

Ergebnisse praktischer Durchströmungsversuche bei der Lagerung mit Belüftung

Dr.-Ing. B. Neubüser, KDT¹⁾

Verwendete Formelzeichen

AA	%	Abriebanteil
AL	m	Abrolllänge
b_k	m	Breite des Belüftungskanals
l_k	m	Länge eines Belüftungskanals
SB	m	Schütthöhe
SH	m	Schütthöhe
s_k	m	von einem Kanal zu belüftende Breite
$s_{s,k}$	m	Abstand des Endes des Belüftungskanals vom Schüttungsrand oder -ende
\dot{V}_l	m ³ /h	Luftvolumenstrom
v_l	m/s	Luftgeschwindigkeit
Δp	Pa	Druckverlust
Δp_{ges}	Pa	kgrrigierter Druckverlust
Δp_{spez}	Pa/m	spezifischer Druckverlust
ρ	kg/m ³	Dichte
ρ_c	kg/m ³	Gutdichte
ρ_s	kg/m ³	Schüttdichte

1. Einleitung

In den Veröffentlichungen [1, 2] wurden theoretische Untersuchungen und experimentelle Ergebnisse unter Laborbedingungen vorgestellt, die die bisher wenig quantifizierbar erfaßten Durchströmungseigenschaften der Luft durch kompaktierte Futtermittel zu klären halfen. Ziele dieses Beitrags sind der Vergleich von theoretischen Untersuchungen und von Durchströmungsversuchen unter den Bedingungen der Praxis und die vereinfachende Darstellung der Auswahl von Axiallüftern bei Lagerhallen mit Unterflurbelüftung.

Entsprechende Untersuchungen wurden in der ZBE Mehrfruchtrocknungswerk Pritzwalk, Bezirk Potsdam, durchgeführt.

2. Versuchsdurchführung

Untersucht wurden Stroh-Konzentrat-Gemisch-Pellets (SKG-Pellets) mit einem Strohannteil von etwa 70%. Nach dem Pelletieren gelangten die Preßlinge über das Kühlband auf einen Anhänger, wurden dann in der Lagerhalle abgekippt und mit einem Mobilkran über ein Förderband eingelagert. Die Abriebverteilung war als gleichmäßig zu betrachten, so daß im Sinne der elektrischen Analogiebetachtung [1] von homogener Schüttung gesprochen werden konnte. Der durch den Lüfter im Stapel erzeugte Druck wurde mit einem Staurohr und einem Mikromanometer bestimmt. Die Schüttung bedeckte 3 Belüftungskanäle der Lagerhalle etwa gleichmäßig. Während der Druckmessung in der Schüttung über dem mittleren Belüftungskanal wurden auch die benachbarten Sektionen belüftet. Die Randbedingungen für das Herausbilden eines symmetrischen Strömungsbildes waren also erfüllt. Die Meßpunkte befanden sich unmittelbar über dem Belüftungskanal und in Abständen von je 1 m und 2 m links und rechts von der Kanalmittellinie. Der Gesamtdruck wurde in Abständen von 0,5 m von der Stapeloberfläche aus gemessen.

Nachfolgend sind die Angaben zur untersuchten Schüttung im Mehrfruchtrocknungswerk Pritzwalk zusammengefaßt [3]:

- Schüttform der gelagerten SKG-Pellets (Bild 1)
- Schütthöhe 2,5 m
- Anzahl der Belüftungskanäle 3
- Breite der Kanäle 0,88 m
- Abstand der Kanalmittellinien voneinander 4,5 m
- Ende des Belüftungskanals vor dem Ende der Schüttung (ohne Begrenzungswand) 2,4 m
- Abriebanteil rd. 45%.

Während der Versuchsdurchführung wurde anfangs der Stapel ohne Laufbretter begangen. Wie im Bild 1 zu sehen, hatte diese Tatsache negative Auswirkungen auf die Homogenität der Schüttung und damit auf die Lage der Isobaren.

3. Auswertung des Durchströmungsversuchs

Aufbauend auf die in [1] vorgestellten elektrischen Analogiebetachtungen wurden die im Bild 1 gestrichelt dargestellten Isobaren in der Schüttung bestimmt. Die vollen Linien stellen die experimentell ermittelten Orte gleichen Drucks dar. Da nur eine Schütthöhe von 2,5 m untersucht werden konnte, war ein Ansteigen des Gesamtdrucks direkt über dem Kanal zum Ende der Schüttung hin zu verzeichnen (Anfangswert: Endwert = 1:1,36). Um die Vergleichbarkeit zur Analogiebetachtung herzustellen, wurden alle Meßwerte einer Querschnittebene senkrecht zur Kanalanordnung auf den jeweiligen Druck unmittelbar über dem Kanal in dieser Ebene bezogen. 100% entsprechen dann dem Druckverlust, der beim Durchströmen des Stapels in dieser Ebene vom Belüftungskanal bis zur Stapeloberfläche auftritt. Bild 1 verdeutlicht die gute Übereinstimmung der Lage der Isobaren über der Kanalmittellinie (obere Darstellung). Die Abweichungen am Schüttungsrand sind durch folgende zwei Tatsachen erklärbar:

- Beim Abwurf des Pellet-Abrieb-Gemisches von einem Fördermittel in der Lagerhalle entsteht schon bei kleinsten Abrollängen auf dem Boden der Schüttung eine Schicht mit einer Höhe von 5 bis 20 cm, in der der Abriebanteil sehr gering ist. Dieser Anteil wird entsprechend Bild 2 10 bis 15% betragen. Wie in [2] experimentell ermittelt wurde, ist damit bei einem durchschnittlichen Abriebanteil von 45% der Strömungswiderstand der Schicht unmittelbar über dem Hallenboden etwa nur ein Drittel bis ein Fünftel so groß wie der für die gesamte Schüttung gültige Wert.

- Die Analogiebetachtung wurde in den Ebenen senkrecht auf der Kanalmittellinie und in der Ebene, die sich dazu im rechten Winkel befand, durchgeführt. Der Einfluß der Randgebiete der Schüttung auf der Lagerfläche außerhalb des Bereichs der Kanalanordnung wurde in dieser Betrachtung nicht erfaßt.

Die Abweichungen zwischen Modell und Experiment in den Ebenen senkrecht zum Luftstrom in den Kanälen sind auf der linken Seite besonders groß (Bild 1, untere Darstellungen). Dort erfolgte vor der Gesamtdruckbestimmung in den einzelnen Horizonten eine Verdichtung der Schüttung. Beim Begehen des Stapels lagen anfangs keine Laufbretter auf der Oberfläche. Die geringe Schütthöhe von 2,5 m hatte auch zur Folge, daß das Verhältnis $SH:s_k = 0,556$ außerhalb des untersuchten Bereichs von 3,6 bis 0,8 lag und die Lage der Isobaren durch Extrapolation bestimmt werden mußte.

Die Abweichungen zwischen Modell und Experiment in den Ebenen senkrecht zum Luftstrom in den Kanälen sind auf der linken Seite besonders groß (Bild 1, untere Darstellungen). Dort erfolgte vor der Gesamtdruckbestimmung in den einzelnen Horizonten eine Verdichtung der Schüttung. Beim Begehen des Stapels lagen anfangs keine Laufbretter auf der Oberfläche. Die geringe Schütthöhe von 2,5 m hatte auch zur Folge, daß das Verhältnis $SH:s_k = 0,556$ außerhalb des untersuchten Bereichs von 3,6 bis 0,8 lag und die Lage der Isobaren durch Extrapolation bestimmt werden mußte.

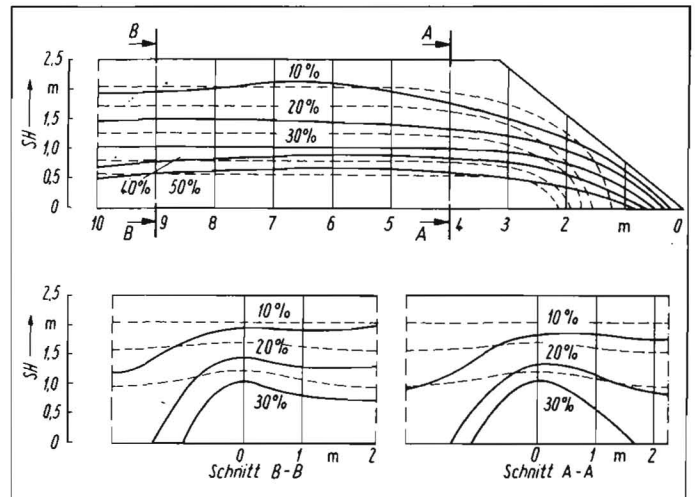
4. Berechnung des Druckverlustes für reale Schüttungen

Nach [2] ist es mit nachfolgend genannten Größen möglich, den Druckverlust in realen Schüttungen zu berechnen:

- Geometrie des Stapels (SH, SB, AL)
- Geometrie der Kanalanordnung zur Schüttung ($s_k, b_k, s_{s,k}$).
- stoffspezifische Größen.

Bei den stoffspezifischen Größen ist besondere Sorgfalt auf die Bestimmung der Dichte

Bild 1
Vergleich der Isobaren; experimentell im Mehrfruchtrocknungswerk Pritzwalk ermittelt (—) aus Analogiebetachtung bestimmt (---)



1) Die Arbeit entstand während der Tätigkeit des Autors an der Sektion Landtechnik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock

des Stoffs selbst und der Lagerungsdichte zu legen, da das spezifische Hohlräumvolumen mit der vierten Potenz in die Berechnung eingeht.

Der Zusammenhang zwischen dem spezifischen Druckverlust und der Geschwindigkeit des strömenden Mediums ist ebenfalls unter den stoffspezifischen Größen einzuordnen. Für eine große Anzahl landwirtschaftlicher Erntegüter wurde diese Eigenschaft von Matthies in [4] zusammenfassend dargestellt.

Für Pellets wurde der auf die Schütthöhe bezogene Druckverlust in [2] experimentell ermittelt. Bild 3 verdeutlicht die Einordnung dieser Messungen. Unter Beachtung der Stoff- und Lagerungsdichten sind in Verbindung mit den unter der Geometrie des Stapels und unter der Geometrie der Kanalzuordnung zur Schüttung genannten Angaben auch für andere Schüttgüter Nomogramme zur Auswahl der Axiallüfter, wie für SKG-Pellets im Bild 4 gezeigt, aufstellbar.

Ist die Geschwindigkeit der Luft während der Durchströmung konstant, so kann nach [2] der Druckverlust der zu belüftenden Schüttung berechnet werden. Treten Veränderungen beim Strömungswiderstand oder bei der Luftgeschwindigkeit auf, so erhält man ausreichend genaue Ergebnisse, wenn der Druckverlust abschnittsweise berechnet und innerhalb dieser Abschnitte Konstanz der angegebenen Werte angenommen wird. Die bei der Auswertung des Durchströmungsversuchs genannte Pelletschicht am

Boden der Schüttung stellt für die Vorausberechnung des Druckverlustes bei Abriebanteilen > 15% einen Sicherheitsfaktor dar, da dadurch Geschwindigkeitsspitzen im Bereich der Belüftungskanäle mit großem spezifischem Hohlräumvolumen gekoppelt sind.

5. Nomogramm zur Axiallüfterauswahl für Unterflurbelüftungssysteme

Um die Ergebnisse der Druckverlustberechnungen in vereinfachter Form darzustellen, wurde auf ein Nomogramm zurückgegriffen. In dieses Nomogramm (im Bild 4 angedeutet) wurden folgende Daten und Berechnungen aufgenommen: Im I. Quadranten wurden die Kennlinien einer großen Anzahl von Axiallüftern eingetragen. Sollen andere Lüfter oder Gebläse zum Einsatz kommen, so ist lediglich deren Kennlinie in diesem Quadranten zu ergänzen. Die Abszisse entspricht dem Luftvolumenstrom \dot{V}_L , der hier in m^3/h aufgetragen wurde, um dem Praktiker eine möglichst einfache Handhabung zu ermöglichen. Auf der Ordinate ist die Druckerhöhung durch den Lüfter aufgetragen. Beide Achsen sind logarithmisch geteilt.

Unter der Abszisse werden geometrische Parameter der Schüttung angegeben, da durch die Forderung nach einer Luftmenge von $60 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$ sowie das Volumen und die Dichte des Stapels der geforderte Luftvolumenstrom feststeht. Die Schütthöhe als wesentlichste Einflußgröße auf das Volumen der Schüttung wurde auf die Achse des Koordinatenkreuzes gelegt. Die Schüttdichte

wurde entsprechend [6] für SKG-Pellets und Trockengrüttoppellets als konstant für alle Schütthöhen und alle Abriebanteile festgelegt, da keine Untersuchungen bezüglich Veränderung dieser Größe bei $SH \geq 5 \text{ m}$ bekannt sind. Für die Berechnung des Druckverlustes wurden die in [2] gewonnenen Erkenntnisse auf die Bedingungen der Lagerhallen extrapoliert.

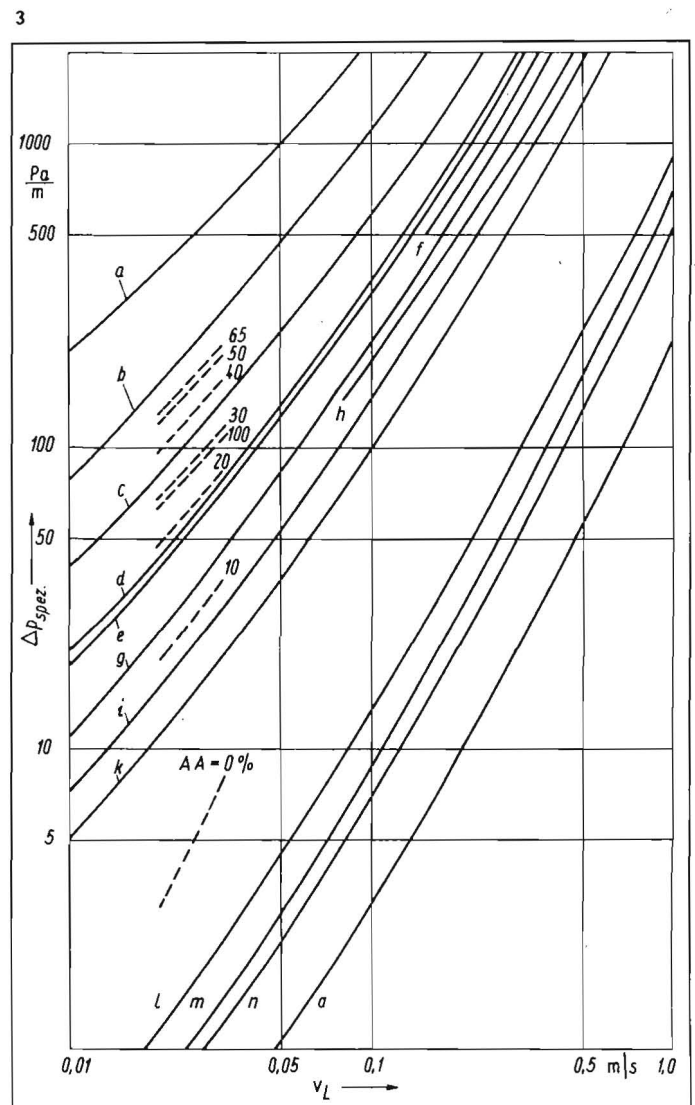
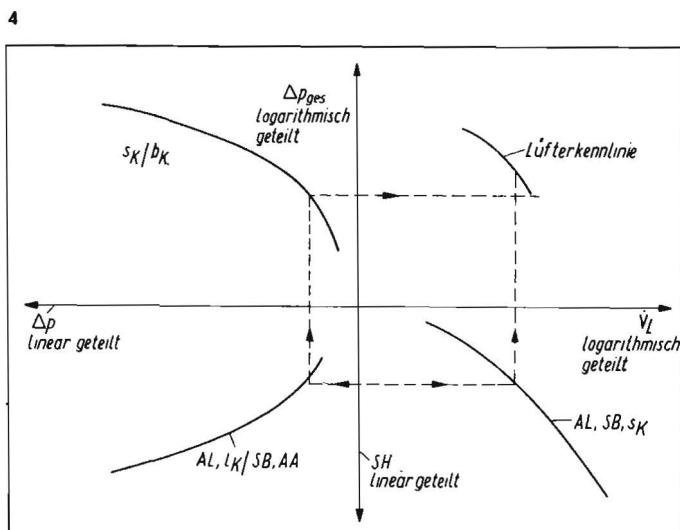
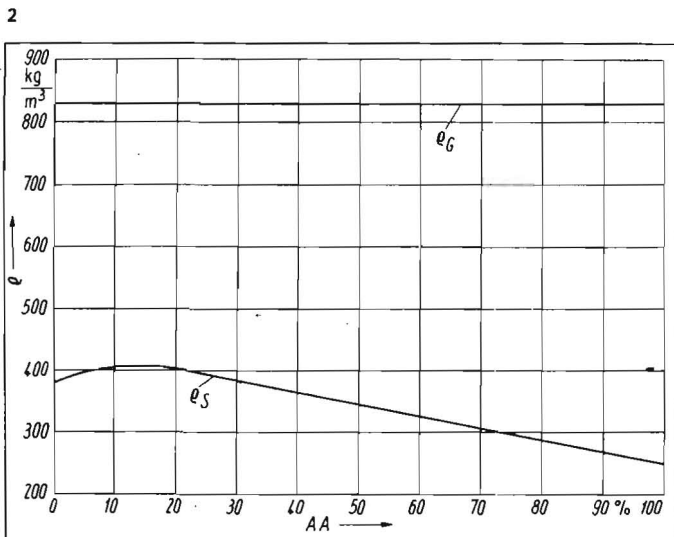
Mit Hilfe des Nomogramms ist es nun möglich, sowohl für neu zu errichtende Lagerhallen als auch für Hallen, in denen bestimmte geometrische Parameter nicht mehr verändert werden können, Aussagen zur Lüfterauswahl zu treffen. Bei vorhandenen Lüftern ist festzulegen, wie die Schüttung zu gestalten ist, um einen guten Belüftungserfolg zu erreichen.

Bild 2. Schüttdichte und Gutdichte einer Pelletschüttung mit einer Höhe von 1 m bei veränderlichem Abriebanteil

Bild 3. Abhängigkeit des auf die Schütthöhe bezogenen Druckverlustes einiger landwirtschaftlicher Schüttgüter von der Luftgeschwindigkeit;

- a Kleesamen, b Rapssamen, c Hafer, d Gerste, e Roggen, f Weizen, g Mais, h Wicken, i Bohnen, k Erbsen, l Mohrrüben, m Kartoffeln, n Zuckerrüben, o Futterrüben
- Pelletschüttungen mit unterschiedlichem Abriebanteil

Bild 4. Prinzipdarstellung eines Nomogramms zur Axiallüfterauswahl für homogene Pelletschüttungen in Lagerhallen (Original in [5])



6. Empfehlungen für die Bewirtschaftung von Lagerhallen mit Unterflurbelüftungskanälen

Ist die Auslegung der Belüftungstechnik erfolgt, so muß darauf geachtet werden, daß die für die Bemessung der Lüfter, Kanäle und deren Abstände vom Schüttungsende bzw. untereinander getroffenen Annahmen und Vorgaben auch eingehalten werden. Eine Verringerung zum Beispiel der Schütthöhe hat in jedem Fall eine schlechtere Belüftung des gesamten Stapels zur Folge. Die Lüfter arbeiten dann nicht mehr im Bereich der Kennlinie und vor allem die Bereiche zwischen zwei Kanälen erfahren eine zu geringe Belüftung. Grundsätzlich sollte beim Beschicken eines Lagers darauf geachtet werden, daß der gesamte durch einen Lüfter zu belüftende Bereich möglichst gleichmäßig beschickt wird. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die Belüftungskanäle vollständig mit Schüttgut abgedeckt werden. Somit kann auch bei noch nicht erreichter maximaler Schütthöhe bei Bedarf schon belüftet werden. Ein Abströmen der Luft über nicht oder zu gering beschüttete Kanalabdeckelelemente wird vermieden. Entmischungsvorgänge verschlechtern in jedem Fall das Belüftungsergebnis. Tritt ein Verändern des Strömungswiderstandes innerhalb des Stapels, wie zum Beispiel bei Pellets, auf, d. h., wird der Strömungswiderstand im Zentrum des entstehenden Abwurfkegels größer sein als in weiter entfernten Punkten, so hat die Beschickung des Lagers so zu erfolgen, daß sich der Abwurfpunkt zu jedem Zeitpunkt über dem jeweiligen Belüftungskanal befinden muß. Ist der Strömungswiderstand im Zentrum des entstehenden Abwurfkegels geringer als in den übrigen Bereichen des Schüttkegels, so muß sich der Abwurfpunkt beim Beschicken ständig zwischen zwei Belüftungskanälen befinden.

7. Zusammenfassung
Im vorliegenden Beitrag werden die theoretischen und experimentellen Ergebnisse aus [1, 2] auf Lagerhallen mit Unterflurbelüftungstechnik extrapoliert. Die Gültigkeit der elektrischen Analogiebehandlung für die qualitative Einschätzung des Belüftungserfolges wird durch Gegenüberstellung von Meßwerten und theoretisch ermittelten Isobaren in einer SKG-Pelletschüttung nachgewiesen.

7. Zusammenfassung

Zur richtigen Auswahl von Axiallüftern wird ein Nomogramm aufgestellt, daß speziell für Pelletschüttungen mit verschiedenen Abriebsanteilen eine Belüftung mit einer Luftmenge von $60 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$ gewährleistet. Für andere landwirtschaftliche Schüttgüter kann diese Darstellung prinzipiell übernommen werden,

wobei die stoffspezifischen Einflußgrößen (Schütt- und Stoffdichte, spezifischer Luftvolumenstrom, Strömungswiderstand) beachtet werden müssen (Bild 3). Das Nomogramm ist sowohl für neu zu errichtende Lagerhallen als auch für Rekonstruktionsmaßnahmen geeignet.

Literatur

- [1] Neubüser, B.: Analogieuntersuchungen zur Lagerung von Schüttgütern mit Belüftung. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 10, S. 469-471.
- [2] Neubüser, B.: Belüftung bei der Lagerung von Pellets. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 8, S. 356-358.
- [3] Reinicke, J.: Untersuchungen zur Belüftung von Pelletschüttungen im MTW Pritzwalk. WPU Rostock, Sektion Landtechnik, Ingenieurbeleg 1983 (unveröffentlicht).
- [4] Matthies, H.-J.: Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. VDI-Forschungshefte, Düsseldorf (1965) 454, Ausgabe B, Bd. 22.
- [5] Neubüser, B.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Belüftung landwirtschaftlicher Schüttgüter am Beispiel der Lagerung kompakterer Trockenfuttermittel. WPU Rostock, Sektion Landtechnik, Dissertation A 1983 (unveröffentlicht).
- [6] Verfahren der Lagerhaltung von Trockenfuttermitteln und Teilfertigfuttermitteln auf der Basis vorhandener baulicher Lösungen und Mechanisierungsmittel. Institut für Futterproduktion Paulinenaue, Bericht 1978. A 3801

Heubelüftung mit dem neuen Ventilator VAN 900/505

Dipl.-Ing. H. Kellner, KDT/Ing. M. Dera, KDT, Institut für Futterproduktion Paulinenaue der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

C	Einflußfaktor für Gutart, Feuchte, Hohlräume usw.
h	m Höhe des Erntegutstapels
m	Exponent der Dichte
n	Exponent der Luftgeschwindigkeit
L_p	dB(A) A-Schalleistungspegel
Δp_{Anl}	Pa Anlagendruckwiderstand
Δp_{dyn}	Pa dynamischer Druck
Δp_{Heu}	Pa Druckwiderstand des Heus
Δp_G	Pa Gesamtdruckerhöhung
P_w	kW elektrischer Leistungsbedarf
v	$\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$ spezifische Strömungsgeschwindigkeit
\dot{V}	m^3/s Volumenstrom
ρ	kg/m^3 Lagerdichte von Heu
η	% Wirkungsgrad

1. Einleitung

Die Heuproduktion hat in der DDR seit Ende der siebziger Jahre eine wesentliche Verbesserung erfahren und beträgt gegenwärtig etwa 1 Mill. t jährlich. Die Heuqualität unterliegt jedoch erheblichen Schwankungen. Sie beruhen vor allem darauf, daß noch große Mengen als Dürreheu, also völlig witterungsabhängig, geborgen werden. Für die Ernährung der Rinderbestände ist es aber äußerst wichtig, Heu ausschließlich in guter und sehr guter Qualität zu produzieren. Als Lösungsweg kommen hierfür die Verringerung der Feldliegezeiten des Mähgutes und die Nachtrocknung des Halbheus unter Dach in Betracht.

2. Problemstellung

Aus den o. g. Gründen wurde bereits mit Beginn der 60er Jahre intensiv am Verfahren

der Nachtrocknung von Heu unter Dach gearbeitet. Dabei entstand das Teilkanalrostsystem zunächst mit dem Ventilator SK8 (Bild 1), danach mit dem LAN900/9 (Bild 2). Dieses Trocknungssystem fand rasch Eingang in die Praxis.

Der Anbau blattreicher, stengelarmer Gräser und das Bestreben, immer feuchteres Gut und in größeren Stapeln einzulagern, bewirkt, daß der Belüftungswiderstand des Erntegutes ansteigt. Diesen erhöhten Anforderungen werden die alten Ventilatoren nicht mehr gerecht. Werden sie dennoch eingesetzt, kann dies zu erheblichen Schädigungen an den Ventilatoren und u. U. auch zum Brand führen. In Kenntnis dieses Sachverhalts hat die Industrie neue Ventilatoren

entwickelt, die höhere Strömungswiderstände überwinden.

Für die Unterflurbelüftung steht anstelle des LANV1000 (Bild 3) der LANN 1000 (Bild 4) und für die Überflurbelüftung der VAN900/505 (Bild 5) anstelle des LAN900/9 zur Verfügung.

3. Ausfallursachen der bisher eingesetzten Lüfter

Aus der Analyse des Einsatzes der alten Ventilatoren SK 8 und LAN 900/9 ergeben sich nachfolgende Hinweise.

Zum Ausfall dieser Lüfter haben vor allem drei Hauptgründe beigetragen:

- Überlastung der Elektromotoren

Bild 1. Ventilator SK8

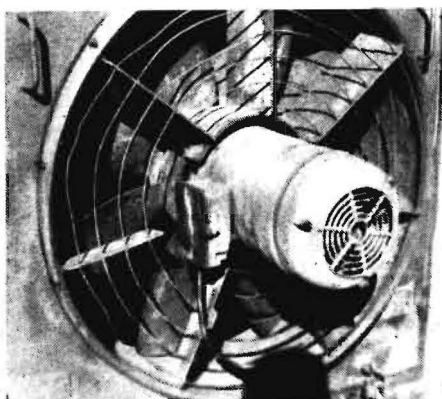


Bild 2. Ventilator LAN900/9

