

senden Faktoren). Der hohe massebezogene DK-Verbrauch des Frontschaufelladers resultiert aus dem hohen zeitbezogenen DK-Verbrauch in Verbindung mit der größtenteils nicht ausgenutzten Tragfähigkeit der Maschinen (durchsatzmindernder Effekt).

Bei der Beurteilung der energetischen Effektivität sowie der Leistungsfähigkeit der Umschlagmittel ist zu berücksichtigen, daß der Umschlag eine Hilfsoperation im technologischen Prozeß darstellt und eine Einordnung in das Gesamtverfahren durch geeignete Kennzahlen vorgenommen werden muß. Die diskutierten Kennzahlen für die einbezogenen Umschlagmittel und für die Arbeitsarten Laden von Stallung, Mineraldünger und Zuckerrüben sollen gegenübergestellt werden. Die aufgeführten Arbeitsarten stellen Schwerpunkte bei den Umschlagarbeiten dar [7].

Grundlegende Ausführungen zu den ermittelten Bereichen der Kennzahlen erfolgten bereits anhand der Bilder 1 bis 3, so daß an dieser Stelle auf einige spezifische Details hinsichtlich der erreichten Werte für die Umschlagmittel und Gutarten Bezug genommen wird.

Bei der Gutart Stallung erreichte der T 174-2 den geringsten massebezogenen DK-Verbrauch aufgrund des hohen erzielten Gutdurchsatzes. Beim Frontschaufellader wurde durch die ungünstige Abstimmung Umschlagmittel-Arbeitswerkzeug (Auslastung der Tragfähigkeit gering) ein relativ geringer Durchsatz sowie durch den vorhandenen schlechten Bodenzustand ein hoher zeitbezogener DK-Verbrauch erreicht. Daraus resultierte ein hoher massebezogener DK-Verbrauch. Die Mobilkran TIH-445DH erweist sich hinsichtlich der energetischen Effektivität bei den betrachteten Gutarten als vorteilhaft. Dies resultiert offensichtlich aus dem technischen Grundprinzip dieses Laders, bei dem lediglich der Schwenkarm gedreht wird (beim T 174-2 wird dagegen der gesamte Oberwagen und beim Frontschaufellader die gesamte Maschine bewegt). Der TIH-445 DH hat aber durch die relativ geringe Tragfähigkeit entscheidende Nachteile bezüglich des erreichbaren Durchsatzes (Bild 4).

Beim Laden von Mineraldünger mit dem

L-200 wirkten sich die vorhandenen örtlichen Gegebenheiten (Lagerhalle mit ungenügendem Manövrierraum, so daß die Transportmittel außerhalb standen) negativ auf die Höhe des Durchsatzes und damit auch auf den massebezogenen DK-Verbrauch aus. Der beim Laden von Zuckerrüben mit dem T 174-2 erreichte Durchsatz ist hauptsächlich dem vergrößerten Korbgreifer (Volumen rd. 1,0 m³) zuzuschreiben. Die dadurch erreichte bessere Auslastung der Tragfähigkeit bewirkt einen niedrigeren massebezogenen DK-Verbrauch. Die hohe installierte Maschinenkapazität des Frontschaufelladers ist in den Beispielfällen nicht ausgenutzt worden. Daraus resultiert sein schlechteres Abschneiden in bezug auf die energetische Effektivität gegenüber den Mobilkränen.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Über erste Ergebnisse und Erkenntnisse zu DK-Verbrauchsmessungen an mobilen Umschlagmitteln wurde berichtet. Gemessen wurde in der Operativzeit T₀₂ unter definierten Bedingungen, so daß eine Zuordnung des DK-Verbrauchs nach Umschlagmitteltyp und Arbeitsart gegeben war.

Die tendenziellen Verläufe der Beziehungen zwischen den Kennzahlen zur Einschätzung der energetischen Effektivität sowie der Leistungsfähigkeit der Umschlagmittel und ausgewählten Parametern wurden angegeben und diskutiert.

Zusammenfassend können folgende allgemeine Schlußfolgerungen abgeleitet werden:

- Zur Auslastung der vorhandenen Maschinenkapazität (besonders bei den Umschlagmitteln L-200 und T 174-2) und damit zur Sicherung einer hohen Effektivität ist eine gründliche Einsatzvorbereitung erforderlich, d. h. eine Kapazitätsabstimmung zwischen Umschlagmittel und Transportmitteln.
- Großen Einfluß auf die energetische Effektivität hat der erreichbare Durchsatz. Die den Durchsatz beeinflussenden und im Beitrag aufgeführten Faktoren sind deshalb bei Auswahl und Einsatz der Umschlagmittel zu berücksichtigen.

Beachtung verdient die Tatsache, daß bei den in die Untersuchungen einbezogenen spezifisch leichteren Gutarten die Maschinentragfähigkeit mit den vorhandenen Werkzeugen nicht ausgenutzt wird. Hieraus ergeben sich konkrete Forderungen an die Werkzeugentwicklung.

Frontschaufellader der untersuchten Größenordnung bedingen durch ihre Betriebsweise eine relativ große Manövriertfläche, Krane dagegen einen relativ hohen Manövrierraum. Das ist beim Einsatz in umbauten Räumen zu beachten.

- Bei der Nutzung der vorgestellten Kennzahlen für Kalkulationszwecke bzw. Richtwertermittlungen ist zu beachten, daß die Werte uneingeschränkte Gültigkeit nur für die speziellen Versuchsbedingungen haben sowie bei den zeitbezogenen Werten die Operativzeit T₀₂ als Zeitbasis genutzt wurde. Bei der Anwendung sind diese Werte ggf. um DK-Verbrauchsanteile für Motorlaufzeiten außerhalb der Operativzeit T₀₂ zu erweitern.

Literatur

- [1] Ehlich, M.; Huhn, W.: Der Transportaufwand der Landwirtschaft der DDR und Schwerpunkte für seine Verringerung. DDR-Verkehr, Berlin 18 (1985) 1, S. 8-11.
- [2] Huhn, W.; Kremer, H.: Zur Effektivität mobiler Umschlagmittel in LPG(P) und ACZ. Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim, Arbeitsmaterial 1983 (unveröffentlicht).
- [3] Kraftstoffverbrauch für Bau- und Meliorationsmaschinen. VEB Ingenieurbüro für Meliorationen Bad Freienwalde, Katalog 1981.
- [4] Sparsamer Einsatz von Dieseldieselkraftstoff in der Pflanzenproduktion, Richtwerte für den DK-Verbrauch. Markkleeberg: agrabuch 1982.
- [5] Schmid, H.: Zeitgliederung für Transport und Umschlag in der Landwirtschaft. agrartechnik, Berlin 27 (1977) 7, S. 297-300.
- [6] Wreßnig, G.: DK-Verbrauchswerte für mobile Umschlagmittel. Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim, Arbeitsmaterial 1983 (unveröffentlicht).
- [7] Huhn, W.; Kremer, H.: Zur Ausnutzung mobiler Umschlagmittel in LPG(P) und ACZ. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 8, S. 342-344.

A 4403

Einsatz von Sonnenenergie in Heubelüftungsanlagen

Dipl.-Ing. K. Swieczkowski, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR
 Dr. agr. K.-H. Stengler, KDT, VEB Kombinat Landtechnik Suhl
 Dr.-Ing. A. Trogisch, KDT/Dr. rer. nat. H. Lippold, KDT, VEB Kombinat Luft- und Kältetechnik Dresden,
 Stammbetrieb Forschung und Entwicklung

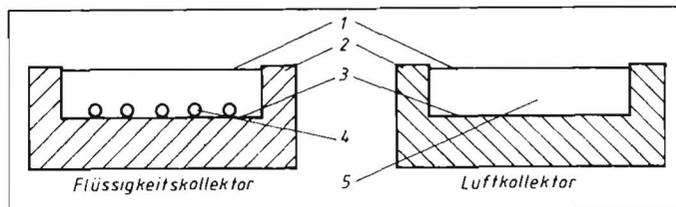
1. Aufgabenstellung

Zahlreiche Forschungsarbeiten in den vergangenen Jahren hatten die Erhöhung der Heuproduktion und -qualität sowie die Senkung des Material-, Energie- und Arbeitskräftaufwands zum Ziel. In deren Ergebnis wurden neue Maschinen und Verfahren in die Praxis eingeführt. Für das Mähen und Aufbereiten stehen künftig der Schwadmäher E 303 mit Breitablage sowie leistungsfähige Anbaumähwerke zur Verfügung. In Verbindung mit dem Rotorwender RW 4/415 ermöglichen sie eine hohe Ausnutzung der Sonnen- und Windenergie bei der Vortrocknung. Zur

Ernte können der Ladewagen HTS 71.04 und Pressen (ohne Bindung) mit der vorhandenen Transporttechnik eingesetzt werden. Das Ein- und Auslagern erfolgt mit mobilen

Umschlagmitteln. Eine Vorzugslösung ist der Frontlader FL 600 zum Traktor MTS-50, der auch zur Auslagerung verwendet werden kann. Zur Belüftungstrocknung dient das ent-

Bild 1
 Sonnenkollektorprinzip;
 1 durchsichtige Platte,
 2 Isolation, 3 schwarzer
 Absorber, 4 Röhre zur
 Wärmeübertragung,
 5 Luftschicht zur Wärmeübertragung



wickelte, materialreduzierte Unterflur-Rostkanalsystem.

Durch den Übergang von der Häcksel- und Preßheu- zur Ladewagenlinie und die wirkungsvollere Ausnutzung des Energieangebots der Natur bei der Feldtrocknung konnte der Material- und Primärenergieaufwand erheblich reduziert und die Arbeitsproduktivität, vor allem bei der Einlagerung, erhöht werden. Mit den vorhandenen Produktionsverfahren ist auch bei Heuwetter und mit niedrigem Handarbeitsaufwand die Produktion von Qualitätshheu (≥ 500 EFr/kg TS) möglich. Unter ungünstigen Witterungsbedingungen zeigen sich aber noch Schwachstellen. Dazu gehört z. B., daß bei der Stapeltrocknung das Halbheu auf dem Feld auf einen Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) von 70% (Gras) bzw. 60% (Luzerne) getrocknet werden muß. Damit ist eine um mindestens einen Tag längere Feldliegezeit verbunden. Diese erhöht das Witterungsrisiko und die Verluste. Für die Luzerneheuproduktion kann es aufgrund der hohen Bröckelverluste deshalb nicht eingesetzt werden. Wendet man die Schichttrocknung, die eine Einlagerung ab TS = 50% zuläßt, an, dann reduziert man zwar Witterungsrisiko und Verluste, benötigt aber zusätzlich eine stationäre Gebläseanlage für das Einlagern und Verteilen. Das senkt die täglich möglichen Einlagerungsleistungen gegenüber der mobilen Einlagerung um 60%. Die Leistung des gesamten Produktionsverfahrens wird reduziert, der Investitions- und der Handarbeitsaufwand unter erschwerten Arbeitsbedingungen steigen an.

Ein weiteres Problem ist die Bereitstellung von elektrischen Anschlußleistungen bis zu 225 kW für moderne Bergeräume mit Unterflurbelüftung.

Im Rahmen des Forschungskomplexes „Heuproduktion“ war deshalb u. a. zu klären, unter welchen Bedingungen bei der mobilen Einlagerung und Stapeltrocknung der zulässige TS-Gehalt des Halbheus auf 50% gesenkt werden kann.

Die Erhöhung der Trocknungsgeschwindigkeit sollte durch Nutzung von Sonnenenergie erfolgen. In diesem Zusammenhang waren Lösungen zur Senkung des Anschlußwerts und des spezifischen Energieverbrauchs zu untersuchen.

2. Lösungsweg

Der Elektroenergieverbrauch des Heuventilators wird hauptsächlich von folgenden Größen beeinflusst:

- momentaner Leistungsbedarf, der sich aus dem Strömungswiderstand der Anlage (Kanal, Roste, Stapelhöhe und -dichte) ergibt
- Ventilatorlaufzeit, die von der zu verdunstenden Wassermenge und dem Wasseraufnahmevermögen der Außenluft abhängt.

Unter dem Gesichtspunkt eines minimalen Elektroenergieverbrauchs sind Kaltbelüftungsanlagen mit großvolumigen Luftkanälen und einer großen Luftdurchtrittsfläche der Roste in Verbindung mit einer Beschickungsanlage, die eine schichtweise Einlagerung bei geringer Stapeldichte gewährleistet, als günstig einzuschätzen. An der Entwicklung solcher Anlagen wird gearbeitet. Eine Sen-

Bild 2. Zusammenstellung der vorhandenen technischen Lösungen für solare Heubergäume

| Bezeichnung | Prinzipdarstellung, Sonnenkollektor und Luftführungssystem | Anwendung | Effekte |
|--|--|-------------------------------------|--|
| 1. Folienkollektoren 1.1. Schlauchkollektoren 1.1.1. mit Hilfslüfter (Überdruck) | | Heu | $\bar{x} = 10$ K max 20 bis 25 K bei = 30 000 m ³ /h |
| 1.1.2. ohne Hilfslüfter (Überdruck) | | Heu | |
| 1.1.3. Einfachschlauch (Überdruck) | | Heu | |
| 1.1.4. Doppelschlauch (Überdruck) | | Heu, Getreide | |
| 1.1.5. Flachkollektor | | | |
| 1.2. Luftbläschenkollektoren 1.2.1. Luftmatratzenkollektor 1.2.1.1. Überdruckkollektor | | Heu-Rundballen Stroh Getreide | |
| 1.2.1.2. Unterdruckkollektor | | | |
| 1.3. Speicherkollektor | | Heu, Getreide | max. 80 °C |
| 2. Separate Flachkollektoren 2.1. ohne Reflektor | | Heu, Getreide | max. 50... 60 °C |
| 2.2. mit Reflektor | | Heißluft-trocknung | Wirkungsgrad = 70%, 1500 m ³ ≈ 180 000 t Heizzeinsparung/ Jahr, Reflektor im Winter, Schneeschutz |
| 3. Sonnenwandkollektoren 3.1. undurchsichtig | | Heu | Isolation durch das Erntegut selbst |
| 3.2. durchsichtig-senkrecht | | Heu | |
| 3.3. durchsichtig-schräg | | Heu | 2... 3 K |
| 4. Sonnendachkollektoren 4.1. Kombination Wand-Dach | | Heu | 2,6 K |
| 4.2. Ganzdach | | Heu, Greiferein- und auslagerung | ≥ 5 K Verdunstung steigt um 400 % |
| 4.3. Dachboden | | Heu | |
| 4.4. Halbdach- unterschiedliche Neigung | | Heu, Gebläseeinlagerung | |
| 4.5. Halbdach- gleiche Neigung | | Heu, Gebläseeinlagerung | Kalt- Wärm- belüftung g/m ³ 0,75 1,1 kWh/dl 14,7 11,5 ≥ 1. 10 K |

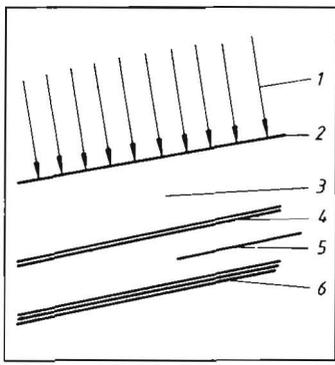


Bild 3. Prinzipdarstellung des Sonnendachkollektors; 1 direkte Sonnenstrahlen, 2 verstärkte Folie, 3 Luftpolster, 4 Wellblech, 5 erwärmte Trocknungsluft, 6 Isolator

kung des Energieverbrauchs der Ventilatoren wird auch dann erreicht, wenn die Zuluft erwärmt wird. Bei Luftanwärmungen bis zu 6 K kann z. B. eine Schicht Häckselheu mit $TS = 50\%$ in 3 bis 4 Tagen kontinuierlich bei TS -Verlusten unter 3% fertiggetrocknet werden. Um an einem Bergeraum BRG7100 technologisch effektiv arbeiten zu können, ist diese Wärmeenergie gleichzeitig für mindestens 4 beliebige Ventilatorgrundflächen (je 81 m^2) bereitzustellen. Zweckmäßig ist weiterhin, Warmluft nur bei schlechtem Wetter und hochwertigem Gut einzusetzen.

3. Ergebnisse der Literaturoswertung

Ausgangspunkt jeder Nutzung der Sonnenenergie ist ihr Energieangebot, das mit einer Leistung von 1400 W/m^2 die Obergrenze der Atmosphäre erreicht und ein breites Band von kurzwelligigen Lichtstrahlen und langwelligeren Wärmestrahlen darstellt. Beim Durchtritt durch die Erdatmosphäre geht durch Absorption, Reflexion, Trübung und Streuung etwa ein Drittel dieser Energie verloren. In Mitteleuropa kann deshalb auf der Erdoberfläche nur noch mit einer Einstrahlung von maximal 900 W/m^2 gerechnet werden.

3.1. DDR-Klimadaten

Grundlage für die Dimensionierung einer solartechnischen Anlage sind die Klimadaten der DDR, deren wichtigste Aussagen sich wie folgt zusammenfassen lassen:

- Unter dem Gesichtspunkt der Heuproduktion ist es näherungsweise zulässig, die in Potsdam gemessenen Strahlungsdaten auf das gesamte Territorium der DDR zu übertragen. Besonders sonnenreiche oder sonnenarme Gebiete gibt es nicht.
- Die Strahlungsschwankungen können von Jahr zu Jahr sehr beträchtlich sein. Auch

die Anzahl von Strahlungstagen, Trübtagen und deren Aufeinanderfolge ist sehr großen jährlichen Schwankungen unterworfen. So sind im Sommerhalbjahr Tagesfolgen von 3 bis 6 Trübtagen häufig anzutreffen. Obwohl der Wärmebedarf während der Heu- und Getreideernte mit der Zeit des höchsten Energieangebots der Sonne zusammenfällt, kann er auch in eine Schlechtwetterperiode fallen.

- Die optimale Kollektorneigung ergibt sich aus dessen jährlicher Nutzungsdauer. Für die sommerliche Nutzung ist eine geringe Neigung vorzuziehen.

3.2. Sonnenkollektorprinzip

Der Sonnenkollektor wandelt durch Absorption von Strahlungsenergie in einer schwarzen Schicht die Sonnen- in Wärmeenergie um, die dann durch einen Wärmeübertrager, der mit Flüssigkeit oder Luft als Übertragungsmedium arbeitet, abgeführt wird. Der Wärmeübertrager ist bei hochwertigen Kollektoren nach den Seiten und der Rückwand thermisch isoliert und nach vorn mit einer oder mehreren lichtdurchlässigen Platten abgedeckt. Sie bewirken einen kleineren Wärmeübergang durch Konvektion und dienen als Strahlungsschild, da für die Wärmestrahlung der schwarzen Platte Gläser und auch die dafür eingesetzten Kunststoffe undurchlässig sind (Bild 1).

3.3. Übertragungsmedium bei der Heubelüftung

Um die Wärmeenergieverluste gering zu halten, zusätzliche Wärmeübertrager und Material einzusparen sowie die Masse der Kollektoren zu minimieren, wird ausschließlich die Trocknungsluft selbst als Übertragungsmedium eingesetzt.

3.4. Luftanwärmung und Luftstrom

Prinzipiell bestehen die Möglichkeiten, entweder die gesamte Trocknungsluft durch den Kollektor zu saugen, geringe Luftanwärmungen zu erzielen und die erhöhten Strömungsverluste in Kauf zu nehmen oder nur einen Teil der Luft relativ hoch anzuwärmen, vor dem Ventilator mit der Kaltluft zu vermischen und erst dann zur Trocknung einzusetzen. In der Literatur wird nur auf die erste Methode verwiesen, da bei ihrer Anwendung ein höherer energetischer Gewinn entsteht.

3.5. Bauformen von Sonnenkollektoren für die Heubelüftung

Sonnenkollektoren für die Heubelüftung lassen sich im wesentlichen in zwei Gruppen einteilen:

- vor bestehenden Kaltbelüftungsanlagen

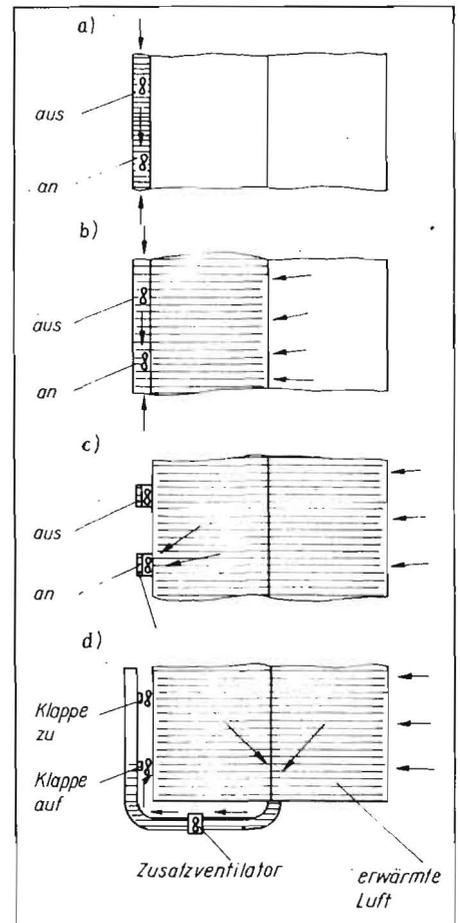


Bild 5. Luftführungssysteme für den Warmlufttransport Kollektor - Ventilator; a) Sonnenwand b) Sonnenwand und Halbdach c) Ganzdach mit Luftleitkanälen d) Ganzdach mit zentraler Absaugung

aufstellbare Folie- oder separate Flachkollektoren

- Kollektoren, die in das Gebäude integriert sind.

Die Kollektorbauformen lassen sich wie folgt unterscheiden:

- Schlauchkollektoren (Bild 2, Pos. 1.1.)
- Luftbläschenkollektoren (Bild 2, Pos. 1.2.)
- Speicherkollektoren (Bild 2, Pos. 1.3.)
- separate Flachkollektoren (Bild 2, Pos. 2)
- Sonnenwandkollektoren (Bild 2, Pos. 3)
- Sonnendachkollektoren (Bild 2, Pos. 4; Bild 3).

Besonders geeignet erscheinen Sonnendach- und Luftbläschenkollektoren.

3.6. Wärmespeicherung

Um die Sonnenenergie mit ihrem schwankenden Energieangebot nutzen zu können, sind zur Anpassung an den Energiebedarf des Heus Wärmespeicher einzusetzen. Es wäre bereits ein großer Gewinn, wenn ein Wärmeverrat zur Überbrückung einiger Trübtage geschaffen werden könnte. Für die Heubelüftung ist bisher ein Speicherkollektor bekannt geworden, der in Kombination mit einem Dachkollektor geringen Wirkungsgrades betrieben wurde (Bild 4). Diese Anordnung bewirkte eine zusätzliche Wärmeenergieerzeugung und eine zweckmäßige Ausnutzung der Mittags- und Nachmittagsüberschüsse der Wärme mit der Verlängerung der möglichen Trocknungszeit bis in die Nachtstunden. Vormittags setzte er die Temperaturen der Luft herab und begrenzte so die Gefahr der Wasserkondensation im

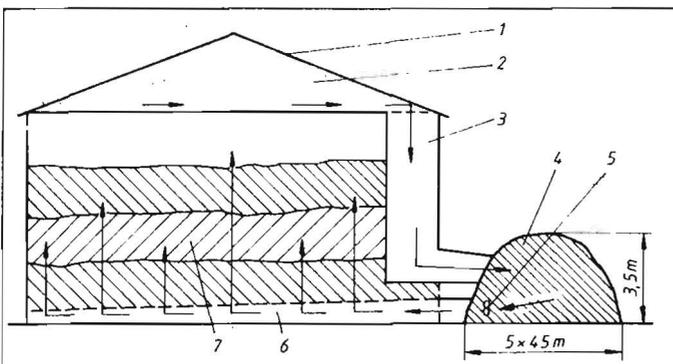


Bild 4 Heubergeraum mit Sonnendachkollektor und Speicherkollektor; 1 schwarzes Wellblech, 2 Dachboden, 3 Luftführungssystem, 4 Folie mit Altreifen, 5 Ventilator, 6 Oberflurbelüftung, 7 Heuschichten

Heu, das sich während der Nacht abkühlt. Die Untersuchungen am Speicherkollektor sind noch nicht abgeschlossen. Neben der Wärmespeicherung durch zusätzliche Bauten wird die Wärme auch im Heu selbst gespeichert. Sie kann dann bei sinkenden Außenlufttemperaturen zur Trocknung genutzt werden.

3.7. Luftführungssysteme Kollektor – Ventilator

Die vom Sonnenkollektor erzeugte Warmluft muß von ihm bis zum Ventilator transportiert werden. Bei den Foliekollektoren ist dies auf einfachste Weise gelöst (Bild 2, Pos. 1.1.1.). Bei den Sonnenwandkollektoren mit oder ohne Ganz- oder Halbdach (Bild 5a und b) erfolgt die Warmluftzuführung wie bei der Kaltbelüftung. Sind im Bergeraum nur wenige Ventilatoren eingeschaltet, wird durch deren begrenzte Sogwirkung nicht die gesamte erzeugte Wärmeenergie genutzt. Dies trifft auch auf die Luftleitkanäle zu (Bild 5a), mit deren Hilfe die Ventilatoren die erwärmte Luft des Dachkollektors ansaugen. Bei den im Bild 5 dargestellten Lösungen a bis c ist es nicht möglich, die gesamte erzeugte Wärmeenergie auf eine beliebige Ventilatorgrundfläche zu konzentrieren. Dies wird erst mit einer Rohrleitung, die von Ventilator zu Ventilator führt, möglich (Bild 5d). Dazu ist jedoch ein zusätzlicher Ventilator erforderlich. Weiterhin ist zu beachten, daß bei ihrem Parallelbetrieb der stabile Kennlinienbereich überschritten werden kann.

3.8. Luftführungssysteme Ventilator – Heu

Die solaren Heubelüftungsanlagen verfügen meist über eine Oberflurbelüftung, die nahezu die gesamte Stapelgrundfläche überstreicht und etwa dem Teilkanal-Rostsystem entspricht. Der Betrag der zulässigen Luftanwärmung wird vom Luftführungssystem nicht begrenzt.

Beim Unterflur-Rostkanalsystem mit einem Kanalabstand von 2,5 m sind bei der Schichttrocknung 6 K zulässig. Bei höheren Anwärmungen übertröcknet das auf den Rosten liegende Heu sehr schnell. Dort entstehen Luftverluste. Die Trocknung zwischen den Kanälen dagegen stagniert. Deshalb ist bei Luftanwärmung über 6 K ein entwickelter Kanal mit einem Kanalabstand von 1,5 m einzusetzen und zu untersuchen.

Bei der Ober- und Unterflurbelüftung treten in den Luftkanälen Wärmeverluste auf. Sie sind in den Erdkanälen der Unterflurbelüftung besonders hoch. Bei Kaltbelüftung ist mit 0,1 K/m Luftweg zu rechnen. Wärmedämmungen wurden bisher noch nicht eingesetzt.

3.9. Abluftöffnungen

Heubergeräume sind Lagerstätten mit erhöhter Brandgefahr. Die am Gebäude fest installierten Sonnenkollektoren dürfen in allen Betriebszuständen keine höheren Temperaturen als die Bauelemente herkömmlicher Bergeräume aufweisen. Um Erwärmungen zu verhindern, sind die Anlagen so zu gestalten, daß die erzeugte Wärme durch den natürlichen Auftrieb der Luft gefahrlos abtransportiert wird. Dieser Forderung entsprechen die Sonnenwand und das Halbdach am besten (Bild 2).

Bei den Sonnenkollektoren sind die Lufteingangsöffnungen so anzuordnen, daß die Abluft nicht erneut angesaugt werden kann. Man erreicht dies am besten durch die

Schaffung eines großen Abstands zwischen ihnen.

3.10. Ventilatorschaltung

Solare Heubelüftungsanlagen werden wie reine Kaltbelüftungsanlagen gefahren. Ist der Sonnenkollektor separat einschaltbar, wird er nur dann eingesetzt, wenn die Witterung eine Luftanwärmung verspricht. Besondere Meßgeräte oder Automatisierungslösungen für die Steuerung der Heubelüftungsanlagen sind den Autoren nicht bekannt geworden.

Bei Solaranlagen ist die Ventilatorschaltung einfacher als bei der Kaltbelüftung zu beherrschen, da am Tage fast immer ein Wasserentzug auftritt.

3.11. Mehrfachnutzung solarer Heubelüftungsanlagen

Neben Halbheu können auf den o. g. Anlagen auch Heilkräuter, Feinsämereien und Getreide getrocknet werden. Dazu sind z. T. Zusatzeinrichtungen erforderlich (z. B. Schlitzblechroste zur Kanalabdeckung). Ferner besteht die Möglichkeit, die im Kollektor erzeugte Warmlast an andere Verbraucher abzugeben.

3.12. Ergonomie

Bei den Kaltbelüftungsanlagen gibt lediglich der Schalleistungspegel der Ventilatoren Anlaß zur Kritik. Solare Heubelüftungsanlagen mit im Vergleich zur Kaltbelüftung erhöhten Trocknungsgeschwindigkeiten weisen geringere Ventilatorlaufzeiten auf. Dies führt zu einer geringeren Lärmeinwirkungsdauer auf die Umwelt.

Wird feuchteres Heu als bei Kaltbelüftungsanlagen eingelagert, entfallen mehrere Arbeitsgänge bei der Vortrocknung auf dem Feld. Dies führt zu einer Einsparung an Dieselmotorkraftstoff und geringeren Belastungen der Ernteflächen.

3.13. Schlußfolgerungen

Aus der Literatur und den eigenen Untersuchungsergebnissen werden folgende Schlußfolgerungen gezogen:

- Zur Senkung des Elektroenergiebedarfs und der Konservierungsverluste ist die Nutzung der Sonnenenergie bei der Belüftungstrocknung möglich. Leistung, Aufwand und Kosten der einzelnen Lösungs-

varianten entscheiden über ihre Anwendbarkeit.

- Für bereits vorhandene Belüftungsanlagen wird ein Luftmatratzenkollektor empfohlen. Für eine neue Generation von Heubergeräumen ist eine solare Trocknungsanlage zu entwickeln. Dabei sind folgende Grundsätze zu beachten:

- nach Süden ausgerichtete Kollektorfläche mit einer Neigung von 10 bis 20°
- energetische Kopplung mit anderen alternativen Energieträgern und -verbrauchern der Tierproduktionsanlage
- Umwandlung der Sonnen- in Wärmeenergie durch einen Luftkollektor
- Anwärmung der gesamten Trocknungsluft im Sonnenkollektor
- Verzicht auf eine Wärmespeicherung durch zusätzliche technische Einrichtungen; dafür Einbeziehung der Getreidetrocknung in die Anlagennutzung
- Auslegung der Belüftungsanlage, daß sie für die Schicht-, Stapel- und Satz-trocknung von Heu und die Getreidetrocknung eingesetzt werden kann
- Auslegung des Kollektorwirkungsgrades, daß auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen noch eine Luftanwärmung um einige K stattfindet; bei einer Globalstrahlung von 450 W/m² sollen 10 K möglich sein.

4. Ergebnisse bei der Entwicklung des Luftmatratzenkollektors

Der erste Lösungsvorschlag ist zum Selbstbau gedacht. Voraussetzung dafür ist die Beschaffung des Zusatzventilators und des Folieschlauchs. Der Kollektor (Bild 6) besteht aus dem Zusatzventilator, in der Landwirtschaft üblichen Gebläserohrleitungen, 2 Folieschläuchen, Derbstangen und einem Ausblasbogen. Um den Anschluß der Folie zu gewährleisten, sind die Rohrleitungen entsprechend Bild 6 zu ändern. Durch Auflegen der Derbstangen wird der Folieschlauch in die gewünschte flache Form gebracht und am Boden festgehalten. Die Ausblasöffnung muß etwa 0,5 m vor dem Heuventilator enden.

Der Zusatzventilator preßt die Außenluft durch die Rohrleitungen in die Foliebahnen. Sie blähen sich auf. Die Luftanwärmung hängt maßgeblich von den Witterungsbedingungen ab. Bei durchschnittlichem bis sehr

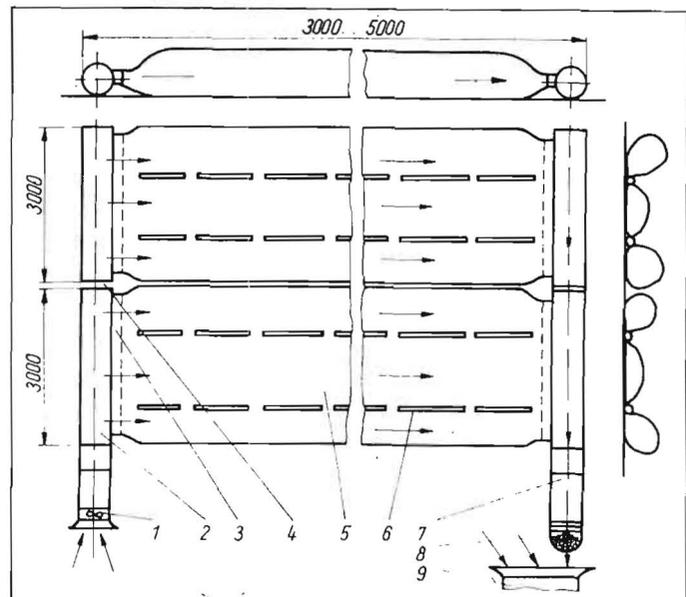


Bild 6
Luftmatratzenkollektor zum Selbstbau;
1 Ventilator LANVR 315/063 (0,55 kW), 2 Rohrleitungen (Ø 350 mm), 3 Anschlußstutzen, 4 Schelle, 5 PE-Breitfolie 0,2/3000, 6 Derbstangen, 7 Rohrkrümmer, 8 Maschendraht, 9 Heuventilator

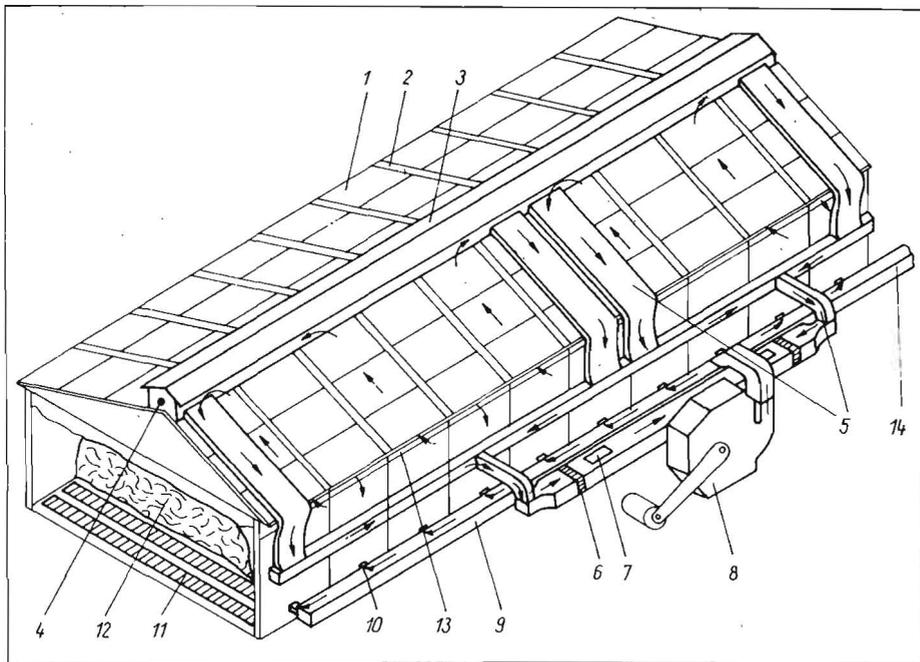


Bild 7. Universelle solare Trocknungsanlage;
1 Glasfeld, 2 glasfreier Streifen, 3 Firstkanal, 4 Fensterlüfter, 5 1. Sammelkanäle, 6 Wärmeübertrager, 7 Klappen, 8 Großventilator, 9 2. Sammelkanal, 10 Regelklappen, 11 Doppelkanäle, 12 Heu, 13 Abluftöffnungen

gutem Wetter ist mit einer Temperaturerhöhung von 5 bis 10 K am Kollektorausgang zu rechnen. In Abhängigkeit von der Fördermenge des Heuventilators beträgt sie bei der Heutrocknung 3 bis 6 K.

5. Ergebnisse bei der Entwicklung der solaren Trocknungsanlage

5.1. Beschreibung eines ersten Lösungsvorschlags

Unter Berücksichtigung der Produktionsverfahren „Heu“, der vorhandenen Bergeräume BRG 7100, geringsten zusätzlichen Platzforderungen im Vergleich zur Kaltbelüftung und dem Einsatz einheimischer Rohstoffe wurde der im Bild 7 dargestellte erste Lösungsvorschlag abgeleitet.

5.1.1. Aufbau

Der Luftkollektor ist aus Copilith-Profilglas, das über Gummistreifen auf der Dachhaut aus Dachpappe und Brettern aufliegt, ausgeführt. Ein Luftkollektorelement besteht aus 3 hintereinanderliegenden Profilgläsern. 8 solcher Elemente bilden ein Glasfeld. Zwischen den einzelnen Glasfeldern befinden sich 0,5 m breite glasfreie Streifen, über die eine Wartung der Gläser möglich ist. Insgesamt bilden 986 m² Glasfläche – das sind 81 % der Dachfläche – den Luftkollektor. Die Glasfelder münden in den Firstkanal ein. Er besteht ebenfalls aus Brettern und Dachpappe. An beiden Giebelseiten des Firstkanals ist jeweils ein Fensterlüfter eingebaut, der im Leerlauf bei zu hohen Lufttemperaturen über eine automatische Steuerung ein- und ausgeschaltet wird. Jeweils zwei parallel zur Dachneigung über die Traufe bis zur Längsseite des Bergeraums geführte Luftkanäle bilden den ersten Sammelkanal. Je Bergeraumhälfte existieren zwei solcher Sammelkanäle.

Ihr Luftstrom wird über je einen Wärmeübertrager geführt. Er ist so ausgelegt, daß bei Außenlufttemperaturen von 10 bis 20°C eine Luftanwärmung von 10 bis 12 K möglich ist. Über die Luftkollektoren können je Berge-

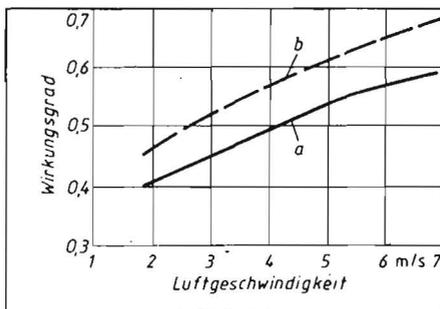


Bild 8. Wirkungsgrad des Luftkollektors aus Copilith-Profilglas, Dachpappe und Brettern; a nicht isoliert, b isoliert

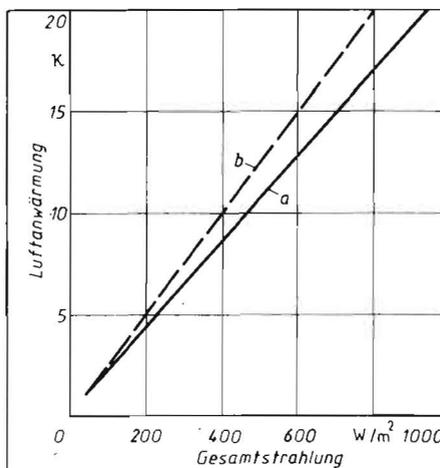


Bild 9. Luftanwärmung für isolierte und nicht isolierte Kollektoren; a nicht isoliert, b isoliert

raumhälfte 10 m³/s bei 450 W/m² um 10 K erwärmt werden. Ist ein größerer Luftstrom erforderlich, kann durch die Klappen der Mischsektion Außenluft zugemischt werden.

Für den gesamten Bergeraum kommt ein Großventilator LRN 1400/1-F zum Einsatz. Er

weist eine maximale Leistungsaufnahme von rd. 55 kW bei 450 min⁻¹ auf und hat einen Arbeitsbereich von 144000 m³/h ($\Delta p = 1250$ Pa) bis 72000 m³/h ($\Delta p = 1600$ Pa). Sein Wirkungsgrad beträgt 82 bis 78 %. Der vorliegende Drucksprung Δp ist ausreichend, um die gesamten Druckverluste in Luftkollektor, Kanalsystem, Regelklappen, Wärmeübertrager, Unterflurkanälen und im Heu zu kompensieren.

Der Ventilator hat einen Schalleistungspegel von 80 dB (A) und ist zur Aufstellung im Freien zugelassen.

Durch den zweiten Sammelkanal erfolgt die Verteilung der erwärmten Zuluft auf die einzelnen Stapelgrundflächen. Jeder Unterflurkanal ist durch Regelklappen absperrbar. An einem Ende des 2. Sammelkanals können mehrere Trocknungsbehälter für Getreide angeschlossen werden.

Die Kanäle vom und zum Großventilator sind gegen Wärmeverluste zu isolieren, die 1. Sammelkanäle auf dem Dach sind mit einem schwarzen Anstrich zu versehen.

Als Unterflurkanäle kommen Kanäle mit einem Abstand von 1,5 m zum Einsatz.

5.1.2. Funktion

Vom Großventilator wird die Außenluft durch den Kollektor gesaugt, wobei sie sich erwärmt. Sie gelangt über die 1. Sammelkanäle und Wärmeübertrager auf der Saugseite zu weiteren Luftkanälen, Regelklappen und die Unterflurkanäle auf die Druckseite.

Im Heu nimmt die Außenluft unter Wärmeabgabe Wasser auf und verläßt den Bergeraum durch die Abluftöffnungen.

5.1.3. Betrieb

Großventilator, Wärmeübertrager und Regelklappen werden manuell bedient. Zur Prozeßkontrolle und -steuerung werden die gleichen Meßgeräte und Methoden wie bei der Kaltbelüftung angewendet. Zur Belüftung sind die Regelklappen der Unterflurkanäle, auf denen Trockengut liegt, zu öffnen. Alle anderen sind zu verschließen.

Heu kann über die Schicht-, Stapel- oder Satz Trocknung produziert werden.

Die Getreidebelüftung und/oder -kühlung kann im Bergeraum direkt bei einer Schichthöhe von maximal 2 m erfolgen. Dazu sind im Bergeraum die Doppelkanäle mit Siebblechen einzusetzen. Die Trocknung ist aber auch in Belüftungssilos möglich.

5.2. Prognose der energetischen Effekte

In dieser Anordnung wurden folgende energetische Effekte für die Warmluftzeugung vorausgerechnet:

- Beim Stillstand des Großventilators und einer Gesamtstrahlung von 900 W/m² können unter dem Copilith-Profilglas über 105°C auftreten, die Bretter auf der Kollektorrückseite können sich auf über 50°C erwärmen.

- Bei der projektierten Luftgeschwindigkeit von 5 m/s im Kollektor wird ein Wirkungsgrad von 0,45 bis 0,55 erreicht (Bild 8).

- Bei einer Gesamtstrahlung von 450 W/m² sind 10 K (nicht isoliert) bzw. 11,5 K (isoliert) zu erzielen (Bild 9).

- Der energetische Gewinn, gemessen an den Stunden, an denen 10 K erreicht und überschritten werden, ist in der Jahresmitte am höchsten. Er nimmt mit wachsender Luftgeschwindigkeit im Kollektor erheblich ab (Bild 10).

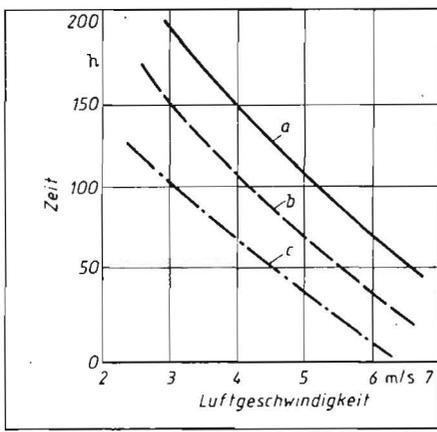


Bild 10. Zeit, in der 10K erreicht und überschritten werden;
a Mai bis Juli, b August, c September

- Die Luftanwärmung hängt vom Tagesgang der Sonne ab und wird im Juni bis zu 17 K erreichen (Bild 11).
- Die möglichen monatlichen Energiegewinne, die allerdings bis $\pm 50\%$ schwanken können, sind in Tafel 1 dargestellt. Bei ganzjähriger Nutzung der Anlage können 390 MWh erzeugt werden. Unterstellt

Tafel 1. Monatlicher Energiegewinn durch den Sonnenkollektor

| Monat | monatliche Strahlungsenergie kWh/m ² | monatlicher Energiegewinn MWh |
|-----------|---|-------------------------------|
| Mai | 145 | 70 |
| Juni | 160 | 78 |
| Juli | 150 | 74 |
| August | 125 | 61 |
| September | 90 | 44 |
| Oktober | 45 | 22 |

man eine Nutzungsdauer von 20 Jahren, entspräche dies einer Einsparung von etwa 1760 t Braunkohlenbriketts, d. h. etwa 88 t/a.

5.3. Aufbau der Versuchsanlage

Zum Nachweis der Berechnungen und zur Klärung bautechnischer Probleme wurde ein Funktionsmodell des Luftkollektors geschaffen und die Auswirkungen der Witterung im Verlauf eines Jahres auf die Luftanwärmung und die einzelnen Elemente des Baukörpers untersucht (Bild 12). Dabei wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Luftanwärmung

- Luftanwärmungen traten nur auf, wenn die mit der Tageshelligkeit verbundene Wärmestrahlung vorhanden war. Nachts näherten sich die Temperaturen unter dem Glas und die Temperaturen der Bretter den Außenlufttemperaturen.
- Die Temperatur der Bretter auf der Kollektorunterseite war am Tage immer größer als die Temperatur der Außenluft.
- Am 22. Juli 1983 wurden um 15.00 Uhr im geschlossenen Kollektorelement mit 104°C im Kollektor und mit 55°C als Brettertemperatur die höchsten Temperaturen gemessen. Unter den gleichen Bedingungen überschritt die Temperatur der Luft im offenen Kollektor 72°C nicht.

Kollektor und Tragwerk

- Die verwendeten Pfetten der Typenbinder verzogen sich bei einem Binderabstand von 4,5 m unzulässig. Die Stöße der Gläser verschoben sich. Es entstanden im Kollektor Öffnungen, durch die Leckluft angesaugt und der Wirkungsgrad verringert wurde.
- Bei einem Binderabstand von 3 m genügen die Pfetten den Anforderungen.

- Die Befestigung des Profilglases auf dem Dach erfolgt am günstigsten mit Hilfe von Flachstahlzugband.

- Das Glas verschmutzte vorwiegend auf der Oberfläche, so daß eine Reinigung nicht ausgeschlossen werden kann.

Auf der Grundlage dieser Untersuchungen wurde die Projektlösung in ein Bauausführungsprojekt übergeleitet. Vor allem die Ergebnisse der statischen Untersuchungen bewirkten, daß der Kollektor nicht auf den vorhandenen Bergeraum BRG7100 aufgesetzt, sondern vor diesem angeordnet wurde (Bilder 13 und 14). Das Funktionsprinzip wurde im wesentlichen beibehalten. Im Jahr 1984 wurde die Gesamtanlage, bestehend aus Sonnenkollektor und Bergeraum mit Unterflurbelüftungsanlage, in Betrieb genommen. Die ersten Ergebnisse bestätigten bei der Belüftung von Halbheustapeln und Feuchtgetreide die theoretischen Erwartungen. Ziel der weiteren Untersuchungen ist es, die Parameter zu erarbeiten, die für die Projektierung und die Produktion einer neuen Generation von Bergeräumen mit integriertem Sonnenkollektor und die Trocknung von Halbheu (TS-Gehalt ab 50%) und Getreide (TS-Gehalt ab 80%) erforderlich sind.

6. Zusammenfassung

Ausgehend von der Aufgabenstellung, die Verfahren der Halbheuproduktion effektiver zu gestalten, die vorhandenen Verfahrensmängel abzubauen und die Futterenergieverluste entscheidend zu senken, wurde die Nutzung der Sonnenenergie für die Luftanwärmung bei der Unterdachdrehnung von Halbheu und Getreide untersucht.

Sowohl das Literaturstudium als auch die eigenen Ergebnisse zeigen, daß die Sonnenenergie angewendet werden kann. Die ent-

Fortsetzung auf Seite 93

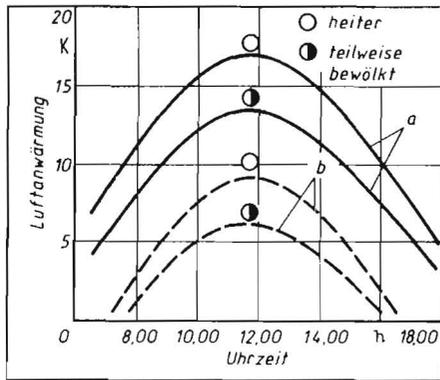


Bild 11 Luftanwärmung für heitere und teilweise bewölkte Tage (Luftgeschwindigkeit 4 m/s); a Juni, b Oktober

Bild 13 Gesamtansicht der Versuchsanlage

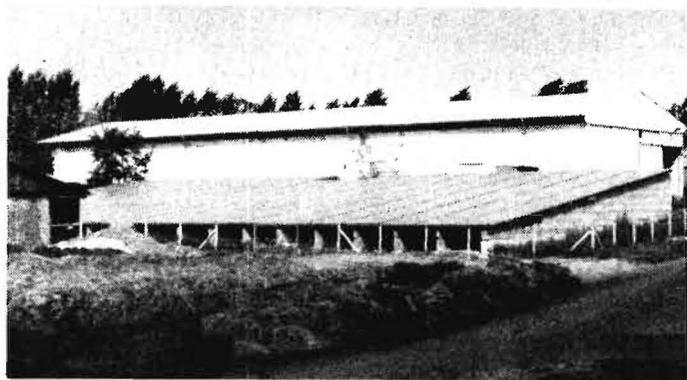


Bild 12. Funktionsmodell des Luftkollektors mit Originalbauteilen; Glasbefestigung: unten Winkelschiene, oben Flachstahlzugbänder

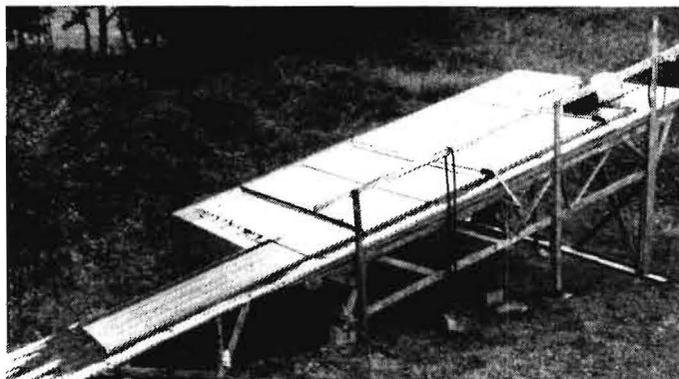
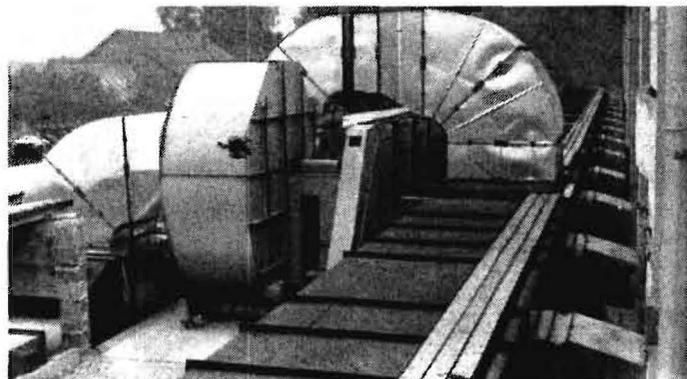


Bild 14. Ansicht von Mischkammer, Großventilator, 2. Sammelkanal, Drosselklappen und Übergang zum Bergeraum



Bemerkungen zur Ermittlung des statischen Kippwinkels bei Traktoren

Dipl.-Ing. H. Schulz, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

1. Einleitung

Die in der Landwirtschaft und besonders die in Hanglagen eingesetzten Traktoren und Landmaschinen sind hinsichtlich Unfallgefährdung durch Seitenkippen einsatzsicherer geworden. Trotzdem ist es notwendig, weitere Beziehungen des gefahrlosen Einsatzes der Landtechnik in Hanglagen und unter ähnlichen Bedingungen herauszustellen und ingenieurmäßig zu durchdringen.

Beim Einsatz von Traktoren und Landmaschinen im hängigen Gelände können Probleme der Querstabilität durch Seitenkippen oder seitliches Abrutschen auftreten. Im Beitrag sollen einige Bedingungen und Beziehungen über das Ermitteln von statischen seitlichen Kippwinkeln für Traktoren mit einer Pendelachse und einer starr am Traktorrumpf befestigten Achse dargelegt werden. Derartige Achskombinationen sind auch bei selbstfahrenden Landmaschinen und Kranen vorhanden, so daß dafür gewisse Analogiebetrachtungen möglich sind [1].

2. Ausgangsbedingungen

Beim Einsatz von Traktoren in hängigem Gelände, wo Probleme der Querstabilität durch Seitenkippen auftreten können, sind Kenntnisse über die Einflüsse auf das Kippverhalten notwendig. Das in der Praxis befahrene, oft unebene Gelände erfordert zum Sichern des Bodenkontakts aller Räder Relativbewegung der Achsen zueinander (Bilder 1 und 2) [2]. Dazu ist bei Traktoren die Vorderachse pendelnd aufgehängt, die Hinterachse starr mit dem Rumpf verbunden. Wird von der angegebenen Achskombination bei Traktoren ausgegangen, so tritt bei talseitigem Einsinken oder bergseitigem Anheben der

Bild 1. Achsstellungen bei Traktoren;

- a) scherenartiges Achsverschwenken
- b) zusätzliche Neigung der Vorderachse, ohne Erreichen der Pendelbegrenzung
- c) Achsverschwenkung bei frühzeitigem Erreichen der Pendelbegrenzung zum Vergrößern der Seitenstabilität

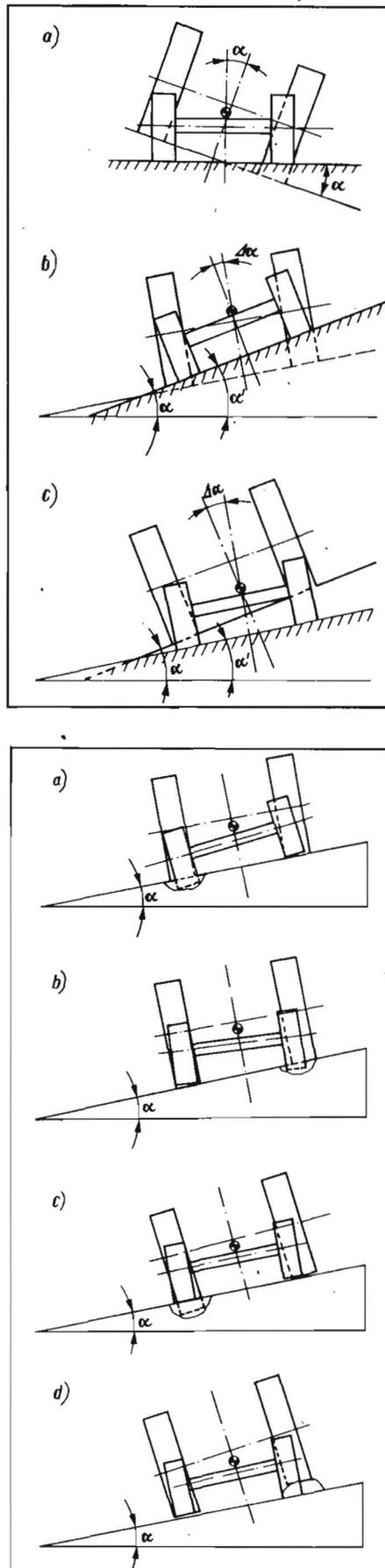
Bild 2. Stellungsmöglichkeiten zwischen Hinterachse (Traktorrumpf) und Pendelvorderachse;

- a) Vorderachse talseitig eingesunken
- b) Vorderachse bergseitig eingesunken
- c) Hinterachse talseitig eingesunken
- d) Hinterachse auf bergseitigem Hindernis

Fortsetzung von Seite 92

wickelten Berechnungsmethoden verdeutlichen eine gute Übereinstimmung der projizierten Werte mit den ersten Ergebnissen. Die erzielten Untersuchungsergebnisse sind zu vertiefen und in überleitungsreife Typenlösungen zu überführen. Ökonomische Berechnungen zum Verhältnis von Aufwand und Nutzen auf der Basis der Typenlösungen sind erforderlich. Ein Verzeichnis der verwendeten Literatur liegt bei den Autoren vor.

A 4414



Pendelachse ein talseitiger Schräglauf und bei umgekehrten Bedingungen ein bergseitiger Schräglauf auf (nicht zu verwechseln mit Fahrzeugschräglauf durch Reifenelastizität). Jeder Schräglauf ist bei vorgegebenem Kurs und bei begrenzt zulässiger Spurversetzung (Pflanzenbeschädigung, erhöhter Kraftstoffverbrauch u. a.) durch Gegenlenken auszugleichen. Die Wirkung auf den Schräglauf ist entgegengesetzt, wenn die Starrachse das gleiche Hindernis überfährt. Die Größe der seitlichen Verschiebung V des Pendellagers (Bild 3) und auch die Größe des Schräglaufwinkels γ sind von Hub- oder Einsenkmaß b , Pendellagerhöhe h_p , Spurweite S und Radstand l abhängig. Auf unebenem Gelände führt so ein Traktorrumpf Gier- und Nickbewegungen aus, und das relative Drehen Traktorrumpf-Pendelachse kann als Rollbewegung aufgefaßt werden (Bild 4).

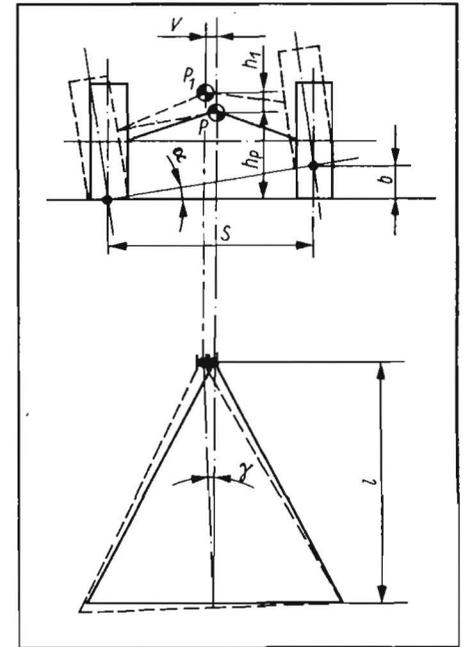


Bild 3. Bewegung des Pendellagers auf unebenem Gelände unter der Vorderachse

Bild 4. Bewegungen des gesamten Traktors; 1 Gieren, 2 Nicken, 3 Rollen

