

# Grundlagen für den Bau und die Bemessung hofeigener Behälteranlagen zur Belüftungstrocknung und Lagerung von Getreide

Von Michael Rist, Braunschweig-Völkenrode

Beim Bestreben, optimale Lösungen für Behälteranlagen zur Getreidetrocknung und -lagerung zu finden, ist eine Reihe von sich oft wechselseitig beeinflussenden Einzelfragen zu beantworten. Vom baulichen Gesichtspunkt aus sind für die Belüftungswie auch für die Lagerbehälter die auftretenden Belastungen und die Festigkeiten der verwendeten Werkstoffe von entscheidender Bedeutung. Darüber hinaus ist die Notwendigkeit, sich der vorhandenen Bausubstanz anzupassen bzw. den umbauten Raum für die neu zu erstellende Behälteranlage so klein wie möglich zu halten, ebenso wichtig wie der Einsatz des jeweils günstigsten Fördergerätes.

Für die Gestaltung der Belüftungsbehälter ist der zur Trocknung des Getreides erforderliche Luftdurchsatz, der selbst wieder von der Beantwortung physiologischer, klimatischer und betriebswirtschaftlicher Fragen abhängt, neben Kenntnis des Strömungswiderstandes der Luft beim Durchgang durch die Luftkanäle und das Getreide maßgebend<sup>1)</sup>.

## Bemessung von Lüfter und Heizung

Unter Belüftungstrocknung wird hier eine Trocknung des Getreides mit Hilfe von Luft verstanden, deren relative Feuchtigkeit dem gewünschten Endwassergehalt des Getreides entspricht. Nach Wenner [1] ist für sicher lagerfähiges Getreide ein Endwassergehalt von 14% anzustreben.

Das Feuchtigkeitsgleichgewicht zwischen Kornwassergehalt und relativer Luftfeuchtigkeit hängt von der Getreideart und von der Temperatur ab. Da in Mittel- und Nordeuropa bei der Belüftungstrocknung die verschiedenen Getreidearten bei Temperaturen zwischen 10 und 25°C zu trocknen sind, ist mit einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 65 und 70% ein Endwassergehalt des Getreides von 14% zu erreichen [1; 2].

Für die Bemessung des Belüftungsgebläses ist die geforderte Trocknungsdauer, das während der Trocknung zu erwartende Klima und hinsichtlich der Bemessung des Heizaggregates besonders der Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit entscheidend. Die Trocknungsdauer soll, um Qualitätsminderungen zu vermeiden, bei quellfeuchtem Getreide unter 22% Wassergehalt 10 Tage und bei quellfeuchtem Getreide über 22% sowie jegliches vegetativ feuchte Getreide 6 Tage nicht überschreiten [1].

Aus diesen Gründen und im Interesse einer hohen Wirtschaftlichkeit — jährlich fünfmalige Nutzung der Trocknungsanlage — wird im folgenden mit 150 Belüftungstunden gleich einer etwa sechstägigen Trocknungsdauer gerechnet.

Die relative Luftfeuchtigkeit sinkt mit zunehmender Sonnenhöhe sowohl im Tageslauf als auch im Jahreslauf, so daß sich in der Regel das tägliche Minimum der relativen Luftfeuchtigkeit um die Mittagszeit einstellt und im allgemeinen in den Monaten Mai und Juni die geringste mittlere relative Luftfeuchtigkeit herrscht. Über die räumliche Verteilung der relativen Luftfeuchtigkeit in den verschiedenen Gebieten der Bundesrepublik geben die entsprechenden Klimakarten [3] des Deutschen Wetterdienstes anschaulichen Aufschluß. Die in den Karten dargestellten Luftfeuchtigkeitsgebiete ergeben sich aus den lang-

jährigen Mittelwerten der 14-Uhr-Ablesung im Monat Mai. In Bild 1 sind diese Gebiete für Hessen dargestellt. Dieselben Karten liegen bis jetzt auch für Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz vor und werden für die übrigen Bundesgebiete in absehbarer Zeit erwartet.

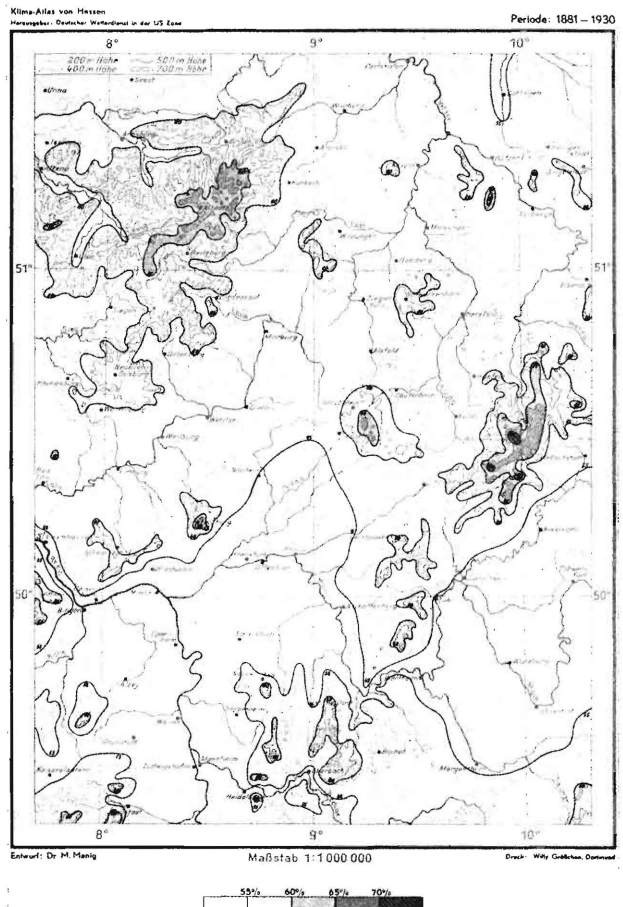


Bild 1. Verteilung der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit in Hessen. Langjähriges Monatsmittel für Mai, 14-Uhr-Ablesung.

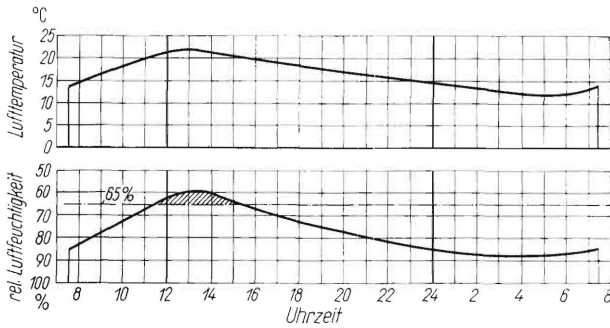
Man erkennt in Bild 1 das Rhein-Main-Tal als das Gebiet mit der niedrigsten relativen Luftfeuchtigkeit (50 bis 55%, Luftfeuchtigkeitsgebiet A). Als Gebiet mit einer durchschnittlichen Luftfeuchtigkeit von 55 bis 60% (Luftfeuchtigkeitsgebiet B) stellt sich das Einzugsgebiet von Lahn und Fulda bis zu Höhen von etwa 400 m über NN dar. Daran schließt das Vorland von Odenwald, Spessart, Rhön, Vogelsberg, Taunus, Westerwald und Sauerland an, mit 60 bis 65% relativer Luftfeuchtigkeit (Luftfeuchtigkeitsgebiet C). Die Höhen dieser Bergkette stellen dann die Gebiete mit Luftfeuchtigkeiten über 65% dar, die aber hier außer Betracht bleiben können, da sie für den Getreideanbau nicht in Frage kommen.

Im Juni, Juli und August herrscht nur eine geringfügig höhere Luftfeuchtigkeit als im Monat Mai, während im September der langjährige Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit gegenüber den Sommermonaten wesentlich höher liegt.

In Bild 2 ist der Verlauf der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit und der mittleren Lufttemperatur für das Luftfeuchtigkeits-

<sup>1)</sup> Die nachstehenden Untersuchungen wurden durch Mittel des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen unterstützt.

Dipl.-Ing. Michael Rist ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Institutes für landwirtschaftliche Bauvorsorgung (Direktor: Prof. Dr. Albrecht Köstlin) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.



**Bild 2.** Mittlerer Tagesverlauf der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit im Luftfeuchtigkeitsgebiet B im August.

gebiet B im August dargestellt. Danach sinkt die relative Luftfeuchtigkeit nur während etwa 4 Stunden unter 65% ab und steigt dann in den Nachtstunden bis auf fast 90% an. Ohne künstliche Klimatisierung der Luft wäre also durchschnittlich nur während dieser 4 Stunden pro Tag ein Endwassergehalt des Getreides von 14% zu erreichen.

Aus dem Wasseraufnahmevermögen der atmosphärischen oder klimatisierten Luft<sup>2)</sup>, dem aus dem Getreide zu entziehenden Wasser und der gewünschten Trocknungsdauer ergibt sich der erforderliche Luftdurchsatz für die Belüftungstrocknung.

Unter der Voraussetzung einer Trocknungszeit von 150 Stunden und einer durchschnittlichen relativen Feuchtigkeit der Belüftungsluft von 65% ergeben sich für den spezifischen Luftdurchsatz die in **Tafel 1** zusammengestellten Werte [4].

**Tafel 1.** Spezifischer Luftdurchsatz für die Belüftungstrocknung von Getreide auf einen Wassergehalt von 14%.

Anfangswassergehalt in %	Spezifischer Luftdurchsatz m <sup>3</sup> Luft/h · m <sup>3</sup> Getreide
20	300—400
24	600
28	800

Bei der Höhe der erforderlichen Vorwärmung ist zu beachten, daß in einer bestimmten Trocknungsperiode (6 Tage) erhebliche Abweichungen vom langjährigen Monatsmittelwert auftreten können. Die für die Trocknung günstigen Abweichungen (Schönwetterperioden) machen einen Teil oder die gesamte Vorwärmung überflüssig. Die ungünstigen Abweichungen (Schlechtwetterperioden) machen aber eine überdurchschnittliche Erwärmung erforderlich. Den Einfluß dieser Schlechtwetterperioden kann man zahlenmäßig durch die ungünstigen Abweichungen der Dekaden-Mittel berücksichtigen. Die erforderliche durchschnittliche Vorwärmung zur Erreichung einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65% während 24 Stunden bzw. die maximal erforderliche Vorwärmung zum Ausgleich von Schlechtwetterperioden sind in **Tafel 2** zusammengestellt [4].

**Tafel 2.** Vorwärmung der Trocknungsluft bei der Belüftungstrocknung von Getreide.

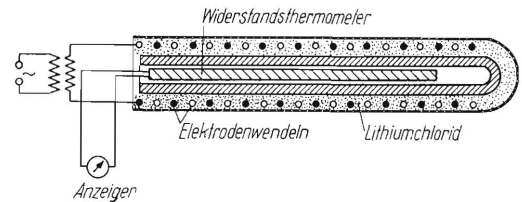
Luftfeuchtigkeitsgebiet	durchschnittliche Vorwärmung °C	Maximale Vorwärmung °C
A	3,3	5,7
B	3,6	6,0
C	3,8	6,2

Die Klimatisierung der Luft erfolgt heute in der Regel durch eine Heizung, wobei eine Anwärmung der Luft um 1°C (in dem hier in Betracht kommenden Bereich) entsprechend dem *i-x*-Diagramm von *Mollie*r eine Verminderung der relativen Luftfeuchtigkeit um etwa 5% zur Folge hat. — Der Luftentfeuchtung mit Hilfe eines nach dem Prinzip der Wärmepumpe arbeitenden Kühlaggregates [4] steht, trotz der etwa halb so hohen Betriebskosten gegenüber denen für eine elektrische Heizung, der hohe Anschaffungspreis eines solchen Aggregates entgegen.

<sup>2)</sup> Entsprechend dem *i-x*-Diagramm von *Mollie*r

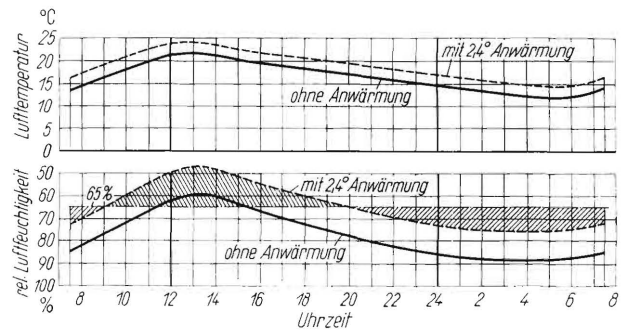
Für den Einsatz einer Heizung zur Verminderung der relativen Luftfeuchtigkeit bestehen zwei Möglichkeiten:

1. Man erwärmt die Luft jeweils so weit, daß eine relative Feuchtigkeit der Belüftungsluft von 65% erreicht wird, d. h., daß z. B. bei 90% Außenluftfeuchtigkeit die Luft um etwa 5°C vorgewärmt wird. — Durch eine über ein Lithium-Chlorid-Hygrometer, **Bild 3**, gesteuerte mehrstufige elektrische Heizung läßt sich dann bei einem entsprechenden zusätzlichen finanziellen Aufwand eine derartige Vorwärmung der Belüftungsluft vollständig automatisieren.



**Bild 3.** Lithium-Chlorid-Hygrometer zur automatischen Anpassung einer mehrstufigen elektrischen Heizung an die jeweilige relative Luftfeuchtigkeit.

2. Man heizt während 24 Stunden die Luft um einen konstanten Betrag auf, und zwar so, daß im Tagesdurchschnitt eine relative Luftfeuchtigkeit von 65% entsteht. Die Größe der dabei erforderlichen Vorwärmung läßt sich in **Bild 4** aus der zum Verlauf der tatsächlichen relativen Luftfeuchtigkeit (—) parallelen Kurve (— — —), bei der die beiden hier schraffierten Flächen unter und über der 65% Geraden gleich groß sind, ermitteln. In dem dargestellten Beispiel ist hierfür eine Dauervorwärmung um 2,4°C erforderlich.



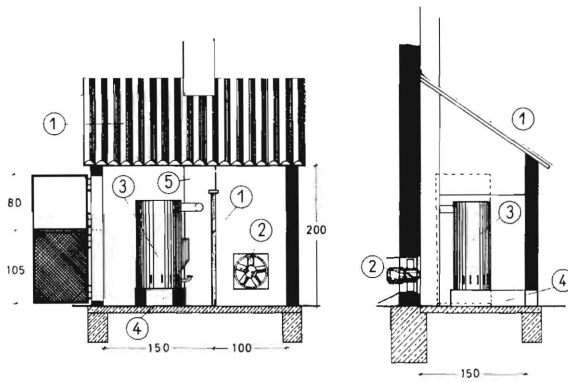
**Bild 4.** Mittlerer Tagesverlauf der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit bei Dauervorwärmung der Luft um 2,4°C.

Das erste Verfahren der Vorwärmung wird man vor allem zur Ausnützung von billigem Nachtstrom anwenden, da bei diesem während der Nacht allgemein höhere Heizleistungen als am Tage benötigt werden. Das zweite Verfahren wird man dann wählen, wenn man nur eine verhältnismäßig kleine Heizleistung, z. B. in Form eines Gas-, Öl- oder Kohleofens, bei denen die Wärmekosten während der Tag- und Nachtstunden gleich groß sind, zur Verfügung hat.

Am zweckmäßigsten erscheint z. Z. eine Ölheizung. Da aus feuerpolizeilichen Gründen sowieso ein feuerfester Heizraum erforderlich ist, könnte — im Interesse niedriger Investitionskosten — in einem zweikammerigen An- oder Einbau, **Bild 5**, ein einfacher Ölschalenbrenner (bei 20 000 kcal/h Heizleistung, Anschaffungskosten etwa 600,— DM) aufgestellt werden. Das Gebläse saugt die Belüftungsluft aus der zweiten Kammer an, wobei die Heizkammern gleich als Mischvorrichtung für Warm- und Frischluft dienen.

Wo kein Schornstein für das Heizaggregat vorhanden ist, könnte an eine Gasheizung mit Abführung der Verbrennungsgase durch die Außenwand gedacht werden, wie dies im Wohnungsbau zulässig ist. Durch einen Thermostat hinter dem Belüftungsgebläse wird bei Überschreiten von z. B. 36°C der Ofen abgeschaltet<sup>3)</sup>. Damit kann sowohl ein Überhitzen des Getreides

<sup>3)</sup> Zulässige Getreidetemperaturen bei der Trocknung siehe „Richtlinien der Einfuhr- und Vorratsstelle für Getreide und Futtermittel zum Umschlag- und Lagervertrag“. Gültig ab 1. 7. 1957. Frankfurt/Main. S. 28.



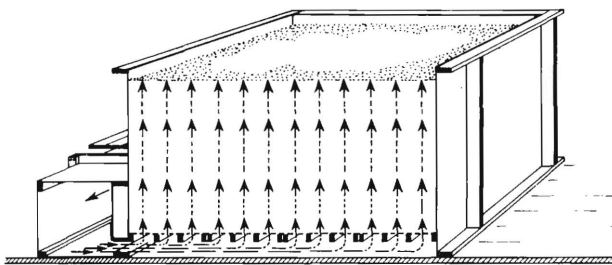
**Bild 5**  
Zweikammeriger Heizraum.

- 1 Wellasbestplatten
- 2 Belüftungsgebläse
- 3 Werkstattofen mit Ölschalenbrenner
- 4 Verbrennungsluftzuführung
- 5 Schornstein

bei Ausfall des Gebläses verhindert als auch der Feuersicherheit Genüge geleistet werden.

Bevor gezeigt werden kann, wie die angegebenen Belüftungsstärken bei den einzelnen Luftführungssysteme und die dabei auftretenden Strömungswiderstände dargestellt werden. Das einfachste Luftführungssystem ist im Bodenbelüftungsbehälter gegeben, **Bild 6**. Die Luft wird durch den Siebboden in das Getreide eingeleitet und strömt mit konstanter Geschwindigkeit vertikal durch die gesamte Getreideschüttung.

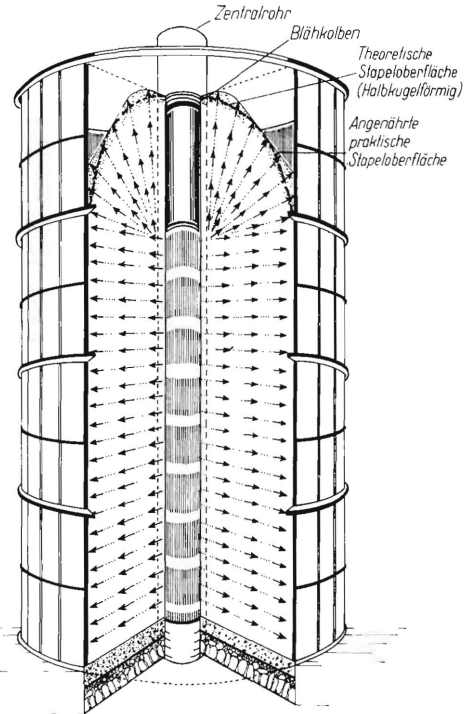
Beim Zentralrohrbehälter mit perforiertem Mittelrohr und luftdurchlässiger Wandung, **Bild 7**, breitet sich der Luftstrom — abgesehen von der obersten Zone — als ebene Quellströmung [5] horizontal und radial vom Zentralrohr zum Behältermantel aus, wobei die Luftgeschwindigkeit von innen nach außen entsprechend dem größer werdenden durchströmten Querschnitt abnimmt.



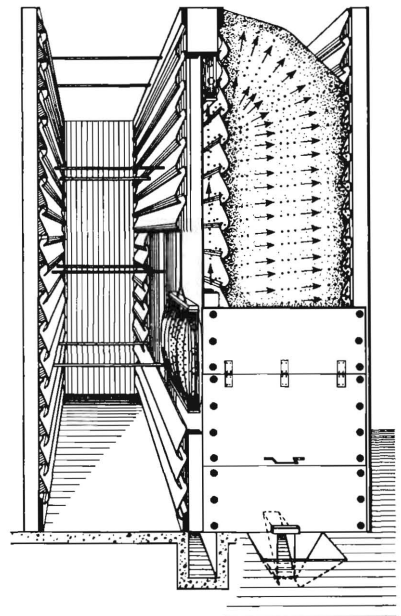
**Bild 6.** Bodenbelüftungsbehälter mit paralleler Luftströmung bei konstanter Luftgeschwindigkeit im Getreide.

Bei der dritten Art von Belüftungsbehältern, den Querbelüftungsbehältern, **Bild 8**, ist wieder — abgesehen von der obersten Zone — eine konstante Luftgeschwindigkeit im Getreide gegeben, da diese Art der Belüftungsbehälter im Prinzip einem vertikal gestellten Bodenbelüftungsbehälter entspricht.

In der oberen Zone des Querbelüftungsbehälters ist eine vertikale ebene Quellströmung gegeben, während in der oberen Zone des Zentralrohrbehälters eine räumliche Quellströmung vorliegt. Um in beiden Behälterarten in den oberen Zonen eine befriedigende gleichmäßige Trocknung des Getreides zu erzielen, ist die Absperrung des Zuluftschachtes bzw. des Zentralrohres durch einen Blähkolben zu empfehlen. Der Blähkolben sollte dabei eine Länge gleich dem Abstand zwischen Zuluft- und Abluftwand bzw. Zentralrohr und Behältermantel haben. Das Getreide wird dann nach **Bild 7** und **8** schräg bzw. kegelförmig aufgeschüttet, so daß von der letzten Lufteintrittsöffnung bis zur Oberfläche der Getreideschüttung etwa gleich lange Luftwege wie vom Zentralrohr zum Behältermantel bzw. von der Zuluft zur Abluftwand gegeben sind.



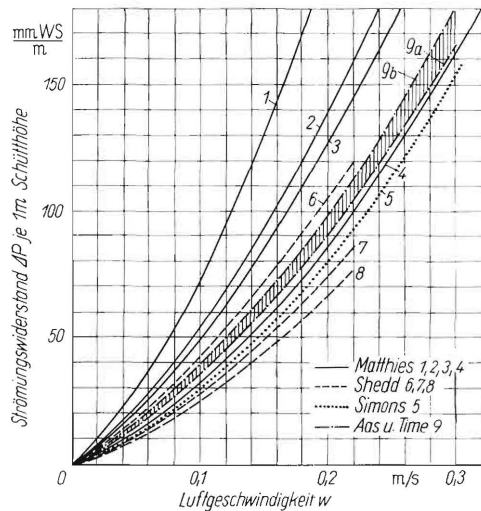
**Bild 7.** Zentralrohrbehälter mit ebener (im oberen Bereich räumlicher) Quellströmung und abnehmender Luftgeschwindigkeit im Getreide.



**Bild 8.** Querbelüftungsbehälter mit paralleler Luftströmung (im oberen Bereich mit vertikaler Quellströmung) und konstanter Luftgeschwindigkeit im Getreide.

### Strömungswiderstand und spezifischer Luftdurchsatz

Über den Strömungswiderstand beim Durchgang der Luft durch eine Getreideschüttung liegen eine Reihe von Untersuchungen vor. Nach *Matthies* [6] hängt der Strömungswiderstand etwa in der 3. bis 4. Potenz vom Hohlraumvolumen ab, welcher bei Getreideschüttung wieder sehr stark von den Beimengungen beeinflusst wird. Es ist deshalb verständlich, daß bei gleicher Luftgeschwindigkeit in der Getreideschüttung sehr unterschiedliche Strömungswiderstände auftreten können, **Bild 9**. Die Kurven 1 bis 4 stellen in der Reihenfolge der Numerierung den Strömungswiderstand bei ungereinigtem Mähdruschgetreide (Roggen), ungereinigtem Mähdruschgetreide (Weizen), gereinigtem Roggen und gereinigtem Weizen nach Untersuchungen von *Matthies* dar. Die Kurve 5 gibt den von *Simons* [7] aufgestellten Strömungswiderstand wieder, während die Kurven 5 bis 8 aus Untersuchungen von *Shedd* [8] hervorgehen. Die



**Bild 9.** Strömungswiderstand der Luft in Getreideschüttungen nach verschiedenen Forschern.

nach **Matthies** [6]

$$\Delta p = 8,14 \cdot 10^{-2} k \frac{w^{1,43}}{d_k^{1,57}} \text{ für } d = 0,004 \text{ m}$$

darin ist  $\Delta p$  Druckabfall in mm WS je 1 m Schütthöhe  
 $w$  Luftgeschwindigkeit in m/s  
 $k$  dimensionslose Stoffkonstante  
 $d_k$  reduzierter Korndurchmesser in m

Kurve 1:  $k = 4,4$  für ungereinigten Roggen (Mähruschgetreide)  
 Kurve 2:  $k = 3,0$  für ungereinigten Weizen (Mähruschgetreide)  
 Kurve 3:  $k = 2,7$  Roggen, rein, und Sommergerste, rein  
 Kurve 4:  $k = 1,8$  Weizen, rein

nach **Simons** [7]

$$\Delta p = \left(\frac{Q}{C}\right)^x$$

darin ist  $\Delta p$  Druckabfall in mm WS je 1 m Schütthöhe  
 $Q$  Luftmenge in  $\text{m}^3$  je  $\text{m}^2$  Bodenfläche  
 $C$  dimensionslose Konstante

Exponent  $x$  beträgt je nach Luftgeschwindigkeit 1,13 bis 1,568  
 Kurve 5: maximaler Enddruck aller Getreidearten

nach **Shedd** [8]

Kurve 6: Weizen, rein, mit 11% Wassergehalt  
 Kurve 7: Hafer, rein, mit 13% Wassergehalt  
 Kurve 8: Gerste, rein, mit 12% Wassergehalt

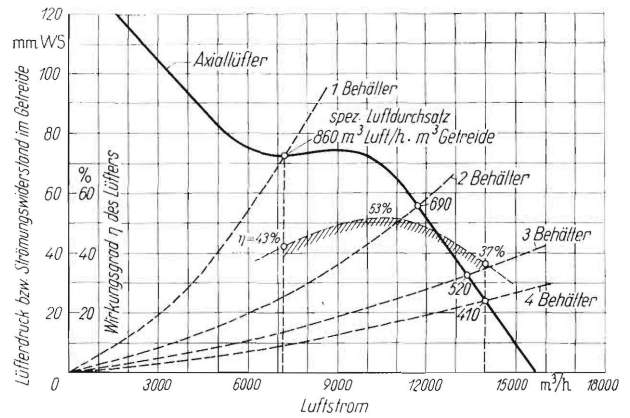
nach **Aas und Time** [9]

Kurve 9a: Gerste (vor der Trocknung) mit 35,5% Wassergehalt  
 Kurve 9b: Gerste (nach der Trocknung) mit 14,8% Wassergehalt

Untersuchungen von **Aas und Time** [9] ergaben den durch die Kurven 9a (nach der Trocknung) und 9b (vor der Trocknung) begrenzten Bereich während der Trocknung von Gerste von 35,5% auf 14,8% Wassergehalt.

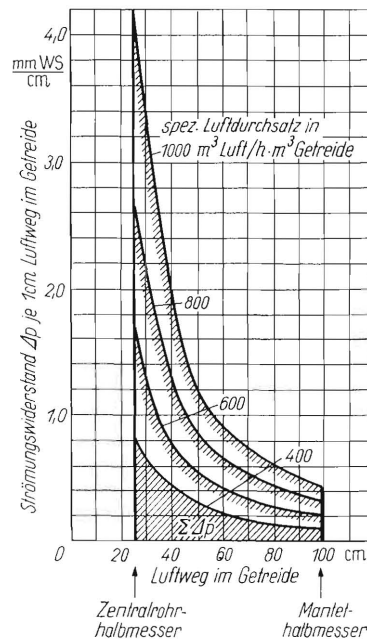
Für die Zuordnung von Belüftungsgebläse und Behälter ist es nun nicht notwendig, mit den größtmöglichen Strömungswiderständen zu rechnen, sondern es ist zweckmäßig, etwa einen Strömungswiderstand, der durch die Kurven 4, 5 und 6 gekennzeichnet ist, zugrunde zu legen. Allerdings muß man sich darüber im klaren sein, daß auch wesentlich höhere Strömungswiderstände, vor allem bei schlecht gereinigtem Getreide, auftreten können. Es genügt für diese Fälle, entweder eine Vorreinigung vor der Belüftungstrocknung oder eine entsprechende Druckreserve des Belüftungsgebläses vorzusehen.

Um den spezifischen Luftdurchsatz (Belüftungsstärke) bei der Verwendung eines bestimmten Gebläses zur Belüftung mehrerer Behälter zu ermitteln, muß die Widerstandskennlinie des Behälters mit der Gebläsekennlinie zum Schnitt gebracht werden. Die Widerstandskennlinie setzt sich zusammen aus den Widerständen in der Luftzuführungsleitung des Behälters und dem Strömungswiderstand in der Getreideschüttung. Letzterer läßt sich punktweise konstruieren, indem für eine bestimmte Luftmenge die Luftgeschwindigkeit im Behälter berechnet und dann für diese Luftgeschwindigkeit aus Bild 9 der auftretende Strömungswiderstand entnommen wird. Bei Behältern, bei denen die Luftgeschwindigkeit in den Luftführungs-



**Bild 10.** Zuordnung des Strömungswiderstandes von vier Querbelüftungsbehältern (Inhalt: 8,5 bis 34  $\text{m}^3$  Getreide) zu dem Druckverlauf eines Belüftungsgebläses. Aus den Schnittpunkten der Gebläse- und Behälterkennlinien ergibt sich der jeweilige spezifische Luftdurchsatz bei gleichzeitiger Belüftung von einem bzw. mehreren Behältern.

Lüfter: 0,5 m  $\varnothing$ , 2800 U/min  
 Abmessungen eines Querbelüftungsbehälters:  
 Inhalt 8,5  $\text{m}^3$ , Höhe 4,0 m, Länge 2,5 m, Breite 0,85 m



**Bild 11.** Graphische Ermittlung des Strömungswiderstandes in Zentralrohrbehältern bei verschiedenem Luftdurchsatz.

Manteldurchmesser 2,0 m  
 Zentralrohrdurchmesser 0,5 m  
 schraffierte Fläche = Gesamtströmungswiderstand

kanälen 10 m/s nicht überschreitet, bewegen sich die dort auftretenden Leitungswiderstände im Bereich von 5 bis 10 mm WS.

In **Bild 10** sind die Widerstandskennlinien für die gleichzeitige Belüftung von einem bis vier Querbelüftungsbehältern (Höhe 4 m, Breite 0,85 m, Länge 2,5 m) mit der Gebläsekennlinie zum Schnitt gebracht. Aus den Schnittpunkten zwischen den Widerstandskennlinien und der Gebläsekennlinie ergeben sich — je nachdem wie viele Behälter angeschlossen sind — folgende Belüftungsstärken:

- 1 Behälter 860  $\text{m}^3$  Luft/h ·  $\text{m}^3$  Getreide
- 2 Behälter 690  $\text{m}^3$  Luft/h ·  $\text{m}^3$  Getreide
- 3 Behälter 520  $\text{m}^3$  Luft/h ·  $\text{m}^3$  Getreide
- 4 Behälter 410  $\text{m}^3$  Luft/h ·  $\text{m}^3$  Getreide

Bei diesen Belüftungsstärken kann nach **Tafel 1** Getreide mit einem Wassergehalt von 28%, 25%, 23% bzw. 20% getrocknet werden, was allen praktisch notwendigen Bedürfnissen entspricht.

Die Ermittlung des Strömungswiderstandes in Zentralrohrbehältern ist etwas langwieriger, da — wie bereits erwähnt — die Luftgeschwindigkeit in der Getreideschüttung nicht mehr konstant, sondern eine Funktion des Behälterumfanges ist. Man kann hier so vorgehen, daß man bei einem bestimmten Luft-



durchsatz z. B. von cm zu cm die Luftgeschwindigkeit im Getreide berechnet und über der Luftgeschwindigkeit den Strömungswiderstand je cm Luftweglänge aufträgt. Die schraffierte Fläche in **Bild 11** entspricht dem Gesamtströmungswiderstand (in mm WS). Diese Fläche kann ausplanimetriert oder auch als Flächenintegral zwischen den Grenzen  $r_1$  (Zentralrohrhalbmesser) und  $r_a$  (Behälterhalbmesser) berechnet werden. Drückt man die Luftgeschwindigkeit und den Strömungswiderstand als Funktion des Radius  $r$  aus, so ergibt sich

$$\sum \Delta p = C \int_{r_1}^{r_a} r^{-k} dr.$$

Auf diese Weise wird der Strömungswiderstand im Zentralrohrbehälter bei verschieden großem Luftdurchsatz in **Bild 11** für 400, 600, 800 und 1000 m<sup>3</sup> Luft/h m<sup>3</sup> Getreide ermittelt und daraus die Widerstandskennlinie bestimmt.

In **Bild 12** sind wieder ein DLG-geprüftes Gebläseheizaggregat und drei Zentralrohrbehälter ( $r_1 = 25$  cm,  $r_a = 100$  cm, Höhe  $h = 4,0$  m) einander zugeordnet. Wie aus den Schnittpunkten der Gebläse- und Behälterkennlinien der Behälter zu ersehen ist, ergeben sich hier folgende Belüftungsstärken:

- 1 Behälter 850 m<sup>3</sup> Luft/h · m<sup>3</sup> Getreide
- 2 Behälter 560 m<sup>3</sup> Luft/h · m<sup>3</sup> Getreide
- 3 Behälter 400 m<sup>3</sup> Luft/h · m<sup>3</sup> Getreide

Auch hier kann nach **Tafel 1** bei Anschluß nur eines Behälters Getreide bis zu einem Wassergehalt von 28% und bei gleichzeitiger Belüftung aller Behälter Getreide mit einem Wassergehalt von 20% in 150 Belüftungsstunden auf 14% Wassergehalt heruntergetrocknet werden.

### Belüftungsgebläse und Behältergröße

Nun ist es hier interessant, die betriebswirtschaftliche Frage nach dem notwendigen Fassungsvermögen einer Behälteranlage für einen landwirtschaftlichen Betrieb mit einer bestimmten Getreidefläche aufzuwerfen.

Rechnet man mit einem Ertrag von 35 dz/ha und einem durchschnittlichen Raumgewicht von 7 dz/m<sup>3</sup>, so erntet man je ha Getreidefläche 5 m<sup>3</sup> Getreide. Bei einer fünfmaligen Nutzung der Trocknungsanlage (30 Tage) benötigt man dann also:

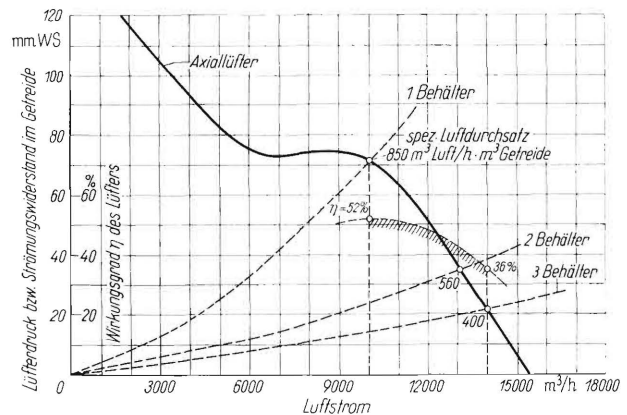
- 1 m<sup>3</sup> Belüftungsraum je ha Getreidefläche (des zu trocknenden Getreides)
- + 4 m<sup>3</sup> Lagerraum je ha Getreidefläche (des zu lagernden Getreides)

Um Überschneidungen der einzelnen Getreidearten zu vermeiden und um etwa gleich feuchtes Getreide in einem Behälter zu haben, sollen die Einzelbehälter nicht zu groß sein und eine Anlage aus 3 bis 4 oder mehr Behältern bestehen.

Die bisher vorherrschenden Belüftungsanlagen hatten ein Fassungsvermögen von 18 m<sup>3</sup> und mehr. Aus den in **Tafel 3** aufgeführten Getreideflächen in den einzelnen Betriebsgrößenklassen geht hervor, daß nur 14 700 Betriebe mit über 50 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche eine durchschnittliche Getreidefläche über 18 ha haben. Diese Betriebe bewirtschaften 11% der gesamten Getreidefläche, wenn man von den Betrieben

**Tafel 3.** Durchschnittlicher Getreidebau in den verschiedenen Betriebsgrößenklassen (nach Betriebszählung 1949).

Größenklasse ha	Anzahl der Betriebe mit Getreidebau	Getreide- fläche 1000 ha	Durchschnittliche Getreidefläche je Betrieb ha
0,5— 2	480 000	139	0,3
2— 5	516 000	469	0,9
5— 10	391 000	838	2,1
10— 20	250 000	1078	4,3
20— 30	70 000	529	7,6
30— 50	40 000	455	11,4
50— 75	9 500	177	18,6
75—100	2 500	68	27,2
100—150	1 500	57	57,6
über 150	1 200	69	38,0

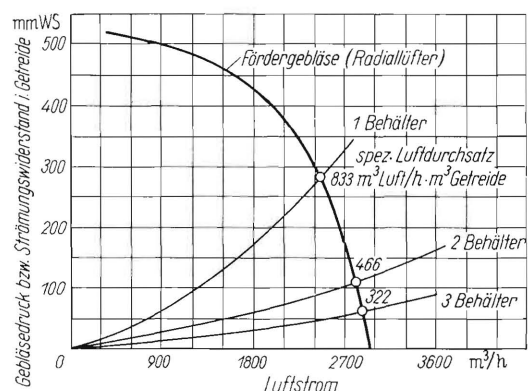


**Bild 12.** Zuordnung des Strömungswiderstandes von drei Zentralrohrbehältern (Inhalt: 11,8 bis 35,4 m<sup>3</sup> Getreide) zu dem Druckverlauf eines Belüftungsgebläses. Aus den Schnittpunkten der Gebläse- und Behälterkennlinien ergibt sich der jeweilige spezifische Luftdurchsatz bei gleichzeitiger Belüftung von einem bzw. mehreren Behältern.

Lüfter: 0,5 m Ø, 2800 U/min  
Abmessungen eines Zentralrohrbehälters:  
Inhalt 11,8 m<sup>3</sup>, Mantel 2,0 m Ø, Zentralrohr 0,5 m Ø, Höhe 4,0 m

unter 5 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche zunächst abseht. Bei weiterer Ausbreitung des Mähdrusches ist zu erwarten, daß auch kleinere Belüftungsanlagen für die übrigen 89% der Getreidefläche sowohl für den Landwirt und die Beratung als auch die Hersteller solcher Anlagen interessant werden.

Um bei kleineren Anlagen die Wirtschaftlichkeit zu wahren, ist vor allem die Mehrfachverwendung vorhandener Heullüfter oder vorhandener Fördergebläse anzustreben. In **Bild 13** ist z. B. die Kennlinie eines Fördergebläses mit der Widerstandskennlinie von drei Rundbehältern mit Bodenbelüftung und 1,5 m Schütthöhe (3 m<sup>3</sup> Inhalt) zum Schnitt gebracht. Es ergeben sich dabei wieder Belüftungsstärken von 833 m<sup>3</sup> Luft/h · m<sup>3</sup> Getreide, wenn nur ein Behälter angeschlossen wird, 466 m<sup>3</sup> Luft/h · m<sup>3</sup> Getreide bei gleichzeitiger Belüftung von 2 Behältern und 322 m<sup>3</sup> Luft/h · m<sup>3</sup> Getreide, wenn alle 3 Behälter angeschlossen sind. Aus der Darstellung ist weiter zu ersehen, daß eine große Druckreserve des Gebläses vorhanden ist und somit auftretende höhere Strömungswiderstände gut zu überwinden sind. Eine besondere Vorreinigung zur Vermeidung höherer Strömungswiderstände ist hier also nicht erforderlich, was im Interesse der Wirtschaftlichkeit solcher Kleinanlagen zu begrüßen ist.



**Bild 13.** Zuordnung des Strömungswiderstandes von drei Bodenbelüftungsbehältern (Inhalt: 3 bis 9 m<sup>3</sup> Getreide) zu der Luftleistung eines Getreidefördergebläses. Aus den Schnittpunkten der Gebläse- und der Behälterkennlinien ergibt sich der spezifische Luftdurchsatz bei gleichzeitiger Belüftung von einem bzw. mehreren Behältern.

Abmessungen eines Bodenbelüftungs-Rundbehälters:  
Inhalt 3,0 m<sup>3</sup>, Schütthöhe 1,5 m, Mantel 1,6 m Ø.

Nach den bisherigen Erfahrungen ist noch zu vermerken, daß eine bestimmte Luftanwärmung, die sich in der Größenordnung zwischen 3 und 10°C bewegt, bei allen Fördergebläsen auftritt, so

daß hier gleich eine „elektrische Heizung“ mit eingebaut ist, ohne daß besondere Sicherheitsthermostaten oder Schaltvorrichtungen erforderlich wären. Allerdings wird in diesem Fall mit einer elektrischen Dauervorwärmung gearbeitet. — Es wäre sehr zu begrüßen, wenn von den Herstellern solcher Fördergebläse die auftretende Erwärmung der Luft und die geförderte Luftmenge in Abhängigkeit vom Druck angegeben würden.

**Druckverteilung im Behälter**

Die im Behälter auftretenden Belastungen werden in die drei Komponenten, Wanddruck, Bodendruck und Normalkraft in der Wand zerlegt. Für ruhendes Getreide gelten die namentlich von *Janssen* [10] (1895) und anderen ermittelten Gleichungen:

$$\text{Wanddruck } P_W = \frac{\gamma F}{\text{tg } \varphi U} \left( 1 - e^{-\frac{k U}{F} z} \right) \text{ kp/m}^2$$

$$\text{Bodendruck } P_B = \frac{\gamma F}{k U} \left( 1 - e^{-\frac{k U}{F} z} \right) \text{ kp/m}^2$$

$$\text{Normalkraft } P_N = G_G - P_B F + G_W \text{ kp}$$

Dabei ist

- $\gamma$  Raumbgewicht des Getreides (kp/m<sup>3</sup>)
- $z$  Zellentiefe (m)
- $F$  Grundfläche des Behälters (m<sup>2</sup>)
- $U$  Umfang des Behälters (m)
- $\text{tg } \varphi'$  Reibungskoeffizient zwischen Wand und Getreide
- $k$  Materialkonstante  $\text{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2) \cdot \text{tg } \varphi'$
- $\varphi$  Winkel der inneren Reibung  $\approx$  natürlicher Böschungswinkel
- $G_G$  Gesamtgewicht des Getreides im Silo (kp)
- $G_W$  Gesamtgewicht der Silowand (kp)
- $e$  Basis der natürlichen Logarithmen

Rechnet man nach DIN 1055 (Lastannahmen im Hochbau) mit  $\gamma = 750 \text{ kp/m}^3$ ,  $\varphi = 30^\circ$  und nach *Theimer* [11] mit  $\text{tg } \varphi' = 0,375 \triangleq \varphi' = 20^\circ 35'$ , so ergibt sich eine vereinfachte zahlenmäßige Berechnung der gesuchten Belastungen. Mit zunehmender Tiefe strebt dann der Wand- und Bodendruck den Grenzwerten zu [11]:

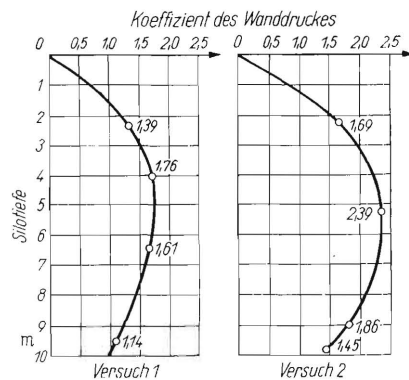
$$P_{W \text{ max}} = 500 a \text{ kp/m}^2$$

$$P_{B \text{ max}} = 1500 a \text{ kp/m}^2,$$

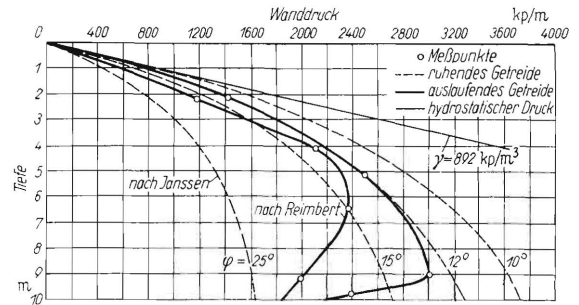
wobei  $a$  die lichte Weite einer Zelle mit zentral-symmetrischem Querschnitt in m darstellt. — Die größte Normalkraft tritt beim größten Wandreibungswinkel bzw. Winkel der inneren Reibung auf, welche bei feuchtem Getreide bis auf  $40^\circ$  ansteigen können.

Leider ist aber, wie neuere Untersuchungen namentlich von *Reimbert* [12] gezeigt haben, bei Getreidebehältern, die von unten entleert werden, was in der Mehrzahl der Fälle geschieht, nicht der ruhende Getreidedruck für die größte Belastung maßgebend. — In **Bild 14** ist die Zunahme des Getreidedruckes bei der Entleerung von Silozellen gegenüber dem ruhenden Getreidedruck dargestellt, wie sie *Reimbert* in seinen Untersuchungen feststellte. Dabei stieg der Wanddruck im ersten Versuch bis auf das 1,76fache und im zweiten Versuch bis auf das 2,39fache des ruhenden Getreidedruckes an.

In **Bild 15** sind nun die von *Reimbert* gemessenen Belastungen neben den nach *Janssen* für verschiedene Winkel der inneren



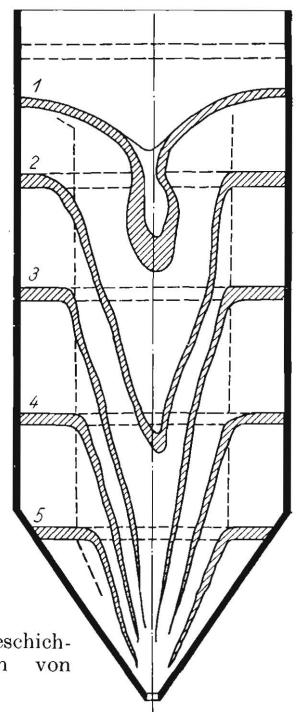
**Bild 14.** Zunahme des Getreidedruckes bei der Entleerung von Silozellen nach den Versuchen von *Reimbert* [12].



**Bild 15.** Vergleich der von *Reimbert* in Versuchen ermittelten Wanddrücke mit dem ruhenden Getreidedruck, der nach *Janssen* für verschiedene Winkel der inneren Reibung errechnet wurde.

Reibung berechneten Belastungen dargestellt. Wie zu ersehen ist, stimmen die Werte des ersten Versuches bis zu einer Behältertiefe von 3,2 m mit den gerechneten Werten für einen Reibungswinkel von  $\varphi = 15^\circ$  etwa überein. Die Werte des zweiten Versuches entsprechen recht gut bis 7 m Tiefe den Werten für  $\varphi = 12^\circ$ . Es tritt also — wahrscheinlich je nach Auslaufgeschwindigkeit des Getreides — eine kleinere oder größere Verminderung des Winkels der inneren Reibung im Getreide, d. h. eine gewisse „Verflüssigung“ desselben auf. Aus den Versuchen von *Lufft* [13], **Bild 16**, ist weiterhin bekannt, daß sich über der Auslauföffnung des Behälters ein verhältnismäßig steiler Kegel ausbildet, innerhalb dessen das Getreide in Bewegung gerät, während es außerhalb desselben in Ruhe verbleibt. Die Zunahme des Getreidedruckes bei der Entleerung bis zu 6 bzw. 9 m Tiefe in den *Reimberts* Versuchen wäre nun so zu erklären, daß im ersten Versuch mit vermutlich kleinerer Auslaufgeschwindigkeit<sup>4)</sup> der Kegel des beim Auslauf in Bewegung geratenen Getreides in 4 m Höhe der Auslauföffnung die Silowandung erreichte und beim zweiten Versuch mit vermutlich größerer Auslaufgeschwindigkeit sich ein breiterer Kegel des beim Auslauf in Bewegung geratenen Getreides bildete, so daß dieser in 1 m Tiefe über der Auslauföffnung die Silowandung erreichte und dann auch dort der größte Getreidedruck auftrat. Unterhalb der Maxima war voraussichtlich das Getreide noch in Ruhe. Der über dem ruhenden Getreidedruck liegende Wanddruck unterhalb der Maxima entstand dann nur durch das darüber in Bewegung befindliche Getreide. Welche Drücke im einzelnen bei der Ent-

<sup>4)</sup> Der Bericht von *Reimbert* enthält keine Angaben über die Auslaufgeschwindigkeit.



**Bild 16.** Bewegung der Getreideschichten bei den Auslaufversuchen von *Lufft* [13].

leerung von Behältern in Abhängigkeit von der Tiefe, der lichten Weite und der Auslaufgeschwindigkeit auftreten können, muß durch weitere eingehende Untersuchungen geklärt werden.

Den aufgezeigten Unsicherheiten in der Belastungsannahme bei Getreidebehältern kann man z. Z. nur dadurch entgehen, daß in die Behälter Entnahmeverrichtungen eingebaut werden, durch die das Getreide nur von der Oberfläche her abfließt. Sind solche Vorrichtungen eingebaut, so kann nach wie vor nur mit dem ruhenden Getreidedruck gerechnet werden.

### Behälterbaustoffe und -kosten

Für die Herstellungskosten von Getreidebehältern sind die aufzunehmende Belastung, der verwendete Baustoff und seine Festigkeit und der Preis des Baustoffes von Einfluß. Hinsichtlich der Fertigungskosten wird man bestrebt sein, einfach herzustellende Konstruktionen aus Baustoffen, die die geringsten „Festigkeitskosten“ verursachen, herzustellen. Bei der statischen Beanspruchung einzelner Bauelemente sind deren räumliche Abmessungen maßgebend. Um einen Anhaltspunkt über die Festigkeitskosten zu erhalten, sind in **Tafel 4** die m<sup>3</sup>-Preise mit den zulässigen Spannungen bestimmter Baustoffe ins Verhältnis gesetzt. Das dadurch gegebene Verhältnis wird durch die Vergleichsziffer *V* ausgedrückt. Je größer diese ist, desto geringer ist der Baustoffpreis für eine bestimmte Festigkeit. Bei Baustoffen mit gleicher Vergleichsziffer ist der Baustoff überlegen, dem die statisch günstigste Form auf einfachste Weise gegeben werden kann.

Auffallend ist zunächst die hohe Vergleichsziffer *V* = 100 bei der Druckbeanspruchung von Beton. Man wird deshalb überall dort, wo Druckbeanspruchungen auftreten, also z. B. beim Behälterboden oder bei einem Sockel unter einem Behälter, Beton verwenden. Bei Zugbeanspruchungen steht Stahl mit *V* = 26 an erster Stelle. Handelt es sich z. B. um die Erstellung von Rundbehältern, bei denen die maßgeblichen Spannungen Ringzugspannungen sind, so können diese mit den geringsten Baustoffkosten aus Stahl erstellt werden. Allerdings werden durch die Aufwendungen für den beidseitigen Rostschutz bei der Erstellung der Behälter aus Blechtafeln diese Vorteile gemindert, weil dadurch die Vergleichsziffer auf 16 absinkt. Für Zuganker wird man aber auf jeden Fall Stahl verwenden, weil der Flächenanteil des Rostschutzanstriches dabei verhältnismäßig klein ist.

Könnte bei Sperrholz eine zulässige Zugspannung von 2,0 kp/mm<sup>2</sup> erreicht werden, was nach eigenen Versuchen über die Zugfestigkeit von Sperrholz mit Bruchlasten zwischen 6,0 und 8,0 kp/mm<sup>2</sup> durchaus möglich erscheint, so würde die Vergleichsziffer bei 20 liegen, so daß solche Behälter noch wirtschaftlicher als rostgeschützte Stahlbehälter wären. **Bild 17** zeigt einen solchen Sperrholzbehälter. Die einzelnen Furnierplatten, die durch eine mit Aluminiumnieten bzw. Schrauben befestigten Lasche miteinander verbunden sind, werden auf dem Boden zu einzelnen Siloringen zusammengesetzt. Zur Montage werden die einzelnen Ringe nur aufeinander gestellt, wobei die oberen Ringe jeweils auf den darunter gestellten Ring aufgebracht werden. Auf diese Weise erübrigt sich ein Gerüst für die Montage solcher Behälter. Die Behälter werden am zweckmäßigsten ebenerdig aufgestellt. Die Entnahme erfolgt durch ein bis in die Behältermitte eingebautes Rohr, durch das die Förderschnecke eingeführt wird.

### Ausnutzung vorhandener Bausubstanz

Um die Anlagekosten zu senken, ist die Ausnutzung der oft vorhandenen und vielfach gut erhaltenen Gebäude geboten. Vorhandene Flachspeicher werden am zweckmäßigsten zu Bodenbelüftungsanlagen ausgebaut. Da aber 4 bis 5 m<sup>3</sup> umbauter Raum für je 1 m<sup>3</sup> Belüftungsraum benötigt werden, erscheint die Erstellung eines Neubaus für Flachbelüftungsanlagen problematisch. Aus den gleichen Gründen wird man beim Übergang zum Mähdrusch den erforderlichen zusätzlichen Lagerraum nach Möglichkeit in Form von Hochbehältern erstellen.

Steht vorhandener Scheunenraum reichlich zur Verfügung, so kommen zylindrische Hochbehälter in Frage, die einen umbauten Raum von 3 bis 4 m<sup>3</sup> je 1 m<sup>3</sup> Behälterraum benötigen. —

**Tafel 4.** Festigkeitskosten verschiedener Baustoffe.

$$\text{Vergleichsziffer } V = \frac{\text{zul. Spannung in kp/mm}^2}{\text{Baustoffpreis in DM/m}^3} \cdot 10^4$$

Baustoff	zulässige Spannung kp/mm <sup>2</sup>			Bau- stoff- preis DM/m <sup>3</sup>	Vergleichsziffer <i>V</i>		
	Zug	Druck	Bie- gung		Zug	Druck	Bie- gung
Nadelholz Gkl. II senkrecht zur Faser parallel zur Faser	— 0,85	0,2 0,85	1,0 —	280 280	— 30	7 30	36 —
Sperrholz, Faser in Beanspruchungs- richtung	2,0	2,0	2,0	1000	20	20	20
	1,0	1,0	1,4	1000	10	10	14
	0,5	0,5	0,5	1000	5	5	5
Stahl St 37 ohne Rostschutz 2fach gestrichen	14,0	14,0	14,0	5500	26	26	26
	14,0	14,0	14,0	9100*)	16	16	16
Beton	—	0,4	—	40	—	100	—
Mauerwerk	—	0,16	—	90	—	18	—

\*) Dem Preis ist 1 mm dickes Blech mit beidseitigem Rostschutz (1,80 DM/m<sup>2</sup>) zugrunde gelegt.



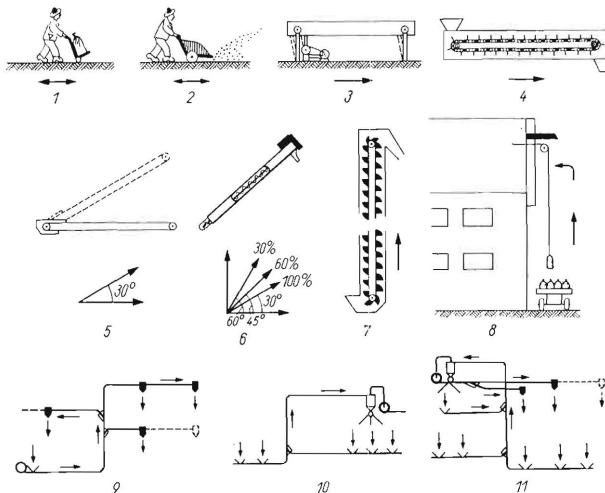
**Bild 17.** Sperrholzbehälter zur Getreidelagerung mit Förderschnecke zur Entleerung des ebenerdig aufgestellten Behälters.

Die raumsparendste Anordnung ergibt sich, wenn rechteckige Hochbehälter aneinander gebaut werden. Der notwendige umbaute Raum kann dann bis auf 2 m<sup>3</sup> je 1 m<sup>3</sup> Behälterraum reduziert werden.

Bei Neubauten wird man deshalb entweder aneinander gebaute Rechteckbehälter aus witterungsbeständigem Material (z. B. Beton), die gleich die gemeinsame Dachkonstruktion tragen, oder einzelne Rundbehälter aus wetterfesten Baustoffen (z. B. Aluminium) mit je einem Einzeldach erstellen. Bei der letzteren Lösung muß allerdings in Kauf genommen werden, daß auch die Beschickung und Entnahme solcher Einzelbehälter im Freien durchgeführt werden muß.

### Fördergeräte

Bauliche Gestaltung der Anlagen und das erforderliche Fördergerät bedingen sich gegenseitig, da für jedes Fördergerät ein günstigster Einsatzbereich gegeben ist, **Bild 18**. So werden lange und gewundene Förderwege, wie sie z. B. bei allen Flachspeichern und Bodenbelüftungsanlagen gegeben sind, am besten mit einem Fördergebläse überwunden, sei es nun ein Druckgebläse (eine Annahme- und mehrere Abgabestellen), ein Sauggebläse (mehrere Annahme- und eine Abgabestelle) oder ein kombiniertes Saug-Druck-Gebläse (mehrere Annahme- und Abgabestellen).



**Bild 18.** Günstigster Einsatzbereich der verschiedenen Fördergeräte.

- 1 Sack-Karre bei horizontalem Sacktransport
- 2 Roll-Schaufel bei horizontalem Transport von losem Getreide
- 3 Schüttelrinne bei horizontalem Förderweg
- 4 Trogkettenförderer bei horizontalem Förderweg
- 5 Förderband bei horizontalem und bis zu etwa 30° geneigtem Förderweg
- 6 Förderschnecke bei kurzem, geradem Förderweg
- 7 Elevator bei vertikalem Förderweg
- 8 Sack-Aufzug bei vertikalem und schrägem Sacktransport
- 9 bis 11 Fördergebläse bei langem, gewundenem Förderweg
- 9 Druckgebläse bei einer Annahmestelle und mehreren Abgabestellen
- 10 Sauggebläse bei mehreren Annahmestellen und einer Abgabestelle
- 11 Kombiniertes Saug- und Druckgebläse bei mehreren Annahme- und mehreren Abgabestellen

Für kurze, gerade steigende Förderwege, wie sie auch bei Behälteranlagen bis zu 4 m Höhe auftreten können, wird am zweckmäßigsten eine Förderschnecke eingesetzt. Ist die Förderschnecke zerlegbar, so eignet sie sich auch zur Entleerung der ebenerdig aufgestellten Behälter. — Sind lange, senkrechte Förderwege zu überwinden, wie dies z. B. bei aneinandergebauten Rechteckanlagen der Fall ist, so ist dem Elevator der Vorzug zu geben. Der Einsatz des Elevators setzt voraus, daß über den Behältern genügend Höhe zur Verfügung steht, so daß das Getreide vom Auslauf des Elevators durch schräge Rohre zu allen Behältern gelangen kann. — Für waagerechte oder leicht geneigte Förderwege kommen Trogkettenförderer, Schnecken, Schüttelrinnen oder Förderbänder in Frage.

**Wirtschaftlichkeit**

Nach den durch das Getreidepreisgesetz 1961 festgesetzten Abzügen und Zuschlägen für Wassergehalte über 16,4% bzw. unter 15% und dem monatlichen Anstieg des Mindestpreises ist die Aufwandsgrenze [4] für die hofeigene Trocknung und Lagerung gegeben. Sie beträgt für die Trocknung 1,3 bis 1,8 DM/dz, bezogen auf das von 20% auf 14% Wassergehalt getrocknete Getreide. Zieht man von dem monatlichen Anstieg des Mindestpreises von 0,45 DM/dz die Verzinsung des Geldwertes des lagernden Getreides ab, so bleiben für die Deckung der Lagerkosten 0,3 DM/dz und Monat.

Rechnet man mit den in **Tafel 5** angegebenen Festkosten für Gebäude, Behälter und Maschinen, so ergeben sich für die in **Bild 19** dargestellte Schrägbodenbehälteranlage mit Lagerbehältern aus Sperrholz folgende Kosten:

Trocknungskosten	0,81 DM/dz	} 2,43 DM/dz
Lagerkosten im Schrägbodenbehälter	1,62 DM/dz	
Lagerkosten im Sperrholzbehälter	0,69 DM/dz	

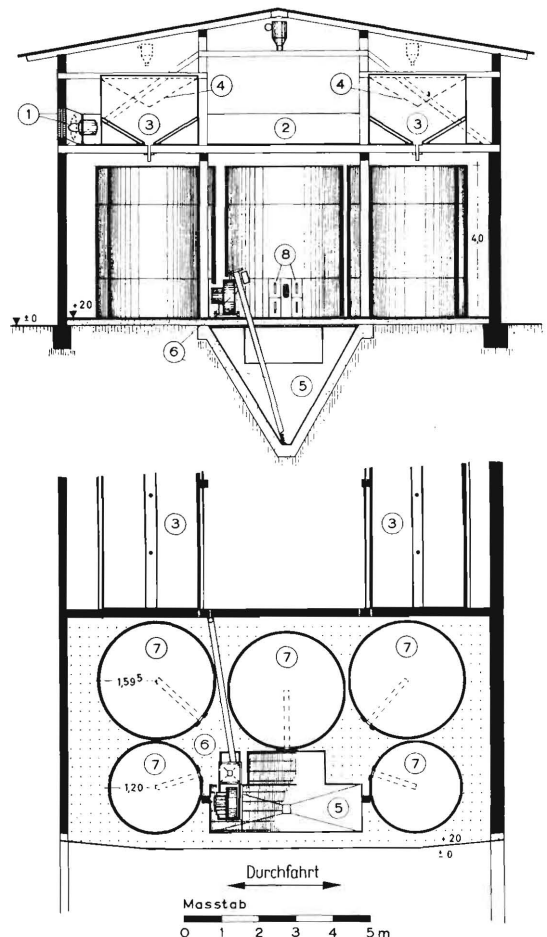
Die im Betrieb entstehenden Kosten für die Lagerung in den Sperrholzbehältern sind also durch eine 2 1/3 monatige Lagerung gedeckt, während bei der Trocknung ein Gewinn von durchschnittlich 0,7 DM/dz erzielt wird. Die verhältnismäßig hohen Lagerkosten für das in den Schrägbodenbehältern eingelagerte Getreide werden durch den großen umbauten Raum, den derartige Anlagen bedingen, verursacht. Nimmt man die Trock-

**Tafel 5.** Festkosten der verschiedenen Betriebsmittel in % des Neuwertes.

Betriebsmittel	Ab-schreibung	Verzinsung	Versicherung u. Reparaturen	Festkosten
Gebäude	3%	3,5%	0,5%	7,0%
Behälter	5%	3,5%	0,5%	9,0%
Maschinen und Geräte	10%	3,5%	1,0%	14,5%

nungs- und Lagerkosten zusammen, so sind auch die Kosten von 2,43 DM/dz durch die Trocknung und eine 3monatige Lagerzeit gedeckt. Jeder weitere Monat Lagerzeit führt dann zu einem Gewinn von 0,3 DM/dz.

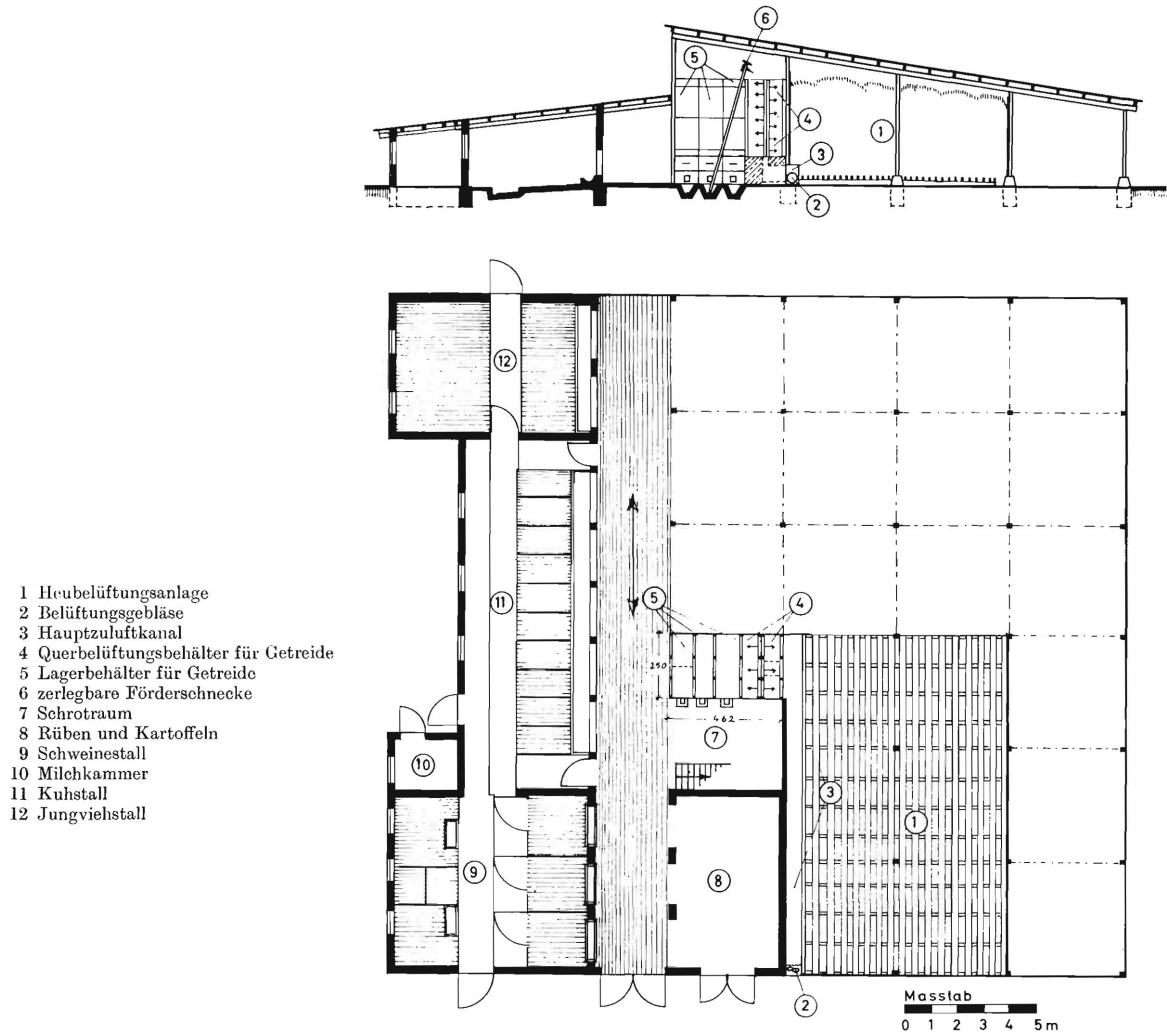
In **Bild 20** ist dargestellt, wie eine Getreidebehälteranlage in einen neu erstellten Aussiedlungshof eingeordnet werden kann. Um möglichst wenig umbauten Raum zu benötigen, kommen für die Lagerung rechteckige, aneinandergebaute Behälter und für die Trocknung ebensolche Querbelüftungsbehälter in Betracht. Da der betreffende Betrieb nur eine Getreidefläche von 10 ha mit Hilfe des Lohnmähreschers abzuernten hat, wurden zwei Querbelüftungsbehälter mit 3 m Höhe vorgesehen. An demselben Belüftungsgebläse und Hauptzuluftkanal sind sowohl die Heubelüftungsanlage als auch die Getreidetrocknung ange-



**Bild 19.** Ausnutzung vorhandener Gebäude durch Schrägboden-Belüftungsbehälter zur Getreidetrocknung und zylindrische Hochbehälter zur Getreidelagerung.

- 1 Belüftungsgebläse mit Wärmeaustauscher, der an der Wohnhausheizung angeschlossen ist
- 2 Hauptzuluftkanal
- 3 Schrägbodenbehälter
- 4 Getreideoberfläche
- 5 Annahmegrube mit Rostabdeckung
- 6 Beschickung mit Fördergebläse und Förderschnecke
- 7 Rundbehälter zur Getreidelagerung
- 8 Einstiegluke mit Entnahmerohr für Förderschnecke





- 1 Heubelüftungsanlage
- 2 Belüftungsgebläse
- 3 Hauptzuluftkanal
- 4 Querbelüftungsbehälter für Getreide
- 5 Lagerbehälter für Getreide
- 6 zerlegbare Förderschnecke
- 7 Schrotraum
- 8 Rüben und Kartoffeln
- 9 Schweinestall
- 10 Milchkammer
- 11 Kuhstall
- 12 Jungviehstall

**Bild 20.** Einbau einer Querbelüftungsbehälteranlage mit rechteckigen Lagerbehältern in einem Aussiedlungshof bei gleichzeitiger Nutzung des Lüfters auch zur Unterdachtrocknung von Heu.

geschlossen. Die Beschickung und Entnahme der ebenerdig aufgestellten Behälter erfolgt mit einer Förderschnecke. Infolge der Mehrfachverwendung des Lüfters betragen in diesem Fall die Trocknungskosten nur 0,46 DM/dz. Die Lagerkosten von 1,34 DM/dz werden durch eine 4½monatige Lagerzeit gedeckt. Faßt man wieder die Trocknungs- und Lagerkosten zusammen, so ist schon nach einer ein- bis zweimonatigen Lagerzeit der Eigenaufwand gegenüber den Abzügen und Reports gedeckt.

Bei Beachtung der hier geltend gemachten Gesichtspunkte ist eine wirtschaftliche Gestaltung hofeigener Belüftungstrocknungs- und Lageranlagen für Getreide durchaus möglich. Derartige Anlagen stellen deshalb die betriebsnotwendige Ergänzung des Mäh- oder Hoferntedrusches dar. Besonders wirtschaftliche Vorteile können durch die Mehrfachanwendung der Anlagen auch zur Trocknung von Sämereien, Raps und Hülsenfrüchten sowie Mehrfachverwendung des Lüfters zur Belüftungstrocknung von Heu oder Belüftungskühlung von Kartoffeln und die Mehrfachanwendung der Wohnhausheizung auch für die Anwärmung der Belüftungsluft erzielt werden.

**Schrifttum**

[1] Wenner, H. L.: Die Voraussetzungen für die Lagerung und Belüftung von feucht geerntetem Mähdruschgetreide. Diss. Univ. Bonn 1954. (s. a. Ber. über Landtechn. Heft 45, Verlag H. Neureuter, Wolfratshausen bei München 1955).

[2] Daiber-Kuhnke, U.: Das Feuchtigkeitsgleichgewicht von Luft und Getreide bei der Behältertroeknung. Landtechn. Forsch. 9 (1959) Nr. 4, S. 106/11.

[3] Klimaatlas von Hessen. Deutscher Wetterdienst, Bad Kissingen 1949/50.

[4] Rist, M.: Bauweisen und Kosten von Anlagen zur Belüftungstrocknung und Lagerung von Getreide im landwirtschaftlichen Betrieb. Diss. L. H. Stuttgart-Hohenheim 1962.

[5] Segler, G.: Technische Probleme der Belüftung landwirtschaftlicher Ernteprodukte. Dt. Akademie d. Landw. Wiss. Berlin 1959, Tagungsber. Nr. 22.

[6] Matthies, H. J.: Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. VDI-Forsch. Heft 454. Düsseldorf 1956.

[7] Simons, D.: Untersuchungen über den Strömungswiderstand von Luft und Getreideschüttungen. Diss. T. H. Braunschweig 1954.

[8] Shedd, C. K.: Resistance of grains and seeds to air-flow. Agric. Engng. 34 (1953) Nr. 9, S. 610/19.

[9] Aus, K., und Time: Motstand mot loft ström in trøkeanlegg for korn. Landsbruksteknisk Institutt, Vollebakk/Norwegen. Forskmelding 5/1960, S. 7/11.

[10] Janssen, H. A.: Versuche über Getreidedruck in Silozellen. VDI-Z. 39 (1895) Nr. 35, S. 1045/49.

[11] Theimer, O.: Vereinfachte Berechnung von Getreidedrücken in Silozellen. Müllerei 6 (1944) Nr. 44.

[12] Reimbert, M.: Surpression dans les silos lors de la vindage. Travaux 38 (1954) Nr. 11, S. 780/84.

[13] Luft, E.: Druckverhältnisse in Silozellen. 2. Auflage, Berlin 1920.