudes zu orientieren hat. Von den Nutzern wird die natürliche Beleuchtung als sehr angenehm empfunden. Wann wird der ISES-Kongreß in einem Gebäude stattfinden, in dem das Tageslicht optimal ausgenutzt wird und nicht mehr in einem lichtlosen Bunker wie dem Hamburger Kongreßzentrum?

Für die natürliche Beleuchtung werden auch modernste Verfahren untersucht. So arbeitet man an holographischen Strukturen, die das Tageslicht im Tages- und Jahresverlauf stets in etwa in die gleiche Richtung lenken, so daß auch normalerweise nicht vom Tageslicht erreichbare Räume natürlich beleuchtet werden können.

## Hoffnung Photovoltaik

An keine Solartechnik knüpfen sich so große Hoffnungen wie an die Photovoltaik. Man denke nur an die Visionen der solaren Wasserstoffwirtschaft. Nach dem gegenwärtigen Entwicklungsstand erscheint es zumindest nicht ausgeschlossen, daß sich die Hoffnungen erfüllen. Als einzige Solartechnik hat die Photovoltaik eine selbsttragende Entwicklung erreicht und die Zukunft der Industrie scheint gesichert zu sein, wobei Japan und USA die stärksten Positionen haben. Worauf beruht dieser Erfolg? Die anderen Solartechniken müssen andere Energieträger verdrängen, sie sind Brennstoffsparener wie z. B. die solare Brauchwasseranlage gegenüber dem Ölkessel. Bei den gegenwärtigen Energiepreisen kann Wirtschaftlichkeit nur sehr schwer erreicht werden. Als Stromsparener haben auch Solarzellen keine Chance. Aber bei ihnen handelt es sich um „neue Produkte für neue Anwendungen in neuen Märkten“, wie es Eckehard Schmidt von der AEG ausdrückte. Diese neuen Märkte liegen vor allem in der Dritten Welt, wo Photovoltaik-Anlagen in vielen Gegenden elektrischen Strom verlässlicher liefern als Dieselgeneratoren oder das elektrische Netz. Zum Beispiel liegt in manchen ländlichen Gegenden Indiens die Verfügbarkeit des elektrischen Netzes nur bei 40 %. In vielen Fällen macht die Photovoltaik eine Elektrifizierung überhaupt erst möglich.

Eine umfassende Studie hat gezeigt, daß im Leistungsbereich bis 1 kW Photovoltaik für verschiedenste Anwendungen wirtschaftlicher ist als die konventionellen Alternativen (siehe sonnenenergie 4/87). Aber der „Prozentsatz der Weltbevölkerung der Kenntnis von 'seiner Energiequelle'“ hat, ist noch sehr klein“. Vor allem verhindern die hohen Investitionskosten, die sich nur über die lange Lebensdauer amortisieren, daß die Menschen ihre Energiequelle erwerben können.

Zwei Berichte aus Südafrika und Peru zeigten, daß bei entsprechenden Finanzierungsmodellen Familien in der Dritten Welt starke Präferenz zeigen, Photovoltaik-Anlagen zu erwerben. Das gilt für unterschiedliche Einkommensklassen und reicht von einer Minimalelektrifizierung für Beleuchtung, Betrieb eines Radios und anderer Kleinverbraucher bis zum Ersatz eines Dieselgenerators. Eine dreifache Gegenüberstellung zeigt, daß die Kosten durch eine Photovoltaikanlage nicht höher sind als die laufenden Ausgaben für Petroleum, Kerzen, Batterien, Dieseltreibstoff und Wartung. Daneben weist die neue Technik eine Reihe schwer zu quantifizierender Vorteile auf wie besseres Licht, leichtere Bedienung und höhere Sicherheit. Die Umweltbelastung durch Photovoltaik-Anlagen darf auch nicht übersehen werden. Wie es in dem Bericht aus Südafrika heißt, ist die Landschaft mit verbrauchten Batterien übersät.

Die Technik ist einsatzbereit. Es liegt an dem Entscheidungsträger, vor allem in finanziellen Institutionen, Rahmenbedingungen zu schaffen, in denen die Photovoltaik ihr volles Potential entfalten kann.

Im Labor werden Solarzellen aus verschiedensten Verbindungen untersucht, der Markt allerdings wird von zwei Typen von Siliziumzellen beherrscht. Es sind dies kristalline Si-Zellen (70 % Marktanteil) und amorphe Si-Zellen (30 % Marktanteil). Amorphe Si-Zellen werden für kleinste Leistungen vom Milliwattbereich bis zu einigen Watt eingesetzt. Die japanische Industrie rüstet damit in großem Umfang Konsumartikel wie Armbanduhren und Taschenrechner aus. Bei der Verbesserung des Wirkungsgrades sind Fortschritte erzielt worden. Für Zellen von  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  sollen inzwischen 9 % – 10 % erreicht worden sein. Aber die mangelnde Langzeitstabilität ist immer noch ein „drängendes Problem“.

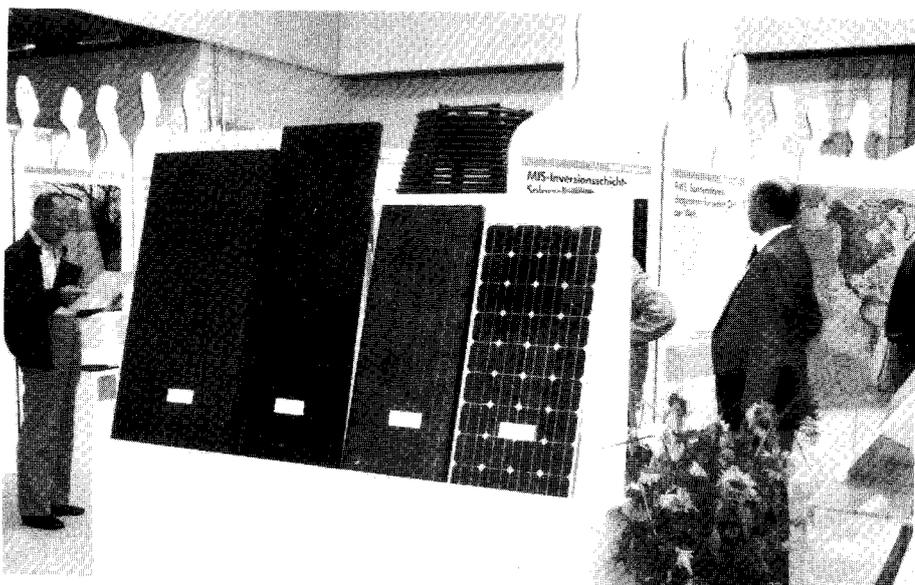
Dagegen ist die lange Haltbarkeit von kristallinen Zellen inzwischen gesichert.

Für Module kann eine Lebensdauer von 20 Jahren garantiert werden, man erwartet sogar 30 Jahre. Dies ist durch eine vollkommen dichte Versiegelung erreicht worden.

Wirkungsgrad und Preis entscheiden über die Wirtschaftlichkeit. Mit einkristallinen Si-Zellen wurden Wirkungsgrade von 22 % ohne optische Konzentration erreicht und von 28 % mit hundertfacher Konzentration erreicht. Der Wirkungsgrad kommerziell hergestellter Module mit polykristallinen Zellen liegt zwischen 11 % und 13 %. Die Produktionskosten bewegen sich zwischen 4 und 5 US \$/W<sub>p</sub>. Sie setzen sich aus drei Anteilen zusammen: Herstellung der Siliziumscheibe, Verarbeitung der Scheibe zu einer Zelle, Zusammenschalten und Versiegeln der Zellen zu einem Modul. Bis 1975 entfiel auf jeden Anteil 1/3. Durch die Einführung gedruckter Kontakte und Automatisierung bei der Modulherstellung hatte sich das Verhältnis bis 1984 auf 70:15:15 verschoben. Aber durch große Fortschritte in der Siliziumtechnik sind die Kosten für den ersten Teil in der jüngsten Zeit erheblich gefallen, so daß das Verhältnis gegenwärtig 50:20:30 beträgt. Weitere Kostensenkungen um den Faktor 2 – 3 in den nächsten 5 – 7 Jahren werden angestrebt. Das Ziel von 1 US \$/W<sub>p</sub> bei dem Solarstrom für viele kommerzielle Anwendungen konkurrenzfähig sein wird, ist also nicht mehr unerreichbar fern.

## Schlußwort

War Hamburg ein neuer Start für die Nutzung der Sonnenenergie? Forschungsminister Riesenhuber formulierte in seinem Grußwort optimistisch, daß der „Solarzug weltweit an Fahrt gewinnt“. Es wäre schön, wenn dieses Bild zuträfe. Aber die Lage ist nicht so rosig. Um im Bild zu bleiben. Es ist wohl eher so, daß der Solarzug sich mühsam schneidend einen Hügel hinaufbewegt. Kommt er über den Berg oder geht ihm der Dampf aus? Die Wissenschaftler und Techniker auf der Lok leisten gute Arbeit, sie verbessern den Wirkungsgrad der Maschine, aber es wird ungleichmäßig geheizt. An einigen Wagen sind die Bremsen blockiert. Manche Mitreisende verkünden froh, daß bald alle Probleme gelöst seien, da eine zweite kräftige Lokomotive vorgespannt werde (sprich, der Ölpreis wird schon wieder steigen). Abgesehen von der Photovoltaik ist die Zukunft der Sonnenenergienutzung ungewiß. Es kann aufwärts gehen, aber die Entwicklung kann auch im Sande verlaufen. Vergessen wir nicht, daß vor Tschernobyl das Interesse an dieser Energiequelle nahezu auf Null gesunken war. Soll man sich mit dem zynischen Optimismus trösten, daß die zunehmenden Umweltprobleme schon dafür sorgen werden, daß die Menschheit ihre sauberste Energiequelle nicht vergißt. Der nächste ISES-Kongreß 1989 in Kobe in Japan steht unter dem Motto: Saubere und sichere Energie für alle Zeiten.



Beispiele verschiedener Solarzellenmodule

(Photo CCI)