

# Zur Trocknung mit Hilfe der Kaltbelüftung

Dr.-Ing. B. Neubüser, KDT

## Verwendete Formelzeichen

A	m <sup>2</sup>	Fläche
b	m	Breite
c <sub>pG</sub>	kJ/kg · K	spezifische Wärmekapazität des Gutes
c <sub>pL</sub>	kJ/kg · K	spezifische Wärmekapazität der Luft
d	m	Durchmesser
h	m	Höhe
l	m	Länge
m <sub>G</sub>	kg	Masse des Gutes
m <sub>L</sub>	kg/s	Massestrom der Luft
Nu		Nusselt-Zahl
Pr		Prandtl-Zahl
Re		Reynolds-Zahl
t	s	Zeit
t*	s	Zeitkonstante
u		normierte Gutfeuchtigkeit
V	m <sup>3</sup>	Volumen
v <sub>L</sub>	m <sup>3</sup> /t · h	spezifischer Luftvolumenstrom
w <sub>L</sub>	m/s	Luftgeschwindigkeit im leer gedachten Querschnitt
X	kg H <sub>2</sub> O/kg TS	Gutfeuchtigkeit
X'	kg H <sub>2</sub> O/kg TS	Anfangsgutfeuchtigkeit
X*	kg H <sub>2</sub> O/kg TS	Gleichgewichtsgutfeuchtigkeit
Y	kg H <sub>2</sub> O/kg Luft	Luftfeuchte
Y <sub>A</sub>	kg H <sub>2</sub> O/kg Luft	Luftfeuchte beim Austritt aus der Schüttung
Y <sub>S</sub>	kg H <sub>2</sub> O/kg Luft	Sättigungsluftfeuchte
Y <sub>∞</sub>	kg H <sub>2</sub> O/kg Luft	Luftfeuchte in der Kernströmung
Y <sub>∞'</sub>	kg H <sub>2</sub> O/kg Luft	Anfangsluftfeuchte in der Kernströmung
α	W/m <sup>2</sup> · K	Wärmeübergangskoeffizient
β	°	Schüttwinkel
ε		normierte Luftfeuchte
θ	°C	Temperatur
θ̄	°C	Temperaturmittelwert
Δθ <sub>G</sub>	°C	Differenz von θ = θ (t = 0) zu Beginn der Belüftung und θ = θ <sub>∞</sub> nach Abschluß des Kühlvorgangs
θ <sub>L</sub>	°C	Lufttemperatur
θ <sub>∞</sub>	°C	Umgebungstemperatur
λ	W/m · K	Wärmeleitfähigkeit
ν	m <sup>2</sup> /s	kinematische Zähigkeit
ξ		dimensionslose Schütthöhe
ρ <sub>G</sub>	kg/m <sup>3</sup>	Gutdichte
ρ <sub>S</sub>	kg/m <sup>3</sup>	Schüttdichte
ρ <sub>S∞</sub>	kg/m <sup>3</sup>	Lagerungsdichte
τ		normierte Zeit
φ	%	relative Luftfeuchte
φ̄	%	mittlere relative Luftfeuchte
ψ		normierte Trocknungsgeschwindigkeit

## 1. Problematik

Die Lagerung landwirtschaftlicher Schüttgüter ist in vielen Fällen ohne eine ausreichende Belüftung über einen längeren Zeitraum nicht möglich. Es ist üblich, den geforderten Luftvolumenstrom natürlicher Außenluft spezifisch anzugeben. Nach [1] wird für kompaktierte Futtermittel, speziell Trockenrindgütpellets, ein Wert von v<sub>L</sub> = 40 bis

60 m<sup>3</sup>/t · h gefordert. Somit ist der Luftvolumenstrom unabhängig von der Schütthöhe. Betrachtet man Lagerungshöhen bis zu 5 m, wie sie nach [2, 3] für Pellets zulässig sind, so ergäben sich Luftgeschwindigkeiten von etwa 0,04 m/s im leer gedachten Strömungsquerschnitt. Die Belüftung ist hauptsächlich zur Abkühlung der Schüttung auf Temperaturen θ = θ<sub>∞</sub> erforderlich. Wird vorausgesetzt, daß die eintretende Luft nach kurzem Strömungsweg die gleiche Temperatur wie das Gut annimmt, so werden in Gl. (1) die Differenzen der Temperaturen des Gutes und der Luft gleich sein:

$$m_G c_{pG} \Delta \theta_G = m_L c_{pL} \Delta \theta_L \quad (1)$$

Über die Lagerungsdichte von Pellets von ρ<sub>S∞</sub> ≈ 500 kg/m<sup>3</sup> [4] läßt sich der Massestrom der Luft nach Gl. (2) berechnen:

$$m_L = v_L \rho_S m_G \quad (2)$$

Gl. (2) in Gl. (1) eingesetzt, ergibt unabhängig von der zu überwindenden Temperaturdifferenz und der Schütthöhe eine Abkühlzeit bei gleichmäßiger Durchströmung der gesamten Schüttung von t = 30...20 h. Nach dieser Zeit ist die Temperatur des Stapels auf θ ≤ θ<sub>∞</sub> abgesunken. Findet bei der Kühlung gleichzeitig ein Trocknungsvorgang statt, so ist die Temperatur in der Schüttung niedriger als die der eingeblasenen Luft, da die Trocknung adiabatisch verläuft.

Aus der Kenntnis der Sorptionsisotherme (Bild 1) und des Zusammenhangs zwischen Gutfeuchtigkeit und Lagerdauer (Tafel 1) kann abgeleitet werden, daß bei relativen Luftfeuchtigkeiten φ < 70% im Durchschnitt stets ein Trocknungsvorgang stattfindet, der bei vollständiger Absenkung der Gutfeuchtigkeit in der Schüttung einen „länger lagerfähigen“ Zustand zur Folge hat [5]. Betrachtet man die meteorologischen Daten der Jahre 1978 bis 1982 der Wetterdienststelle Neubrandenburg [6], so ergeben sich für die hier zu berücksichtigenden Monate September und Oktober aber 162 h bzw. 78 h, bei denen φ < 70% ist. Das Trocknungspotential der Luft wird demnach nicht vollständig ausgenutzt, wenn lediglich für die Zeit der Kühlung die Belüftungstechnik eingesetzt wird. Zu prüfen ist also, ob bei Einhaltung der angegebenen Randbedingungen allein durch die Erhöhung der Betriebsstundenanzahl der Lüfter (bei φ < 70%) eine Trocknung in der gesamten Schüttung stattfindet, die eine Energieeinsparung bei der technischen Trocknung zur Folge haben würde.

## 2. Theoretische Grundlagen der Berechnung der Trocknung

Für die Berechnung der Trocknung wurde die dimensionslose Darstellung dieses Vorgangs nach Militzer [7] aufgrund folgender Aspekte herangezogen:

- Der experimentelle Aufwand infolge Normierung (nach Durchführung des klassischen kinetischen Experiments) vermindert sich drastisch.
- Die Stoffeigenschaften (Pellets sind hygroscopisch, s. Bild 1) über Versuche unter

konstanten äußeren Bedingungen werden sehr gut erfaßt.

In [7] wird gezeigt, daß die Kurven X = X(t) für gleiches Gut und gleiche Art der Trocknung, in diesem Fall Konvektionstrocknung, geometrisch ähnlich sind. Ist eine Trocknungskurve bestimmt und von einem zweiten Vorgang bekannt, daß er unter gleichen Bedingungen abläuft, ausgenommen eines Parameters, z. B. der Luftgeschwindigkeit (also der Intensitätskoeffizienten), so gilt nach Gl. (3):

$$\frac{(-dX/dt)_1}{(-dX/dt)_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (3)$$

Für die Trocknung während der Lagerung ist der 2. Trocknungsabschnitt kennzeichnend, d. h., die Trocknungsgeschwindigkeit nimmt mit fortschreitender Trocknung ab. Folgende Normierung vereinfacht die Berechnung wesentlich (nach [7]):

- normierte Gutfeuchtigkeit

$$u = \frac{X - X^*}{X' - X^*} \quad (4)$$

- normierte Zeit

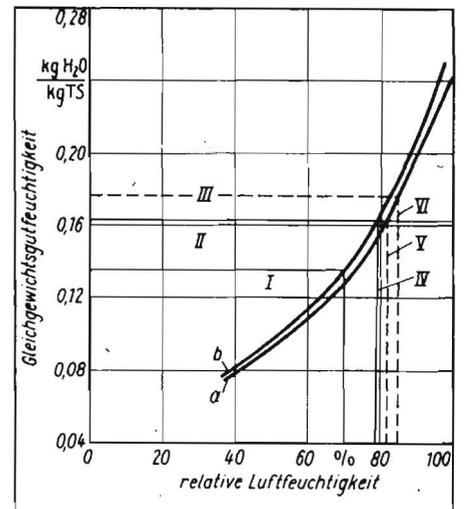
$$\tau = t/t^* \quad (5)$$

X\* stellt dabei den Gutfeuchtigkeitswert dar, der sich nach theoretisch unendlich langer Zeit entsprechend dem Umgebungszustand einstellen wird. Die Bestimmung von t\* ist aus Bild 2 ersichtlich. Damit ergibt sich die normierte Trocknungsgeschwindigkeit ψ unter konstanten äußeren Bedingungen [7] zu

$$\psi = -\frac{du}{d\tau} = \frac{dX/dt}{(dX/dt)^*} \quad (6)$$

Die Abhängigkeit ψ = ψ(u) kann für die Berechnung der Trocknung von Pellets bei Belüftung mit natürlicher Außenluft durch die

Bild 1. Sorptionsisotherme für Strohpellets; a NaOH-Strohpellets (70% Stroh, 19% Getreide, 8% Trockenschnitzel, 2% Harnstoff, 1% Na als NaOH) b Strohpellets (70% Stroh, 15% Getreide, 15% Trockenschnitzel) I, IV länger lagerfähig, II, V begrenzt lagerfähig, III, VI nicht lagerfähig



Tafel 1. Gutfeuchtigkeitsgrenzwerte für die Lagerung von Pellets ohne Belüftung

Gutfeuchtigkeit	Bemerkung
< 0,136 kg H <sub>2</sub> O/kg TS	länger lagerfähig
0,136...0,163 kg H <sub>2</sub> O/kg TS	begrenzt lagerfähig
> 0,163 kg H <sub>2</sub> O/kg TS	nicht lagerfähig

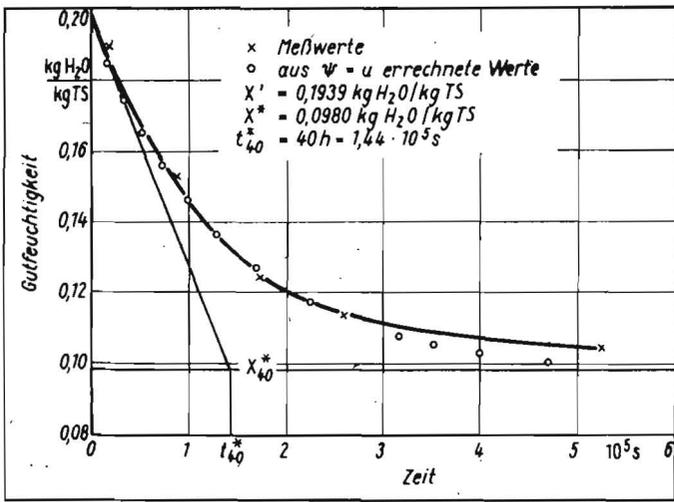


Bild 2. Bestimmung der Zeitkonstante  $t^*$  aus dem Gutfeuchtigkeits-Zeit-Verhalten  $X = X(t)$  bei einer Luftgeschwindigkeit  $w_L = 0 \text{ m/s}$

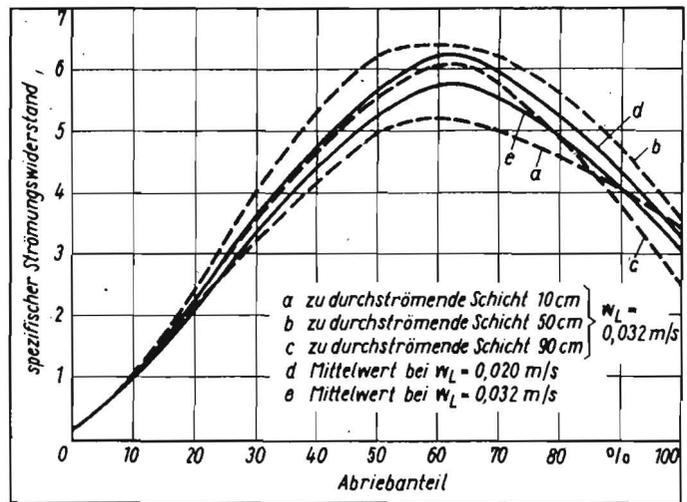


Bild 5. Spezifischer Strömungswiderstand bei veränderlichem Abriebsanteil (Bezugsgröße: Strömungswiderstand bei 10% Abrieb)

Gl. (7)  $\psi = u$  ausreichend genau beschrieben werden. Bild 3 gibt diesen Zusammenhang wieder und verdeutlicht die Abweichungen von Meßwerten, die bei Luftgeschwindigkeiten  $w_L = 0 \text{ m/s}$  aufgenommen wurden. Bild 4 erläutert die „Wasserbilanz um ein Volumenelement des Festbettes über das Zeitelement  $dt$ “ (nach [7]):

$$-\frac{\dot{m}_G}{V} \partial l \partial b \partial h \partial X$$

$$= \frac{\dot{m}_L}{A} \partial l \partial b \partial Y \partial t = -\rho_G \partial h \frac{\partial X}{\partial t}$$

$$= \frac{\dot{m}_L}{A} \partial Y \quad (8)$$

In dimensionsloser Form ergibt Gl. (8):

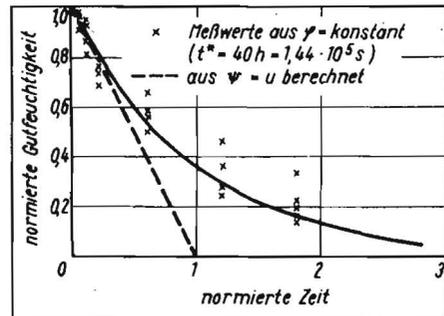
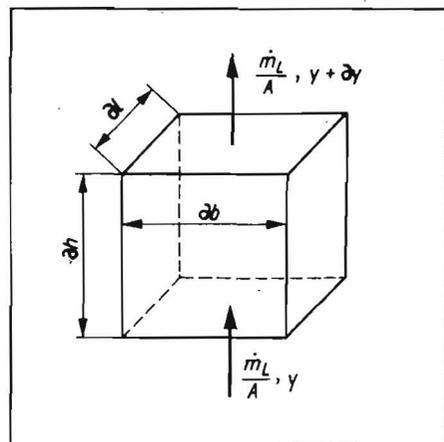


Bild 3. Normierte Trocknungsverlaufskurve für Strohpellets

Bild 4. Volumenelement der durchströmten Schüttung (nach [7]):



$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \xi} = \frac{\partial u}{\partial \tau} \quad (9)$$

Dabei wurden mit der Beziehung (10) alle übrigen Größen in einem dimensionslosen Ausdruck für die Schichthöhe zusammengefaßt [7]:

$$\partial \xi = \frac{\rho_G (X' - X^*)}{t^* \frac{\dot{m}_L}{A} (Y_s - Y_\infty)} \partial h$$

$$= \frac{\rho_G (X' - X^*)}{\rho_L (Y_s - Y_\infty) \omega_L} \frac{\partial h}{t^*} \quad (10)$$

Man kann die dimensionslose Trocknungsgeschwindigkeit bei veränderlichem Luftzustand mit der üblichen Näherung von

$$-\frac{du}{d\tau} = \varepsilon \psi \quad (11)$$

berechnen, wobei  $\varepsilon$  das dimensionslose Trocknungspotential der Luft darstellt und die veränderliche Luftfeuchte  $Y_\infty$  infolge der Stromführung von Gut und Trockenmittel [7] erfaßt und mit Hilfe einer Bilanz ermittelt wird:

$$\varepsilon = \frac{Y_s - Y_\infty}{Y_s - Y_\infty} \quad (12)$$

Gl. (11) mit Gl. (9) gekoppelt, ergibt die partielle Differentialgleichung

$$\frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} - \frac{1}{\psi} \frac{\partial \psi}{\partial \xi} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \psi \frac{\partial u}{\partial \tau} = 0 \quad (13)$$

Deren Lösung lautet [7]:

$$d\xi = \frac{du}{(1-u)\psi} \quad (14)$$

Für den durch Gl. (7) festgelegten Ablauf der Trocknung gelangt Militzer [7] zu der Lösung:

$$u(\xi, \tau) = \frac{e^\xi}{e^\tau + e^\xi - 1} \quad (15)$$

### 3. Trocknung unter Laborbedingungen

Das im Bild 2 dargestellte Gutfeuchtigkeits-Zeit-Verhalten von Pellets bei einer Luftgeschwindigkeit  $w_L = 0 \text{ m/s}$  wurde für 5 verschiedene Luftfeuchtigkeiten ( $\varphi = 40, 50, 60, 70, 80\%$ ) aufgenommen. Dabei wurde in Exsikkatoren mit unterschiedlich konzentrierter Schwefelsäure die entsprechende Luftfeuchtigkeit festgelegt und der Masseverlust der eingelagerten Pellets durch Auswiegen auf einer Präzisionswaage außerhalb des Exsik-

kators bestimmt. Dabei ergab sich eine mittlere Zeitkonstante  $t^* = 40 \text{ h}$ . Im Bild 3 sind die Meßwerte mit dem berechneten Verlauf der Trocknung entsprechend dem Ansatz  $\psi = u$  verglichen. In Anbetracht der möglichen großen Schwankungsbreite der einzelnen Einflußgrößen auf das Trocknungsverhalten muß die Übereinstimmung als gut bezeichnet werden. Nach Krischer [8] ist bei  $w_L = 0 \text{ m/s}$  die dimensionslose Kennzahl für Kugeln

$$Nu = \frac{\alpha \frac{\pi}{2} d}{\lambda} = \pi \quad (16)$$

Wird die Luftgeschwindigkeit erhöht, so ergibt sich zur Bestimmung der Intensitätskoeffizienten  $\alpha$

$$Nu = \pi + 0,75 \sqrt{Re} \sqrt[3]{Pr} \quad (17)$$

Die Gl. (17) wurde von Ranz (in [8]) für Einzelkugeln und Schüttungen wie folgt ermittelt:

$$Re = \frac{w_L \frac{\pi}{2} d}{\nu} < 10^4 \frac{2}{\pi} \quad (18)$$

An einem Versuchsstand wurden Trocknungsversuche mit  $w_L = 0,011 \dots 0,040 \text{ m/s}$  durchgeführt. Da dieser Vorgang über einen Zeitraum von mehr als 30 h betrachtet wurde, kann angenommen werden, daß die Gutfeuchtigkeit der von der Luft angeströmten Gutschicht mit der eintretenden Luft im Gleichgewicht steht (entsprechend den Sorptionsisothermen im Bild 1). Weiter wird angenommen, daß die Luft, die aus der Schüttung austritt, mit der Gutfeuchtigkeit der obersten Schicht im Sorptionsgleichgewicht steht. Die Gutfeuchtigkeiten wurden zu Beginn und nach Abschluß des Versuchs bestimmt. Beim Auslagern wurden schichtweise Proben genommen und im Trockenschrank die enthaltenen Wassermassen ermittelt.

### 4. Belüften und Trocknen unter den Bedingungen der Praxis

Um auch ein kurzzeitiges Befeuchten über den „länger lagerfähigen“ Zustand hinaus zu verhindern, wird eine Belüftung bei  $\varphi > 70\%$  nicht zugelassen. Nach [6] standen dann in den Jahren 1978 bis 1982 im Durchschnitt im September 162 h ( $\bar{\varphi} = 58,1\%$ ,  $\bar{\vartheta} = 16,4^\circ\text{C}$ ) und im Oktober 78 h ( $\bar{\varphi} = 60,7\%$ ,  $\bar{\vartheta} = 12,5^\circ\text{C}$ ) für die Trocknung zur Verfügung. Die Abhängigkeit des Trocknungserfolgs von Witte-

rungeinflüssen ist die Ursache für die Unsicherheit des Gesamtverfahrens. Da die Temperatur in der Schüttung aber bei Einhaltung der agrotechnischen Forderungen (ATF) [1] in kurzer Zeit (20 bis 30 h) auf Umgebungszustand bzw. darunter (bei Trocknung) gekühlt werden kann, ist eine qualitätsgerechte Lagerung auch in Jahren mit hohen relativen Luftfeuchtigkeiten gewährleistet, allerdings mit erhöhtem Aufwand an elektrischer Energie für den Antrieb der Axialventilatoren.

Aufbauend auf Berechnungsgleichungen und getroffene Annahmen kann man bei Einhaltung der ATF [1] folgende Ausgangsbedingungen zu Beginn des Belüftens mit dem Ziel der Nachtrocknung formulieren:

- Die Pellets werden mit einer Feuchtigkeit von  $X' > 0,136 \text{ kg H}_2\text{O/kg TS}$  eingelagert. Die Temperatur beträgt  $\vartheta = \vartheta_0 + 10 \text{ K}$  [1]. Damit ist der Luftaustrittszustand für die Zeit der Kühlung und Trocknung sowie für die Dauer des reinen Trocknungsvorgangs eindeutig bestimmt.
- Der Lufteintrittszustand sei entsprechend den meteorologischen Daten im September und Oktober konstant. Damit ist der Gutfeuchtigkeitsgleichgewichtszustand zur eintretenden Luft bekannt.
- Befeuchtung und Trocknung bei  $\phi < 70\%$  verlaufen mit gleichen Geschwindigkeiten.

Als Beispiel sei hier eine Schüttung von Pellets mit einer Schütthöhe von 5 m betrachtet. Dabei ergibt sich folgender Berechnungsgang:

- Bestimmung der Luftgeschwindigkeit im leer gedachten Querschnitt bei gleichmäßiger Durchströmung des gesamten Stapels ( $w_L = 0,04167 \text{ m/s}$ )
- Bestimmung der Zeitkonstanten  $t^*$  für die zu trocknende Schüttung ( $t^* = 11,8 \text{ h}$ )
- Festlegung der Gut- und Luftzustände
  - $t = 0$
  - $X' = 0,140 \text{ kg H}_2\text{O/kg TS}$
  - $X^* = 0,110 \text{ kg H}_2\text{O/kg TS}$  (September)
  - $X^* = 0,114 \text{ kg H}_2\text{O/kg TS}$  (Oktober)
  - $Y_{s0} = 0,00685 \text{ kg H}_2\text{O/kg Luft}$  (September)
  - $Y_{s0} = 0,00550 \text{ kg H}_2\text{O/kg Luft}$  (Oktober)
  - $Y_A = 0,00985 \text{ kg H}_2\text{O/kg Luft}$  (September)
  - $t \geq 20 \text{ h}$  (bei  $v_L = 60 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$  nach erfolgter Abkühlung der Schüttung)
  - $Y_A = 0,00755 \text{ kg H}_2\text{O/kg Luft}$  (September)
  - $Y_A = 0,00605 \text{ kg H}_2\text{O/kg Luft}$  (Oktober).

Die absoluten Luftfeuchtigkeitswerte würden entsprechend der relativen Luftfeuchte und der Temperatur aus dem Mollier-h,x-Diagramm bestimmt.

Wird das gesamte Trocknungspotential der Luft der Monate September und Oktober zur Nachtrocknung der Schüttung ausgenutzt, so ist schon bei der sehr gering angenommenen Guteintrittsfeuchtigkeit  $X' = 0,140 \text{ kg H}_2\text{O/kg TS}$  nur eine Schütthöhe von 2,7 m zu trocken. Höhere Gutfeuchtigkeiten  $X'$  haben zur Folge, daß die durch Belüftung mit natürlicher Außenluft erreichte Höhe der Trocknungszone in der Schüttung geringer wird.

Eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit bzw. ein Verkleinern der Schütthöhe wird nicht den gewünschten Erfolg in bezug auf die Trocknung erbringen, weil dann der Lüfter nicht mehr im Bereich seiner Kennlinie arbeitet. Voraussetzung ist allerdings, daß der Lüfter so für die Lagerhalle mit Unterflurbelüftung ausgelegt ist, daß er bei Einhaltung der Parameter der Geometrie der Schüttung gerade den entsprechend ATF [1] geforderten spezifischen Luftvolumenstrom realisiert.

Soll auf jeden Fall eine Nachtrocknung durch Kaltbelüftung erreicht werden, so muß die Belüftungstechnik speziell dafür ausgelegt werden. Die Forderung nach einer Lufrate von  $60 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$  ist für diesen Zweck zu gering bemessen und kann daher keine Einsparung an Energie bei der technischen Trocknung bewirken.

## 5. Beschickung von Hallen mit Unterflurbelüftung

Voraussetzung für eine Trocknung durch Kaltbelüftung ist aber auch bei höheren Lufraten als  $60 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$  eine gleichmäßige Durchströmung des gesamten gelagerten Schüttgutes. Diese Gleichmäßigkeit ist vom Lüftertyp, vor allem aber von der Zuordnung von Schüttungsform und -homogenität zur entsprechenden Anordnung der Lüftungskanäle (Länge des Kanals/zubelüftende Länge; Kanalbreite/zubelüftende Breite je Kanal), abhängig. Entsprechend [4] gelten diesbezüglich z. Z. folgende Projektierungsrichtlinien:

- Einhaltung der maximal zulässigen Schütthöhe von 5 m, die möglichst gleichmäßig für den gesamten Lagerstapel zu gewährleisten ist
- Der Abstand von Kanalkante zu Kanalkante sollte nicht größer als die Schütthöhe sein. Der Kanal sollte vor dem Stapelende im Abstand von 1 Schütthöhe, vor einer Wand im Abstand von  $\frac{1}{2}$  Schütthöhe enden bzw. im Abstand von  $\frac{1}{2}$  Schütthöhe neben einer Wand liegen.

Die auftretenden Schüttungsformen lassen sich in folgende drei Grundfälle unterscheiden [9]:

- rechteckige Schüttform
- rechteckige Schüttform mit seitlichen Abschragungen (entsprechend dem Schüttwinkel  $\beta$ )
- dreieckige Schüttformen mit und ohne seitliche Begrenzungen.

Da die Schütthöhe jeweils die senkrechte Entfernung zwischen dem höchsten Punkt der Schüttung und dem Boden darstellt, ergibt sich zwangsläufig, daß die Belüftung nicht in allen Fällen gut sein kann (entsprechend den gültigen Projektierungsrichtlinien).

Besteht das zu belüftende Gut aus Elementen, die in Form und Größe einander entsprechen, wird der Durchströmungswiderstand an allen Orten der Schüttung gleich groß sein. Gibt es jedoch eine Verteilung in bezug auf die geometrischen Abmessungen oder die Massen der Einzelteilchen, so ist es sehr wahrscheinlich, daß bei einem stationären Beschickungsverfahren eine Entmischung auftritt.

Eine solche Erscheinung ist bei Trockenfütterpellets festzustellen. Eigene Untersuchungen an diesem Fütterstoff zeigten, daß der Strömungswiderstand vom Abriebanteil und von der Luftgeschwindigkeit abhängig ist. Bezieht man diese Werte auf den Widerstandswert, der bei einer Schüttung mit 10% Abriebanteilen entsteht, so erhält man die im Bild 5 dargestellten Funktionen. Zusammenfassend ergeben sich daraus folgende Empfehlungen für Lagerstätten mit Unterflurbelüftung:

- homogene Schüttungen
- Es sollten die bereits oben erwähnten Projektierungsrichtlinien eingehalten werden. Im allgemeinen hilft die folgende Faustregel, einen guten Belüftungserfolg zu erreichen: Jeder mögliche Weg eines

Luftteilchens durch die Schüttung sollte möglichst gleichlang sein.

- inhomogene Schüttungen
- Entmischungsvorgänge verschlechtern in jedem Fall das Belüftungsergebnis. Tritt eine Veränderung des Strömungswiderstands wie bei Trockenfütterpellets mit Strohanteilen auf, d. h., wird der Strömungswiderstand im Zentrum des entstehenden Abwurfkegels größer als in weiter entfernten Punkten, so muß die Beschickung des Lagers immer so vorgenommen werden, daß sich der Abwurfpunkt zu jedem Zeitpunkt über dem jeweiligen Belüftungskanal befindet. Verhält sich der Strömungswiderstand genau umgekehrt, so muß sich der Abwurfpunkt zu jedem Zeitpunkt genau zwischen zwei Belüftungskanälen befinden.

## 6. Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird, ausgehend von der agrotechnischen Forderung nach einer Lufrate von  $60 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$ , die Abkühlzeit einer Pellettschüttung auf Temperaturen  $\vartheta = \vartheta_0$  berechnet. Ein Vergleich mit meteorologischen Daten zeigt aber, daß die natürliche Außenluft gegenüber den hygroskopischen Pellets zu wesentlich längeren Zeiten über ein Trocknungspotential verfügt, als es durch die Abkühlvorgänge ausgenutzt wird. Über theoretische Grundlagen der Berechnung der Trocknung, durchgeführte Trocknungsversuche unter Laborbedingungen und Berechnung des Trocknungsverlaufs unter den Bedingungen der Praxis gelangt man aber zu der Schlußfolgerung, daß der realisierte Luftvolumenstrom keine Nachtrocknung während der Lagerung mit Belüftung gewährleisten würde. Ausgehend von eigenen strömungstechnischen Untersuchungen, wird für schüttfähige Futtermittel der Einfluß von möglichen Entmischungsercheinungen auf die Art und Weise der Beschickung eines Lagers mit Unterflurbelüftung kurz erläutert.

## Literatur

- [1] Agrotechnische Forderungen an Anlagen zur Produktion kompakterer Stroh-Konzentrat-Gemische. Forschungszentrum für Mechanisierung Schlieben/Bornim 1977.
- [2] Arbeits- und Brandschutzanordnung 105/3 - Ernte, Transport, Aufbereitung und Lagerung von leicht brennbaren landwirtschaftlichen Erzeugnissen. GBl. Sonderdruck Nr. 646, Ausgabe vom 23. Sept. 1969.
- [3] Anordnung Nr. 1 zur Änderung der ABAO 105/3 vom 2. Aug. 1971. GBl. der DDR Teil II, Nr. 62, vom 18. Aug. 1971.
- [4] Autorenkollektiv: Verfahren der Lagerhaltung von Trockenfütterkomponenten und Teilfertigfüttermitteln auf der Basis vorhandener baulicher Lösungen und Mechanisierungsmittel. Institut für Futterproduktion Paulinenaue, Forschungsbericht 1978.
- [5] Autorenkollektiv: Qualitätsveränderungen bei der Pelletlagerung. Institut für Futterproduktion Paulinenaue, Forschungsbericht 1979.
- [6] Senkpiel, H.: Untersuchungen zum Trocknungsverhalten landwirtschaftlicher Schüttgüter bei der Belüftung. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1983 (unveröffentlicht).
- [7] Militzer, K.-E.: Die Konvektionstrocknung als Triebkraftprozeß. Technische Universität Dresden, Dissertation B 1977.
- [8] Krischer, O.; Kröll, K.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1956.
- [9] Neubüser, B.: Analogieuntersuchungen zur Lagerung von Schüttgütern mit Belüftung. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 10, S.469-471. A 3800