

Tafel 2. Auswahl und Auslegung der Optimierungslösung

<b>Zuluftaggregat</b>	
Ventilator	LANN 630-10... +20-8-0,75
Energieanschlußwert	0,75 kW
Schaufelstellung	+20°
Volumenstrom $\dot{V}_z$	12 500 m <sup>3</sup> /h
Gesamtpuls	34 N
Wurfweite	0,65...0,70 l/l <sub>ges</sub>
umgewälzter	
Volumenstrom $\dot{V}_0$	rd. 25 000 m <sup>3</sup> /h
$\dot{V}_0/\dot{V}_z$	rd. 200 %
<b>Ablüfter</b>	
Wandringdüsenlüfter	LANFW 630/6-0,55
Energieanschlußwert	0,55 kW
Volumenstrom $\dot{V}_A$	rd. 10 000 m <sup>3</sup> /h

Tafel 3. Aufwands- und Effektivitätskennzahlen im Anwendungsfall, bezogen auf belüftete Lagerkapazität

spezifische Investitionskosten	15,83 M/t
Rückflußdauer	1,20... 1,61 Jahre
spezifische Betriebskosten	2,02 M/t
Energieanschlußwert	0,20 kW/100 t
Energieverbrauch je Lagerperiode	0,50 kWh/t
Materialverbrauch	
- verzinktes Stahlblech	0,23... 0,35 kg/t
- Profilstahl	0,10 kg/t

rißlösung sollten folgende Grundsätze beachtet werden:

- Die Lagerhalle muß für das FKL-System ausreichend groß bemessene Luken haben.
- Die Einsatzbedingungen wurden bisher nur für 21 m breite Räume erprobt.

- Die Miniwurlüftungsaggregate sind auf der kühleren Seite des Gebäudes zwischen den Luken im Abstand von etwa 15 m einzuordnen.
- Die Ablüfter sind auf der gegenüberliegenden Gebäudelängswand im Achsmaß zwischen den Zuluftaggregaten sowie in den beiden Endfeldern unmittelbar unter der Decke einzubauen.
- Die Einstapelung der Behälter muß ordnungsgemäß mit einem Stapelabstand von rd. 100 mm erfolgen.
- Das Einstapeln muß stets auf der Zuluftseite beginnen.

### Zusammenfassung

Mit der Anwendung der Ergebnisse der vorgestellten Forschungsleistung können die auftretenden systembedingten Mängel in FKL-Lagerhallen mit einer Raumtiefe bis 21 m abgestellt werden. Die Sicherheit des Lagerverfahrens bezüglich der Verbesserung des Abtrocknungsverlaufs, der Verhinderung von Schwitzschichten, der Vermeidung von Temperaturschichtungen im Raum bei länger anhaltenden Frostperioden und damit eine Verminderung der Keimbildung in den oberen Behältern kann durch Einordnung einer mechanischen Belüftung erhöht werden. Die Miniwurlüftung ist eine sinnvolle Ergänzung des FKL-Systems. Mit geringen materiellen und finanziellen Fonds kann eine Luft-rate > 15 m<sup>3</sup>/t · h realisiert werden. Die Lösung ist für vorhandene Lagerhallen und für Neubauten anwendbar. Die Klimaführung kommt dem wissenschaftlich-technischen Höchststand nahe. Allerdings kann von dieser Form der Kombinationslüftung nicht die Gleichmäßigkeit der Raumströmung erwartet werden, die in den Angebotsprojekten erzielt wird. Die vorgeschlagene Form der Kombinationslüftung bei den zur Anwendung vorgesehenen Grundrißlösungen er-

möglicht drei Formen der Bewirtschaftung:

- freie Lüftung
- Wurflüftung
- „Ablüfter in Betrieb - gegenüberliegende Luken geöffnet“.

Mit der dritten Variante können die bewährten Erfahrungen der Pflanzkartoffelbehälterlager in Kröpelin, Bezirk Rostock, und Affalter, Bezirk Karl-Marx-Stadt, für die Bewirtschaftung dieser ehemaligen FKL-Lagerhallen genutzt werden.

### Literatur

- [1] TGL 21-240/04 Saat- und Pflanzgut, Pflanzenproduktion; Lagerung in Lagerhäusern und belüftbaren Großmieten. Ausg. Sept. 1980, verbindlich ab 1. Juni 1981.
- [2] Schierhorn, H.: 10 Jahre Anwendung der „Freien Konvektionslüftung“ - ein Lüftungsverfahren bei der Lagerung von Kartoffeln in Behältern ohne Einsatz von Ventilatoren. Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutz in der DDR, Berlin 36 (1982) 9, S. 176-178.
- [3] Hegner, H.-J.; Maltry, W.; Delmhorst, P.; Bittner, K.; Wittchen, G.: Rationelle Energieanwendung bei der Klimagegestaltung in Pflanzkartoffel-ALV-Anlagen mit Behälterlagerung durch Anwendung der Kombinationslüftung. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 3, S. 102-104.
- [4] Hegner, H.-J.; Maltry, W.; Delmhorst, P.; Wittchen, G.: Entwicklung von Belüftungssystemen für Pflanzkartoffelbehälterlager in der DDR. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 7, S. 299-302.
- [5] Friedrich, A.; Delmhorst, P.; Hegner, H.-J.; Wittchen, G.: Zur Verbesserung der Klimaführung in FKL-Hallen bis 21 m Raumbreite. Saat- und Pflanzgut, Quedlinburg 28 (1987) 11, S. 182-183.
- [6] Dokumentation „Miniwurlüftung für verschiedene Stützenabstände“. VEB WTZ der Saatgutwirtschaft Quedlinburg (vormals VEB Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg), 1987.
- [7] Rationalisierungs- und WTF-Katalog des Ministeriums für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft für 1988. Markkleeberg: agrabuch 1988. A 5168

## Strömungsverhältnisse in Kartoffelagerhäusern bei Wurflüftung

Dr.-Ing. H.-J. Hegner, KDT/Prof. Dr. sc. techn. W. Maltry, KDT

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

Dr.-Ing. Annelies Wilke, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Tierproduktion

### 1. Problemstellung

Seit mehreren Jahren werden in der DDR Pflanzkartoffeln in Behälterlagerhäusern mit kombinierter Lüftung (Zwangslüftung kombiniert mit freier Lüftung) gelagert. Die volkswirtschaftliche Bedeutung derartiger Lagerhäuser ergibt sich aus der Tatsache, daß derzeit eine Lagerkapazität von rd. 1000 kt Kartoffeln in Behälterlagern vorhanden ist. Außerdem zählt die Kartoffel zu den maßgebenden landwirtschaftlichen Produkten der DDR, so daß die Sicherung eines quantitativen und qualitativ ausreichenden Anteils an Pflanzgut zu gewährleisten ist. Im wesentlichen wird die Einhaltung der Klimaparameter und damit der Qualität der eingelagerten Kartoffeln über das Belüftungsregime erzielt.

Aufgrund der Forderung nach sparsamem Elektroenergieverbrauch bei Gewährleistung TGL-gerechter Klimaparameter hat die kombinierte Lüftung breite Anwendung gefunden. Praxisuntersuchungen haben ergeben, daß die in Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft (FZM) Schlieben entwickelte Grundlösung zur kombinierten Lüftung, bestehend aus den Komponenten freie Lüftung und Wurflüftung, diesen Anforderungen gerecht wird [1, 2].

Die Erarbeitung weiterer wissenschaftlich fundierter Projektierungsgrundlagen erfordert u. a. Kenntnisse über die Besonderheiten der Strömungsvorgänge im Behälterstapel bei Anwendung der Wurflüftung. Hierzu wurden gemeinsame Untersuchungen der

Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg und des FZM Schlieben durchgeführt.

### 2. Grundlagen und Erkenntnisstand

Die Raumströmung in einem gefüllten Behälterlagerhaus ist nicht ohne weiteres aus bekannten strömungstechnischen Grundlagen und bisherigen Erkenntnissen ableitbar. Deshalb mußten zunächst wissenschaftlich-technische Grundlagen und Erkenntnisse, die für die zu untersuchende Raumströmung verwertbare Gesichtspunkte enthalten, analysiert werden.

#### 2.1. Verhalten von Freistrahlen

Obwohl sich die untersuchten Zuluftstrahlen keinesfalls wie Freistrahlen ausbreiten können, weisen sie oberhalb der Kartoffelager-

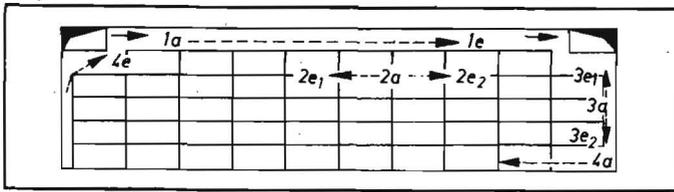


Bild 1. Strömungsrichtung an verschiedenen Orten des Lagerhauses (Raumbreite 24 m, Behälter D); a Anfang, e Ende, 1, 2, 3 Rauchröhrchen, 4 Rauchstein

Bild 4. Geschwindigkeitsprofil über dem Behälterstapel (Behälter B); Raumbreite 18 m

Tafel 1. Luftrate und Luftgeschwindigkeiten innerhalb der Behälter in Abhängigkeit von der Reynoldszahl (kinematische Zähigkeit  $\nu = 14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , Kartoffeldurchmesser  $d = 0,0478 \text{ m}$ )

	Re	1	10	50	100
n		1,042	1,22	1,49	1,60
w	m/s	$2,9 \cdot 10^{-4}$	0,0029	0,015	0,029
$\dot{V}$	$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{t}$	0,30	3,04	15,7	30,4

w Geschwindigkeit innerhalb des Kartoffelstapels  
 $\dot{V}$  Luftrate bei einer Stapelhöhe von 5 m

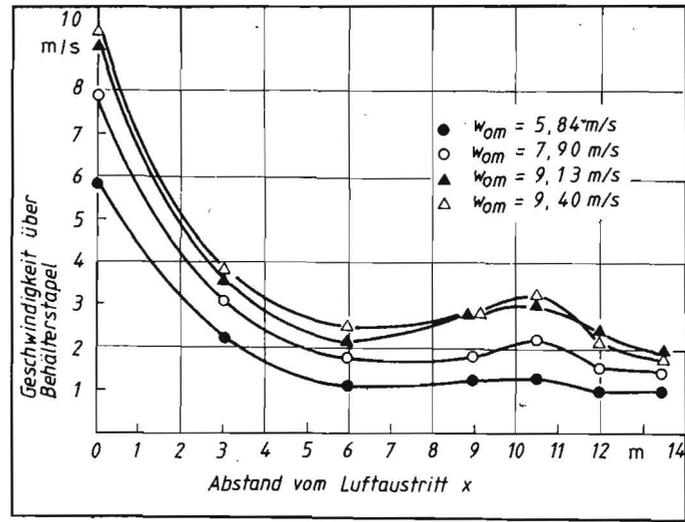
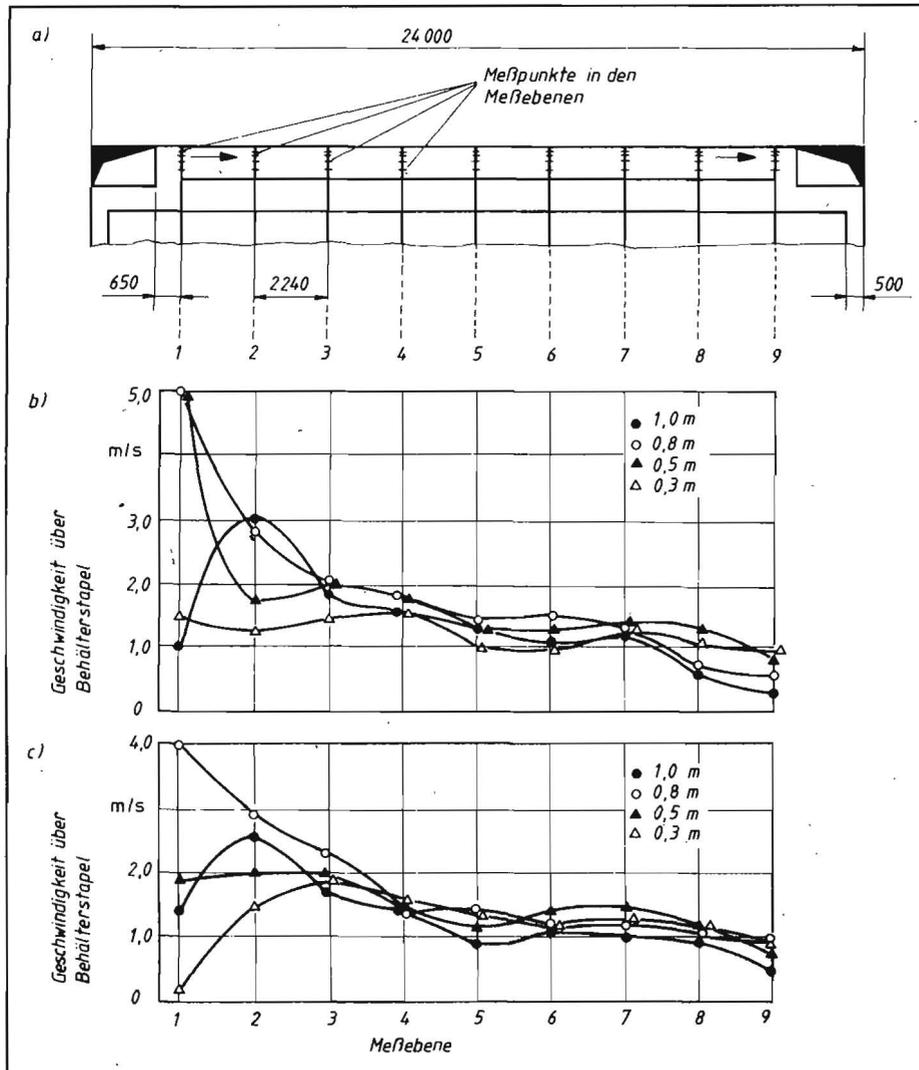


Bild 2. Meßpunkte und Geschwindigkeitsprofile;

- Meßpunkte in einer Ebene
- Geschwindigkeitsprofil über dem Behälterstapel (Behälter D), BE 2, Raumbreite 24 m, mittlere Zuluftgeschwindigkeit  $w_{om} = 5,8 \text{ m/s}$
- Geschwindigkeitsprofil über dem Behälterstapel (Behälter D), BE 3, Raumbreite 24 m, mittlere Zuluftgeschwindigkeit  $w_{om} = 7,18 \text{ m/s}$



behälter dennoch folgende wesentliche charakteristische Merkmale von Freistrahlen auf:

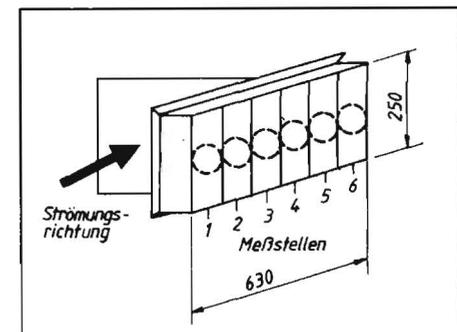
- Sind runde oder rechteckige Zuluftöffnungen in einer Reihe hinreichend dicht angeordnet, so bildet sich ein ebener Freistrah aus. Schwenke [3] gibt hierzu an, daß nach einer Lauflänge von fünf Abständen zwischen den Zuluftöffnungen mit Sicherheit ebenes Strahlverhalten vorliegt. Die Berührung der Strahlgrenzen erfolgt hingegen in 1,8fachem Abstand.
- Die bei der Wurf Lüftung auftretenden Zuluftstrahlen legen sich an die Decke an. Derartige Strahlen werden Decken-, Wand- oder Halbstrahlen genannt. Im Unterschied zu Freistrahlen fehlt bei Halbstrahlen die Strahlinduktion an der oberen Halbebene, so daß infolge der turbulenten Austauschbewegungen an den Strahlgrenzen nur einseitig Luft aus der Umgebung angesaugt wird, wodurch eine größere Eindringtiefe erreicht wird.

## 2.2. Verhalten von Raumstrahlen

Im Vergleich zu Freistrahlen treten bei Raumstrahlen Zirkulationsströmungen auf, da die Induktion des Zuluftstrahls aufgrund des endlichen Raumvolumens außerhalb des Strahlbereichs eine Rückströmung verursacht.

Das Strömungsverhalten nichtisothermer Zuluftstrahlen wird nach Schwenke [3] im Er-

Bild 3. Meßpunkte im Lüftungsstutzen



gebnis umfangreicher Experimente folgen-  
dermaßen charakterisiert: Nichtisotherme  
Zuluftstrahlen bis zu Untertemperaturen von  
 $\Delta T = 9 \text{ K}$ , die oberhalb der Raummitte einge-  
blasen werden, erreichen eine größere Ein-  
dringtiefe im Vergleich zum Freistrahler-  
verlauf, was auf das Haften an der Decke und  
auf den Einfluß der Rückwand zurückgeführt  
wird. Jedoch hat die maximale Eindringtiefe  
auch bei übermäßiger Erhöhung der Ge-  
schwindigkeit den Wert der dreifachen  
Raumhöhe. Bei längeren Räumen kommt es  
zur Ausbildung von Sekundär- und Tertiär-  
wirbeln.

Da bei der Wurflüftung die Zuluft ausschließ-  
lich in Deckennähe eingeblasen wird und  
Temperaturdifferenzen über  $\Delta T = 9 \text{ K}$  ohne-  
hin für Kartoffellager nicht zulässig sind,  
kann mit einem quasiisothermen Zuluftstrahl  
mit maximal möglicher Eindringtiefe gerech-  
net werden.

### 3. Untersuchungen unter Praxisbedingungen

Die meßtechnischen Untersuchungen in La-  
gerhäusern bestanden aus Beobachtungen  
von Rauchversuchen und aus Geschwindig-  
keitsmessungen über dem Behälterstapel.  
Infolge der dichten Anordnung der Behälter,  
deren Abstände untereinander rd. 10 cm be-  
tragen, sind direkte Strömungsbeobachtun-  
gen und Geschwindigkeitsmessungen zwi-  
schen den Behältern nur bedingt möglich.  
Deshalb kann aus den durchgeführten Unter-  
suchungen um den gesamten Behälterstapel  
unter Verwendung der hierfür geltenden Ge-  
setzmäßigkeiten ein Raumströmungsbild ab-  
geleitet werden.

#### 3.1. Rauchversuche

Die durch Rauchversuche ermöglichte Sicht-  
barmachung der Strömungsrichtung an ver-  
schiedenen Orten des Lagerhauses trug we-  
sentlich zur Beschreibung der Raumströ-  
mung bei Wurflüftung bei (Bild 1). Dabei  
wurden sowohl Rauchröhrchen als auch  
Rauchsteine verwendet. Folgende Erkennt-  
nisse können aus den Versuchen gewonnen  
werden:

- Die Beobachtung an den verschiedenen  
Punkten läßt erkennen, daß die Strömung  
eine den gesamten Raum ausfüllende  
Raumwalze ergibt.
- Die Messung am Punkt 2 a deutet auf ein  
Minimum des statischen Drucks im mitt-  
leren Bereich oberhalb der Behälter hin,  
womit die Strömungsrichtung nach  $2e_1$   
und  $2e_2$  begründet werden kann.
- Die vom Punkt 3 a nach Punkt 3 e, gerich-  
tete Strömung wird durch zusätzliche Ab-  
saugöffnungen an der Unterseite des Ab-  
saugkanals verursacht.

#### 3.2. Geschwindigkeitsprofile über den Behältern

Die Aufnahme von Geschwindigkeitsprofilen  
über den Behälterstapeln ermöglichte zu-  
nächst, das Verhalten des entstehenden Dek-  
kenstrahls zu charakterisieren und davon  
ausgehend Aussagen über die infolge der  
Strahlinduktion verursachte Raumströmung  
zu treffen. Die Messungen wurden in ver-  
schiedenen Belüftungseinheiten mit zwei un-  
terschiedlichen Raumbreiten und Behälterty-  
pen durchgeführt.

Die in der ALV-Anlage Nottleben, Bezirk Er-  
furt, ermittelten Luftgeschwindigkeiten wur-  
den mit Hilfe eines Flügelradanemometers in  
9 Meßebenen und 4 verschiedenen Höhen

über dem Behälterstapel (0,3 m, 0,5 m, 0,8 m  
und 1,0 m über Oberkante Behälterstapel,  
wobei der Wert 1,0 m der Unterkante Decke  
entspricht) gemessen (Bild 2a). Dabei waren  
die Luken für die freie Lüftung geschlossen.  
Die Zuluftgeschwindigkeit wurde aus dem  
arithmetischen Mittel der 6 Zuluftgeschwin-  
digkeiten des Lüftungsstutzens gebildet  
(Bild 3).

Aus den Meßergebnissen, die in den Bil-  
dern 2b und 2c dargestellt sind, lassen sich  
folgende allgemeine Aussagen ableiten:

- Obwohl in zwei unterschiedlichen Belüf-  
tungseinheiten Geschwindigkeitsmessun-  
gen bei verschiedenen Zuluftgeschwin-  
digkeiten durchgeführt wurden, konnten  
keine prägnanten Unterschiede in den Ge-  
schwindigkeitsverläufen festgestellt wer-  
den.
- Etwa nach dem 4. Behälter ist ein leichtes  
Ansteigen der Geschwindigkeiten zu ver-  
zeichnen, was auf ein Absinken des stati-  
schen Drucks und damit auf eine Ände-  
rung im Induktionsverhalten des Decken-  
strahls hinweist.
- Mit einer Strömung von annähernd  
gleichmäßiger Geschwindigkeit ist erst  
nach rd. 5 m vom Luftaustritt an zu rech-  
nen.

Ähnliche Untersuchungen wurden in einer  
Belüftungseinheit (BE7) des Behälterlager-  
hauses in Thießen, Bezirk Halle, durchge-  
führt. Die Belüftungseinheiten unterscheiden  
sich von den vorangegangenen durch die  
Dachspannweite, die hier 18 m beträgt. Wei-  
terhin ergeben sich für den verbleibenden  
Freiraum über dem Behälterstapel bis zur  
Decke bei vierfacher Stapelung des gelager-  
ten Behältertyps B nur etwa 56 cm. Infolge-  
dessen wurde in jeder Meßebene nur ein  
Meßpunkt (etwa Strahlmitte) aufgenom-  
men.

Die Meßwerte vom FZM Schlieben sind bei  
vier verschiedenen Zuluftgeschwindigkeiten  
ermittelt worden. Dabei betrug die Schau-  
felstellungen der Lüfter sowohl zu- als auch  
abluftseitig  $-10^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $10^\circ$  und  $20^\circ$ . Die Zuluft-  
geschwindigkeiten sind wiederum aus einer  
Mittelwertbildung über den Luftaustrittsquer-  
schnitten hervorgegangen, wobei in dieser  
Belüftungseinheit zu- und abluftseitig jeweils  
24 Luftaustritte bzw. -eintritte mit den Ab-  
messungen  $0,25 \text{ m} \times 0,16 \text{ m}$  angebracht  
sind.

Die grafische Darstellung der Meßwerte  
(Bild 4) läßt folgendes erkennen:

- Die Geschwindigkeitsverteilung ist im we-  
sentlichen von der Größe der Zuluftge-  
schwindigkeit qualitativ unabhängig.
- Bezüglich des quantitativen Verlaufes der  
Geschwindigkeitsverteilung ist hingegen  
eine deutliche Abhängigkeit von der  
Größe der Zuluftgeschwindigkeit ersicht-  
lich.
- Die bei 10,5 m auftretenden Maxima wer-  
den durch die Wirkung der Ablufteinrich-  
tung verursacht.

## 4. Auswertung der Versuche

#### 4.1. Raumströmungsbilder

In den durch Behälter mit Kartoffeln verstell-  
ten Lagerräumen treten Strömungsbedingun-  
gen auf, die sowohl von den Gesetzmäßig-  
keiten der freien Strömung in begrenzten  
Räumen nach Schwenke [3] als auch von de-  
nen der Durchströmung von Schüttgütern  
nach Matthies [4] beeinflußt werden. Der  
Druckverlust in Kugelschüttungen hängt von

der Strömungsgeschwindigkeit und damit  
von der Reynoldszahl wie folgt ab:

$$\Delta p = K \xi_{KS} Re^n; \quad (1)$$

K Zusammenfassung mehrerer Einflußgrö-  
ßen

$\xi_{KS}$  Widerstandskoeffizient der Kugelschüt-  
tung

$Re = w d_K / \nu$  Reynoldszahl, gebildet mit der  
auf den leer gedachten Querschnitt bezo-  
genen Strömungsgeschwindigkeit.

Bei laminarer Sickerströmung ist der Expo-  
nent  $n = 1$  und bei rein turbulenter Strömung  
 $n = 2$ . Für den praktisch vorkommenden Be-  
reich dazwischen wurde von Matthies auf-  
grund von Labormessungen ein grafischer  
Zusammenhang zwischen  $\xi_{KS}$  und  $Re$  ange-  
geben, dessen Verlauf sehr gut mit nachste-  
hender Gleichung übereinstimmt:

$$\xi_{KS} = 42,55 Re^{-1} + 2,25 Re^{-0,16}. \quad (2)$$

Die für  $Re$ -Zahlen zwischen 1 und 100 resul-  
tierenden Exponenten  $n$  sowie Geschwindig-  
keiten und Lufraten innerhalb der Behälter  
sind in Tafel 1 zusammengefaßt. Wird der  
Exponent  $n = 1,5$  als Grenzwert für quantita-  
tive Untersuchungen nach den Gesetzmäßig-  
keiten der Sickerströmung definiert, so sind  
für  $Re > 50$  nur noch qualitative Betrachtun-  
gen möglich. Letzteres trifft lediglich für  
Strömungen in den Behälterzwischenräumen  
zu. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß  
der überwiegende Anteil des Lagerraumvolu-  
mens durch die Behälter selbst ausgefüllt  
wird.

Obwohl damit zu rechnen ist, daß ein der  
Sickerströmung ähnliches Strömungsverhal-  
ten nur bedingt auftritt, können aufgrund der  
gezeigten, näherungsweise gleichartigen Be-  
dingungen für Sickerströmung und Raum-  
strömung im gefüllten Lagerhaus Strömungs-  
felder in Anlehnung an die Sickerströmung  
entwickelt werden. Im einzelnen sind dafür  
folgende Bearbeitungsschritte erforder-  
lich:

Erstens:

Umrechnung der gemessenen Geschwindig-  
keitsprofile in statische Druckprofile  
Aus der mittleren Luftgeschwindigkeit des  
austretenden Luftstrahls kann der dynamische  
Druck (unter Berücksichtigung von Strö-  
mungsverlusten) am Anfang berechnet  
werden, der sich aufgrund der Strahlinduk-  
tion mit zunehmender Strahllänge nach und  
nach in statischen Druck umwandelt (Bilder 5  
bis 8).

Zweitens:

Unter Verwendung der statischen Druckpro-  
file werden für die Linien konstanten stati-  
schen Drucks die zugehörigen Ansatzpunkte  
an einer gedachten Verbindungslinie zwi-  
schen Zuluft- und Abluftöffnung in Höhe der  
Oberfläche der oberen Behälterstapel ermit-  
telt. Die Isobaren-Ansatzpunkte werden gra-  
fisch gewonnen, indem für gleiche Druckdif-  
ferenzen die entsprechenden  $x$ -Werte (Ab-  
stand vom Luftaustritt) aus den Diagrammen  
der Bilder 5 bis 8 entnommen werden. Zur  
besseren Übersicht werden die Isobaren nu-  
meriert.

Drittens:

Auswertung der Druckprofile an der Behäl-  
teroberfläche, um daraus die Verläufe der  
Isobaren und der dazu senkrechten Linien  
für  $\dot{V} = \text{konst.}$  (Stromlinien) unter Berücksich-  
tigung der gewonnenen Erkenntnisse zu die-  
sem Problemkreis im Inneren des Behälter-  
stapels abzuleiten.

So können aus den statischen Druckprofilen

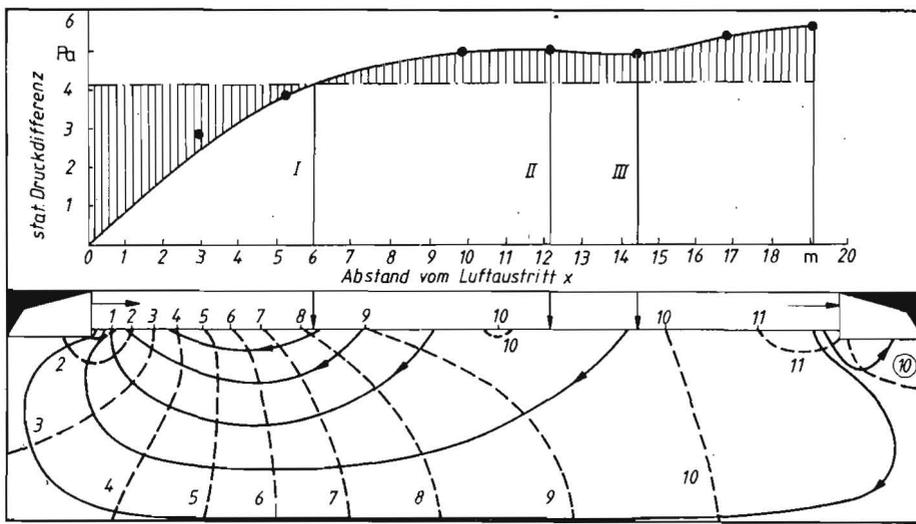


Bild 5. Statisches Druckprofil und Strömungsbild für Behälterlager mit Behälter D (BE 3,  $w_0 = 5,33$  m/s)

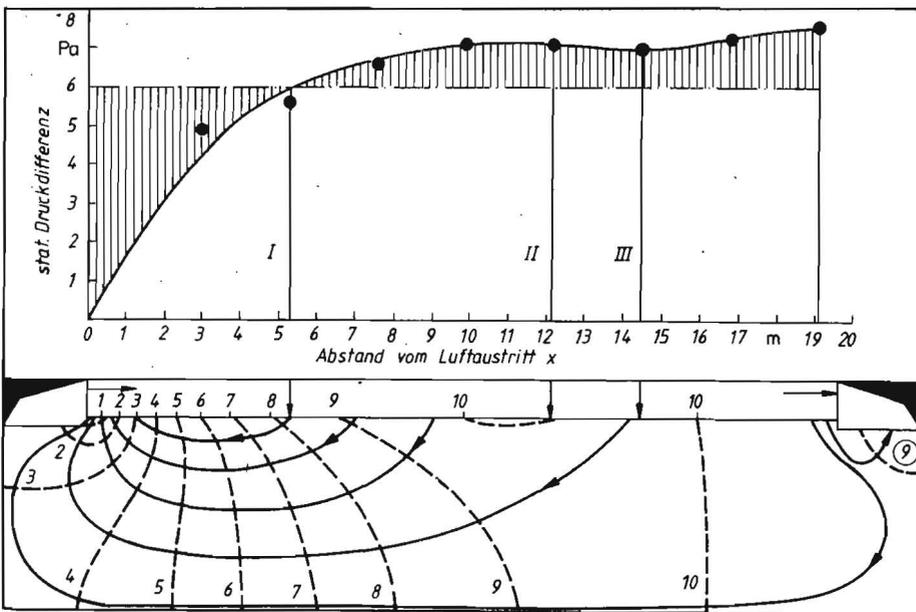


Bild 6. Statisches Druckprofil und Strömungsbild für Behälterlager mit Behälter D (BE 2,  $w_0 = 6,48$  m/s)

folgende das Strömungsfeld besonders beeinflussende Kurvenverläufe und markante Punkte ermittelt und ausgewertet werden:

- Ermittlung eines „Drehpunktes“ I, der die Grenze zwischen dem Teil darstellt, an dem Luft aus dem Stapel angesaugt wird, und dem Teil, an dem Luft in den Stapel abtaucht, d. h., eine Linie ist zu finden, deren Schnittpunkt mit der Kurve des statischen Druckprofils den Drehpunkt ergibt. Dabei muß die Fläche unter dieser Niveaulinie bis zur Kurve ebenso groß wie die Fläche über ihr bis zur Kurve sein (Bilder 5 bis 8).
- Der Anstieg der Kurve des statischen Druckprofils beeinflusst den Abstand der Stromlinien-Ansatzpunkte. Sie liegen um so dichter, je größer der Anstieg ist, und entsprechend weiter auseinander bei geradlinigem oder abfallendem Kurvenverlauf.
- Die im statischen Druckverlauf auftretenden Maxima II lassen eine Teilung des Luftstroms in Richtung Zuluft- und Abluftseite erwarten, was auch durch Rauchversuche beobachtet werden konnte. Diese

von der großen Raumwalze abweichende Strömung kann im Strömungsbild berücksichtigt werden, wenn es sich um ausgeprägte Maxima II bzw. Minima III unter bzw. über der Niveaulinie handelt. Ansonsten wird die „Störung“ im oberen Stapelbereich gegenüber der „Hauptströmung“ unbedeutend bleiben.

Ein Minimum, das unter die Niveaulinie reicht, tritt lediglich im Druckprofil nach Bild 8 auf. In diesem Bereich wird die Luft aus der Umgebung angesaugt, was im dazugehörigen Strömungsbild berücksichtigt wurde. Im Bild 7 sind die Strompunkt-Linien gekennzeichnet, da das Minimum nur geringfügig von der Niveaulinie nach oben abweicht, so daß anzunehmen ist, daß auch im Bereich des Minimums Luft angesaugt wird.

Viertens:

Entsprechend den Gesetzmäßigkeiten der Sickerströmung als Analogie zur Potentialströmung müssen sich die Isobaren und die Stromlinien senkrecht schneiden und die Iso-

baren senkrecht auf Fußböden und Wänden auftreffen.

Fünftens:

Die Beobachtungen durch Rauchversuche müssen mit den Stromlinien übereinstimmen. Sie ergänzen das Strömungsbild vor allem im Bereich unter dem Absaugkanal. Die Ursache für diesen gewellten Verlauf der äußeren Stromlinie lag in den zusätzlichen Absaugöffnungen an der Unterseite des Absaugkanals. Dadurch wurde die Luft vom kürzesten Weg in Richtung abnehmender Isobaren nach rechts abgelenkt. Die Ablenkung des Strahls wird zusätzlich durch das Bestreben unterstützt, sich an die nächstliegende Wand anzulehnen.

Aus den ermittelten Raumströmungsbildern kann die infolge der Wurflüftung entstehende Raumströmung im gefüllten Behälterlagerhaus qualitativ zutreffend beschrieben und bewertet werden.

#### 4.2. Deutung und Bewertung der Raumströmung bei Wurflüftung

Trotz verschiedener Raumbreiten und Zuluftgeschwindigkeiten unterscheiden sich die Raumströmungsbilder qualitativ nur unwesentlich. Somit kann folgende allgemeine Charakterisierung der Strömung im Lagerhaus bei Wurflüftung für die untersuchten Raumbreiten und Zuluftgeschwindigkeiten getroffen werden:

- Bei Wurflüftung bildet sich eine den gesamten Raum ausfüllende Raumwalze aus.
  - Die Luftgeschwindigkeit ist erwartungsgemäß ungleichmäßig und ortsabhängig. Die höchsten Luftgeschwindigkeiten sind unmittelbar hinter den Luftausblasöffnungen aufgrund maximaler Strahlinduktion vorhanden, während die geringsten Luftgeschwindigkeiten abluftseitig im unteren Teil des Behälterstapels vorherrschen. Daß dennoch ein günstiger Wärme- und Feuchtigkeitstransport erfolgt, läßt sich folgendermaßen begründen: Die Geschwindigkeit der Luft nimmt mit wachsendem Strömungsweg durch den Stapel zu. Gleichzeitig nimmt das Aufnahmevermögen der Luft an Wärme und Feuchtigkeit ab. Diese beiden gegensätzlichen Tendenzen bewirken einen einigermaßen gleichmäßigen Abtransport der Wärme- und Stofflasten.
  - Besonders günstig wirken sich die Abluftöffnungen an der Unterseite des Abluftkanals aus, da dadurch abluftseitig ein Teil des Luftstroms in Richtung der unteren Behälter gelenkt wird. Ansonsten erfolgt in diesem Bereich eine zu geringe Belüftung.
- Insgesamt kann eingeschätzt werden, daß mit dem Einsatz der Wurflüftung erreicht wird, daß nahezu im gesamten Behälterstapel der Wärme- und Feuchtigkeitsgehalt ausgeglichen ist. Damit werden wesentliche Voraussetzungen zur Vermeidung von Temperaturschichtungen und deren negativen Folgen bezüglich Qualitätsminderungen geschaffen.

#### 5. Zusammenfassung

In Anlehnung an die theoretischen und praktischen Erkenntnisse zur Sickerströmung als Analogie zur Potentialströmung wurden, unterstützt durch Geschwindigkeitsmessungen über dem Behälterstapel sowie durch Beobachtungen der Strömungsvorgänge im Behälterlagerhaus mit Hilfe von Rauchversuchen, Aussagen über die Raumströmung vor-

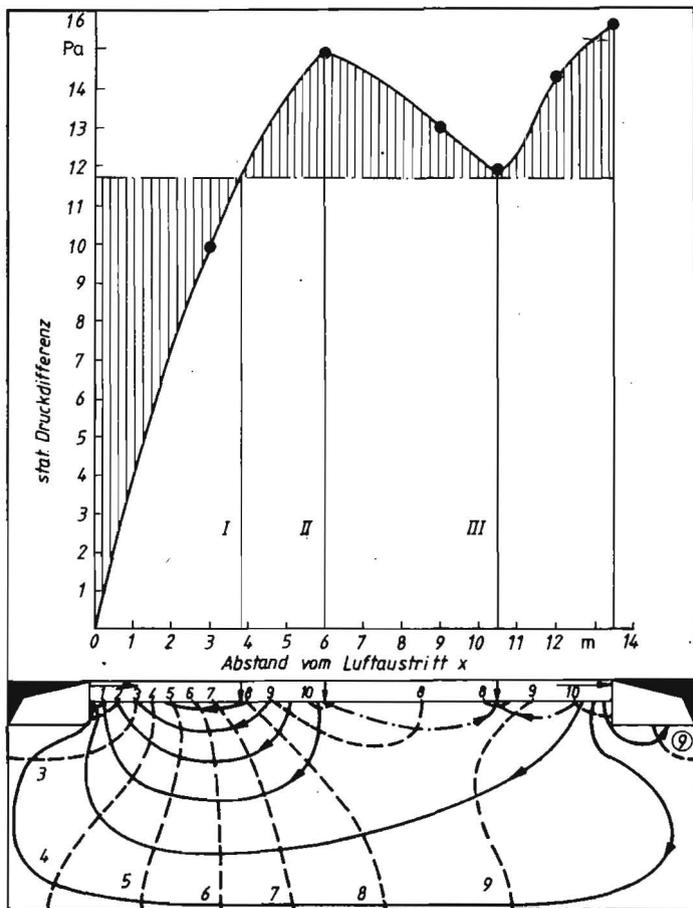


Bild 7. Statisches Druckprofil und Strömungsbild für Behälterlager mit Behälter B ( $w_0 = 9,13 \text{ m/s}$ )

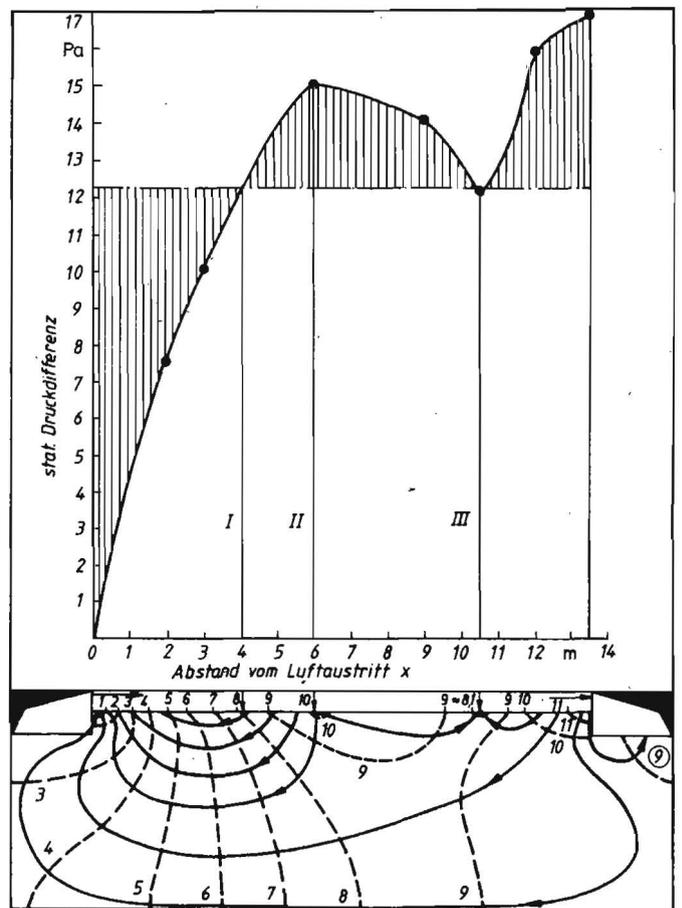


Bild 8. Statisches Druckprofil und Strömungsbild für Behälterlager mit Behälter B ( $w_0 = 9,40 \text{ m/s}$ )

allein durch die Erarbeitung von Raumströmungsbildern getroffen. Damit konnte der Nachweis erbracht werden, daß alle Behälter einer Belüftungseinheit einigermaßen gleichmäßig belüftet werden, was bei allen anderen Belüftungsarten in Behälterlagerhäusern nicht erreicht werden konnte. Im Ergebnis der Bearbeitung der dargelegten Problematik konnten entsprechend der Zielstellung wissenschaftlich begründete Projektierungshinweise gegeben werden.

#### Literatur

- [1] Hegner, H.-J.; Maltry, W.; Delmhorst, P.; Bittner, K.; Wittchen, G.: Rationelle Energieanwendung bei der Klimagegestaltung in Pflanzkartoffel-ALV-Anlagen mit Behälterlagerung durch Anwendung der Kombinationslüftung. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 3, S. 102–104.
- [2] Hegner, H.-J.; Maltry, W.; Delmhorst, P.; Wittchen, G.: Entwicklung von Belüftungssystemen für Pflanzkartoffelbehälterlager in der DDR. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 7, S. 299–302.
- [3] Schwenke, H.: Das Verhalten ebener horizonta-

ler Zuluftstrahlen im begrenzten Raum – Luftführung in Stallbauten. TU Dresden, Dissertation 1974.

- [4] Matthies, H.-J.: Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. VDI-Forschungsbericht 454, Düsseldorf (1956).
- [5] Wilke, A.: Beitrag zur Klärung thermodynamischer und strömungstechnischer Vorgänge in Kartoffelbehälterlagern. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation 1986.

A5117

## VEB Lagerausrüstungs- technik Leipzig

Betrieb des VEB Kombinat  
Leipziger Metallbau  
Spinnereistr. 12  
Markkleeberg  
DDR-7113  
Telefon: 3913216

Exporteur  
**LIMEX-BAU**  
EXPORT-IMPORT

Volkseigener Außenhandelsbetrieb der DDR  
Breite Straße 12/17 Postfach 4  
Berlin, DDR - 1020  
Telefon: 2 30 Telex: 01149 68/69

### Bunker für Schüttgüter 26 t und 215 t

- zur Lagerung bzw. Zwischenlagerung von Kohle, Kartoffeln, Getreide sowie Schüttgüter mit Schüttdichte bis  $800 \text{ kg/m}^3$