

# Grundlagen der Landtechnik

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Herausgegeben mit Unterstützung durch die  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft  
Braunschweig-Völkenrode (FAL)

Schriftleitung: Dr. F. Schoedder, Institut  
für landtechnische Grundlagenforschung

Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 1, S. 1 bis 28

## Stand und Aussichten der Solartechnik in der Landwirtschaft

Von Franz Wieneke, Göttingen\*)

DK 613.17:620.91:697.7

Die sprunghaften Preissteigerungen der fossilen Energieträger und ihre Verknappung stellen immer dringlicher die Frage, wie weit der Energiebedarf durch alternative, erneuerbare Energieträger gedeckt werden kann. Das gilt auch für die Landwirtschaft [1]. Die Nutzung der überall verfügbaren Solarenergie liegt besonders nahe. Die von der Sonne innerhalb einer halben Stunde auf die Erde eingestrahlte Energie macht den gesamten Energieverbrauch der Menschen für ein ganzes Jahr aus [2]. Eine breitere Nutzung indes bereitet infolge der geringen Energiedichte und des zeitlich ungleichförmigen Angebots große Schwierigkeiten.

### 1. Einleitung

Aus der Vielzahl der Vorschläge, die in der Euphorie der ersten Entwicklungsphase gemacht wurden, zeichnen sich einige Nutzungsmöglichkeiten von Solarenergie für den Bereich der Landwirtschaft ab; folgende wichtige seien genannt:

**Fotosynthese** – Umsetzung von Kohlendioxid und Wasser in Kohlenhydrat und Sauerstoff, wie sie bei der Produktion von Biomasse abläuft

**Fotovoltaische Umwandlung** – direkte Umwandlung der Sonnenstrahlen in elektrische Energie, z.B. mittels Solarzellen

**Thermische Umwandlung** – direkte Umwandlung der Sonnenstrahlen in Wärme, z.B. mittels Solar-Kollektoren und der indirekte Entzug von Wärme aus Luft, Boden oder Wasser mittels Wärmepumpe.

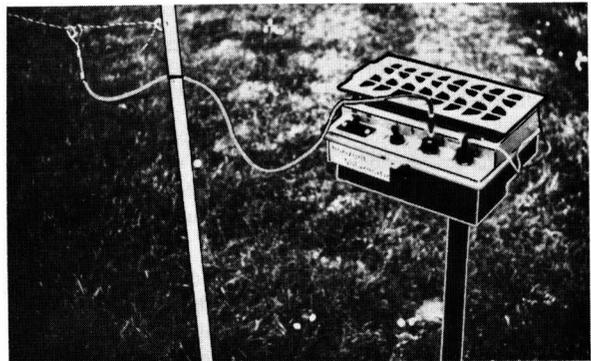
Von diesen Nutzungsmöglichkeiten wird im folgenden insbesondere der Stand der thermischen Umwandlung aufgezeigt. Zunächst aber werden Beispiele der Anwendung von Solarzellen genannt. Auf die Fotosynthese wird im Rahmen dieses Berichtes nicht eingegangen.

### 2. Fotovoltaische Umwandlung

#### 2.1 Solarzellen

Als Anwendungsgebiete von Solarzellen im landwirtschaftlichen Bereich sind zu nennen:

- Versorgung und Stromlieferung für Einzelaggregate wie Wasserpumpen und elektrische Weidezäune, **Bild 1**
- Versorgung von Gemeinschaftsanlagen und Einzelhäusern mit Strom, **Bild 2**.



**Bild 1.** Mit einem Solargenerator betriebener elektrischer Weidezaun (Werkphoto Horizont Gerätebau).



**Bild 2.** Dachziegel mit integrierten Solarzellen (Photo Stork).

\*) Prof. Dr.-Ing. Franz Wieneke ist Ordinarius und Direktor des Landmaschinen-Instituts der Universität Göttingen.

Einem breiteren Einsatz von fotovoltaischen Solar-Generatoren steht häufig der relativ hohe Preis von 30 bis 50 DM pro Watt entgegen. Die Herstellungskosten von Solarzellen sind aber in den letzten Jahren stark gefallen. Fischer [3] prognostiziert eine weitere Senkung der Herstellungskosten bis auf 0,50 DM/W im Jahre 1985, Bild 3. In den USA wird erwartet, daß im nächsten Jahrzehnt Solar-Generatoren wirtschaftlich die Stromversorgung abgelegener Dörfer übernehmen können.

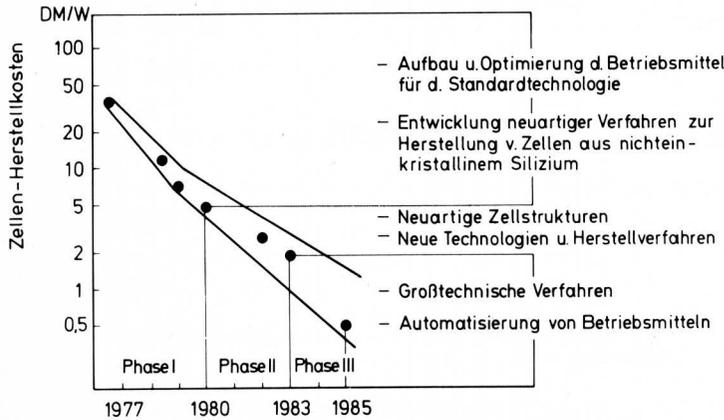


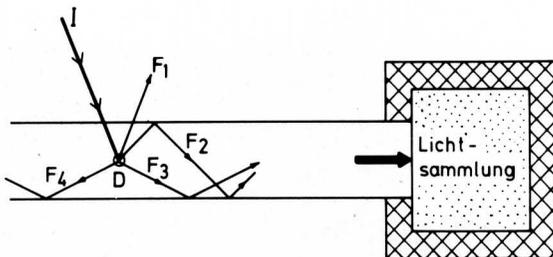
Bild 3. Prognose für die Herstellkosten von Solarzellen (nach Fischer [3]).

## 2.2 Fluoreszenz-Konzentratoren

Fluoreszenz-Konzentratoren stellen Kollektorsysteme dar, die sowohl gerichtete als auch diffuse Sonnenstrahlung mittels der Fluoreszenz konzentrieren, Bild 4.

Als Konzentrador wirkt eine Platte, die aus transparentem Grundmaterial mit fluoreszierenden Zentren besteht und so die Sonneneinstrahlung sammelt. Das durch die Fluoreszenz konzentrierte Sonnenlicht kann zur Wärme- und Stromerzeugung genutzt werden.

Gegenüber der Ausnutzung von Solarenergie durch die Solarzellen mit maximal 16 % lassen sich auf dem Weg über die Fluoreszenzkonzentration Wirkungsgrade über 50 % erreichen. Goetzenberger u.a. [4] erwarten, daß in einigen Jahren dieses Prinzip die Anwendungsreife erreichen wird.



Das Farbstoffmolekül D absorbiert das einfallende Licht I, das Fluoreszenzlicht wird teils reemittiert ( $F_1$ ), teils im transparenten Medium geführt ( $F_2 \dots F_4$ )

Bild 4. Wirkungsweise eines Fluoreszenz-Konzentratoren (nach Goetzenberger u.a. [4]): Das Farbstoffmolekül D absorbiert das einfallende Licht I, das Fluoreszenzlicht wird teils reemittiert ( $F_1$ ), teils im transparenten Medium geführt ( $F_2 \dots F_4$ ).

## 3. Thermische Umwandlung mittels Kollektoren

Die thermische Umwandlung der Solarenergie läßt sich bei niederen Temperaturen ohne großen baulichen Aufwand mit relativ gutem Wirkungsgrad mittels Solar-Kollektoren durchführen. Der Absorber fängt die Sonnenstrahlen mit seiner schwarzen Fläche auf, erwärmt sich und gibt die Wärme an vorbeifließende Medien, wie Wasser oder Luft, ab. Dabei nutzen Flachkollektoren nicht nur die direkte Strahlung, sondern auch die diffuse Strahlung.

In der Landwirtschaft können Kollektoren zur Erwärmung von Luft für Trocknungsanlagen, für die Brauchwasserbereitung und Heizung Anwendung finden.

In den letzten Jahren ist eine Vielzahl verschiedener Luft- und Wasser-Kollektoren entwickelt worden, die sich hinsichtlich des baulichen Aufwandes und des Wirkungsgrades der Energieumwandlung unterscheiden. Der Wirkungsgrad eines Flachkollektors hängt ab von dem Konversionsprodukt  $a \tau$ , wobei  $a$  den Absorptionsgrad der absorbierenden Fläche und  $\tau$  den Transmissionsgrad der transparenten Abdeckung bedeuten, sowie dem Wärmeverlust, der von der Isolierung und damit vom Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$  abhängt, Bild 5. Das Konversionsprodukt sollte größer als 0,7, der Wärmedurchgangskoeffizient  $k$  für den Gesamtkollektor bezogen auf die Absorberfläche kleiner als  $5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  sein, wenn über einen größeren Temperaturbereich ein guter Wirkungsgrad gewünscht wird.

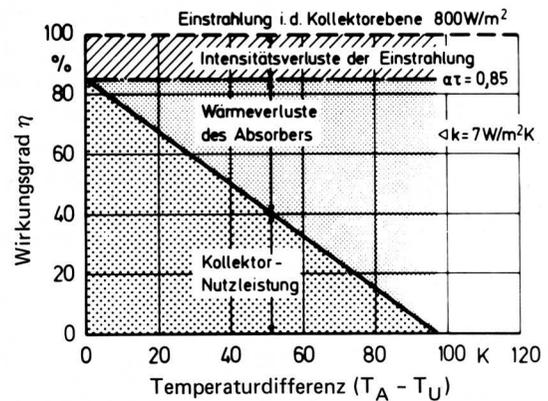
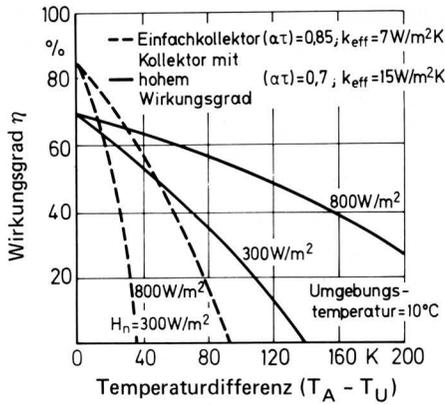


Bild 5. Wirkungsgrad eines Flachkollektors mit Einfachverglasung in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz (nach RWE [5]).

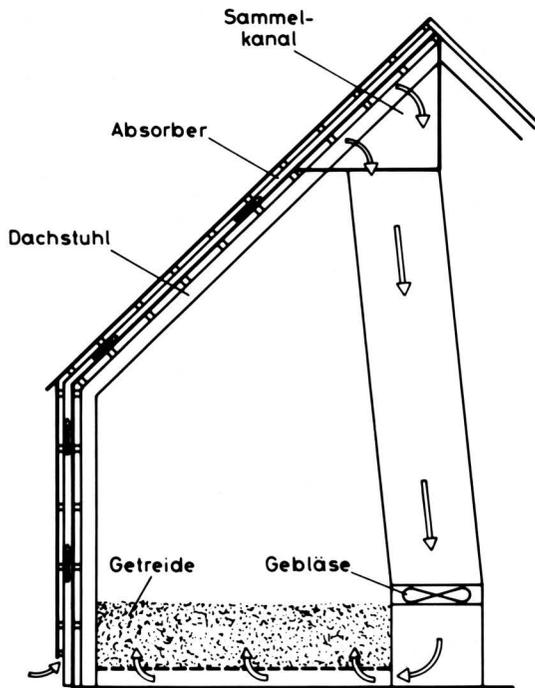
Bei geringen Temperaturdifferenzen weisen aber auch weniger aufwendige Kollektoren, etwa solche mit einer einfachen Glasabdeckung des Absorbers, einen relativ hohen Wirkungsgrad bis in den Bereich von  $\eta = 0,7$  auf, Bild 6. Der Wirkungsgrad fällt mit steigender Temperaturdifferenz indes steiler ab als bei den hocheffizienten Kollektoren, die eine doppelte Abdeckung oder eine selektive Beschichtung besitzen. Bei kleinen Temperaturdifferenzen wirkt sich die Verminderung der Transmission der Strahlen durch die Doppelverglasung relativ stärker aus, so daß der Wirkungsgrad dort meist niedriger liegt als bei einfacher, transparenter Abdeckung.

Für Lufterwärmungen bis in den Bereich von 10 K, wie sie für die SATZtrocknung in Betracht kommen, lassen sich damit einfache Kollektoren bei relativ hohen Wirkungsgraden durchaus wirtschaftlich einsetzen. Für die Brauchwasserbereitung und Heizung dagegen, die eine Temperaturerhöhung bis in den Bereich von 40 bis 60 K verlangen, lohnen eher aufwendigere Bauarten oder der Verbund mit anderen Techniken wie der Wärmepumpe.

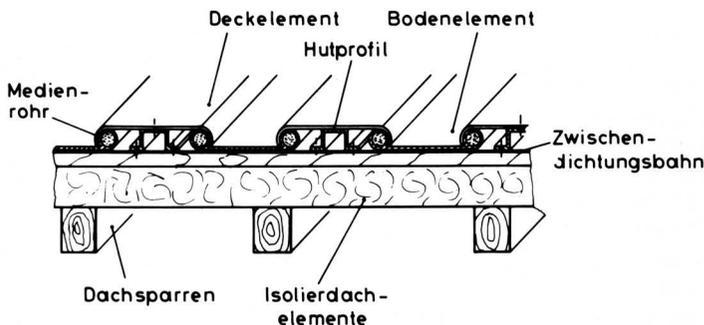
Es liegt nahe, Solar-Kollektoren mit dem Dach und der Gebäudefassade zu verschmelzen, um raumsparende und kostengünstige Lösungen zu erhalten und darüber hinaus die Isolierung des Gebäudes zu verbessern, Bild 7.



**Bild 6.** Wirkungsgrad verschiedener Flachkollektoren in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz (nach Kalischer [6]).



**Bild 7.** Getreide-Satztrocknungsanlage mit solarer Lufterwärmung (nach Jansson [7]).



**Bild 8.** Aufbau eines "Energiedaches" (Werkbild Fa. Contacta [8]).

Eine besondere Form des Solardaches stellt das "Energiedach" dar. Die Dachhaut aus Metall ist von Kanälen durchzogen, in denen ein Wärmeträger fließt, Bild 8. Im Zusammenwirken mit der Wärmepumpe wird der Wärmeträger gegenüber der Außenluft unterkühlt, so daß er neben der eingestrahlenen Sonnenenergie auch Energie aus der Außenluft und auch aus den Niederschlägen aufnehmen kann.

Eine Gegenüberstellung hinsichtlich des Energiegewinns von Solar Kollektoren und Energiedach hat Bossel [9] vorgenommen. Die nutzbare Leistung der Solarkollektoren und des Energiedachs folgt aus der Beziehung

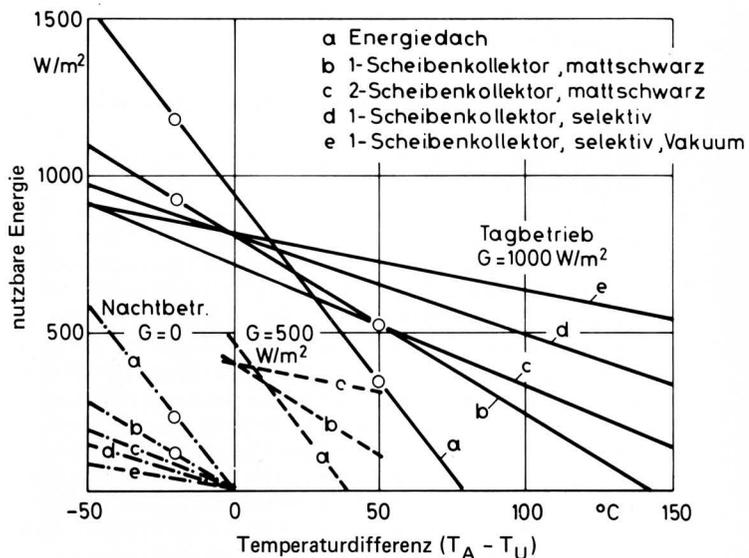
$$q_n = c G - k (T_A - T_U).$$

Es bedeuten:

- $q_n$  Nutzleistung pro Flächeneinheit ( $W/m^2$ )
- $c$  Strahlungs-Wandlungszahl
- $c = a$  für das Energiedach
- $c = a \tau$  für den Kollektor
- $a$  Absorptionsgrad
- $\tau$  Transmissionsgrad
- $G$  Globale Bestrahlungsstärke ( $W/m^2$ )
- $k$  Wärmedurchgangskoeffizient für den gesamten Wärmesammler bezogen auf die absorbierende Fläche ( $W/m^2 K$ )
- $T_A$  Temperatur des Absorbers
- $T_U$  Temperatur der Umgebung.

Die durch die verschiedenen Elemente nutzbar gemachte Energie stellt bei üblichen Werten für die Strahlungs-Wandlungszahl  $c$  und den definierten Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$  Bild 9 dar. Kollektoren liefern während des Tages bei größeren Temperaturdifferenzen mehr Energie. Im Nachtbetrieb dagegen kann das Energiedach infolge seines größeren Wärmedurchgangskoeffizienten eine größere Wärmemenge aus der Umgebung aufnehmen als die besser isolierten Kollektoren. Mit dem Energiedach läßt sich im Jahresablauf nach Angabe von Stoy [10] ein bis zu 2 1/2-facher Betrag an Energie gegenüber den Kollektoren nutzbar machen.

Die bisher angebotenen Energiedächer arbeiten mit flüssigen Wärmeträgern und sind für die Wärmegewinnung zu Heizzwecken und zur Brauchwassererwärmung vorgesehen.



**Bild 9.** Nutzbare Energie von Energiedach und Solarkollektoren als Funktion der Temperaturdifferenz (nach Bossel [9]).

#### 4. Nutzung der Solarenergie für die Warmwasserbereitung und Trocknung in der Landwirtschaft

Um die Bedeutung der Solarenergie für die Landwirtschaft abschätzen zu können, sollen zunächst das Angebot an Solarenergie und der Energiebedarf des landwirtschaftlichen Betriebes über den Jahresablauf einander gegenübergestellt werden.

Den typischen Jahresverlauf der Globaleinstrahlung zeigt das Bild 10. Das hohe Angebot an Solarenergie während der Sommermonate legt es nahe, die Einsatzmöglichkeiten der Solarenergie für die in diese Saison fallende landwirtschaftliche Trocknung zu nutzen. Daneben fordert die Brauchwasserbereitung über das Jahr hinweg einen annähernd konstanten Energiebedarf. Der großen Energieanforderung für die Heizung in den Wintermonaten steht leider nur ein sehr begrenztes Solarenergieangebot gegenüber.

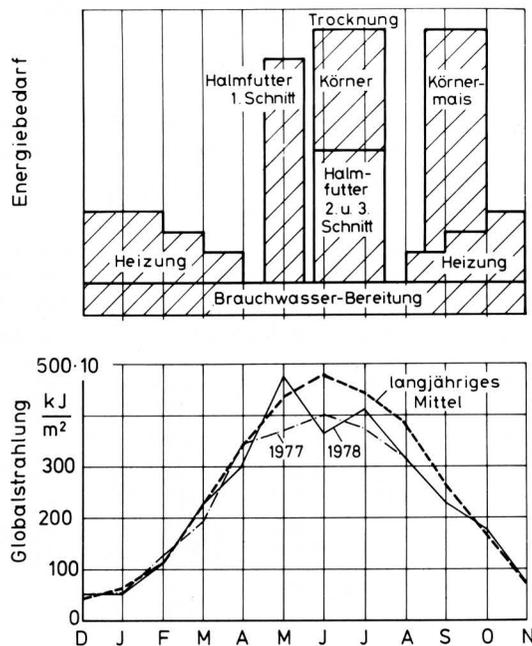


Bild 10. Energiebedarf der Landwirtschaft und solares Energieangebot über den Jahresverlauf.

##### 4.1 Warmwasserbereitung und Heizung für das Wohnhaus

In diesem Sektor unterscheiden sich die Erfordernisse im landwirtschaftlichen Bereich kaum von denen städtischer Haushalte. In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Pilot-Solaranlagen, auch im Verbund mit der Wärmepumpe, ausgeführt. So wurde im Jahre 1978 eine Testanlage zwischen Düsseldorf und Essen untersucht mit dem Ziel, den Beitrag der Solarenergie zur Deckung des Wärmebedarfs für die Warmwasserbereitung zu ermitteln [11]. Die Anlage bestand aus fünf einfach verglasten Kollektoren mit je 1,35 m<sup>2</sup> Absorberfläche. Die Solarwärme wurde einem Wasser-Glykol-Gemisch in einem doppelwandigen Warmwasserbereiter mit einem Speicherinhalt von 500 l übertragen. Die tägliche Entnahme von 240 l entspricht etwa dem Warmwasserbedarf eines 4-Personen-Haushalts. Die Warmwassertemperatur lag bei 50 °C. Es war eine Zusatzheizung des Speicherwassers über ein Elektroheizaggregat vorgesehen. Im Jahresdurchschnitt konnte der Bedarf zu 35 % durch Solarenergie gedeckt werden; in den Wintermonaten zu 20 %, in den Sommermonaten zu 60 %. Selbst bei einer gewissen technischen Verbesserung des Systems wird erwartet, daß nur etwa 40 % des Warmwasser-Wärmebedarfs durch Solarenergie gedeckt werden kann.

In der Versuchsanlage "Sonnenhaus Essen" mit einer Kollektorfläche von 65 m<sup>2</sup> konnte durch den Einsatz der Wärmepumpe der Anteil der Solarenergie bei der Warmwasserversorgung im Jahresmittel 1978 auf rund 60 % gesteigert werden. In den Sommermonaten wurden 80 bis 90 % abgedeckt.

Die für die Wärmerückgewinnung aus Haushaltsabwasser erforderlichen technischen Aufwendungen (Speicher- und Wärmepumpenanlage, getrennte Systeme für WC- und sonstiges Abwasser) sind relativ groß. Der Kostenaufwand kann zur Zeit durch die Energieeinsparung nicht finanziert werden.

Der Aufwand für eine Solaranlage mit rund 6 bis 9 m<sup>2</sup> Kollektorfläche, die für einen 4-Personen-Haushalt für die Warmwasserbereitung erforderlich ist, beträgt mindestens rund 10000 DM. Mit ihr können im Jahr etwa 400 l Heizöl eingespart werden. Müller [11] kommt so zu dem Ergebnis, daß die Voraussetzungen für einen wirtschaftlich vertretbaren Einsatz derartiger Anlagen in Wohnhäusern derzeit noch nicht gegeben sind.

Nach der Bewertung von Hörster und Kersten [12] steht die Wandlung der Sonnenenergie in thermische Energie zur Deckung des Energiebedarfs von Warmwasseranlagen und Heizungen an der Schwelle der Wirtschaftlichkeit.

Ein Einfamilienhaus üblicher Isolierung (Haustyp N) mit 120 m<sup>2</sup> Wohnfläche wird einen jährlichen Heizbedarf von 30000 kWh für die Heizung und 4000 kWh für Warmwasser haben. Ein gleichgroßes Haus, jedoch mit einer Wärmeisolierung, wie sie in Schweden Vorschrift ist (Haustyp S), besitzt dagegen nur einen Wärmebedarf von 8000 kWh für die Heizung und 4000 kWh für Warmwasser. Belegt man dieses Standardhaus mit rund 50 m<sup>2</sup> Standard-Kollektoren (einscheibige Glasabdeckung), so läßt sich der Wärmebedarf zu etwa 22 % decken. Für den Fall effizienter Kollektoren sind es rund 40 %, Bild 11.

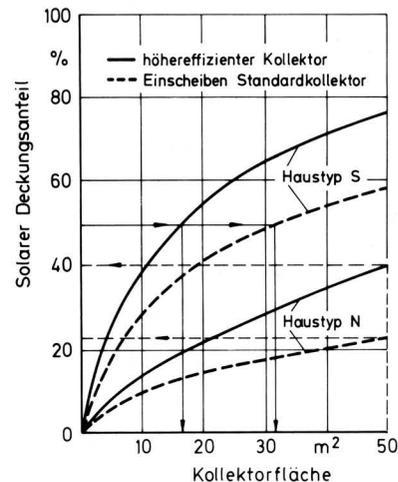


Bild 11. Deckungsanteil der Solarenergie am Wärmebedarf für Warmwasser und Heizung in Abhängigkeit von der Kollektorfläche (nach Hörster und Kersten [12]).

Für den Haustyp S werden bei einem solaren Deckungsanteil von 50 % bei den effizienteren Kollektoren 17 m<sup>2</sup> und bei Standard-Kollektoren 32 m<sup>2</sup> benötigt. So ergibt sich bei einem Kollektorpreis von 500 DM/m<sup>2</sup> für diesen Haustyp ein Preis von 0,14 DM/kWh für eine Solaranlage mit effizienten Kollektoren und 0,27 DM/kWh für Standard-Kollektoren. Ein Preis von 0,14 DM/kWh liegt unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades von Ölfeue-rungsanlagen in der Nähe der heutigen Heizölpreise.

Große Erwartungen werden dem Energie-Dach entgegengebracht; es kann, wie bereits dargelegt, nicht nur die Strahlungsenergie der Sonne, sondern auch die Umgebungswärme einfangen. Genaue Aussagen über die Wirtschaftlichkeit dieses Systems liegen noch nicht vor. Nach Overberg [13] können bis zu 80 % des Wärmebedarfs eines Wohnhauses durch das Energiedach gedeckt werden.

Die Kosten für Beschaffung und Installation des Energiedachs sollen um 50 % gegenüber den Kollektoren gesenkt werden können, Bild 12, [14].

Die Kostenaufstellungen für den Betrieb einer Luft-Wasser-Wärmepumpe im Vergleich zur Ölheizung gibt Rinck [15] in Tafel 1 an.

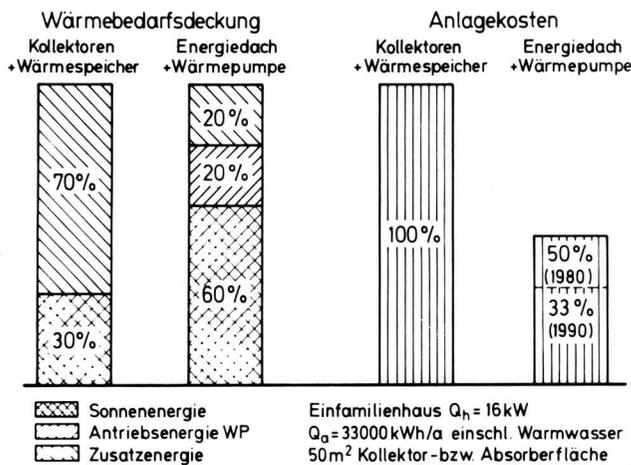


Bild 12. Vergleich von Kollektoren und Energiedach hinsichtlich der Wärmebedarfsdeckung und der Anlagekosten (nach RWE [14]).

		Ölheizung	bivalente Wärmepumpe (Luft – Wasser)
1	Anlagekosten	DM 18000	29200 <sup>1)</sup>
2	Kapitalkosten	DM/a 2160	3505
3	Wartungskosten	DM/a 400	400
4	Stromkosten <sup>2)</sup>	DM/a	904
5	Ölkosten <sup>3)</sup>	DM/a 2623	688
6	Energiekosten und Wartung	DM/a 3023	1992
7	Gesamtkosten (2 und 6)	DM/a 5183	5497

1) Einschließlich Ölbrenner und Kessel sowie Fußbodenheizung

2) Stromkosten 0,10 DM/kWh

3) Ölkosten 0,60 DM/l Heizfläche  $160 \text{ m}^2$

Tafel 1. Kostenvergleich Ölheizung und Luft-Wasser-Wärmepumpe (nach Rinck [15]).

#### 4.2 Landwirtschaftliche Trocknung mit solarerwärmter Luft

Gute Aussichten bietet die Nutzung der Solarenergie bei der Körnertrocknung; Körner haben je Masseinheit einen relativ hohen Produktionswert. Überdies muß nur eine geringe Wassermasse verdunstet werden, wenn man den feuchteren Körnermais zunächst einmal ausschließt, dessen Trocknungsaison zudem in die schon sonnenärmeren Monate fällt.

Nach Mühlbauer [16] werden in der Bundesrepublik Deutschland jährlich 6 bis 8 Mill. t Getreide und 350000 bis 370000 t Mais in Trocknungsanlagen getrocknet. Für die Körnertrocknung sind jährlich etwa 200000 t Heizöl erforderlich, was 0,3 bis 0,4 % des gesamten Heizölbedarfs der Bundesrepublik Deutschland entspricht.

Gesamtwirtschaftlich hat bei uns also dieser Verbrauch an fossilen Brennstoffen für die Trocknung eine untergeordnete Bedeutung, im Gegensatz zu den USA und vielen Ländern der Dritten Welt.

Der starke Anstieg der Energiepreise indes vergrößert die Trocknungskosten erheblich und ist für den Einzelbetrieb entscheidend. Derzeit muß mit Heizölkosten von 0,2 bis 0,65 DM für die Trocknung von 1 dt Getreide gerechnet werden.

Da für die Trocknung landwirtschaftlicher Produkte als Wärmeträger Luft benutzt wird, bietet sich die direkte Erwärmung der Luft durch Solar-Kollektoren an. Luft hat als Wärmeträgermedium den Vorteil, daß sie sich schnell erwärmt (um  $1 \text{ m}^3$  um 1 K zu erwärmen, sind nur 1 kJ Energie notwendig, für  $1 \text{ m}^3$  Wasser braucht man dagegen etwa 4000 kJ).

In den Satz Trocknungsversuchen mit solarerwärmter Luft, die in den Jahren 1977 und 1978 am Landmaschinen-Institut der Universität Göttingen durchgeführt wurden, wurden je  $\text{m}^2$  Trocknungsfläche  $4 \text{ m}^2$  Solar-Kollektoren hocheffizienter Bauart installiert. Die Witterungsbedingungen waren, verglichen mit dem langjährigen Jahresmittel, etwas ungünstiger. Die Körner besaßen eine Einlagerungsfeuchte um 24 %.

Unter den vorstehenden Bedingungen gelang es in den witterungsungünstigen Jahren 1977 und 1978 in allen Fällen Körner dieser Ausgangsfeuchte sicher zu trocknen. Einen typischen Verlauf der Trocknungsgeschwindigkeit und des Energiepiels in Satz Trocknungsanlagen zeigen Bild 13 und 14, [17].

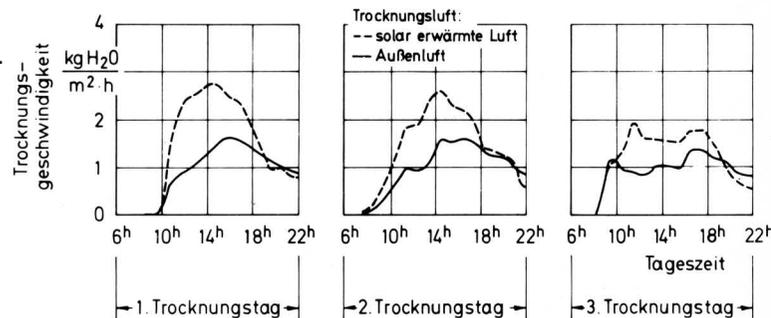


Bild 13. Verlauf der Trocknungsgeschwindigkeit von Weizen bei der Trocknung mit solarkollektorerwärmter Luft im Vergleich zur Außenluft-Satz Trocknung (nach Hartmann [17]).

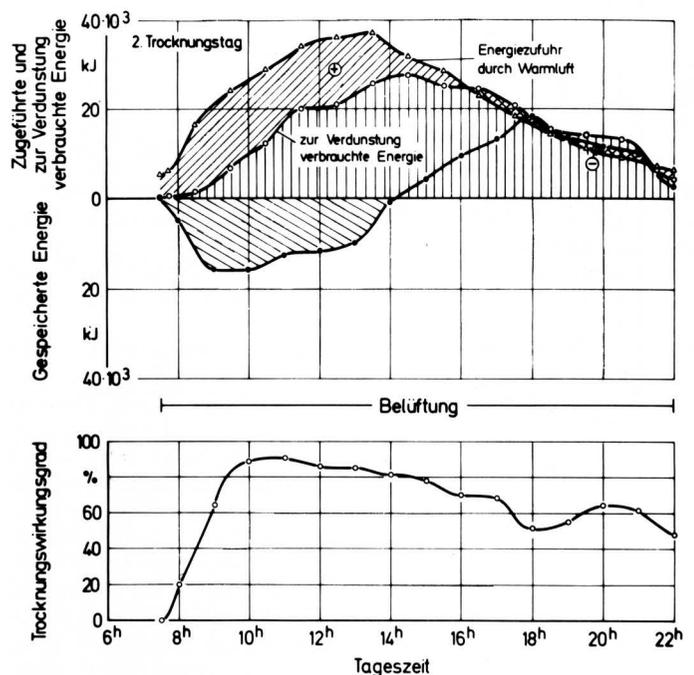


Bild 14. Energiezufuhr und -verbrauch bei der Satz Trocknung von Weizen mit solarkollektorerwärmter Luft (nach Hartmann [17]).

Es zeigt sich, daß die Körnerschüttung als Energiespeicher wirkt: der bereits getrocknete untere Teil der Schüttung erwärmt sich entsprechend der Eintrittstemperatur der Luft in den Vormittagsstunden. Mit sinkender Temperatur während des Nachmittags wird diese gespeicherte Wärme wieder von der durchfließenden kälteren Luft aufgenommen und dient zur Trocknung der oberen Zone. Dadurch kann die Trocknungsdauer verlängert werden. Als nachteilig ist dabei die Untertrocknung sowie das Aufheizen der Körner zu bezeichnen. Die Untertrocknung ist auch wirtschaftlich unerwünscht, da der zusätzliche Wasserentzug vom Handel nicht entsprechend vergütet wird. Eine Keimschädigung der Körner bei einer Erwärmung bis etwa 55 °C konnte indes nicht festgestellt werden.

Durch eine Anpassung der Belüftungsstärke oder durch Einbau eines Speichers, in den die überflüssige Wärme abgeführt wird, ließe sich diese Erscheinung mildern oder aufheben.

### 4.3 Auslegung und Wirtschaftlichkeit von Satz Trocknungsanlagen

Im langjährigen Mittel kann für den Raum Göttingen in den Monaten Juni bis September mit einem Tagesmittel von 400 W/m<sup>2</sup> gerechnet werden. Unterstellt man einen Kollektor-Wirkungsgrad von 0,5 und legt eine Einsatzdauer der Belüftungsanlage von 200 bis 400 h zugrunde, so ergeben sich bei einem Ölpreis von 0,60 DM/l zulässige Kollektorpreise, einschließlich des zugehörigen Kanalsystems, von 40 bis 80 DM/m<sup>2</sup>, **Tafel 2**.

Für die USA kommen *Kline und Odekirk* [18] zu vergleichbaren Werten. Für eine ökonomische Anwendung errechnen sie zulässige Kollektorpreise von 25 US-Dollar pro m<sup>2</sup>.

Es wäre wünschenswert, die Luftkollektoren auch für die Warmwasserbereitung und Heizung in Verbindung mit der Wärmepumpe einzusetzen, um zu längeren Betriebszeiten zu kommen und damit die Investitionen für die Solaranlage anheben zu können.

mittlere Strahlungsintensität	W/m <sup>2</sup>	400		
Temperatur-Erhöhung	K	5,97		
Flächen-Verhältnis Kollektor/Trockn. Anl.	m <sup>2</sup> <sub>Koll.</sub> /m <sup>2</sup> <sub>Tr. A</sub>	3,6		
bez. abgeführte Wassermasse	g/h m <sup>2</sup> <sub>Tr. A</sub>	820,8		
Einsatzdauer	h/a	200	300	400
genutzte Energie	kWh/a m <sup>2</sup> <sub>Koll.</sub>	40	60	80
ges. abgeführte Wassermasse	kg/a m <sup>2</sup> <sub>Koll.</sub>	45,6	68,4	91,2
bei Trocknungskosten 0,13 DM/kg Wasser zulässige Jahreskosten	DM/a m <sup>2</sup> <sub>Koll.</sub>	5,92	8,89	11,85
bei 15 % Jahreskosten zulässige Investitionen	DM/m <sup>2</sup> <sub>Koll.</sub>	39,52	59,28	79,04

Tafel 2. Grenzkosten von Solar-Kollektoren.

## 5. Zusammenfassung

Die Solartechnik in der Landwirtschaft ist bisher in den meisten Fällen über ein Versuchsstadium nicht hinausgekommen. Nachdem die Euphorie der ersten Stunde verflogen und viele der

vorgestellten Lösungen wieder verschwunden sind oder sich als ökonomisch nicht tragbar erwiesen haben, zeichnen sich nach den nun insgesamt vorliegenden Ergebnissen folgende Anwendungsgebiete für die Solartechnik ab:

Im Bereich der Satz Trocknung landwirtschaftlicher Produkte läßt sich eine Temperaturerhöhung bis etwa 10 K über Solar kollektoren ökonomisch erreichen; es bietet sich an, die Kollektoren in das Dach und die Gebäude- oder Behälterhülle in einfacher Weise zu integrieren.

Für die Brauchwassererwärmung und Heizung steht die Solartechnik gerade an der Schwelle der Wirtschaftlichkeit. Die Entwicklung ist noch sehr im Fluß. Solarkollektoren haben eine gewisse Bedeutung für die Brauchwassererwärmung. Für die Heizung scheinen Systeme, welche über Wärmetauscher die Umweltwärme nutzen, vorteilhafter.

Eine größere Chance für die Anwendung von Solarzellen dürfte sich erst mit der Senkung der Herstellkosten eröffnen.

## Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] *Heins, F.*: Energiebedarf der Landwirtschaft für Hausheizung, Warmwasserbereitung und Trocknung. Energie – Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan (1978) H. 5, S. 10/19.
- [ 2 ] Energiesparende Techniken in der Landwirtschaft. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Arbeitskreis Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft, Abt. Landwirtschaft und landwirtschaftl. Bauwesen (1978).
- [ 3 ] *Fischer, H.*: Solarzellen für Raumfahrt und terrestrische Anwendung. Sonnenenergie und Wärmepumpe Jg. 4 (1979) H. 4, S. 5/7.
- [ 4 ] *Goetzenberger, A., G. Bauer u. V. Bittwer*: Fluoreszenzkonzentratoren für Solarzellen. Sonnenenergie und Wärmepumpe Jg. 4 (1979) H. 4, S. 22/26.
- [ 5 ] ● RWE-Bauhandbuch, Technischer Ausbau 1979/80, Essen.
- [ 6 ] *Kalischer, P.*: Solarkollektoren – Technik und Wirkungsweise. RWE informiert Nr. 141.
- [ 7 ] *Jansson, I.*: Bericht der Abt. Farm Buildings der Schwed. Universität f. Agrarwissenschaften, Lund/Schweden, 1978.
- [ 8 ] Pan-a-therm, Energiedach. Druckschrift der Firma Contacta, Planegg/München, 1979.
- [ 9 ] *Bossel, U.*: Wärmebedarfsdeckung durch Umweltenergie: was die Natur gestattet und die Technik kann. Solararchitektur und die Berechnung von Solaranlagen. Solentec, Ges. f. energiesparende Technologien, Adelebsen, 1979.
- [ 10 ] *Stoy, B.*: Das Dach, aus dem die Wärme kommt. Die Welt, 29.11.1978.
- [ 11 ] *Müller, K.G.*: Wärme aus Abwasser und Sonnenkollektoren. VDI-Nachrichten Jg. 33 (1979) Nr. 35, S. 12.
- [ 12 ] *Hörster, H. u. R. Kersten*: Wieviel Wärme kann während eines Jahres genutzt werden? – Systeme der Zukunft. Die Welt Nr. 197, 24.8.1979.
- [ 13 ] *Overberg, H.*: Sonne – bisher vorwiegend eine "Wunschenergie". VDI-Nachrichten Jg. 33 (1979) Nr. 36, S. 33.
- [ 14 ] Das Energiedach. RWE-Information Nr. 157, 1979.
- [ 15 ] *Rinck, Th.*: RWE, Essen, VDI-Vortrag, Hannover 1979.
- [ 16 ] *Mühlbauer, W.*: Nutzung von Sonnenenergie bei der Trocknung von Getreide und Mais. Bericht des Instituts für Agrartechnik, Stuttgart-Hohenheim, 1978.
- [ 17 ] *Hartmann, W.*: Trocknung von Getreide und Halmfutter mit solarerwärmter Luft in Satz Trocknungsanlagen. Diss. Univ. Göttingen 1979.
- [ 18 ] *Kline, G. u. Odekirk*: Solar collector costs for low temperature grain drying. ASAE-Paper 78-3508.