

Ortsbeweglicher Sonnenkollektor zur Luftanwärmung

Dr. agr. K. Swieczkowski/Ing. R. Treybig, KDT

Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben der AdL der DDR

Dr. rer. nat. H. Lippold, KDT/Dr.-Ing. A. Trogisch, KDT, VEB Kombinat Luft- und Kältetechnik Dresden

1. Aufgabenstellung

Die Betriebe der Tier- und Pflanzenproduktion in der DDR stehen vor der Aufgabe, den Aufwand an fossiler Energie, lebendiger Arbeit, Material und Kosten zu reduzieren und zugleich die Qualität ihrer Produkte zu erhöhen. Große Bedeutung hat dabei auch die spürbare Verringerung des Energiebedarfs bei solchen stationären Prozessen, die in den Sommermonaten stattfinden, z. B. die Belüftungstrocknung von Heu, Getreide und anderen Kulturen. Hier wird häufig noch Elektroenergie und/oder Rohbraunkohle zur Anwärmung von Luft verwendet. Mit Hilfe von Forschungsarbeiten sollte eine alternative Lösung für die Luftanwärmung entwickelt werden, bei deren Einsatz der notwendige Anteil fossiler Energie auf ein Minimum reduziert werden kann.

2. Lösungsweg

In den Sommermonaten ist die Sonnenenergie ein wichtiger alternativer Energieträger, denn sie steht praktisch an allen Standorten der DDR mit der gleichen Globalstrahlung zur Verfügung. Für ihre technische Nutzung sind Sonnenkollektoren erforderlich, die die Strahlungsenergie der Sonne absorbieren und in angewärmte Luft umwandeln. International sind zahlreiche Typen von Luftkollektoren bekannt [1]. Sie entsprechen jedoch nicht den Anforderungen, die die DDR-Landwirtschaft stellt. Deshalb war ein neuer Luftkollektor zu entwickeln, der folgenden Bedingungen genügen sollte:

International sind zahlreiche Typen von Luftkollektoren bekannt [1]. Sie entsprechen jedoch nicht den Anforderungen, die die DDR-Landwirtschaft stellt. Deshalb war ein neuer Luftkollektor zu entwickeln, der folgenden Bedingungen genügen sollte:

- ortsbeweglicher, ein- und ausrollbarer Kollektor, der unter den Produktionsbedingungen der LPG und VEG mit maximal 1 bis 2 AKh im Baukastensystem auf- bzw. abzubauen ist; er soll vom Anwender selbst herstellbar sein
- Luftanwärmung in Abhängigkeit von Luftstrom und Globalstrahlung bis rd. 20 K; hoher energetischer Wirkungsgrad
- geringe Empfindlichkeit gegenüber Hitze,

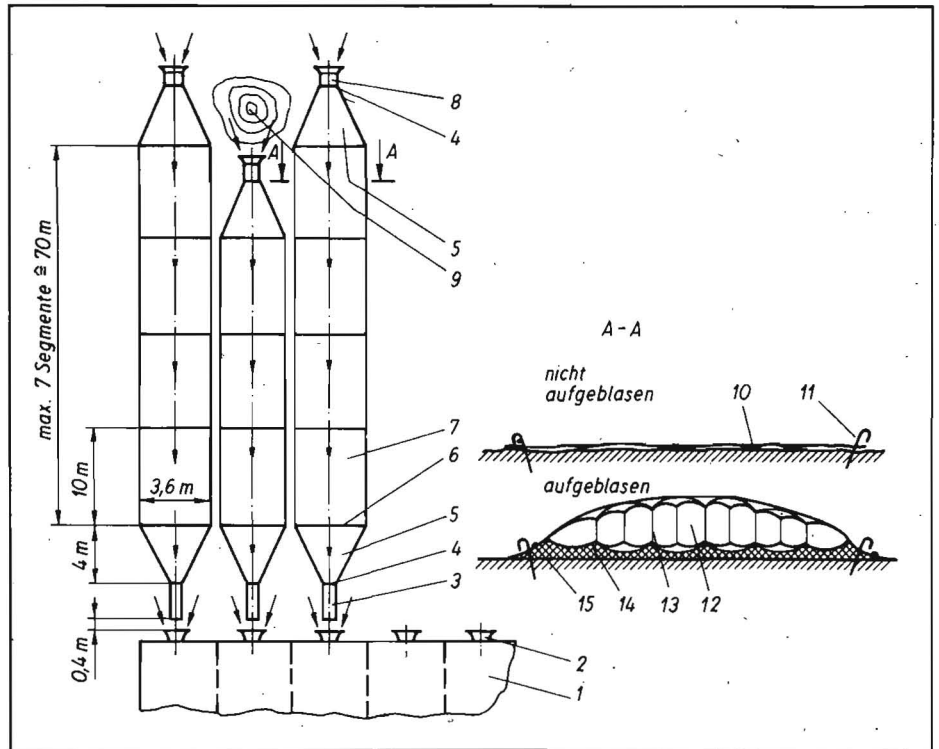


Bild 1

Ortsbeweglicher, rollbarer Sonnenkollektor zur Luftanwärmung in Segmentbauweise; 1 Belüftungsanlage, 2 Ventilator, 3 Gebläserohr, 4 Riemen, 5 Übergangsstück, 6 Haftbandschluß, 7 Kollektorsegment, 8 Hilfsventilator LANN 630, 9 Hindernis (z. B. Baum), 10 Wasser, 11 Erdnägel, 12 Luftkanal, 13 Zugbänder, 14 Luftpolster, 15 Lappen

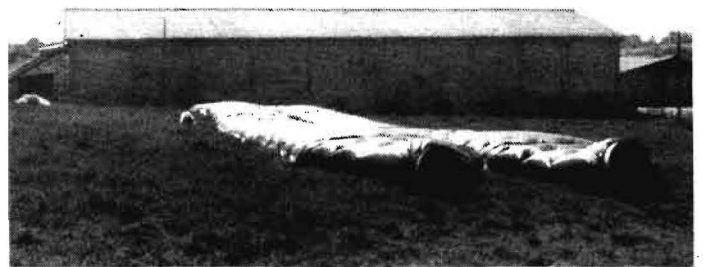


Bild 2. Zwei parallelgeschaltete Kollektoranlagen vor einem Heubergeraum BRG 4750; im Vordergrund Hilfsventilatoren LANN 630, im Hintergrund die Belüftungsanlage



Bild 3. Übergabe der Warmluft an den Ventilator der Belüftungsanlage durch Gebläserohre



Bild 4. Innenansicht eines am oberen Haftbandschluß geöffneten Kollektorsegments; oben: von der Sonne bestrahlter schwarzer Absorber
Mitte: sechs Zugbänder
unten: von den Zugbändern angehobene Kollektorseite
Vordergrund: auf der Erde liegendes abgetrenntes Kollektorsegment
rechts: in Betrieb befindlicher Kollektor

Wind, Niederschlägen und Schmutz bei Stillstand und Betrieb

- Kollektorbreite bis 4,5 m, variable Kollektorlänge
- elektrischer Anschlußwert des notwendigen Hilfsventilators bis 3 kW.

Dimensionierungsvorschriften für eine energie- und materialoptimale Gestaltung derartiger Luftkollektoren bestehen z. Z. nicht. Aus [2] lassen sich aber folgende Grundsätze auf die Lösung dieser Aufgabe übertragen:

- großer Strömungsquerschnitt, keine Verengungen bei der Reihenschaltung mehrerer Einzelkollektoren
- Wärmeisolation des Absorbers bzw. des Luftkanals
- Verhältnis zwischen Kollektorgrundfläche und Kollektoroberfläche rd. 1:1.

3. Beschreibung der Kollektoranlage

3.1. Aufbau

Die Sonnenkollektoranlage [3] setzt sich aus dem Hilfsventilator LANN 630 (1450 min^{-1} , 3 kW), zwei Übergangsstücken, bis zu 7 Kollektorsegmenten und einem Gebläserohr ($\varnothing 630$) zusammen. Sie ist als ein Luftkollektor mit außenliegendem schwarzen Absorber anzusehen. Die gesamte Anlage wird auf dem Boden errichtet und mit Erdnägeln gesichert (Bilder 1 bis 3).

Wichtigste Bestandteile sind die mit Haftbandverschlüssen lösbar aneinander befestigten Kollektorsegmente aus schwarzem Planenschichtstoff. Die Ober- und Unterseiten sind durch Zugbänder, deren Länge in der Kollektorenmitte am größten ist, aneinander befestigt (Bilder 1 und 4).

3.2. Wirkungsweise beim Einsatz an einer Heubelüftungsanlage

Der Hilfsventilator saugt Außenluft an und preßt sie durch den Kollektor. In ihm baut sich ein vorwiegend statischer Luftdruck auf (Bild 5). Dabei bildet sich der charakteristische Kollektorquerschnitt heraus (Bilder 1 und 4). An der schwarzen Kollektoroberfläche wird die Globalstrahlung in Wärmeenergie umgewandelt. Unter ihr strömt die Außenluft vorbei und erwärmt sich. Die Wärmeverluste zum Erdboden werden durch das Luftpolster reduziert (Bild 1). Die Luftanwärmung hängt maßgeblich von der Globalstrahlung, vom Luftstrom je Querschnittsfläche und von der Kollektorfläche ab (Bild 6). Sie wird aber auch von Wind und Regen wesentlich beeinflusst. Zwischen der Luftanwärmung und der Kollektorlänge besteht infolge zunehmender Wärmeverluste ein nichtlinearer Zusammenhang (Bild 5).

Die Warmluft verläßt den Kollektor durch das Gebläserohr, das im Ansaugbereich des Ventilators der Belüftungsanlage endet. Von ihm wird die Warmluft zusammen mit der Außenluft angesaugt und vermischt (Bilder 1 und 3).

Regnet es bei eingeschaltetem Hilfsventilator, fließt das Wasser nach den Seiten ab. Ist der Hilfsventilator bei Regen ausgeschaltet, sammeln sich die Niederschläge auf ihm und tragen zu einer stabilen Lage bei. Wird er eingeschaltet, bläst er den Kollektor auf, und das Wasser fließt selbsttätig ab. Ist der Kollektor außer Betrieb und herrscht hohe Globalstrahlung, verdunstet das Wasser. Ein großer Teil der Wärme wird auch an das Erdreich abgegeben, da das Luftpolster in diesem Betriebszustand nicht existiert (Bilder 1 und 4).

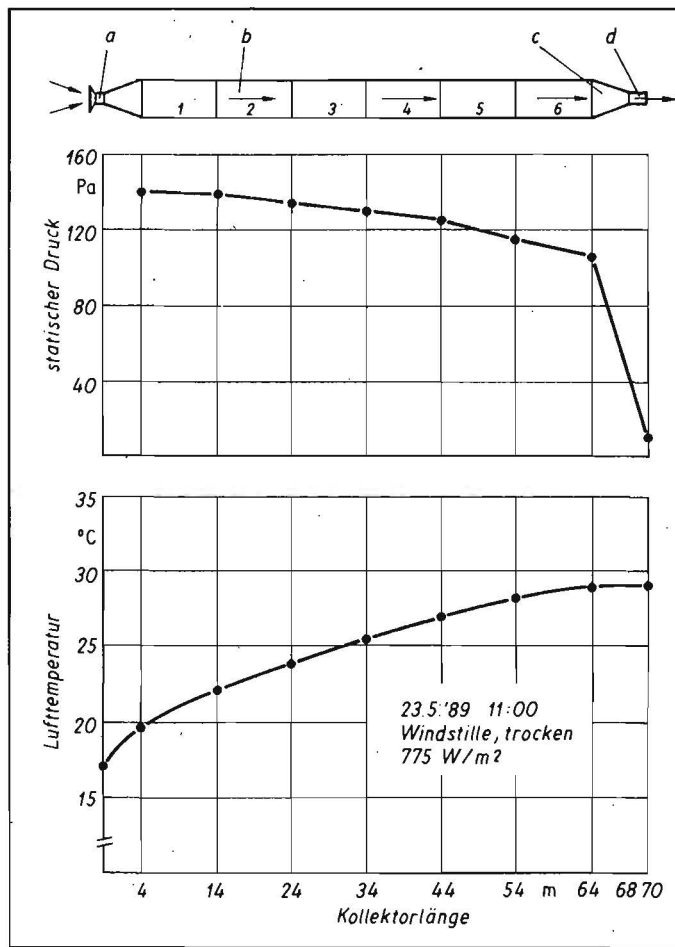


Bild 5
Statischer Luftdruck und Lufttemperatur in Abhängigkeit von der Kollektorlänge; a Ventilator LANN 630-0° (1450 min^{-1}), b Kollektorsegmente, c Übergangsstück; d Rohr ($\varnothing 630$)

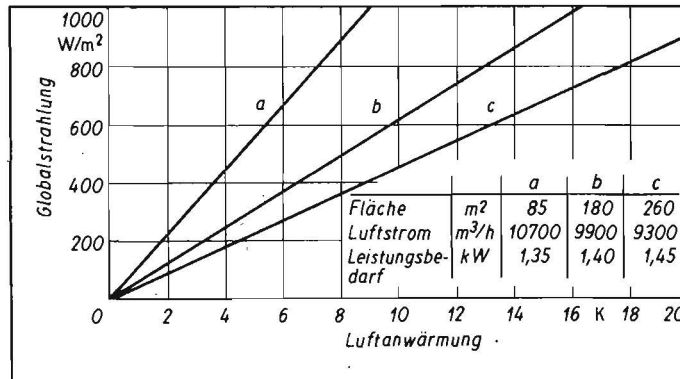


Bild 6
Luftanwärmung in Abhängigkeit von Globalstrahlung, Luftstrom und Kollektorfläche (Ventilator LANN 630-10°, 1450 min^{-1} ; Windstille, trocken)

3.3. Betrieb

Die Kollektoranlage ist in die manuelle Schaltung der Belüftungsanlage einzubeziehen. Ihr Einsatz nutzt nur dann, wenn eine Luftanwärmung erzielt wird. Dies ist erst bei ausreichender Globalstrahlung und trockenem Kollektor der Fall (Bild 6). Nachts sind Luftabkühlungen möglich.

Die Hilfsventilatoren können auch in automatische Belüftungssteuerungen einbezogen werden, z. B. in Steuerungen nach einer Belüftungstabelle. Die Messung der Zulufttemperatur wird dann hinter dem Ventilator der Belüftungsanlage vorgenommen.

3.4. Auf- und Abbau

Zum Auf- und Abbau werden mindestens 2 Arbeitskräfte benötigt. Beim Aufbau sollten sie zunächst das Gebläserohr mit dem Übergangsstück verlegen. Daran sind dann die Kollektorsegmente und die übrigen Teile zu befestigen. Erst nach dem Aufblasen ist der Kollektor mit Erdnägeln in seiner Lage zu si-

chern. Beim Abbau ist in umgekehrter Richtung zu verfahren. Soll der Kollektor zu einem anderen Ventilator umgesetzt werden, sind alle Erdnägeln zu ziehen. Der Hilfsventilator ist abzukoppeln. Der Kollektor kann dann von mehreren Arbeitskräften seitlich gezogen und montiert werden.

4. Wichtigste Erprobungsergebnisse

Bei den vierjährigen Experimenten wurden folgende Erkenntnisse gesammelt:

- Bei einem Luftstrom von $9300 \text{ m}^3/\text{h}$ und steht im Kollektor ein statischer Druck von maximal 140 Pa. Wird der Luftstrom erhöht, vergrößert sich dieser Druck. Dann besteht die Gefahr des Abrisses von Zugbändern.
- Für den Auf- bzw. Abbau eines Kollektors mit 7 Segmenten sind rd. 1,5 AKh erforderlich. Das Umsetzen eines solchen Kollektors am Ort erfordert rd. 0,7 AKh.
- Bei einem Luftstrom von $9300 \text{ m}^3/\text{h}$ und $900 \text{ W}/\text{m}^2$ Globalstrahlung wird mit einer

Kollektorfläche von 260 m² eine Luftanwärmung von 20 K erzielt (Bild 6).

- Am Planenschichtstoff von Kollektoren, bei denen die Hilfsventilatoren abgeschaltet waren, wurden bei maximaler Globalstrahlung Materialtemperaturen bis 60°C gemessen. Dabei wurden keine wärmebedingten Schäden festgestellt.
- Niederschläge können vor allem im Bereich der mit Lappen überdeckten Haftbandverschlüsse in den Kollektor eintreten (Bild 4). Sie fließen wieder heraus, wenn der Kollektor dort geöffnet und angehoben wird.
- Bei abgeschaltetem Hilfsventilator und eingeregelter Kollektoroberfläche ist bis zu Windstärke 8 die Lagestabilität vorhanden. Bei eingeschaltetem Ventilator ist sie bis Windstärke 6 gegeben.
- Messungen des Wirkungsgrades an einem 70 Tage im Einsatz befindlichen, durch Staub und Niederschläge verschmutzten Kollektor zeigten vor und nach der Reinigung des Absorbers praktisch keinen Unterschied.
- Die Haltbarkeit der Kollektoren hängt wesentlich von der Einsatzdauer und dem sorgsamem Umgang beim Auf- und Abbau ab. Sie wird auf mindestens 5 Jahre geschätzt, wenn die Kollektoren nur für die Heu- und Getreidebelüftung eingesetzt werden.
- Anstelle des Hilfsventilators LANN 630 (1450 min⁻¹, 3 kW) mit im Stillstand verstellbaren Laufschaufeln, die eine Veränderung des Luftstromes ermöglichen, kann auch der Typ LANFW 630 (1450 min⁻¹, 1,5 kW) mit festen Laufschaufeln eingesetzt werden.

5. Gegenüberstellung des Kollektors zu anderen relevanten Lösungen

In der internationalen Literatur werden folgende Kollektoren beschrieben:

- Das Solarzelt (Bild 7b) besteht aus einem Untergestell aus Stahlrohr und Stirnseiten aus Sperrholz, auf dem das schwarze, luftdurchlässige Gewebe Nicolon befestigt wird. Die gesamte vom Ventilator der Heubelüftungsanlage angesaugte Außenluft strömt durch dieses Gewebe und erwärmt sich [4].
- Der Folienschlauchkollektor (Bild 7c) besteht aus einem Hilfsventilator, an dem ein Folienschlauch angeschlossen ist. An den Seiten ist dieser mit Stangen und Erdnägeln so am Boden befestigt, daß eine flache, gewölbte Absorberoberfläche entsteht. Unter dieser strömt die Außenluft und erwärmt sich [5].
- Der Sonnenkollektor (Bild 7d) besteht aus 2 Radial-Hilfsventilatoren (4,5 kW), an die Quer- und Längskanäle aus flexiblem Material angeschlossen sind. Durch sie strömt die zu erwärmende Luft. Die Anlage kann auf Plätzen und Dächern installiert werden. Bei rd. 11000 m³/h mit einer Fläche von 240 m² ist eine Luftanwärmung von 4 bis 27 K möglich [6].

Im Vergleich zur entwickelten Lösung werden diese Kollektoren wie folgt eingeschätzt:

- Das Solarzelt benötigt keinen Hilfsventilator. Dafür ist zusätzlich ein großflächiges Untergestell erforderlich. Vorteilhaft sind die größere Luftanwärmung und der geringere Strömungswiderstand. Von Nachteil ist, daß die Außenluft nach Niederschlägen auch befeuchtet wird.

Tafel 1. Energiebedarf bei der Solar- und Kaltbelüftung im Jahr 1988 (Kollektorfläche 2 × 180 m²)

Datum	Belüftungszeit h	Solarbelüftung		Energiebedarf		mittlerer TS-Gehalt %	Kaltbelüftung	
		mittlere Luftanwärmung K	mittlere Globalstrahlung W/m ²	Heu-ventilator kWh	Sonnenkollektor kWh		Energiebedarf Heu-ventilator kWh	mittlerer TS-Gehalt %
31. 5.	2:40	4,0	585	28	7,5	66,2	30	66,2
1. 6.	7:45	2,0	255	81	21,8	-	88	-
2. 6.	6:40	2,3	315	70	18,7	-	75	-
3. 6.	11:00	2,3	325	116	30,9	-	124	-
4. 6.	2:30	1,3	155	26	7,0	-	28	-
5. 6.	11:30	2,6	360	121	32,3	-	130	-
6. 6.	2:00	1,7	95	13	5,6	81,5	23	77,5
7. 6.	3:10	2,7	540	33	8,9	-	36	-
8. 6.	8:40	3,1	445	91	24,3	84,6	98	-
9. 6.	12:45	-	-	-	-	-	144	-
10. 6.	4:00	-	-	-	-	-	45	83,9
12. 6.	6:30	-	-	-	-	-	73	-
13. 6.	12:40	-	-	-	-	-	143	86,1
Summe/ Mittelwert	91:50	2,4	342	579	157 (71%)	-	1 037 (100%)	-

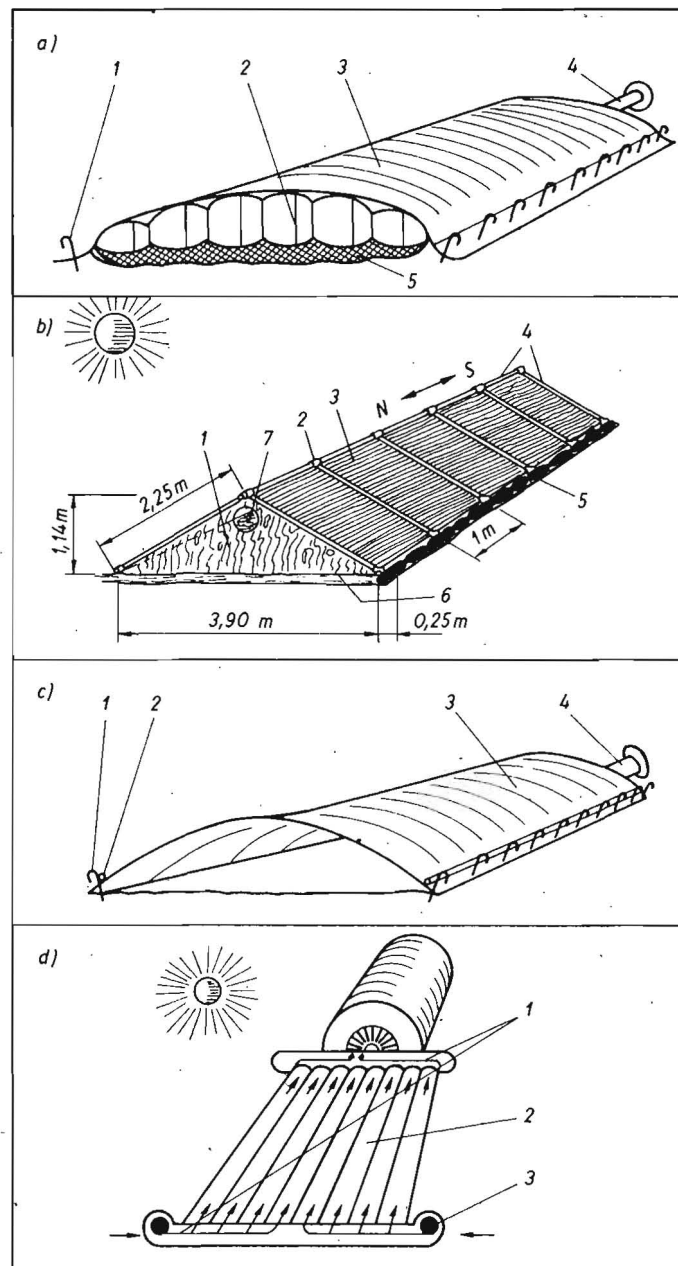


Bild 7 Vergleich der entwickelten Lösung mit anderen Sonnenkollektoren;

- a) ortsbeweglicher Sonnenkollektor des Forschungszentrums für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben; 1 Erdnägeln, 2 Zugbänder, 3 Planenschichtstoff, 4 Ventilator, 5 Luftpolster
- b) Solarzelt nach [4]; 1 wetterfestes Sperrholz (12 mm dick), 2 Klemmfix-Verbinder 120° oder verschweißt, 3 Nicolongewebe 66530, 4 verzinktes Stahlrohr 1", 5 Silo-Sandsäckchen, 6 PE-Folie, schwarz (0,1 bis 0,2 mm dick), 7 Absaugöffnung
- c) Folienschlauchkollektor nach [5]; 1 Erdnägeln, 2 Stange, 3 Folie, 4 Ventilator
- d) Sonnenkollektor nach [6]; 1 Querkäle, 2 Längskanäle, 3 Ventilator

- Der Folienschlauchkollektor benötigt zum Aufbau eine ebene Fläche, in die Erdnägel eingeschlagen werden können. Die Luftanwärmung dürfte infolge des fehlenden Luftpolsters unter dem Kollektor geringer sein. Der Aufbau ist ebenfalls sehr arbeitsaufwendig. Eine schnelle Umsetzung zu einem anderen Heuventilator scheint ebenfalls nicht möglich zu sein.
- Der Sonnenkollektor benötigt einen größeren Material- und Energieaufwand. Auch der Aufwand für das Auf- und Abbauen ist wesentlich höher.

6. Praxisergebnisse

Spezielle Untersuchungen dienten dem Nachweis der Einsparung von Elektroenergie bei der Heubelüftung im Unterflur-Rostkanalsystem. Zu diesem Zweck wurden an einer Versuchsanlage 2 Kollektoren aufgebaut (Bild 2). Sie führten ihre angewärmte Luft dem Ventilator LAV 1000 zu (Bild 3). Am Kollektorausgang wurde bei wolkeigem Wetter mit Niederschlägen während der Belüftungsperiode eine mittlere tägliche Luftanwärmung von 6 K erzielt. Nach der Vermischung mit der Kaltluft betrug diese noch 2,4 K. Dadurch konnte die Trocknung 4 Tage früher als in der kaltbelüfteten Vergleichsanlage abgeschlossen werden. Die Elektroenergieeinsparung betrug 20% (Tafel 1). Im Vergleich zur Kaltbelüftung kann auch Heu, das um 5 bis 10% feuchter als im Standard TGL 21 676 zugelassen, eingelagert werden.

Der TS-Gehalt von 50% ist allerdings nicht zu unterschreiten [7]. Durch diese Maßnahme können die Qualitätsverluste bei der Feldtrocknung z. T. erheblich reduziert werden.

7. Schlußfolgerungen

Die entwickelten und erprobten Luftkollektoren entsprechen den Anforderungen der Praxis. Sie können in den Sommermonaten zur Lösung zahlreicher Aufgaben eingesetzt werden. Sie sind daher zur Anwendung zu empfehlen. Die Kollektoren müssen z. Z. vom Anwender selbst hergestellt werden. Beim Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben kann eine Anwenderdokumentation, die u. a. detaillierte Fertigungshinweise enthält, angefordert werden. Weitere Auskünfte gibt die LPG(P) „1. Mai“ Streufdorf, Bezirk Suhl, wo Kollektoren auch zur Getreidebelüftung eingesetzt werden.

8. Zusammenfassung

In den Sommermonaten werden in der DDR-Landwirtschaft noch zahlreiche fossile Energieträger zur Luftanwärmung eingesetzt. Im Beitrag werden die Entwicklung und die Erprobung eines ortsbeweglichen Sonnenkollektors zur Luftanwärmung beschrieben. Dieser Kollektor wird relevanten Varianten gegenübergestellt. Anhand der Heubelüftung wird an einem Beispiel eine Elektroenergie-

einsparung von 20% nachgewiesen. Interessenten können eine Anwenderdokumentation anfordern.

Literatur

- [1] Swieczkowski, K.; Stengler, K.-H.; Trogisch, A.; Lippold, H.: Einsatz von Sonnenenergie in Heubelüftungsanlagen. agrartechnik, Berlin 36(1986)2, S. 87-93.
- [2] Lippold, H.; Trogisch, A.; Friedrich, H.: Wissensspeicher Solartechnik. Leipzig: Fachbuchverlag 1984.
- [3] WP 270358 DD Sonnenkollektor zur Luftanwärmung. Anmeldetag: 23. März 1988.
- [4] Schulz, H.: Das Solarzelt. Ein neuer preiswerter und leistungsfähiger Luftkollektor aus Kunststoffgewebe. Institut für Landtechnik Freising-Weißenstephan, 1989.
- [5] Energy use and production in agriculture. Energy sources for agriculture (Energieanwendung für die Landwirtschaft). Council for Agricultural Science and Technology, Iowa (1984)99, S. 16-22.
- [6] Geliopogrevatel' vozducha dlja suški sel' s choz. materialov GPV-240 (Sonnen-Luftwärmer für die Belüftung landwirtschaftlicher Materialien GPV-240). Gosagroprom BSSR Minsk 1988.
- [7] Elsaßer, M.: Solarkollektoren für die Heutrocknung. Ein neues kostengünstiges Trocknungsverfahren. DLG-Mitteilungen, Frankfurt/Main 102 (1987)8, S. 414-416. A 5864

Leistungsfähigkeit und Effektivität von Sonnenkollektoren bei der Heubelüftung

Dr. sc. techn. A. Spittel, KDT, Institut für Futterproduktion Paulinenaue der AdL der DDR

1. Einleitung

Die Erwärmung der Trocknungsluft mit Sonnenkollektoren ist eine mögliche Maßnahme, durch Erhöhung des Wasseraufnahmevermögens der Luft die Trocknung des Belüftungsgutes zu beschleunigen. Die Tag für Tag von der Sonne gratis gelieferte Globalstrahlung und deren tages- und langzeitlich schwankender Betrag erfordern eine besondere Aufmerksamkeit für diese Energiequelle zur Lufterwärmung, zumal die Heuproduktion zeitlich mit dem Hauptstrahlungsangebot der Sonne zusammenfällt.

Die bisherigen Forschungsergebnisse zur Heutrocknung mit solar erwärmter Luft zeigen im Vergleich zur Kaltlufttrocknung folgende Vorteile:

- Das erhöhte Wasseraufnahmevermögen der Luft ermöglicht um 5 bis 10% höhere Einlagerungsgutfeuchten [1, 2, 3].
- Der spezifische Energieeinsatz kann bis zu 50% reduziert werden [2, 4, 5].
- Bei unveränderter Einlagerungsgutfeuchte wird die Konservierungszeit bis auf die Hälfte verkürzt [6].
- Die Nutzung von Solarenergie verursacht weder Lärm noch Schadstoffe.

Aber auch die Nachteile müssen beachtet werden:

- Die Leistungen der Kollektoren hängen direkt von der Bestrahlungsstärke ab.
- Bei hohen Einlagerungsgutfeuchten kann in Schlechtwetterperioden eine zusätzliche Anwärmung der Zuluft erforderlich werden [7, 8].
- Die Gutschichten unmittelbar nach dem Lufttritt werden überfrocknet.
- Zur Installation der Kollektoren werden größere Dach- oder Grundflächen benötigt, die jedoch meistens vorhanden sind.
- Jede Lufterwärmung steigert die Gefahr der Trockenkaminbildung im Haufwerk und damit die Luftverluste [9].
- Der Sonnenkollektor setzt dem Luftstrom einen Widerstand entgegen, bei strömungstechnisch ungünstiger Auslegung können durch Drosselung des Luftstromes alle zuvor aufgeführten Vorteile aufgehoben werden [10].

Erkenntnislücken bestehen zum quantitativen Einfluß der Witterung, der spezifischen Solarkollektorfläche und verschiedener Wechselwirkungen auf die Verfahrenskennwerte, vor allem auf die Qualitätsparameter. Den Konstrukteuren und Projektanten von Sonnenkollektoren fehlen begründete Vorgaben zu den zulässigen Kosten für Anlagen zur solaren Lufterwärmung.

Mit Hilfe der Computersimulation der Belüftungskonservierung von Heu wurde die solare Lufterwärmung eingehend untersucht und bewertet.

2. Methode

Auf Grundlage der in [11] veröffentlichten Berechnungsgleichungen wurde ein Simulationsprogramm der Belüftungskonservierung von Heu für 8-bit-Arbeitsplatzrechner mit dem Betriebssystem SCP entwickelt. Die Berechnung der von Ort und Zeit abhängigen Temperaturen und Feuchten von Luft und Gut erfolgte mit einem vereinfachten Differentialgleichungsmodell. Erforderliche Berechnungsgleichungen zur Trocknungs- und Befeuchtungskinetik des Halbheus wurden aus dreijährigen Versuchen abgeleitet [12]. Die Berechnungen der Trockensubstanzverluste, der Schimmelbildung, des Energieeinsatzes und der finanziellen Erlöse aus dem Verfahren ergaben alle erforderlichen Bewertungsgrößen zur Effektivitätsbewertung einer solaren Lufterwärmung. Als sich ergänzende Methoden wurden einerseits die finanziellen Erlöse aus dem Verkauf des Heus und andererseits die von Neubert [13] entwickelte Methode mit anteiliger Verfütterung des Heus an Milchrinder und Berechnung