

Von Schwankungen abhängig

# Sonnenenergie: kaum Hoffnung für Europa

Von den ständig verfügbaren natürlichen Energiequellen könnte — theoretisch — am ehesten die Sonne einen wesentlichen Beitrag zur Deckung des globalen menschlichen Energiebedarfs leisten. Nur ein Vierzehntausendstel der jährlich auf die Erdoberfläche eingestrahlt Sonnenenergie würde ausreichen, um den derzeitigen anthropogenen Jahresbedarf zu decken. Allerdings schätzen Dr.-Ing. Lothar Rouvel, Oberingenieur am Institut für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der TU München, und Prof. Dr.-Ing. Helmut Schaefer, wissenschaftlicher Leiter der Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, und Vorstand des vorgenannten Institutes, die Aussichten für eine großtechnische Nutzung sehr gering ein.

Als „Rettung aus aller Not“ werden sie jetzt wieder ausgekramt oder neu propagiert: die Vorschläge zum Ausnutzen der direkten Sonnenenergie, der indirekten Sonnenenergie in Form von Wind- und Wasserkraften, der Gezeitenenergie oder der geothermischen Energie. Meist stammen sie nicht aus dem Bereich der energietechnischen Forschung oder Praxis, aber sie erwecken in der Öffentlichkeit den Eindruck, hier sei der Stein der Weisen gefunden, an dem die Fachleute bislang blind vorbeigegangen wären. Wenn dabei oft noch leichtfertig behauptet wird, im Gegensatz zu den bisherigen Techniken seien diese Energiequellen frei von belastender Wirkung auf die Ökosysteme, so bedeutet dies doch unzweifelhaft, daß offensichtlich Inge-

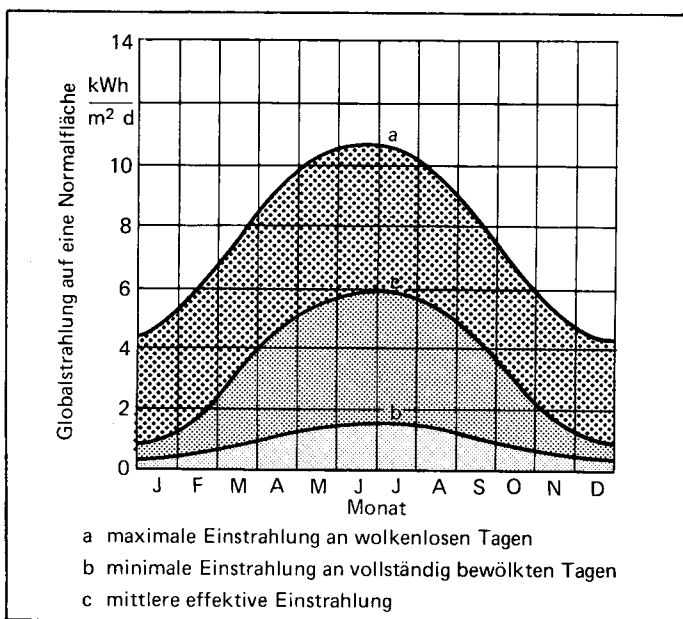
nieure und Techniker bisher versagt und die Energietechnik auf einen Irrweg geführt hätten.

Auch „rettende“ Vorschläge müssen sich letztlich an technisch quantifizierbaren Fakten messen lassen. Unbestreitbar ist andererseits, daß ökologische Gründe und die Probleme der sicheren Verfügbarkeit ein Umstrukturieren der Energieversorgung und der Technologien bei der Anwendung notwendig machen, um den spezifischen Primär- und Endenergieverbrauch bei gleichem Nutzen zu verringern. Diese Notwendigkeit, in Fachkreisen schon lange gefordert, von der Öffentlichkeit aber erst jetzt erkannt und akzeptiert, fordert hohen geistigen und materiellen Aufwand.

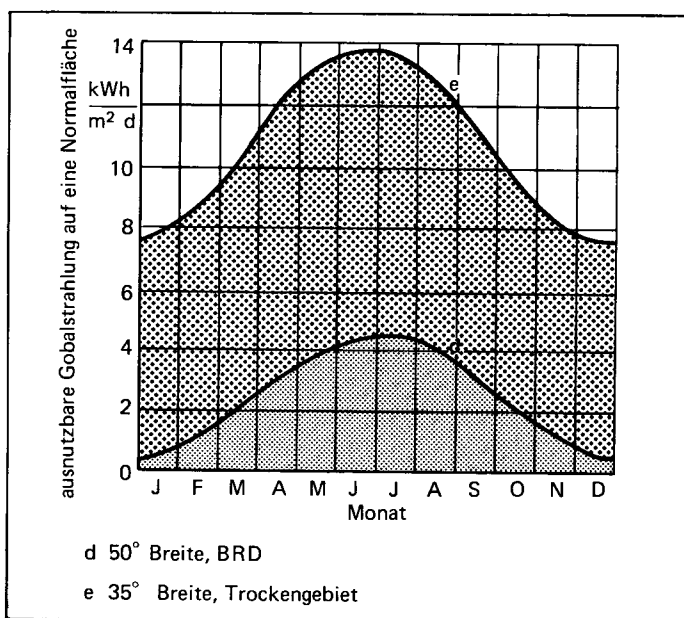
Diesen Aufwand falsch zu disponieren, würde nachhaltige schwerwiegende Folgen zeitigen.

Schon seit vielen Jahrhunderten hat der Mensch sich neben der tierischen Muskelkraft auch der Wind- und Wasserkraft bedient. Während er aber bei der Wasserkraft Wege fand, diese großtechnisch bei wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zu nutzen, konnte bei der Windkraft dieser Durchbruch von der Windmühle zur Windkraftanlage hoher Leistungen nicht gelingen, weil dem Nutzen ein unverträglich hoher Aufwand gegenübersteht und zudem eine Nutzung in großem Ausmaß ökologisch problematisch ist.

Jede vom Menschen bewerkstelligte (anthropogene) Energieumsetzung ändert die naturgegebenen Bedingungen der Ökosysteme am Ort der Nutzung, und sie wirkt je nach Art und Betrag auch über diesen Ort erheblich hinaus. Auch der Einsatz ständig verfügbarer Energiequellen hat seinen ökologischen Preis, der um so mehr zur Optimierung zwingt, je intensiver und umfangreicher die Nutzung und je größer die Distanz zwischen Gewinnungs- und Anwendungsort ist. Schon die Wandlung der Energie wirkt auf die Umwelt zurück.



**Bild 1:** Schwankung der mittleren täglichen Einstrahlung auf eine Normalfläche während eines Jahres in der Bundesrepublik (50° geographische Breite).



**Bild 2:** Schwankung der mittleren ausnutzbaren Einstrahlung während eines Jahres in der Bundesrepublik bzw. in einem Trockengebiet (35° geographischer Breite).

Eine Stromerzeugung zum Beispiel mit dem Schmelzwasser der Grönlandgletscher würde den Gewässern der Arktis Energie entziehen. Damit sänke naturgesetzlich die Wassertemperatur, die ihrerseits eine sehr entscheidende Rolle für die Großwetterlagen der nördlichen Erdhalbkugel spielt. Eine großtechnische Nutzung der Gezeitenenergie verändert die auf die Erde wirkenden Massenkräfte und führt zu Änderungen der Bahn von Erde und Mond. Ohnehin werden die Größenrelationen oft falsch gesehen: Einer jährlichen globalen anthropogenen Energienutzung von zur Zeit rund  $0,2 \cdot 10^{21}$  Joule [1] steht eine jährliche Gezeitenenergie von rund  $0,1 \cdot 10^{21}$  Joule [2] gegenüber.

Bedenkt man, daß die aus dem Erdinnern über Vulkane und heiße Quellen jährlich abgegebene Energie nur dem zwanzigsten Teil des anthropogenen Energiebedarfs und die über die Erdrinde an die Erdoberfläche bzw. die Atmosphäre abgegebene Energie etwa dem Fünffachen dieses Bedarfs entspricht, so muß man auch bei verstärktem Einsatz von geothermischer Energie mit ökologischen Veränderungen durch geänderte Temperaturgradienten in der Erdkruste rechnen.

Auch eine Ausnutzung der Windkraft in einem für die Energieversorgung nennenswerten Anteil bewirkt entscheidende Änderungen der natürlichen Bedingungen; denn ein Entzug von Windenergie vermindert die Luftaustauschrate und ändert den Wasserhaushalt. Alleine schon die heute in manchen Regionen durch menschliches Handeln verursachte negative Bilanz von Sauerstoffproduktion und -bedarf gibt einen Hinweis auf die hieraus resultierenden Folgen.

## Sonnenenergie prinzipiell nutzbar

Von den ständig verfügbaren Energiequellen bietet einzig die Sonnenenergie die Chance, einen wesentlichen Beitrag zur Deckung des globalen menschlichen Energiebedarfs zu stellen. Die durch sie jährlich auf die Erdoberfläche eingestrahelte Energie ist rund 14 000mal größer als der derzeitige jährliche anthropogene Energiebedarf. Allerdings ist auch ihre Nutzung nicht ohne Nebenwirkung, und zudem ist eine Reihe von Voraussetzungen zu beachten, über die im folgenden ausführlicher berichtet wird.

Obwohl unser Leben von den Schwankungen der Sonneneinstrahlung mit der Tages- und Jahreszeit, mit der Wetterlage und mit der geographischen Breite geprägt ist, unterschätzt man meist deren Auswirkungen bei einer großtechnischen Ausnutzung. Es wird viel zu oft über die erzielbare maximale Leistung und zu wenig über die erreichbaren Ausnutzungsdauern und, damit verbunden, über die erzeugbare Energie gesprochen. Eine wirtschaftliche Ausnutzung der Sonnenenergie ist nur dann möglich, wenn der Zeitgang der Energieerzeugung an den Bedarfsgang angeglichen werden kann, eventuell unter Berücksichtigung von Energiespeichern. Solche Speicher können jedoch nur zum Ausgleich der Schwankungen zwischen Tag und Nacht, nicht aber der Jahresschwankungen eingesetzt werden.

Es scheint deshalb notwendig, sich zuerst mit den saisonalen Veränderungen der Son-

neneinstrahlung zu beschäftigen, bevor eine Beurteilung der Möglichkeiten zur Nutzung der Sonnenenergie vorgenommen werden kann.

## Im Winter nur 10 Prozent

In *Bild 1* ist für die Bundesrepublik die tägliche Globalstrahlung, d. h. die direkte Sonneneinstrahlung und die Himmelsstrahlung auf eine Normalfläche während eines Jahres eingezeichnet. Die Normalfläche wurde gewählt, weil sie die höchste Einstrahlung erhält. Ihre Lage zur Sonne wird jeweils so verändert, daß die Sonnenstrahlen senkrecht aufreffen. Die Kurve a gibt die maximale Einstrahlung an wolkenlosen Tagen an. Bereits hier zeigt sich ein Unterschied zwischen Sommer und Winter im Verhältnis von rund 2,5 zu 1; er hat seine Ursache in den unterschiedlichen Sonnenständen und in den damit unterschiedlichen durchstrahlten Luftmassen, die ihrerseits die direkte Sonnenstrahlung absorbieren, streuen und reflektieren. An bedeckten Tagen (Kurve b) sinkt die Globalstrahlung auf rund ein Zehntel der Werte an wolkenlosen Tagen. Aus dem Verhältnis von effektiven zu maximal möglichen Sonnenscheinstunden errechnet sich dann die mittlere tägliche Einstrahlung über das Jahr nach Kurve c. Daraus folgt, daß selbst im Hochsommer im Mittel nur 55% des maximalen Tageswertes zur Verfügung stehen, im Winter sogar nur unter 10%.

Für die technische Verwertung der Sonnenenergie muß noch bedacht werden, daß praktisch nur die Einstrahlung größer einem Schwellwert von etwa  $0,1 \text{ kW je m}^2$  ausnutzbar ist. Dadurch reduziert sich Kurve c in *Bild 1* nochmals zur Kurve d in *Bild 2*.

Ein Beispiel zeigt, welche Auswirkungen diese saisonalen Unterschiede mit sich bringen. Wollte man einen Kühlschrank mit einem Tiefkühlfach durch Sonnenzellen versorgen, benötigte man stündlich eine Energie von etwa 50 Wh oder, bezogen auf den Tag, 1,2 kWh. Zum Ausgleich von Erzeugung und Bedarf zwischen Tag und Nacht wäre im Hochsommer ein Puffer von rund 600 Wh Speicherkapazität erforderlich, also von der Größenordnung einer Autobatterie. Die Sonnenzellenanlage müßte eine maximale Leistung von 120 bis 130 W erzeugen. Dafür wäre nach dem heutigen Stand der Technik eine Sonnenzellenfläche von etwa  $1 \text{ m}^2$  notwendig. Damit könnte für das gewählte Gerät, nämlich den Kühlschrank, der Tagesenergiebedarf an einem wolkenlosen Sommertag gedeckt werden.

## 30 Batterien für einen Kühlschrank

Es bleibt aber noch die Frage zu klären, wieviel Prozent des Jahresstrombedarfs diese Sonnenzellenanlage erzeugen kann. Aus *Bild 2*, Kurve d, läßt sich ableiten, daß nur knapp ein Drittel des jährlichen Bedarfs gewonnen werden kann, die restlichen zwei Drittel müssen durch andere Energiequellen gedeckt werden. Wollte man eine weitgehend gesicherte Voll-

versorgung dieses Kühlschranks erreichen, müßte die Empfangsfläche auf über  $10 \text{ m}^2$  und der Pufferspeicher auf etwa 30 Autobatterien erweitert werden; denn im Winter kommen häufig Schlechtwetterperioden von 1 bis 2 Wochen vor, in denen kein Strom aus Sonnenenergie erzeugt werden kann.

Dieses Beispiel dürfte den Anhängern der Sonnenenergieausnutzung in unseren Breiten die Verhältnisse hinsichtlich der Leistungsbereitstellung und der Deckung des Energieverbrauchs aufzeigen. Aus ihm ist eindeutig ablesbar, daß eine großtechnische Ausnutzung der Sonnenenergie in unseren Breiten technisch und ökonomisch unsinnig ist.

Es bliebe zu klären, ob es an anderen Orten auf unserer Erde bessere Möglichkeiten zur direkten Nutzung der Sonnenenergie gibt. In Indien z. B. sind Sonnenkocher schon weit verbreitet. Um auch hierfür einen Überblick zu bekommen, ist in *Bild 2* der Jahresgang der ausnutzbaren Einstrahlung im Tagesmittel für eine geographische Breite von  $35^\circ$  in Trockengebieten als Kurve e eingetragen. Deutlich sind das wesentlich höhere Niveau und die geringeren relativen Veränderungen über das Jahr zu erkennen. Im Vergleich zu den hiesigen Breiten steigt die jährlich ausnutzbare Energie um mehr als das Vierfache, die maximale Leistung dagegen nur um etwa 20% (vgl. Kurve a, *Bild 1*, und Kurve e, *Bild 2*), so daß sich die jährliche Ausnutzungsdauer um fast den Faktor 4 gegenüber mitteleuropäischen Verhältnissen verbessern läßt. Die mögliche Benutzungsdauer erreicht damit einen Wert zwischen eintausendfünfhundert und zweitausend Stunden und eine Größenordnung, die für viele Anwendungsbereiche interessant sein kann. Jedoch bleibt weiterhin ein Pufferspeicher nötig, um die Tag-Nacht-Unterschiede ausgleichen zu können.

## Kraftwerk auf Satellitenbahn

Ein Ausweg aus dem Zwang zur Speicherung von Energie bei einer großtechnischen Sonnenenergieausnutzung könnte durch Übergang von terrestrischer zu extraterrestrischer Gewinnung und Umwandlung gefunden werden. Durch ein Sonnenkraftwerk, das sich in einer zur Erddrehung synchronen Umlaufbahn immer über demselben Standort bewegt, würde die mögliche tägliche Ausnutzungsdauer fast 24 Stunden erreichen. Auch die jahreszeitlichen Veränderungen wären nahezu ohne Belang. Somit könnten praktisch alle von der Energieverbrauchsstruktur an die Erzeugung zu stellenden Forderungen erfüllt werden. Allerdings ist ein für heutige Verhältnisse unvorstellbar großer Satellit notwendig, denn der Mittelwert der an der Obergrenze der Atmosphäre einfallenden Sonnenstrahlung beträgt nur  $1,36 \text{ kW je m}^2$ , und die maximal möglichen Wirkungsgrade von Sonnenzellen werden auch auf absehbare Zeit unter 20% liegen. Dann muß die so gewonnene elektrische Energie über Mikrowellen mit entsprechenden Übertragungsverlusten auf die Erde gesandt werden. Dabei darf nicht übersehen werden, daß von der mit der Sonnenzelle erzeugten elektrischen Energie maximal die Hälfte auf der Erde nutz-

bar zur Verfügung steht. Der technischen Lösung dieses ganzen Komplexes dürften auf längere Zeit noch erhebliche Probleme entgegenstehen.

Der größte Energieverbraucher in der Bundesrepublik ist die Raumheizung; ihr Anteil am Endenergieverbrauch beträgt rund 40%. Deshalb erscheint es sinnvoll, zuerst die Möglichkeiten von Sonnenheizsystemen zu prüfen.

Bereits um 1930 kamen in den USA Wohnhäuser auf, die mit Sonnenenergie beheizt wurden. Jedoch benötigten die Räume im Winter, wenn keine Sonne schien, mehr Heizenergie als konventionelle Gebäude [3]. Durch weitere Entwicklungen, die auch in Frankreich betrieben wurden [4], konnte dieser Nachteil weitgehend behoben werden.

Das Prinzip dieser Sonnenenergieverwertung besteht darin, daß über der zu erwärmenden Oberfläche ein oder zwei Glasscheiben aufgebracht werden. Die direkte Sonneneinstrahlung und die Himmelstrahlung gehen nur wenig gedämpft durch die Glasscheibe hindurch und erwärmen die dahinter liegende Auffangfläche. Die langwellige Temperaturstrahlung des erwärmten Körpers kann umgekehrt die Glasscheibe nicht mehr passieren, da Glas langwellige Strahlung absorbiert. Noch verbessern läßt sich dieses Prinzip durch eine Beschichtung des Glases, mit der die langwellige Strahlung reflektiert werden kann. Die Glasscheibe ist also eine Strahlenfalle, die auf „relativ“ einfache Weise eine Sonnenenergieausnutzung ermöglicht. Der erwärmte Körper gibt seine Wärme über Luft oder Wasser an die Heizungsanlage ab, zum Teil gekoppelt mit einem Speicher [3].

Dieses Verfahren, das in recht großem Umfang auch zum Erhitzen und Destillieren von Wasser (Brauchwarmwasserbereitung und Meerwasserentsalzung), zum Trocknen von Früchten und zur Pflanzenzucht (Gewächshaus) herangezogen wird, erscheint jedoch für Mitteleuropa nicht geeignet, den Energiebedarf wesentlich zu senken. Gerade im Winter, wenn der größte Heizenergiebedarf auftritt, ist die Einstrahlung der Sonne am geringsten. Die sehr aufwendigen Kon-

struktionen stehen daher in keinem Verhältnis zum Nutzeffekt.

Trotzdem sollte man die Sonnenenergieverwertung zur Raumheizung auch in unseren Breiten nicht außer acht lassen. Dieser Anwendungsbereich ist — wenn auch unbebaut — bisher am meisten verbreitet. Die Sonneneinstrahlung, die während der Heizperiode durch die Fenster in das Gebäude gelangt, vermindert den Heizbedarf, und zwar lassen sich bei entsprechender Bauweise und guter Raumtemperaturregelung hierdurch bis zu 20% des Jahresheizbedarfs einsparen.

Um jedoch die Probleme nicht von der Heizung im Winter auf die Kühlung im Sommer zu verlagern, müssen entsprechende Maßnahmen die Sonneneinstrahlung im Sommer verhindern. Durch Vorhänge, Jalousien, getönte oder goldbedampfte Glasscheiben erreicht man allerdings meist nur recht unbefriedigende Ergebnisse, denn z. B. muß dafür teilweise mehr Beleuchtung eingeschaltet werden.

Die jahrtausendlange Erfahrung aus der Bauweise in südlicheren Regionen lehrt uns, daß sich durch beschattende Fassadenteile die ungewollte Sonneneinstrahlung im Sommer vermeiden läßt. Im Winter kommt dagegen aufgrund des niedrigeren Sonnenstandes der gewünschte Wärmegewinn durch die Sonne dem Raum zugute. Bei dieser Art der Sonnenenergienutzung durch „sonnengerechtes“ Bauen, das kaum die Baukosten erhöht, werden die Nachteile des stark schwankenden Leistungsangebotes dieser „freien Wärme“ behoben.

Für viele Anwendungsbereiche ist es zweckmäßig oder sogar notwendig, die Sonnenstrahlen mit optischen Systemen zu konzentrieren. Dieses Verfahren wäre sehr einfach, wenn die Sonne ein Synchronsatellit der Erde wäre, für die großtechnische Ausnutzung sind jedoch wegen der ständigen Änderung des Sonnenstandes recht kostspielige und aufwendige Apparaturen erforderlich.

Alle heliotechnischen Geräte, die mit Linse oder Spiegel arbeiten, nutzen nur die direkte Sonneneinstrahlung aus. Die einfallenden Strahlen werden mit Parabolspiegeln reflektiert und in der Brennebene bzw. im Brennpunkt einem Wärmetauscher zugeführt. Die in der Brennebene erzielbare Bestrahlungsstärke hängt vom Verhältnis der Parabolspiegelgröße zur Brenn- bzw. Wärmetauscherfläche ab. Deshalb benötigt man für hohe Leistungen auch große Parabolspiegel, die meist aus einer Vielzahl von Planspiegeln zusammengesetzt sind.

Die einfachsten Geräte dieser Art sind sogenannte Sonnenkocher, die z. B. in Indien, Israel und Ägypten eingesetzt werden. Die Geräte haben einen Spiegel aus Aluminium mit einem Durchmesser von 1 m, der die Sonnenstrahlen gebündelt auf die Kochstelle leitet. Die Leistung beträgt etwa 300 W; die Geräte sind rund 15 kg schwer.

Bei Anlagen großer Leistung wird die einfallende Sonnenstrahlung über einen oder mehrere Planspiegel, die der Sonne nachgeführt werden, reflektiert und dem Parabolspiegel zugeführt (Bild 3). Diese grundsätzliche Anordnung wird je nach Anwendungszweck noch variiert. So ist beim Sonnenkessel der Wärmetauscher als Dampferzeuger aus-

gebildet, dessen bestrahlte Heizflächen die auffallende Sonnenenergie absorbieren. Hohe Wirkungsgrade setzen ein gutes Absorptionsvermögen der Heizflächen und eine sorgfältige Wärmedämmung der nicht bestrahlten Kesselflächen voraus. Temperaturen von 800 °C bei einer Strahlenverdrichtung von 100 und Wirkungsgrade von 60% sind möglich. Beim derzeitigen Stand der Technik können maximal rund 0,6 kg Dampf je Stunde und m<sup>2</sup> Spiegelfläche erzeugt werden.

Durch Kombination eines Sonnenkessels mit einer Dampfturbine und einem Generator läßt sich ein Sonnenkraftwerk verwirklichen. Das bisher größte Werk dieser Art ist in Turkistan realisiert worden. Bei einer Sonnenscheindauer von rund 1800 Stunden pro Jahr und einer Sonnenintensität von 0,81 kW je m<sup>2</sup> werden stündlich 13 t Dampf erzeugt. Angeschlossen ist eine 1-MW-Gegendruckturbine. Die Sonnenstrahlung wird durch 1293 fahrbare ebene Spiegel mit einer Gesamtfläche von 19 500 m<sup>2</sup> auf die Heizfläche des Kessels reflektiert. Die Spiegel werden auf 23 Bahngleisen kreisförmig verfahren, der größte Gleisdurchmesser mißt 1000 m.

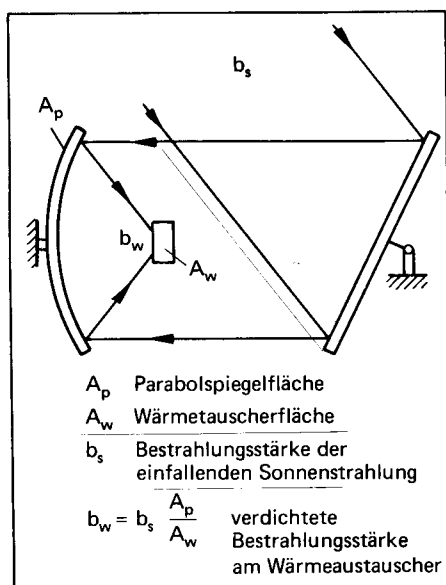
Die Dimension des Areals von fast einem halben Quadratkilometer für nur ein Megawatt elektrischer Leistung aus einer Gegendruckturbine ist schon erschreckend groß. Ein konventionelles Heizkraftwerk würde einen Flächenbedarf von großzügig gerechnet nur einem Tausendstel haben. Trotzdem sollte man die Möglichkeiten und Chancen von Sonnenkraftwerken nicht völlig von der Hand weisen. Selbstverständlich existieren sie nicht in Mitteleuropa, jedoch in Ländern, die mehr Sonnenscheinstunden bei geringeren saisonalen Schwankungen in der Sonnintensität und bei geringer Besiedlungsdichte genügend freien Raum haben. In Ländern, die erst am Beginn der Elektrifizierung stehen, erweisen sich die relativ kleinen Ausbauleistungen sogar als vorteilhaft; denn große Einheitsleistungen erfordern hohe Verbrauchsdichten sowie ein verzweigtes und leistungsfähiges Übertragungssystem.

## 4000 Grad im Schmelzofen

Ein weiteres Anwendungsgebiet für heliothermische Anlagen sind Sonnenöfen, in denen hohe Temperaturen ohne Auftreten von Verunreinigungen realisiert werden können. Hierfür ist die Sonnenenergie fast konkurrenzlos, zumal Sonnenschmelzöfen den Vorteil haben, hohe Temperaturen — bis zu 4000 °C — auch ohne elektrische und magnetische Felder zu liefern [5].

Während Sonnenkraftwerke selbst in sonnenbegünstigten Regionen es im Wettbewerb mit klassischen Kraftwerken schwer haben und haben werden, erscheint es durchaus wirtschaftlich möglich, Sonnenhüttenwerke mit einer Leistung von etwa 1 MW zu errichten, die zum Schmelzen, Rösten und Reinigen, für chemische Reaktionen und schwer schmelzbare Verbindungen sowie zur Behandlung von Mineralien eingesetzt werden können.

Die Technik der direkten Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie mit Solarzellen ist durch die Raumfahrt sehr



**Bild 3:** Prinzip einer heliothermischen Anlage mit Spiegeln.

intensiv bearbeitet worden. Sie wird heute zur Satellitenversorgung mit Erfolg angewandt. Beispielsweise erzeugen die Skylab-Sonnenzellenbatterien eine Leistung von 12 kW. Jedoch liegen diese für extraterrestrische Zwecke realisierten Leistungen um Größenordnungen unter denen, die heute in Kraftwerken erstellt werden. Trotzdem beginnt man sich ernsthaft mit dem Problem von Sonnenkraftwerken aus Sonnenzellen im großtechnischen Bereich zu beschäftigen.

Der Einsatz von Sonnenzellenbatterien auf der Erde ist mit den schon genannten Nachteilen jeglicher terrestrischer Sonnenenergienutzung behaftet. Deshalb dürfte ihnen kaum ein größerer Erfolg beschieden sein als heliothermischen Kraftwerken. Dagegen besteht zumindest theoretisch die Möglichkeit, einen „supergroßen“ Satelliten aus Sonnenzellen in eine Erdumlaufbahn zu bringen, um dort aus der Sonnenenergie elektrische Energie zu erzeugen und diese im Mikrowellenbereich zur Erde zu senden. Hierzu wurde eine von amerikanischen Firmen initiierte und von der amerikanischen Regierung finanziell geförderte Studie über ein „Solar-Satellite-Power-Station-Project (SSPS)“ angefertigt [6]. Danach wäre für ein Kraftwerk mit 10 GW Nutzleistung ein Satellit nötig, der in 36000 km Höhe synchron mit der Erde umläuft. Die Solarzellen hätten eine Ausdehnung von 64 km<sup>2</sup> mit zusätzlich 250 km<sup>2</sup> Spiegelfläche. Die Übertragung zur Erde würde im Mikrowellenbereich mit einer rund 2,5 km<sup>2</sup> großen Sendeantenne und einer rund 100 km<sup>2</sup> gro-

ßen Empfangsantenne erfolgen. Danach müßte die auf der Erde empfangene Energie erneut in elektrische Energie umgewandelt werden, die in das allgemeine Übertragungs- und Verteilungsnetz eingespeist werden kann.

Diesem Projekt stehen naturgemäß erhebliche Probleme entgegen. Dazu gehört u. a. auch die Montage der „Sonnenpaddel“, die sich über Kilometer erstrecken. Auch ist das Problem der Übertragung großer Energien über Mikrowellenrichtfunk keineswegs gelöst. Man sollte bedenken, daß sich heutige „große“ Raumschiffantennen — mit einigen Quadratmetern anstelle von Quadratkilometern — nur auf ein Drittel bis ein Viertel Winkelgrad genau ausrichten lassen. Das entspricht bei der vorgesehenen Umlaufbahn in 36000 km Höhe einer Streubreite von 180 km auf der Erde. Obwohl die Strahlungsleistung, die auf der Erde ankommt, nur maximal 870 W je m<sup>2</sup> beträgt, liegt diese Leistung im Mikrowellenbereich weit über der Unbedenklichkeitsschwelle, die für Langzeiteinwirkung beim Menschen zugelassen werden kann. Es ist daher ein nicht zu unterschätzender Sicherheitsstreifen erforderlich. Selbst ohne diesen ist der sehr große Flächenbedarf der Empfangsantenne mit 10 m<sup>2</sup> je kW von großem Nachteil. Demgegenüber benötigen thermische Kraftwerke heute nur 0,1 bis 0,2 m<sup>2</sup> je kW, einschließlich aller Nebenflächen.

Mit einer ersten großtechnischen Realisierung solcher Sonnenkraftwerke kann sicher in näherer Zukunft nicht gerechnet werden. Die Herstellungskosten werden auf das Zehn-

fache und die Stromerzeugungskosten auf mindestens das Dreifache konventioneller Anlagen geschätzt. Trotzdem sollte man frühzeitig die ökologischen Auswirkungen eingehend prüfen. Denn von allen denkbaren Arten der Sonnenenergienutzung ist nur das Satellitensonnenkraftwerk unabhängig von der Tages- und Jahreszeit, den Witterungsverhältnissen und der geographischen Lage.

*Lothar Rouvel  
Helmut Schaefer*

#### Literaturhinweise

- [1] *Schaefer, H., u. K. Philippi:* Der Energiehaushalt der Erde. BWK 25 (1973) Nr. 9.
- [2] *Hubbert, M. K.:* Energy Resources for Power. Production SM 146, p. 13 (IAEO-USAEC Symposium on Environmental Aspects Nuclear Power Stations, New York 10. — 14. Aug. 1970, Proceedings, Wien 1971).
- [3] *Wenzel:* Raumheizung und Klimatisierung in einem amerikanischen Wohnhaus mit Hilfe der Sonnenenergie. PEK 9 (1961) Heft 5.
- [4] *Trombe, F.:* Nutzbarmachung der Sonnenenergie in Frankreich. Süddeutsche Zeitung v. 30. 12. 1964.
- [5] Die praktische Anwendung der Sonnenschmelzöfen und ihre wirtschaftlichen Entwicklungsmöglichkeiten. PEK 9 (1961) Heft 6.
- [6] *Scheel, W.:* Energieerzeugung ohne Umweltbelastung. Elektrizitätswirtschaft 72 (1973) Heft 2.

veröffentlicht in der Umwelt:

Rouvel L.,      Sonnenenergie: kaum Hoffnung für Europa  
Umwelt Nr. 2 1974, , S.28/32

PROF. DR.-ING. HABIL. LOTHAR ROUVEL  
FACHGEBIET ENERGIETECHNIK UND -VERSORGUNG · THERMISCHE GEBÄUDESIMULATION

SÄULINGSTRASSE 4  
80686 MÜNCHEN

TEL.: 089-576804      FAX: 089-5706641  
ROUVEL@GEBSIMU.DE      WWW.GEBSIMU.DE

