

Solarfarmen und Landwirtschaft müssen nicht unbedingt in einem Gegensatz zueinander stehen. Beide Bereiche lassen sich vielmehr vortrefflich miteinander verbinden. Daß das funktioniert, zeigen beispielsweise entsprechende Versuche in Saudi-Arabien.

Neu ist jetzt ein Vorschlag für eine besonders günstige Anordnung für Solarenergieanlagen in Verbindung mit der landwirtschaftlichen Nutzung. Dieser Vorschlag wurde von Prof. Adolf Goetzberger und Armin Zastrow vom Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg erarbeitet. Der Trick dabei ist, daß die Kollektoren nicht direkt über dem Boden, sondern in etwa zwei Meter Höhe angebracht werden. Wenn dann der Abstand zwischen den Kollektorreihen etwa das Dreifache der Kollektorhöhe beträgt, erhält man eine fast gleichmäßige Bestrahlung des Bodens. Der Pflanzenbau wird dadurch nicht beeinträchtigt, denn die Photosynthese läuft bei diffusem Licht besser ab als bei direktem Sonnenlicht.

Beide Wissenschaftler berechneten den direkten und den diffusen Anteil der solaren Strahlung und zeigten die Vorteile einer solchen neuen Anordnung auf. Sie wollen gleichzeitig zeigen, daß die Vorurteile über die Landschaftszerstörung und die angeblich lebensfeindlichen Auswirkungen größerer Solaranlagen einer ernsthaften Nachprüfung nicht standhalten.

In der Vergangenheit wurde allgemein angenommen, daß die Nutzung einer Landfläche zur Solarenergiegewinnung jede andere Nutzung ausschließt. So konnte man sich Solaranlagen größeren oder mittleren Ausmaßes nur in Wüstengebieten vorstellen. In den gemäßigten Zonen größerer geographischer Breiten wurde dagegen z. B. Pflanzenwachstum zwischen photoelektrischen Kollektoren als ein Mißstand betrachtet, dem man vorzubeugen hatte (1). Düstere Visionen künstlicher Wüstenflächen durch photoelektrische Nutzung wurden entwickelt. Es wurde sogar behauptet, daß diese Art der Sonnenenergienutzung zu einer Bodenspekulation und den damit verbundenen Preissteigerungen mit entsetzlichen sozialen Konsequenzen führen würde (2). Die photoelektrischen Elemente wurden auf die Dächer von Einfamilienwohnhäusern beschränkt, die allerdings in der Tat ein erstes Ziel für die frühzeitige Einführung dieser Energieart darstellten (3).

In dieser Arbeit wird gezeigt, daß Solarkollektoren und landwirtschaftliche Nutzung derselben Landflächen sich sehr gut miteinander vereinbaren lassen und daß diese Kombination den Nutzen erhöht, der sich aus dem Land ziehen läßt. Die hier entwickelten Gedanken basieren auf folgenden einfachen Annahmen:

Neuer Vorschlag der Fraunhofer-Gesellschaft

# Kartoffeln unter dem Kollektor

- Um optimale Energiekonversion zu erreichen, muß jeder Flachkollektor nach Süden (auf der Nordhalbkugel) ausgerichtet werden und um einen Winkel, der gleich der geographischen Breite oder etwas größer ist, gegen die Horizontale geneigt werden (4).
- Um zu starke gegenseitige Abschattung zu vermeiden, sollen die Kollektorreihen einen gewissen Abstand haben, der üblicherweise gleich der dreifachen Kollektorhöhe gewählt wird.
- Aufgrund dieser Anordnung erreicht ein großer Bruchteil der solaren Strahlung den Boden zwischen den Kollektorplatten. Dieser Betrag wird insbesondere in den Sommermonaten während der Wachstumsperiode groß sein.
- Wenn die Kollektoren direkt auf den Boden gestellt werden, wird die Strahlungsdichte zwischen den Kollektoren sehr inhomogen sein, wobei direkt unter den Kollektoren fast nur Schatten zu finden ist.
- Durch Anhebung der Kollektoren auf ein geeignetes Gerüst kann die Strahlungsverteilung ausgeglichen werden.
- Solarkollektoren werden auf gute Leistungsfähigkeit im Winter und in der Übergangszeit optimiert. Während der übrigen Jahreszeiten wird der Hauptanteil des Lichtes nicht abgefangen. Insofern sind Solarkollektoren fast ideal der Wachstumsperiode angepaßt.

Aus diesen Überlegungen resultiert eine Konfiguration, die in Abb. 1 auf der nächsten Seite skizziert ist. Für diese Anordnung wurden die theoretischen Beziehungen für die Bestrahlung unterhalb der Kollektoren entwickelt. Dabei mußten die direkte und die diffuse Strahlung unterschiedlich behandelt werden. Für mehrere Parameter wurde eine numerische Rechnung durchgeführt und auf aktuelle Wetterdaten angewandt. Die Ergebnisse zeigen, daß für eine geographische Breite von  $48^\circ$  etwa  $\frac{2}{3}$  der Globalstrahlung für den Anbau von Pflanzen unter den Kollektoren zur Verfügung stehen. Eine beträchtliche Anzahl von Nutzpflanzen kann unter diesen Bedingungen gedeihen.

Die hier beschriebene Art der kombinierten Nutzung ist speziell für die photoelektrische Umwandlung sehr attraktiv. Nach gegenwärtigen Vorhersagen und aktuellen Entwicklungen werden die Herstellungskosten für photoelektrische Systeme 1986 oder wenig später ein Niveau erreichen, das konkurrenzfähig mit anderen Energiearten ist (5).

## Grundlagen der Rechnung

Die mathematischen Beziehungen, die für diese Berechnungen hergeleitet wurden, basieren auf folgenden Annahmen:

1. Das periodische Kollektorfeld ist nach Süden ausgerichtet und zweidimensional unendlich ausgedehnt.
2. Die Stützen, auf denen die Kollektoren montiert sind, tragen nicht zur Abschattung bei.
3. Die Kollektoren sind einschließlich ihrer Rückseiten ideale Absorber. (Das ist nicht notwendigerweise so, siehe unten.)
4. Die diffuse Strahlung ist isotrop bezüglich

## Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg

Dieses neue Institut der Fraunhofer-Gesellschaft begann am 1. Juli 1981 mit seiner Arbeit. Es ging aus einer Arbeitsgruppe des Fraunhofer-Institutes für angewandte Festkörperphysik hervor, die sich vor allem mit Fluoreszenzkollektoren beschäftigte.

Im Institut arbeiten derzeit rund 24 Mitarbeiter. Diese Zahl soll im Laufe der nächsten Zeit auf 70 bis 90 Mitarbeiter erweitert werden. Arbeitsschwerpunkte sind Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der dezentralen Nutzung der Sonnenenergie wie die Photoelektrik, die Energiespeicherung und die Systemtechnik. Neben längerfristigen Projekten wie der Energiespeicherung und dem Fluoreszenzkollektor werden im Rahmen der Systemtechnik auch aktuelle Fragestellungen angegangen, die, wie im Rahmen der Fraunhofer-Gesellschaft üblich, in Form von Auftragsforschung für Industriefirmen abgewickelt werden.

lich der Himmelshalbkugel. (Das ist nicht ganz richtig, weil bekannterweise die diffuse Strahlung ein Maximum in der Sonnenrichtung besitzt. Dieser Teil jedoch würde sich wie die direkte Strahlung verhalten, die hier ebenfalls behandelt wird.)

Für direkte und diffuse Strahlung ist eine unterschiedliche Rechnung durchzuführen. In beiden Fällen wird jedoch das Verhältnis der den Boden mit und ohne Kollektoren erreichenden Strahlungsmengen berechnet. Während bei der Behandlung des direkten Lichtanteils tages- und jahreszeitliche Schwankungen der Bestrahlung unter den Kollektoren auftreten, hat man bei der diffusen Strahlung keine zeitlichen Schwankungen der relativen Bestrahlung, dagegen jedoch örtliche Differenzen zu berücksichtigen.

Wir verzichten hier auf eine detaillierte Darstellung der mathematischen Behandlung des Problems, da diese bereits an anderer Stelle diskutiert wurde (6, 7), im folgenden sollen jedoch die Ergebnisse ausführlich diskutiert werden.

### (a) Direktes Licht

Die numerische Rechnung wurde für eine geographische Breite von  $48^\circ$  und für zwei verschiedene Kollektorkonfigurationen ausgeführt:

- 1)  $a = 1, d = 3, h = 2, \alpha = 48^\circ$
- 2)  $a = 1, d = 4, h = 2, \alpha = 58^\circ$

Dabei ist  $a$  die Höhe der Kollektoren,  $d$  ihr Abstand voneinander,  $h$  die Anhebung über dem Boden und  $\alpha$  ihre Neigung (s. Abb. 2). Die Einheiten von  $a, d$ , und  $h$  können als Meter interpretiert werden, sie sind jedoch in beliebiger Weise auf andere Einheitensysteme übertragbar, ohne die Ergebnisse zu beeinflussen.

Die relative direkte Bestrahlung  $R_{dir}$ , die das Verhältnis der auf den Boden zwischen den Kollektoren gelangenden Strahlung zur Einstrahlung ohne Kollektoren angibt, ist in Abb. 3 für die beiden Anfangsbedingungen aufgetragen. Wir erkennen, daß für die Bedingung 1 der direkte Lichtanteil zwischen 64% im Sommer und 0% im Winter, für Bedingung 2 zwischen 75% im Sommer und 11% im Winter variiert, verglichen mit dem Fall ohne Kollektoren.

### (b) Diffuses Licht

Die Rechnung für den diffusen Anteil der Sonneneinstrahlung wurde ebenfalls für die beiden Konfigurationen 1) und 2) durchgeführt. Der Bruchteil des zwischen den Kollektoren durchgelassenen Lichtes hängt hier nicht von der Jahreszeit, wohl aber vom Ort, d. h. von den Nord-Süd-Koordinaten ab. Für ein unendlich ausgedehntes Kollektorfeld ist diese Funktion natürlich periodisch mit dem Kollektorabstand  $d$ .

In Abb. 4 sind die Ergebnisse der Rechnung dargestellt. Man kann sehen, daß für die beiden Konfigurationen, die hier gewählt wurden, die Abweichungen der Intensität vom Mittelwert relativ gering sind. Im Fall 1 beträgt der den Boden erreichende Anteil des diffusen Sonnenlichtes  $69 \pm 2\%$ , im Fall 2  $77 \pm 4\%$ . Da diese Variationen nicht sehr bedeutend sind, können wir die Verteilung des Lichtes als annähernd homogen betrachten. In den folgenden Kurven, die aktuelle Wetterdaten mit einbeziehen, werden daher die Mittelwerte der diffusen Einstrahlungen für die Fälle 1 und 2 benutzt.

Die obigen Ergebnisse werden nun auf Daten angewandt, die uns das Wetteramt Freiburg ( $48^\circ$  nördl. Breite) zur Verfügung

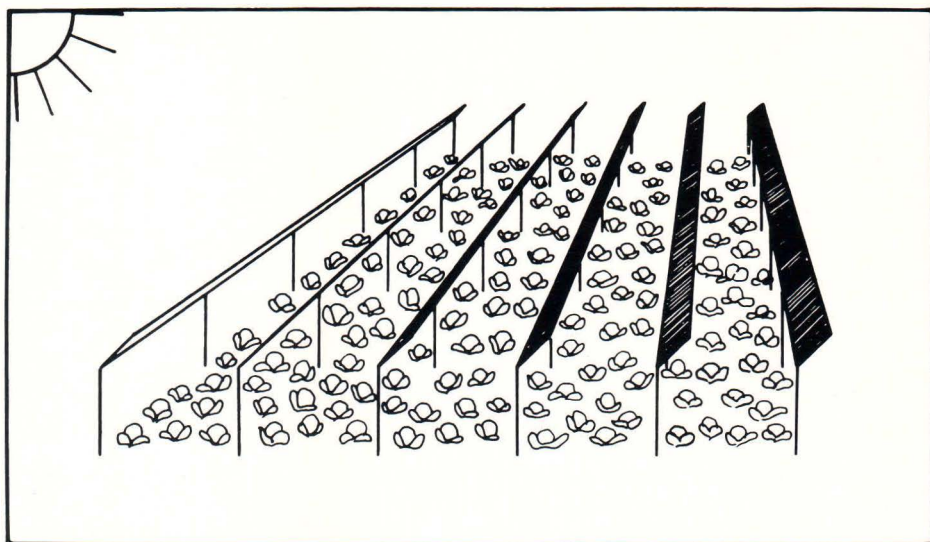


ABB. 1 SKIZZE EINES KOLLEKTORFELDES mit angehobenen Kollektoren

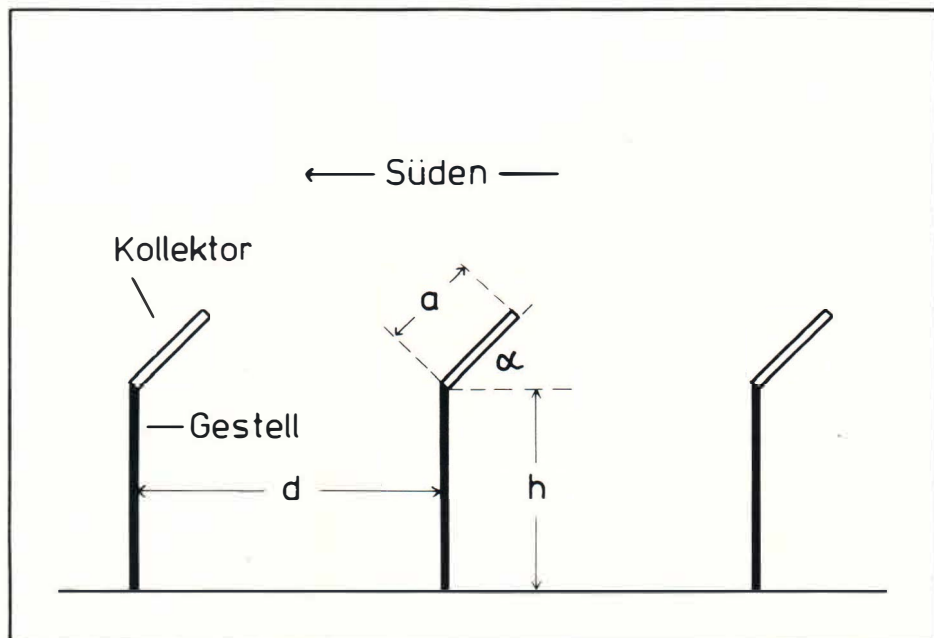


ABB. 2 DEFINITION der in der numerischen Rechnung benutzten Parameter

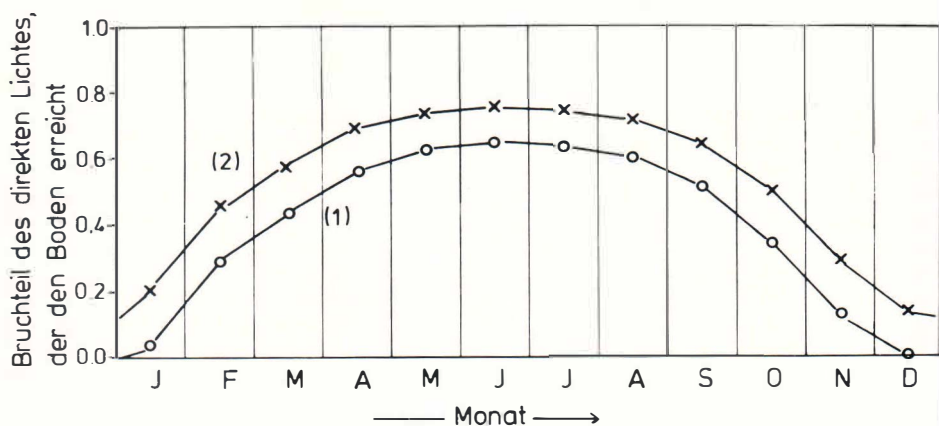


ABB. 3 BRUCHTEIL DER DIREKTEN EINSTRALUNG, der den Boden unter den Kollektoren erreicht, in Abhängigkeit von der Jahreszeit für die beiden im Text angegebenen Konfigurationen



gestellt hat. Abb. 5 zeigt die Daten, bestehend aus der Globalstrahlung und ihrem direkten und diffusen Anteil. Die Daten repräsentieren einen Zweijahres-Mittelwert von 1978 und 1979. Auf die direkte und diffuse Komponente werden nun die Ergebnisse aus a) und b) angewandt; in Abb. 6 sind die resultierenden Kurven dargestellt. Diese Abbildung zeigt die totale Globalstrahlung pro Flächeneinheit und den Betrag, der den Boden erreicht für die beiden gewählten Konfigurationen. Man erkennt, daß die Globalstrahlung unter dem Kollektorfeld 67% (Fall 1), 76% (Fall 2) im Sommer und 47% (Fall 1), 56% (Fall 2) im Winter beträgt, verglichen mit einer Fläche ohne Kollektoren. Integriert über das ganze Jahr erhält man etwa 62% (Fall 1) bzw. 71% (Fall 2) der Einstrahlung.

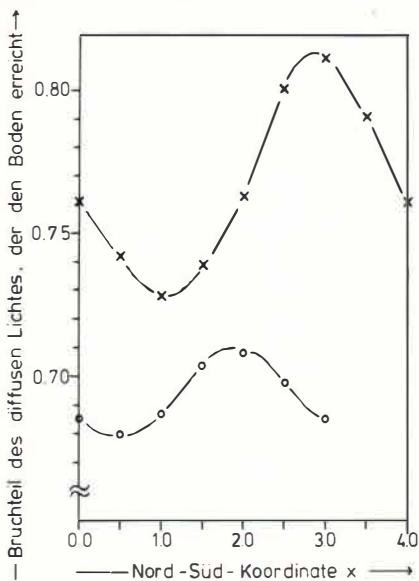


ABB. 4 ABHÄNGIGKEIT DES BRUCHTEILS des diffusen Lichtes, der auf den Boden unter den Kollektoren fällt, von der Nord-Süd-Koordinate

Es sollte darauf hingewiesen werden, daß eine solche Rechnung auch ein Weg ist, den von einem Kollektorfeld beliebigen Abstandes und beliebiger Neigung empfangenen Strahlungsbetrag zu erhalten, Abb. 7 zeigt diese Daten, die man aus den Ergebnissen der Abb. 6 erhalten kann. Man sollte dabei berücksichtigen, daß diese Kurven sich etwas von denen für einen Einzelkollektor unterscheiden, weil es, besonders im Winterhalbjahr, etwas Abschattung zwischen benachbarten Einheiten gibt. Ein anderer in Abb. 7 nicht berücksichtigter Faktor ist der (geringe) Betrag von Licht, der die Rückseiten der Kollektoren trifft. Der Gewinn an Solarenergie beträgt pro Jahr näherungsweise 1188 kWh/m<sup>2</sup> für Fall 1 und 1199 kWh/m<sup>2</sup> für Fall 2, bezogen auf die Kollektorgröße.

### Zwei Drittel der Strahlung ist verwendbar

Das wichtigste Ergebnis dieser Arbeit wird in Abb. 6 ausgedrückt: Etwa  $\frac{2}{3}$  der Strahlung ist noch für andere Zwecke verwendbar, sogar dann, wenn die Kollektoranordnung für Sonnenenergiekonversion optimiert ist. Dies stimmt insbesondere für Bedingung 1. In diesem Fall beträgt die Kollektorfläche etwa  $\frac{1}{3}$  der benutzten Land-

fläche und die auf die Kollektoren fallende Strahlung ist ebenfalls etwa  $\frac{1}{3}$  der Gesamtstrahlung. Der Hauptvorteil dieser Anordnung ist jedoch eine sehr viel gleichmäßigere Verteilung der Energie zwischen Sommer und Winter. Hätte man Wetterdaten mit einer höheren Globalstrahlung im Winter benutzt, dann wäre dies noch stärker zum Ausdruck gekommen. Bedingung 2 ist sogar noch stärker für den Winterbetrieb optimiert, wie man aus Abb. 7 entnehmen kann. Natürlich ist es möglich, einen größeren Abstand zwischen den Kollektorreihen zu wählen, wenn die gleichzeitige Nutzung zur Sonnenenergiegewinnung und zu landwirtschaftlichen Zwecken eine andere Optimierung günstiger erscheinen läßt. Eine andere Betrachtungsweise des hier behandelten Problems ist die folgende: Wenn Solarkollektoren in gemäßigten klimatischen Zonen aufgestellt werden sollen, ist das Wachstum von Unkraut unter den Kollektoren unter Kontrolle zu halten. Warum sollten dann nicht Kulturpflanzen angebaut werden? Der Abstand zwischen den Kollektorreihen kann groß genug gemacht werden, um die Anwendung landwirtschaftlicher Maschinen zu ermöglichen.

### Mehr Licht durch weißen Anstrich oder durch Spiegel an der Kollektorrückseite

Ein spezielles Problem wurde hier nicht behandelt, nämlich der Austausch von Strahlung zwischen den Kollektoren und den Pflanzen bzw. der Erde, da dies zu sehr von den speziellen Umständen abhängt. Man kann davon ausgehen, daß die Kollektoren, wenn sie richtig konstruiert sind, das Licht normalerweise sehr gut absorbieren; wenn es jedoch streifend einfällt, könnte ein beträchtlicher Teil auf den Boden reflektiert werden. Umgekehrt kann Licht von Pflanzen oder vom Boden auf die Kollektoren reflektiert werden. Zusätzliches Licht auf anderen Kollektoren oder auf dem Boden könnte man erhalten, wenn die Rückseiten der Kollektoren reflektiert werden. Spiegel dürften wohl unpraktisch sein, aber ein einfacher weißer Anstrich hätte den gleichen Effekt.

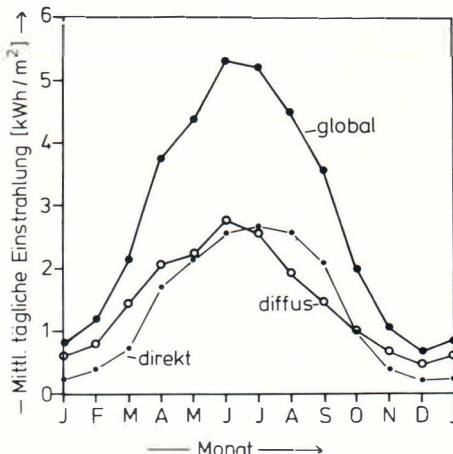


ABB. 5 FÜR DIE RECHNUNG benutzte Wetterdaten (Zweijahresmittelwerte 1978, 1979; Wetteramt Freiburg)

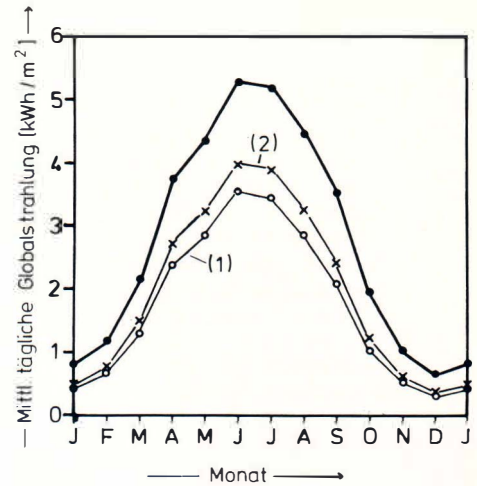


ABB. 6 GLOBALSTRAHLUNG AUF DEM BODEN mit und ohne Kollektoren in Abhängigkeit von der Jahreszeit

Wir stellen nun die Frage nach der Art der in diesem Zusammenhang anzustrebenden Solarenergienutzung. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, halten wir die photoelektrische Nutzung, d. h. Solarzellen, für die attraktivste, aber auch die Gewinnung thermischer Energie ist möglich.

Es gibt Studien, die als eine erste attraktive Anwendung die Gewinnung photo-

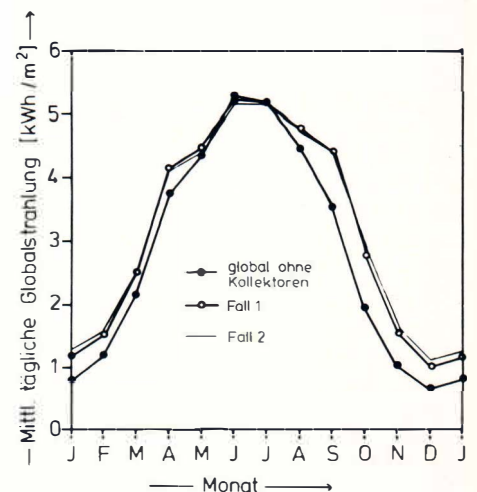


ABB. 7 AUF DIE KOLLEKTOREN treffende Strahlung. Die totale Globalstrahlung wird pro m<sup>2</sup> Bodenfläche, die Strahlung auf den Kollektoren pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche angegeben

elektrischer Energie auf den Dächern von Einfamilienhäusern in Verbindung mit dem Stromnetz ergeben haben. Diese Anwendung gibt eine Vorstellung von der kleinsten Einheit, die wirtschaftlich mit dem Netz verbunden werden kann. Daher müßten photoelektrisch-landwirtschaftliche Farmen der hier untersuchten Art nicht von ungeheurer Größe sein, sondern könnten auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche durchschnittlicher Größe aufgebaut werden. Dieser Typ von Solarfarm würde im allgemeinen nicht direkt mit einem Verbraucher verbunden werden, sondern für das Netz produzieren. So könnte er sich z. B. im Besitz des Energieversorgungsunternehmens befinden und von diesem gewartet werden. Es sollte auch



erwähnt werden, daß dann, wenn sowohl photoelektrische Panels als auch der Anbau von Pflanzen, die bei reduzierter Strahlung wachsen, auf einem gegebenen Stück Land für sich allein wirtschaftlich sind, die einzigen zusätzlichen Kosten bei der Kombination beider Nutzungen diejenigen für die Anhebung der Kollektoren auf ein genügend stabiles Gestell sind.

Zum Abschluß soll betrachtet werden, welche Pflanzen unter den Kollektoren angebaut werden könnten oder sollten. Diese Frage wird hier nur kurz gestreift, da sie Gegenstand von Biologie oder Agrarwissenschaft ist. Eine vorläufige Diskussion ergab bereits eine Anzahl von Vorschlägen (8). Zunächst sollte man keine Pflanzen anbauen, deren Wachstum durch die Verfügbarkeit von Licht begrenzt ist. Das sind meistens diejenigen mit C<sub>4</sub>-Metabolismus, wie z. B. Mais. Pflanzen, die mit den Kollektoren koexistieren könnten, sind dagegen Roggen, Hafer, Gerste und speziell Zuckerrüben. Sehr attraktiv könnte in manchen Gegenden auch die Viehzucht sein; so könnte man Schafe, Wild oder sogar Rinder dort weiden lassen, wenn nur die Kollektorstruktur stabil genug gemacht wird. ●

#### Literatur

- (1) H. J. Queisser und P. Wagner  
Photoelektrische Solarenergienutzung  
Mat. zur Umweltforschung  
Ed. Rat von Sachverständigen f. Umweltfragen (1980)
- (2) W. Seifritz  
Sanfte Energietechnologie – Hoffnung oder Utopie?  
Karl Thieme-Verlag, München (1980)
- (3) M. C. Russell  
14th IEEE PV Spec. Conf. 1117 (1980)
- (4) s. zum Beispiel B. Stoy  
Wunschenergie Sonne  
Energie-Verlag, Heidelberg (1980)
- (5) P. D. Maycok  
14th IEEE PV Spec. Conf. 5 (1980)
- (6) A. Goetzberger, A. Zastrow:  
Solar World Forum  
Brighton, Poster, (1981)
- (7) A. Goetzberger, A. Zastrow;  
Int. J. Sol. En.  
zur Veröffentlichung eingereicht (1981)
- (8) H. Mohr  
persönl. Kommunikation

#### Aus dem Papierkorb der Redaktion

„Hypothetische Störfälle oder Unfälle in Kernkraftwerken sind Ereignisse, bei denen definitionsgemäß katastrophale Auswirkungen für die Umgebung nicht auszuschließen sind.“

(Definition aus einer Werbeschrift für eine Veröffentlichung über „Hypothetische Störfälle bei leichtwasser-modernisierten Kernenergieanlagen im Rahmen der Notfallschutzplanung des Verlages TÜV Rheinland GmbH, Köln)

# Wer Wind sät, wird Energie ernten

Von Dr. Horst Selzer

In den USA wurde die erste Großanlage zur Nutzung der Windenergie „frei“ in Auftrag gegeben, d. h. ohne direkte staatliche Einflußnahme. Die Pacific Gas- and Electric Comp. (PGEC) hat bei der Firma Boeing Engineering and Constructions Comp. einen 2 MW-Windenergiekonverter „Mod-2“ bestellt. Der Aufstellungsort wird der Landkreis Solano, ca. 50 km nordöstlich von San Francisco sein. Damit erhielt die Fa. BEC bereits den fünften Auftrag für eine „Mod-2“. Drei Anlagen wurden im Mai 1981 in Goldendale, Wash., in Betrieb genommen. Eine weitere wird im nächsten Jahr in Medicine Bow (nördlich von Denver) folgen.

Die Fa. Boeing Eng. and Constr. hat die „Mod-2“ als Ganzstahlkonzept verwirklicht, d. h. sowohl Turm wie auch Rotorblätter wurden in Stahl gefertigt. Die augenfällige Besonderheit des Entwurfs liegt in der Rotorbauweise. Die beiden sonst getrennt an der Nabe befestigten Rotorblätter sind starr miteinander verbundener und bestehen aus einem 18,2 m langer geraden Mittelteil mit ovalen Querschnitt an das nach jeder Seite ein 22,8 m langes geradlinig profiliertes Zwischenstück angeflanscht wird. In diesem Zwischenstück wird der Zapfen der 13,6 m langen Blattspitze gelagert, die durch einen Hydraulikkolben in ihrem Anstellwinkel gemäß der Windgeschwindigkeit und Betriebsituation bis zu 100° verdreht werden kann, mit einer Winkelgeschwindigkeit von max. 6 Grad pro sec. Wie die Abbildungen deutlich erkennen lassen, hat das Rotorblatt keine äußere Verwindung des NACA 230XX-Profils. Um plötzliche Windlasten und wechselnde Belastung in der oberen bzw. unteren Position abmildern zu können wurde der Rotor nicht starr mit der Hauptwelle verbunden, sondern ein Schlaglenker aus konzentrischen Metall-Elastomer-Ringen (analog zu den ebenen Schwing-Metallen) eingefügt.

