

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. 5, S. 149 bis 180

Messungen an Solarkollektoren für die Landwirtschaft

Von Wulf Grimm, Göttingen*)

DK 620.91:697.329:697.329.004.1

Die Entwicklung der Sonnenenergietechnik ist in den letzten Jahren sehr intensiv betrieben worden. Während die Grundlagenforschung in Industrie und Wissenschaft noch einen breiten Raum einnimmt, um den schwierigen klimatischen Bedingungen mit stark schwankenden Einstrahlungsintensitäten gerecht zu werden, sind bereits verschiedene Systeme zur Nutzung der Sonnenenergie auf dem Markt erhältlich.

1. Einleitung

Für die Erzeugung von Niedertemperaturwärme, sowohl in privaten Haushalten wie auch im landwirtschaftlichen Bereich zur Trocknung, Brauch- oder Heizwasserbereitung, werden derzeit drei grundsätzlich verschiedene Solarkollektorbauarten angeboten. Einerseits solche mit ein- oder zweifachen Abdeckungen, andererseits die als Kollektor ausgebildeten großflächig verlegten Dacheindeckungen von Gebäuden. Eine dritte Variante besteht aus auf dem Erdboden verlegten Kunststoffolien verschiedener Geometrien.

Die Erzeugung von Niedertemperaturwärme für den landwirtschaftlichen Bedarf mit Hilfe der Sonnenenergie erfolgt sinnvollerweise mit Kollektorbauformen, in denen entweder nur Luft oder Luft und Wasser gemeinsam das Wärmeträgermedium sind [1]. Während die erwärmte Luft unmittelbar verschiedenen Trocknungsprozessen zugeführt wird, kann das erwärmte Wasser dem direkten Verbrauch oder einer Energiespeicherung dienen.

Mit Hilfe einer Luft-Wasser-Wärmepumpe ist die erwärmte Luft aber auch zur Erzeugung von Wasser höherer Temperaturen für die Brauch- oder Heizwasserversorgung zu nutzen, wobei die Leistungsziffer der Wärmepumpe infolge der vorgewärmten Luft gegenüber dem Betrieb mit nicht vorgewärmter Ansaugluft steigt.

Im Schrifttum sind Kollektoren vielfältiger Bauformen und Geometrien zur Lufterwärmung zu finden. Die schematische Darstellung des Wirkungsgradverlaufs verschiedener Flachkollektorbauweisen über der erzeugten Temperaturdifferenz nach Kalischer [2], Bild 1, läßt erkennen, daß Kollektoren mit einem relativ einfachen Aufbau ausreichende Temperaturdifferenzen zum Zwecke der Trocknung, Brauchwasserbereitung und Raumheizung erzeugen können. Höhere Temperaturdifferenzen erfordern dagegen aufwen-

digere Konstruktionen sowie besondere Behandlungen der Absorberflächen und Abdeckungsmaterialien, um die Wärmeverluste durch Rückstrahlung beherrschbar zu halten.

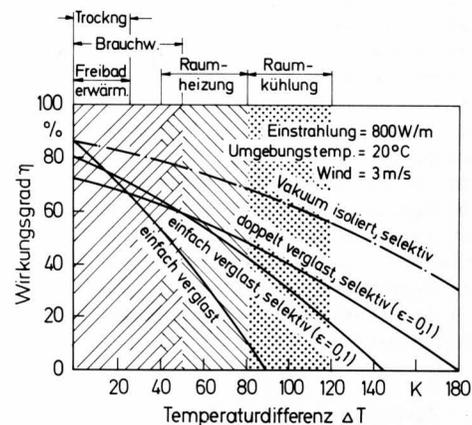


Bild 1. Wirkungsgrad verschiedener Solarkollektoren in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz und Temperaturbereiche für verschiedene Anwendungsgebiete (n. Kalischer [2]).

2. Prinzipielle Wirkungsweise von Kollektoren

An der derzeit verbreitetsten Bauform, dem Flachkollektor mit Abdeckung, Bild 2, sei kurz die Umwandlung der Sonnenenergie in thermische Energie erläutert. Die Sonnenstrahlung fällt auf die transparente Abdeckung des Kollektors, kann diese je nach Strahlungsdurchlässigkeit und Einfallswinkel passieren und wird auf der Absorberfläche mit einer entsprechenden Beschichtung möglichst vollständig absorbiert, was sich in einer Temperaturerhöhung des bestrahlten Materials ausdrückt. Die Temperaturerhöhung setzt sich so lange fort, bis ein Gleichgewicht zwischen Nutzwärmeabfuhr, Wärmeverlusten an die Umgebung und Einstrahlung vorhanden ist.

Die Nutzwärmeabfuhr durch Luft erfolgt zum größten Teil durch den konvektiven Wärmeübergang, der nach der Beziehung

$$\dot{Q} = a \cdot A (T_A - T_L)$$

aus der Absorbertemperatur T_A , der örtlichen Lufttemperatur T_L , der Größe der Berührungsfläche A und dem Wärmeübergangskoeffizienten a bestimmt wird. Letzterer beinhaltet den Einfluß der Strömungsart – laminar oder turbulent – und steigt mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit an.

Vorgetragen bei der Internationalen Tagung Landtechnik in Braunschweig, 7.–9. Nov. 1979.

*) Dipl.-Ing. W. Grimm ist wissenschaftlicher Assistent am Landmaschinen-Institut (Direktor: Prof. Dr.-Ing. F. Wieneke) der Universität Göttingen.

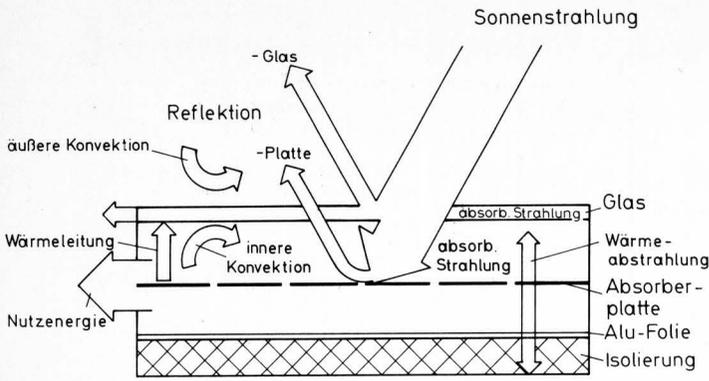


Bild 2. Wärmeströme am Solarkollektor.

Der Wärmeﬂuß von der durch die Strahlung erwärmten Grenzﬂäche zur gesamten von der Luft umströmten Berührungsﬂäche erfolgt durch Wärmeleitung. Der Quotient aus Fläche und Dicke der wärmeleitenden Schicht, multipliziert mit der Wärmeleitfähigkeit des Materials sowie der Temperaturdifferenz zwischen der wärmeren und der kälteren Grenzﬂäche der Schicht, charakterisiert bekanntlich den Vorgang der stationären Wärmeleitung.

Im Kollektor selbst trägt die Wärmestrahlung zwar wenig zur Nutzwärmeabfuhr bei, wohl aber zu den Wärmeverlusten. Das Maximum der auf dem Kollektor auftreffenden Sonnenstrahlungsintensität liegt im Wellenlängenbereich zwischen 0,3 und 2 μm , während die Eigenstrahlung des Absorbers im fernen Infrarotbereich liegt und stark temperaturabhängig ist. Die gebräuchlichen Abdeckungen von Kollektoren aus Glas oder Kunststoff sind im nahen Infrarotbereich, also bis etwa 3 μm , weitgehend transparent für die Strahlung, darüber hinaus jedoch nahezu strahlungsdurchlässig. Dieses führt dazu, daß sich die Abdeckungen infolge der Wärmestrahlung vom Absorber erwärmen und einen nicht nutzbaren Wärmestrom an die Umgebung durch Konvektion und Wärmestrahlung abgeben. Der Wärmeübertragung durch Strahlung ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen, weil nach dem Gesetz von Stefan – Boltzmann:

$$\dot{Q}_{\text{Str}} = A_1 C_{12} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

neben der Fläche des wärmeren Körpers A_1 und den in der Strahlungsaustauschkonstanten C_{12} zusammengefaßten Einﬂüssen der Strahlungsemissionsverhältnisse des wärmeren und kälteren Körpers und des Winkelverhältnisses der Strahlungsﬂächen die thermodynamischen Temperaturen des wärmeren Körpers T_1 und des kälteren Körpers mit ihrer 4. Potenz in die Rechnung eingehen.

Während bei den Wärmeverlusten durch Abstrahlung also die Temperaturen mit der 4. Potenz eingehen, steigen die Wärmeverluste infolge Wärmeleitung und Konvektion linear mit der Temperaturdifferenz an. Zudem ist zu berücksichtigen, daß der abgedeckte Absorber zwar nur gegen die Temperatur der Glasscheibe abstrahlt, die Glasscheibe aber gegen die Himmelstemperatur, die nach Schrifttumangaben im Sommer um 6 K, im Winter bis ca. 20 K niedriger als die Umgebungstemperatur ist. Zur Verminderung von Wärmeverlusten infolge von Wärmestrahlung dienen einerseits Absorberbeschichtungen mit geringer Wärmestrahlungsemission, bekannt als selektive Beschichtungen, andererseits wärmestrahlungsreflektierende Folien oder Beschichtungen der Abdeckungen.

Claus hat die in zahlreichen Versuchen ermittelten Kennwerte von Luftkollektoren aus dem Schrifttum [3 bis 6] zusammengestellt, Bild 3. Der Verlauf des Kollektorwirkungsgrades über dem Luftdurchsatz läßt erkennen, daß mit einer Steigerung des Luftdurchsatzes bei den verschiedenen Kollektorarten eine recht unterschiedliche Zunahme der Kollektorwirkungsgrade verbunden ist. Die von Hartmann an hocheffizienten Flachkollektoren mit Doppelverglasung und wärmereflektierender Glasbeschichtung ermittelten Da-

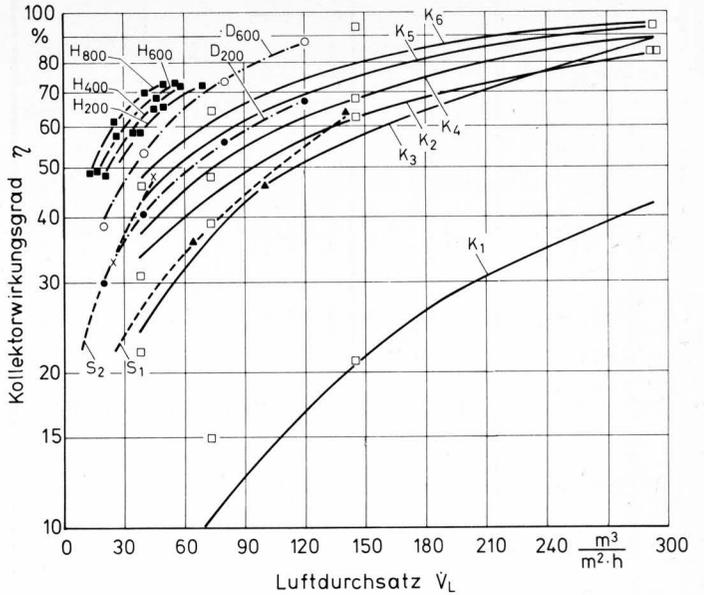


Bild 3. Kollektorwirkungsgrad in Abhängigkeit vom Luftdurchsatz, bezogen auf die Absorberfläche (n. Claus).

ten zeigen, daß gute Wirkungsgrade schon bei geringen Luftdurchsätzen erreichbar sind. Hier fällt auf, daß der Wirkungsgrad bei gleichbleibendem Luftdurchsatz mit abnehmender Einstrahlungsintensität fällt. Der Betrieb einfacher Kollektoren, wie sie von Kline, Darnedde und Schulz untersucht wurden, erfordert einen deutlich gesteigerten Luftdurchsatz, um vergleichbar gute Wirkungsgrade zu erzielen. Die Ursache ist darin zu sehen, daß der Wärmeübergang im Kollektor im wesentlichen konvektiver Natur ist, sich also mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit verbessert, wenn nicht schon besondere Einbauten für eine gute Luftverwirbelung sorgen. Andererseits nimmt der Strömungswiderstand im Kollektor proportional mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zu, so daß für den Betrieb ein Optimum zwischen Aufwand und Energiegewinn bestimmt werden muß.

Die Darstellung des Kollektorwirkungsgrades über der Temperaturdifferenz, Bild 4, ist recht gut zur Charakterisierung der verschiedenen Kollektorbauformen geeignet. Schon im Bereich kleiner Temperaturdifferenzen bis etwa 10 K weisen die einfacheren Kollektortypen einen steilen Abfall des Wirkungsgradverlaufs auf. Eine aufwendigere Bauform mit Doppelverglasung zeigt dagegen einen wesentlich flacheren Verlauf des Kollektorwirkungsgrades und ermöglicht Temperaturdifferenzen bis 50 K bei guter Ausnutzung der eingestrahelten Energie.

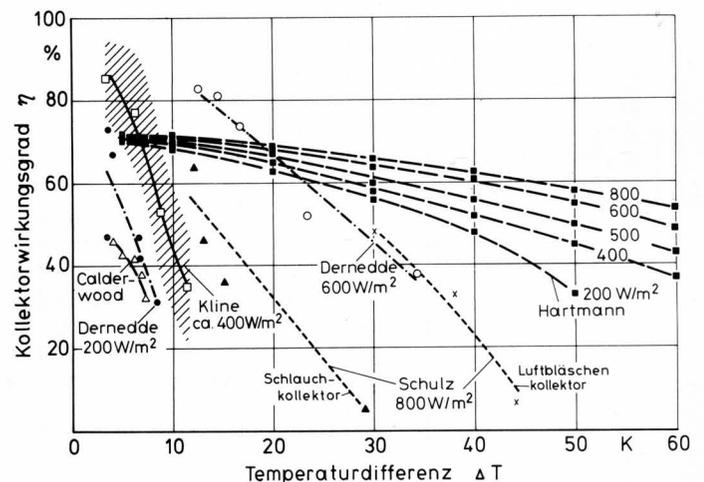


Bild 4. Kollektorwirkungsgrad als Funktion der Temperaturdifferenz (n. Claus).

3. Versuche mit Dachkollektoren

Die am Landmaschinen-Institut der Universität Göttingen im Sommer 1979 durchgeführten Messungen dienten der Ermittlung weiterer Grundlagendaten über unterschiedliche Kollektorbauformen, die mit einem recht einfachen Aufbau preiswert zu erstellen sein sollten. Zum einen wurde die Form des Solardach-Luft-Kollektors, **Bild 5**, gewählt, welche zunächst noch auf der handelsüblichen sinusprofilartigen Dacheindeckung aus Asbestzementwellplatten basiert.

Die 1. Variante der 4 m langen und 0,75 m breiten Kollektoren verfügt über eine Abdeckung aus glasklarem, 3 mm starkem Acrylglas, dessen Sinusprofil gegenläufig zu dem der Dacheindeckung verläuft (b des Schnittes A-B). Als Absorber dient in diesem Fall, wie auch bei der 2. Bauform, das schwarzgestrichene Asbestzementprofil. Die 2. Variante (c im Schnitt A-B) unterscheidet sich von der 1. in der ebenen glasklaren Abdeckung. Bei der 3. Kollektorbauform (d) handelt es sich um einen nichtabgedeckten Absorber aus geschwärztem Zinkeisenblech, der auf die Asbestzementwelle aufgelegt ist. Die in den Hohlräumen zwischen der Abdeckung und der Asbestzementwellplatte entstehende Warmluft wird vom First zur Traufe hin abgesaugt.

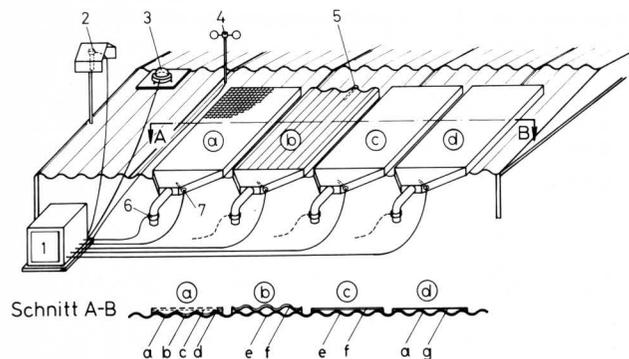


Bild 5. Schema der Solardachkollektoren-Messanlage.

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1 Meßwerterfassung | a Asbestzementwellplatte |
| 2 LiCl-Feuchtfühler | b Aluminiumfolie |
| 3 Sternpyranometer | c feinmaschiges Drahtgeflecht |
| 4 Schalenkreuzanemometer | d grobmaschiges Drahtgeflecht |
| 5 Temperaturfühler | e Asbestz.-Wellplatte, schwarz |
| 6 Flügelradanemometer | f Acrylglas |
| 7 Temperaturfühler | g Blech, schwarz |

Der Energieaufwand zum Absaugen der erwärmten Luft aus den Kollektoren ist mit Hilfe der Darstellung des Strömungswiderstandes, bezogen auf 1 m Länge des Kollektors, über der mittleren Strömungsgeschwindigkeit im Kollektor zu ermitteln, **Bild 6**. Bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit hat das doppelte Sinusprofil gegenüber der glatten Abdeckung entsprechend der unterschiedlichen Geometrie einen etwas geringeren Strömungswiderstand. Bei dem ebenfalls auf der Abszisse aufgetragenen Luftdurchsatz gelten die Klammerwerte für das doppelte Strömungsprofil.

Die für das Betriebsverhalten von Dachkollektoren entscheidenden Werte, wie Wärmeleistung und Temperaturerhöhung, sind zusammen mit der globalen Bestrahlungsstärke in den folgenden Bildern für je 2 unterschiedliche Bauformen dargestellt. Der Tagesgang nach **Bild 7** charakterisiert das Verhalten der mit Acrylglas abgedeckten Kollektoren. Durch eine langanhaltende Dunstschicht steigt die Bestrahlungsstärke bis ca. 10.30 Uhr nur mäßig an. Bei diesen schlechten Einstrahlungsbedingungen vermögen die Kollektoren die Luft bereits ab 7.30 Uhr um 3 bis 4 K zu erwärmen. Im überwiegenden Tagesverlauf wird die Luft im Kollektor mit ebener Acrylglasabdeckung je nach Bestrahlungsstärke stärker erwärmt als bei der Variante mit Abdeckung durch das Sinusprofil, dessen verminderte Transparenz und erhöhte Strahlungsreflexion dafür verantwortlich sind. Der Kollektor mit der geschwärzten Blechabdeckung, **Bild 8**, vermag ebenfalls nur eine geringere Temperatursteigerung zu liefern. Diese nimmt in etwa die gleichen Werte wie bei der profilierten Abdeckung an.

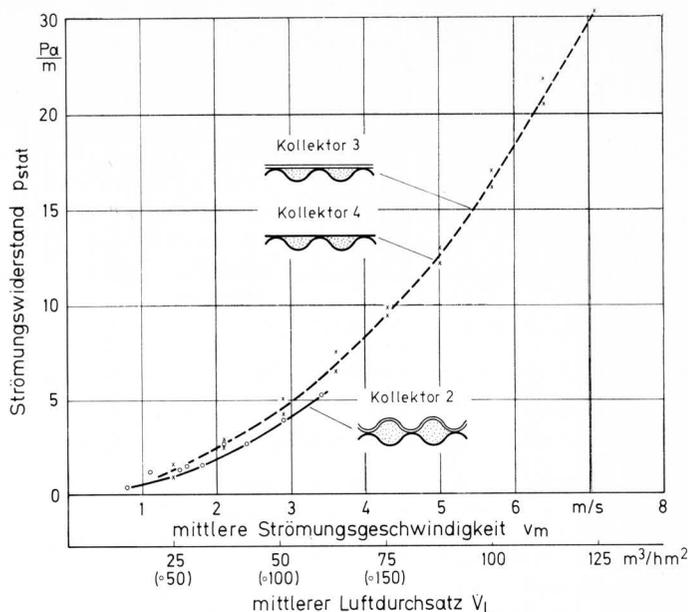


Bild 6. Längenbezogener Strömungswiderstand von Dachkollektoren.

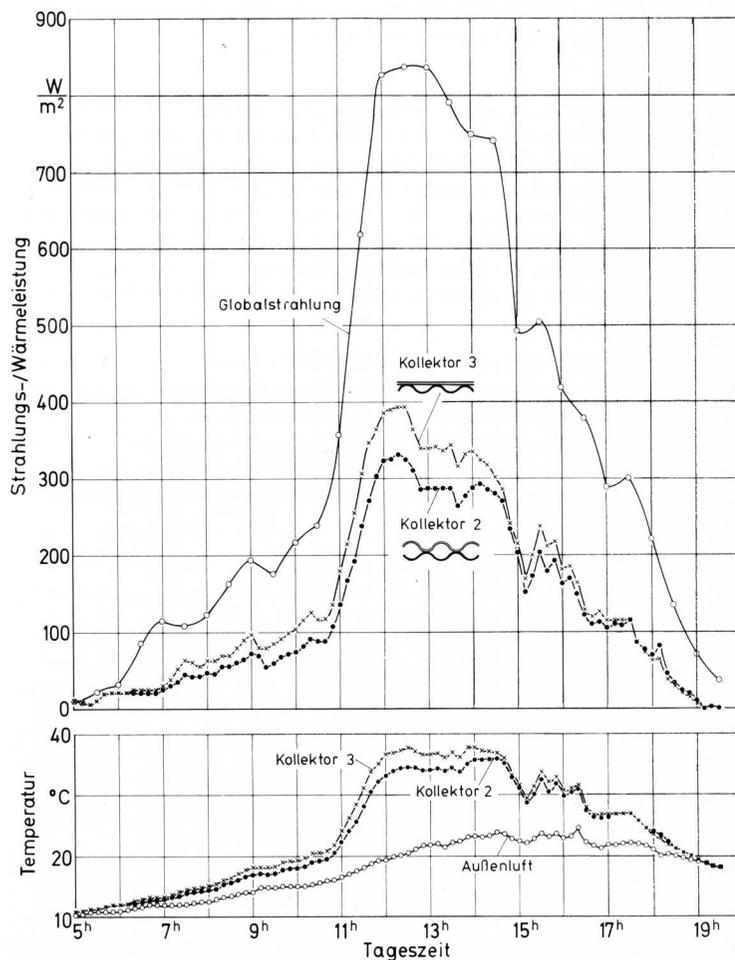


Bild 7. Globale Bestrahlungsstärke, Wärmeleistung und Temperatur von Dachkollektoren im Tagesverlauf ($V_L = 75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$).

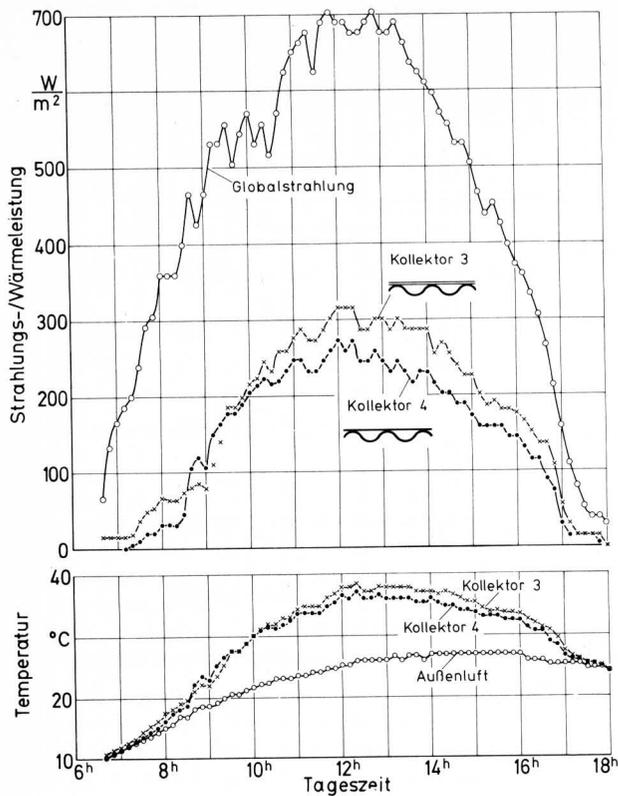


Bild 8. Globale Bestrahlungsstärke, Wärmeleistung und Temperatur von Dachkollektoren im Tagesverlauf ($\dot{V}_L = 75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$).

Für einen konstanten Luftdurchsatz (bezogen auf die Absorberfläche) von $75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ist in **Bild 9** die Abhängigkeit zwischen Bestrahlungsstärke und Temperaturdifferenz aufgetragen. Bei einem Einsatz der gezeigten Kollektoren kann demnach mit einer Lufterwärmung um 3 bis 13 K je nach Größe der Bestrahlungsstärke gerechnet werden. Bei gleicher Bestrahlungsstärke vermag der mit ebenem Acrylglas abgedeckte Kollektor die Luft um durchschnittlich 1 K stärker zu erwärmen als die beiden anderen Bauformen.

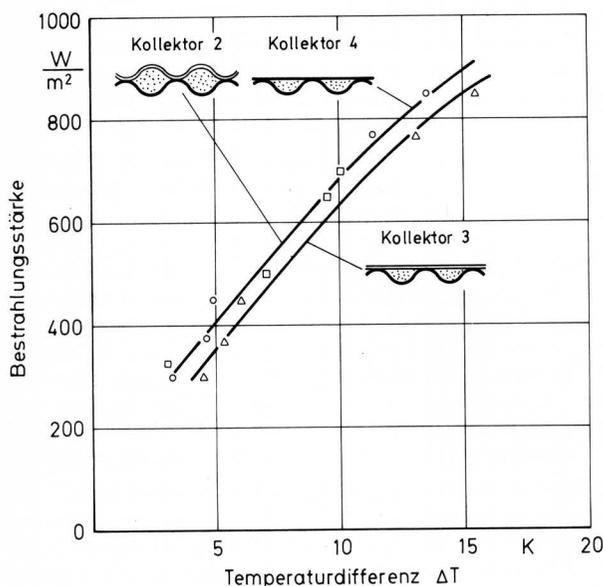


Bild 9. Abhängigkeit zwischen Bestrahlungsstärke und Temperaturdifferenz ($\dot{V}_L = 75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$).

Der Vergleich des hier vorgestellten Asbestzement-Dachkollektors mit glatter Acrylglasabdeckung mit doppeltverglasten Flachkollektoren, **Bild 10**, zeigt in der Darstellung des Wirkungsgrades über der Temperaturdifferenz für verschiedene Bestrahlungsstärken, daß dieser Dachkollektor durchaus die angestrebten Temperatursteigerungen bei für seine Bauart noch ansprechenden Wirkungsgraden zu liefern vermag. Der steile Abfall des Wirkungsgrades mit steigender Temperaturdifferenz ist auf die erheblichen Wärmeverluste auf der nichtisolierten Rückseite zurückzuführen.

Als optimaler Betriebsbereich könnte eine Temperaturerhöhung von ca. 9 bis 12 K bei einem Wirkungsgrad von etwa 50 % angesehen werden. Aus der Darstellung des Kollektorwirkungsgrades über dem Luftdurchsatz, **Bild 11**, ist zu entnehmen, daß diese Werte bei einem auf die Kollektorfläche bezogenen Luftdurchsatz von etwa $100\text{--}120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ erreicht werden.

Während die bisher vorgestellten momentanen Wirkungsgrade dem Vergleich mit anderen Kollektorbauformen dienen, zeigt der für die Dimensionierung einer Anlage wichtige Tageswirkungsgrad, **Bild 12**, der ebenfalls über dem Luftdurchsatz aufgetragen ist, wieviel der im Tagesverlauf eingestrahlt Energie tatsächlich zur Lufterwärmung genutzt werden kann. Danach ist in einem Betriebsbereich um $100 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ mit einer 50 %igen Ausnutzung der Sonnenenergie zu rechnen. Für die beiden weniger effizienten Varianten sind es noch etwa 45 %.

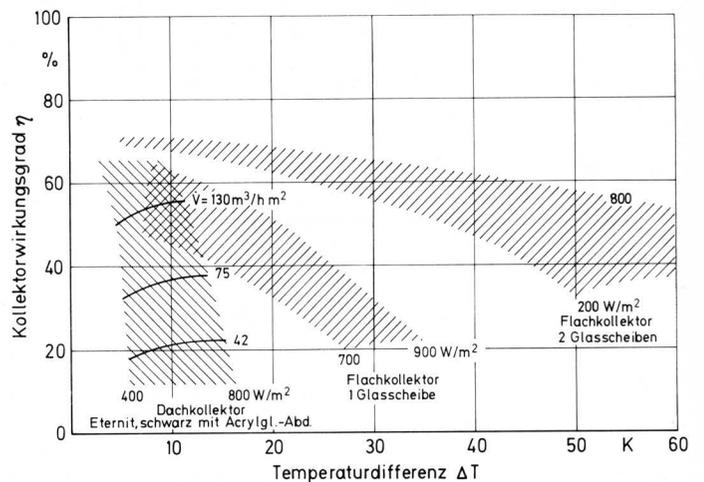


Bild 10. Kollektorwirkungsgrad in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz bei unterschiedlicher Bestrahlungsstärke.

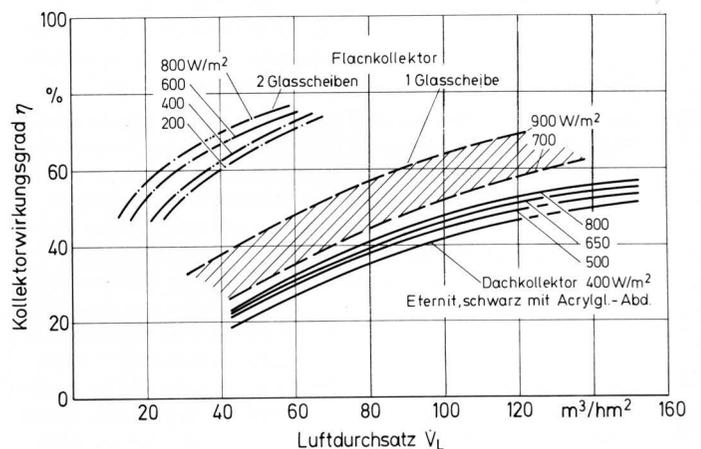


Bild 11. Kollektorwirkungsgrad in Abhängigkeit vom Luftdurchsatz für verschiedene Bestrahlungsstärken.

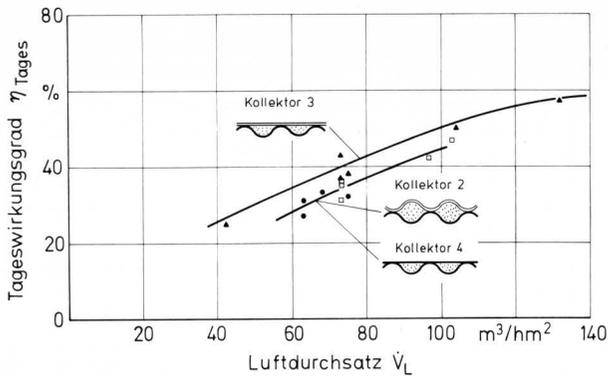


Bild 12. Tageswirkungsgrad von Dachkollektoren in Abhängigkeit vom Luftdurchsatz.

4. Versuche mit Flachkollektoren

Eine zweite Versuchsreihe bezieht sich auf die in **Bild 13** dargestellten, mit einer Abdeckung versehenen Flachkollektoren. Über einen gemeinsamen, hinter den Kollektoren angeordneten Kanal wird die erwärmte Luft von einem Gebläse abgesaugt. Die Luftdurchsatzmessung erfolgt jeweils im Kollektoreintritt, um den Einfluß der Dichteänderungen bei der Messung möglichst gering zu halten. Der Grundaufbau, **Bild 14**, ist bei allen Kollektorvarianten gleich: die 3 mm starke Glasabdeckung a liegt in dem Kollektorrahmen aus wasserfest verleimtem Sperrholz b. Eine Isolierung aus 60 mm starker aluminiumkaschierter Mineralwolle c schützt den Kollektor vor rückwärtigen Strahlungsverlusten und wird durch den Kollektorboden aus 8 mm starker Asbestplatte d getragen. Der Absorber 1 besteht aus sogenanntem Düsenblech, bei dem die Öffnungen in Strömungsrichtung durchgedrückt sind. Dieser Absorber ist schräg in den Kollektor eingelegt, um eine gleichmäßige Durchströmung zu erzielen. Der Absorber 2 wird von zweischaligen gelochten Kunststoffplatten gebildet, die vom Hersteller für die Wassererwärmung gedacht sind. Er wird ebenso wie der Absorber 3 aus Stahl beidseitig von Luft umströmt. Der Stahlabsorber verfügt über eine selektive Beschichtung zur Verminderung der Wärmestrahlungsverluste und ist ebenfalls zweischalig zur Wassererwärmung ausgeführt. Als Absorber 4 dient ein selektiv beschichtetes Blech, welches aufgrund seiner nicht wetterfesten Beschichtung nur von unten angeströmt werden darf. Zur besseren Luftverwirbelung sind hier Leitbleche über der Isolierung angeordnet. Der Lamellenabsorber 5 ist ebenso wie das Düsenblech 1 schräg im Kollektor eingebaut. Die Lamellen sind auf Rohre aufgelötet, so daß auch bei dieser Bauform eine Wassererwärmung möglich ist.

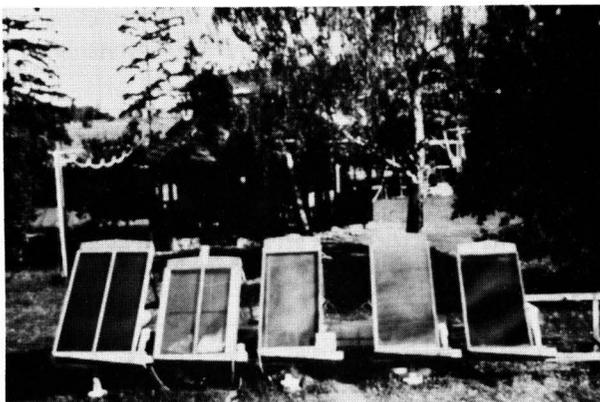


Bild 13. Prüfstand für Flachkollektoren mit Abdeckung durch eine Glasscheibe.

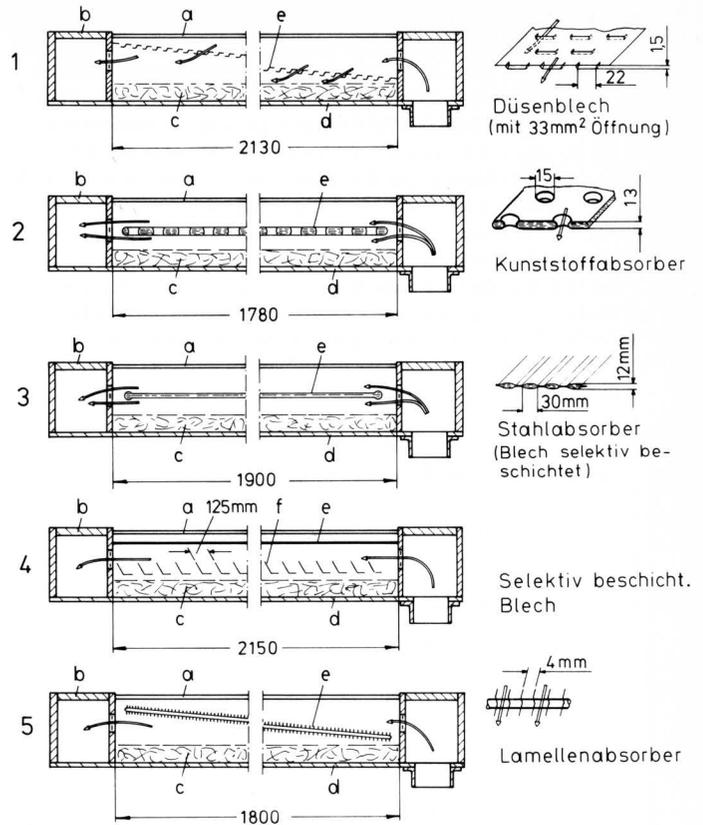


Bild 14. Aufbau der verschiedenen mit einer Glasscheibe abgedeckten Flachkollektoren.

- a Glasabdeckung (3 mm)
- b Kollektorrahmen (wasserfestes Sperrholz, 10 mm)
- c Isolierung (Mineralwolle, 60 mm)
- d Kollektorboden (Asbestzementplatte, 8 mm)
- e Absorber
- f Luftleitbleche

Der Strömungswiderstand der Flachkollektoren, in **Bild 15** über dem mittleren Luftdurchsatz aufgetragen, nimmt deutlich größere Werte als bei den Dachkollektoren an. Dafür sind einerseits die Absorber, die von der Luft durch- und umströmt werden, und andererseits siebartige Einbauten im Kollektorein- und -austritt, die einer gleichmäßigen Luftverteilung dienen, verantwortlich.

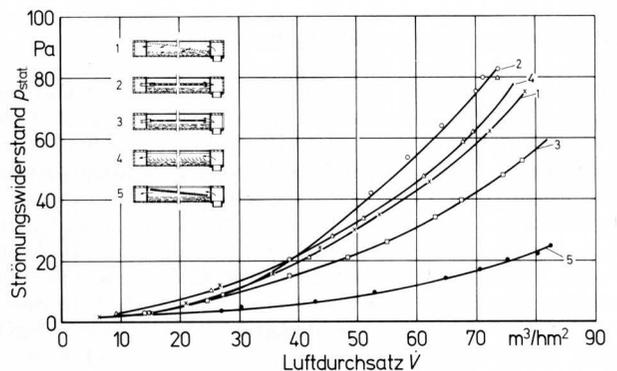


Bild 15. Strömungswiderstand von Flachkollektoren.

Bild 16 zeigt die Abhängigkeit des Kollektorwirkungsgrades von der Temperaturdifferenz für die verschiedenen Bauformen bei gleicher Bestrahlungsstärke von 700 W/m^2 . Die rückseitige Wärmeabfuhr des selektiv beschichteten Bleches (4) bzw. die Qualität der Beschichtung sind offensichtlich nicht ausreichend, um brauchbare Wirkungsgrade zu erzielen. Bei größeren Temperaturdifferenzen sinkt der Wirkungsgrad des Kunststoffabsorbers (2) ebenfalls stark ab. Der Absorber aus Düsenblech (1) vermag die Einstrahlung aufgrund der erzwungenen Strömung durch die Düsenöffnungen noch gut in eine Temperaturerhöhung umzusetzen. Die höchste Effizienz zeigen in dieser Versuchsreihe die Absorber 3 und 5. Dabei erweist sich eine aufgrund der Lamellenform stark vergrößerte Absorberfläche mit einer erzwungenen Strömung durch die Lamellen hindurch gegenüber einer selektiven Beschichtung als wirkungsvoller.

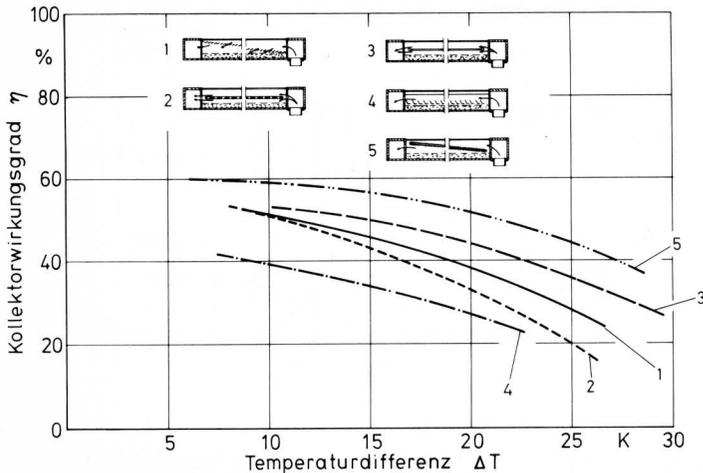


Bild 16. Kollektorwirkungsgrad in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz (Bestrahlungsstärke 700 W/m^2).

Auch beim Auftragen des Kollektorwirkungsgrades über dem Luftdurchsatz, **Bild 17**, spiegeln sich diese Verhältnisse wieder. Ab etwa $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ist die Zunahme des Kollektorwirkungsgrades wiederum nur noch gering, so daß der optimale Betriebsbereich auch unter Berücksichtigung des Strömungswiderstandes zwischen 80 und $100 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ liegen dürfte.

Die dafür geeigneten Flachkollektoren (2, 3 und 5) wurden auch im kombinierten Luft-Wasser-Betrieb untersucht. Als Ergebnis sind in **Bild 18** die Wärmeleistung und die Temperatur der Kollektoren über der Tageszeit aufgetragen. Bei einer Bestrahlungsstärke von etwa 800 W/m^2 erreicht der selektiv beschichtete Stahlabsorber (3) einen Wirkungsgrad von 61 %, der Lamellenabsorber (5) einen Wirkungsgrad von 57 % und der Kunststoffabsorber (2) einen Wirkungsgrad von 51 %. Der Wasserdurchsatz beträgt, bezogen auf die Absorberfläche, in diesem Fall $25 \text{ kg/m}^2\text{h}$.

5. Zusammenfassung und Ergebnisdiskussion

Die zusammenfassende Darstellung der Meßergebnisse an Luftkollektoren nach Bild 10, in dem der Kollektorwirkungsgrad über der Temperaturdifferenz aufgetragen ist, zeigt ausgeprägte Betriebsbereiche für die drei unterschiedlichen Bauweisen. Zwischen dem Betriebsbereich der hocheffizienten doppelverglasteten Flachkollektoren, die im wesentlichen zum Erzielen großer Temperaturdifferenzen geeignet sind, und dem des sehr einfach aufgebauten Dachkollektors aus schwarzem Eternit mit Acrylglasabdeckung ist jener für die Flachkollektoren mit 1 Glasscheibe zu finden. Die Betriebsbereiche dieser beiden zuletzt genannten überschneiden sich in dem Bereich, der durch eine Temperaturdifferenz von etwa 10 K einen Kollektorwirkungsgrad von etwa 50% beschrieben wird, bei deutlich unterschiedlicher Kostenbelastung für die jeweilige Konstruktion.

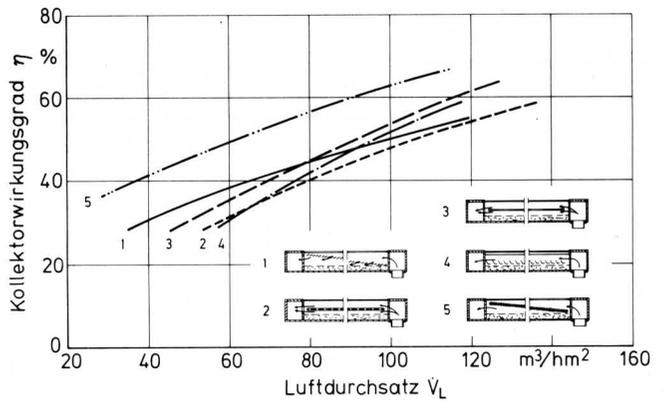


Bild 17. Kollektorwirkungsgrad in Abhängigkeit vom Luftdurchsatz (Bestrahlungsstärke 700 W/m^2).

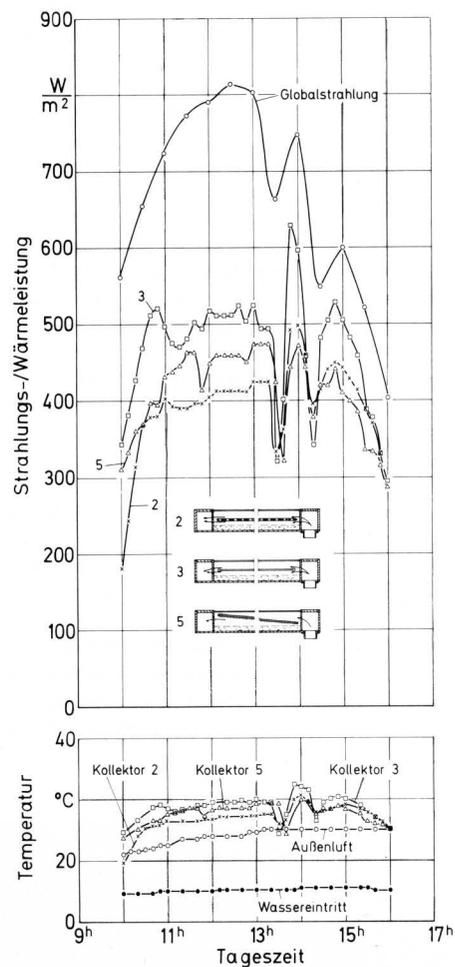


Bild 18. Globale Bestrahlungsstärke, Wärmeleistung und Austrittstemperatur für Flachkollektoren bei kombiniertem Luft-Wasser-Betrieb ($\dot{V}_L = 75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, $\dot{V}_{\text{H}_2\text{O}} = 25 \text{ kg/m}^2\text{h}$), Tagesgang.

Betrachtet man den für den geforderten Wirkungsgrad aufzuwendenden Luftdurchsatz nach Bild 11, so müßten die Flachkollektoren mit 1 Glasscheibe mit etwa $80\text{--}100 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, die Dachkollektoren mit ca. $100\text{--}120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ betrieben werden.

Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen, daß für die Konstruktion und den Betrieb von Luftkollektoren die folgenden Forderungen durchaus erfüllt werden können:

1. der längenbezogene Strömungswiderstand sollte im Hinblick auf das einzusetzende Gebläse, welches die Warmluft zusätzlich durch das zu trocknende Gut fördern muß, möglichst nicht höher als 15–20 Pa/m sein,
2. der Tageswirkungsgrad sollte 45–50 % nicht unterschreiten, denn er beinhaltet das Verhalten des Kollektors bei geringeren Bestrahlungsstärken,
3. die Erstellung der Kollektoren sollte kostengünstig sein, denn nach verschiedenen Autoren (s.a. [1]) sind Solarkollektoren unter den derzeitigen Bedingungen bei einem Preis von 40,- bis 80,- DM/m² für 200 bzw. 400 Betriebsstunden pro Saison konkurrenzfähig zur ölbeheizten Satz Trocknung mit geringer Temperaturerhöhung. Die Haltbarkeit sowie der Wartungs- und Reparaturaufwand sollten sich an den heutigen Dacheindeckungen orientieren.

Schrifttum

- [1] *Wieneke, F.*: Stand und Aussichten der Solartechnik in der Landwirtschaft.
Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 1, S. 1/6.

- [2] *Kalischer, P.*: Solarkollektoren — Technik und Wirkungsweise.
RWE informiert Nr. 141.
- [3] *Hartmann, W.*: Trocknung von Getreide und Halmfutter mit solarerwärmter Luft in Satz Trocknungsanlagen.
Diss. Univ. Göttingen 1979.
- [4] *Kline, G. u. Odekirk*: Solar collector costs for low temperature grain drying.
ASAE-Paper Nr. 78-3508.
- [5] *Dernedde, W.*: Wirkungsgrade von Luftkollektoren unterschiedlicher Bauweise zur Trocknung landwirtschaftlicher Produkte.
9. Internat. CIGR-Congress, Mich. St. Univ., East Lansing 8./13.7.1979.
- [6] *Dernedde, W. u. H. Peters*: Wirkungsgrade von Solarkollektoren für Trocknungsanlagen.
Landtechnik Bd. 33 (1978) Nr. 1, S. 29/30.
- [7] *Schulz, H.*: Möglichkeiten des Einsatzes von Solar-Energie in der Landwirtschaft.
Landtechnik Bd. 33 (1978) Nr. 1, S. 24/28.

Klimabelastung der Fahrer von Schleppern und Arbeitsmaschinen mit Eigenantrieb

Von Wilhelm Batel und Rudolf Möller,
Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 631.372:628.5:628.8

Durch die Sonneneinstrahlung und die Motorabwärme liegen die klimatischen Bedingungen in Fahrer cabinen oft außerhalb der Behaglichkeit. Diese ist aber anzustreben, um Arbeitsqualität, Arbeitssicherheit und Wohlbefinden zu gewährleisten. So begründet sich die Forderung, Fahrer cabinen für Schlepper und Arbeitsmaschinen mit hohen Einsatzzeiten zu klimatisieren. Dazu sind eine Kompressorkühlanlage, eine die Behaglichkeit sichernde Luftführung und Maßnahmen zur Begrenzung der einfallenden Wärmeströme erforderlich. Diese Maßnahmen führen aber nur dann zur Behaglichkeit, wenn sie aufeinander abgestimmt sind.

1. Einleitung

Zu den von der Umgebung des Arbeitsplatzes ausgehenden Belastungen der Fahrer von Schleppern und Arbeitsmaschinen gehört neben Lärm, luftfremden Stoffen und Schwingungen das Klima. Gekennzeichnet wird das Klima durch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung sowie Art und Intensität der Strahlung.

Von R. Möller vorgetragen auf der "Internationalen Tagung Landtechnik" in Braunschweig, 7. bis 9. Nov. 1979.

*) Prof. Dr.-Ing. W. Batel ist Leiter des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung, Ing. (grad.) R. Möller ist Versuchsingenieur in diesem Institut der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Zur Erhaltung seiner Funktionsfähigkeit benötigt der menschliche Organismus einen Stoffwechsel, wodurch Wärmeenergie anfällt. Des weiteren ist eine nahezu konstante Körperkerntemperatur einzuhalten. Um diese Forderungen zu erfüllen, muß die anfallende Wärmemenge nach außen abgeführt werden. Die Möglichkeiten hierzu hängen in hohem Maße von den Klimazuständen an der Körperoberfläche ab.

Die vom umgebenden Klima ausgehenden Belastungen und die daraus folgenden Beanspruchungen stehen somit in engem Zusammenhang mit dem Energiehaushalt und der Temperaturregelung beim Menschen. Daher sind einleitend einige Grundlagen dieser physiologischen Vorgänge anzusprechen, aus denen sich auch die am Arbeitsplatz anzustrebenden Klimabedingungen ableiten. Der nächste Schritt beinhaltet das Messen der Klimazustände am Arbeitsplatz. Hier liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit. Aus einem Vergleich der anzustrebenden mit den auftretenden Klimazuständen lassen sich schließlich Maßnahmen zur Klimagestaltung erörtern und bewerten.

2. Energiehaushalt des Menschen, Regelung der Körperkerntemperatur und Wärmeübergang an der Körperoberfläche

2.1 Werte zum Energiehaushalt des Menschen

Der bei völliger Ruhe des Menschen und günstigsten Klimabedingungen erforderliche Umsatz im Stoffwechsel wird mit Grundumsatz und die damit verknüpfte abzuführende Wärme mit Grundwärmestrom benannt. Dieser Strom liegt abhängig von individuellen Eigenschaften zwischen 60 und 120 W [1].