

# Zur Frage des Strömungswiderstandes von Luzerne und luzernehaltigem Dürrfutter in Belüftungsanlagen

Gutsverwaltung und Eidg. Landwirtschaftliche Versuchsanstalt, Liebefeld-Bern

Seit das in Amerika vor rund 20 Jahren eingeführte Verfahren des Fertigrocknens von Dürrfutter unter Dach, die sogenannte Heubelüftung, in Europa Eingang gefunden hat, ist es notwendig geworden, Überlegungen über den Strömungswiderstand nicht nur von Körner- und Erdfrüchten, sondern auch von Dürrfutter und anderen halm- und blattreichen Erntegütern anzustellen. Da das spezifische Hohlraumvolumen, das in Strömungsgleichungen verwendet wird, für Dürrfutter außerordentlich schwer abzuschätzen ist, wurde in den Vereinigten Staaten von verschiedenen Autoren (C. K. Shedd, 1946, A. T. Hendrix, 1946, R. Guillou, 1946, R. B. Davis, 1947 und 1951) versucht, empirische Formeln zu finden, in denen der Strömungswiderstand von Luzerne und luzernehaltigem Dürrfutter in Beziehung zur Luftgeschwindigkeit einerseits und zum Kubikmetergewicht sowie zur Stapelhöhe andererseits gesetzt wurde. Damit sollten dem Konstrukteur von Belüftungsanlagen relativ einfache Formeln für die Berechnungen des Luftbedarfes in die Hand gegeben werden. In Deutschland wurden von H. J. Matthies (1954) in einer umfangreichen Arbeit, die zur Hauptsache Körner- und Erdfrüchte berücksichtigt, auf ähnliche Weise auch für Dürrfutter Gebrauchsformeln aufgestellt. Unter Verwendung der genannten amerikanischen und deutschen Literatur soll im Folgenden eine einfach zu handhabende derartige Gebrauchsformel abgeleitet und zur Diskussion gestellt werden.

R. Guillou, der sich mit den theoretischen Voraussetzungen für die Ableitung von Strömungsgleichungen für Dürrfutter auseinandersetzt, schlägt als Ersatzgröße für das spezifische Hohlraumvolumen das Gewicht der luftgetrockneten Substanz pro Kubikmeter des Dürrfutterstockes vor, das mit  $\gamma_{LTS}$  bezeichnet sei. H. J. Matthies verwendet an dessen Stelle das Kubikmetergewicht der wasserhaltigen Substanz, das von ihm als „Schüttgewicht“ und mit  $\gamma_S$  bezeichnet wird. Als weiteres Maß für das spezifische Hohlraumvolumen wäre auch das Gewicht der Trockensubstanz pro  $m^3$  ( $\gamma_{TS}$ ) zu nennen, das von H. Pallmann (1939) zur Charakterisierung des Setzungs Vorganges nicht belüfteter Dürrfutterstöcke verwendet wird. Welche dieser drei Größen  $\gamma_S$ ,  $\gamma_{LTS}$  oder  $\gamma_{TS}$  als Maß des Hohlraumvolumens geeigneter erscheinen mag, ist eine Frage, die sich unter anderem nach praktischen Gesichtspunkten richten dürfte. Da bei Berechnungen des spezifischen Hohlraumvolumens gelagerter Substanzen allgemein das Kubikmetergewicht  $\gamma_S$  verwendet wird, soll hier der Vorschlag von H. J. Matthies vorgezogen werden. Außerdem ist in  $\gamma_S$  der bei der Durchführung der Belüftung interessierende Wassergehalt inbegriffen.

Auf Grund dieser Erwägungen läßt sich allgemein aussagen, daß der Strömungswiderstand von Dürrfutter je Meter Lagerhöhe  $\Delta p/h$  funktionell von der Luftgeschwindigkeit  $w$  und vom Kubikmetergewicht  $\gamma_S$  abhängig ist:

$$\Delta p/h = f(w^n, \gamma_S^m)$$

Für den Exponenten  $n$  der Luftgeschwindigkeit  $w$  wurden von den genannten Autoren folgende Werte gefunden:

**Tabelle 1: Exponent  $n$  der Luftgeschwindigkeit  $w$  bei Durchströmung von Dürrfutter**

Autor	$n$
C. K. Shedd, 1946	1,30—1,40
A. T. Hendrix, 1946	1,30—1,60
R. B. Davis, 1947	1,40—1,60
H. J. Matthies, 1954	1,54—1,60

A. T. Hendrix schlägt für Dürrfutter als Mittelwert  $n = 1,5$  (=  $3/2$ ), H. J. Matthies  $n = 1,55$  vor. Der Strömungswiderstand von Dürrfutter wächst demnach nicht mit dem Quadrat der Luftgeschwindigkeit, sondern mit einer geringeren Potenz. Dies scheint damit in Zusammenhang zu stehen, daß allgemein bei Durchströmung gelagerter Substanzen mit Luftmengen von 0,05—0,20  $m^3/sec$  pro  $m^2$  Grundfläche der Belüftungsanlage, d. h. mit Luftgeschwindigkeiten von 0,05 bis 0,20  $m/sec$  im „freigedachten Querschnitt“, wie sie für die Heubelüftung verwendet werden, weder eindeutig laminare noch eindeutig turbulente Strömungen, sondern ein breiter Übergangsbereich beider Strömungsformen vorkommt. Bei geringerer Luftgeschwindigkeit und kleinem Widerstandsbeiwert bzw. Reynold'scher Zahl  $Re$ , d. h. bei laminarer Strömung wäre  $\Delta p/h$  von der Luftgeschwindigkeit linear ( $n = 1$ ), bei höherer Luftgeschwindigkeit und größerem  $Re$  (turbulente Strömung) dagegen vom Quadrat der Luftgeschwindigkeit ( $n = 2$ ) abhängig (H. J. Matthies, 1954 und E. Doering, 1955). In dem erwähnten Übergangsbereich müßte somit der Wert  $n$  zwischen 1,0 und 2,0 liegen, was durch die gefundenen Versuchsergebnisse bestätigt wird (Tabelle 1). Auch bei Belüftung anderer Erntegüter wurden sowohl von amerikanischen Autoren (siehe bei C. K. Shedd) als auch von H. J. Matthies Werte zwischen 1,0 und 2,0 gefunden. Je nach der Charakteristik der Strömung wird der Exponent  $n$  einem der beiden Extremwerte näher kommen. Höhere  $n$ -Werte lassen auf eine stärkere Turbulenz schließen. Da bei den Bestimmungen des Exponenten  $n$  für Dürrfutter nur geringe Differenzen zu beobachten sind, dürfte es bei der Ableitung einer Gebrauchsformel angezeigt sein, einen der genannten Mittelwerte zu verwenden.

Größere Schwierigkeiten scheint die Bestimmung des Exponenten  $m$  des Kubikmetergewichtes  $\gamma_S$  zu bereiten. Da wie bereits erwähnt  $\gamma_S$  nur eine Ersatzgröße für das schwer bestimmbare Hohlraumvolumen darstellt, ist zu erwarten, daß  $m$  je nach dem (unbekannten) Hohlraumvolumen verschieden groß sein wird. So schlägt R. Guillou anhand der Versuche von C. K. Shedd und A. T. Hendrix mit Luzerneheu und Heu aus Beständen, in denen Luzerne vertreten ist, für  $\gamma_{LTS}$  als Exponenten  $m = 3$  vor. H. J. Matthies bestimmte für  $\gamma_S$  den Exponenten  $m = 1,2$  für Stroh,  $m = 2,4$ — $2,7$  für Luzerneheu und gehäckseltes Zuckerrübenlaub und  $m = 3,8$  für ungehäckseltes Zuckerrübenlaub. Der Vorschlag von R. Guillou soll für Luzerne und luzernehaltiges Dürrfutter im Folgenden auf  $\gamma_S$  übertragen werden, da sich aus diesen Ergebnissen kaum ein Mittelwert errechnen läßt, der für alle genannten Substanzen gleich gut anwendbar wäre.

Somit läßt sich der Strömungswiderstand in Anlehnung an A. T. Hendrix, R. Guillou und H. J. Matthies in folgender Gleichung ausdrücken:

$$\Delta p/h = F \cdot \gamma_S^3 \cdot w^{3/2} \quad (1)$$

worin  $\Delta p/h$  = Strömungswiderstand bzw. Druckabfall pro Meter Lagerhöhe (mm WS/m)

$\gamma_S$  = Kubikmetergewicht des (wasserhaltigen) Dürrfutters ( $kg/m^3$ )

$w$  = Luftgeschwindigkeit (m/sec), bezogen auf den „freigedachten Querschnitt“

= Luftmenge ( $m^3/sec$ ) pro  $m^2$  Grundfläche der Belüftungsanlage,

$F$  = Faktor, abhängig von den während der Belüftung herrschenden Bedingungen (Wassergehalt, botanische Zusammensetzung und Form [ungehäckselte, gehäckselte, in Ballen] des Dürrfutters, spez. Gewicht der Luft usw.).

Durch die Festlegung der Exponenten der Luftgeschwindigkeit und des Kubikmetergewichtes, die schon R. Guillou anregt, wird erreicht, daß alle unbekannt Einflüsse auf den Strömungswiderstand in einem Faktor  $F$  zusammengefaßt werden. Damit entsteht allerdings der Fehler, daß Schwankungen der Exponenten durch Schwankungen eines Faktors ausgedrückt werden. Solange die Exponenten nur in einem geringen Maße schwanken, mag es für eine Gebrauchsformel angehen, diesen Fehler in Kauf zu nehmen. Im Hinblick auf die starken Schwankungen des Exponenten  $m$  von  $\gamma_s$  ist es jedoch fraglich ob die für Luzerne und luzernehaltiges Dürrfutter festgelegten Exponenten auch für anderes Dürrfutter gelten. Es bleibt einer weiteren Forschung vorbehalten, diesen Punkt abzuklären. Immerhin scheint, wie später dargelegt wird, der Einfluß des Wassergehaltes des Dürrfutters auf den Strömungswiderstand (bei gleichem Kubikmetergewicht und gleicher Luftgeschwindigkeit) gegenüber allen anderen Einflüssen dermaßen zu überwiegen, daß eine Übertragung einer für Luzerne und luzernehaltiges Dürrfutter geltenden Gebrauchsformel auf feuchtes, nicht lagerfähiges Dürrfutter (mit 25 %—60 % Wassergehalt) gleich welcher botanischen Zusammensetzung möglich sein dürfte.

Anhand von Versuchen von C. K. Shedd, A. T. Hendrix und H. J. Matthies haben wir unter Anwendung der Gleichung (1) Werte für den Faktor  $F$  berechnet und in Tabelle 2 zusammengestellt. Für die Berechnung der Versuche von C. K. Shedd und A. T. Hendrix wurden Angaben von R. Guillou beigezogen. Bei der Berechnung von Mittelwerten aus den Versuchen von H. J. Matthies wurde so vorgegangen, daß der aus der Gleichung (1) berechnete Strömungswiderstand für  $w = 0,1$  m/sec und für die, den Versuchen entsprechenden Kubikmetergewichte, möglichst wenig vom Strömungswiderstand, berechnet mit der Strömungsgleichung von H. J. Matthies, abweicht.

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich ist, schwankt der Faktor  $F$  mit der Zusammensetzung, dem Wassergehalt und der Form (ungehäcksel, gehäcksel oder in Ballen) des Dürrfutters; dabei sind besonders die großen Unterschiede zwischen trockenem und feuchtem Dürrfutter auffallend. Der Faktor  $F$  und somit der Strömungswiderstand (bei gleichem Kubikmetergewicht und gleicher Luftgeschwindigkeit) ist für das

vorgetrocknete, frisch eingebrachte und noch feuchte Dürrfutter kleiner als für das fertig getrocknete, gelagerte Dürrfutter. Das Kubikmetergewicht  $\gamma_s$  selber, das nach Versuchen von H. Pallmann (1939) auch bei einem hohen Anfangswassergehalt nichtbelüfteter Dürrfutterstöcke während des Setzens zunimmt, nimmt bei der Belüftung von Dürrfutter offenbar ab. Der Strömungswiderstand nimmt daher, in Übereinstimmung mit Beobachtungen von R. Guillou und H. J. Matthies, infolge eines offenbar kleiner werdenden Hohlraumvolumens während der Trocknung des Dürrfutters zu, jedoch in einem geringeren Maße als der Faktor  $F$  ansteigt. Zu erwähnen ist, daß das Gewicht der Trockensubstanz pro  $m^3$  ( $\gamma_{TS}$ ) sowohl in den nicht belüfteten Dürrfutterstöcken als auch bei Belüftung in allen Fällen zunimmt.

Um die Zusammenhänge zwischen dem Faktor  $F$  und dem Wassergehalt des Dürrfutters darzustellen, wurden die berechneten  $F$ -Werte in ein Koordinatensystem eingetragen (Abb. 1). Als Abszisse wurde der Wert  $a = \% \text{ Wasser im Dürrfutter}$ , als Ordinate der Faktor  $F$  gewählt, und durch die eingetragenen Punkte eine hyperbolische Ausgleichskurve von der Form

$$F = 10 \left( -4,27186 + \frac{0,22653}{\log a - 1} \right) \quad (2)$$

gelegt. Zur Berechnung der Ausgleichskurve wurde  $F$  nach  $y = \log (F \cdot 10^4)$  und  $a$  nach  $x = 1/\log (a \cdot 10^{-1})$  transformiert. Dadurch ließ sich eine Ausgleichsgerade von der Form

$$Y = -0,27186 + 0,22653 \cdot x$$

berechnen, die statistisch stark gesichert ist ( $P = 0,001$ ). Deren Vertrauensbereich liegt bei einer Sicherheitsschwelle von 5 % ( $P = 0,05$ ) zwischen den in Abbildung 2 nach G. W. S n e d e c o r (1946) berechneten und eingetragenen Grenzen.

Aus den Abbildungen 1 und 2 kann geschlossen werden, daß der Einfluß des Wassergehaltes auf die Größe des Faktors  $F$  — und somit auf den Strömungswiderstand — gegenüber anderen Einflüssen, zum Beispiel gegenüber dem Einfluß der botanischen Zusammensetzung und der Form des Dürrfutters, überwiegt. Für einen Wassergehalt des vorgetrockneten Dürrfutters über 25 % ließe sich daraus folgern, daß die an Hand

**Tabelle 2: Faktor  $F$  in der Gleichung  $\Delta p/h = F \cdot \gamma_s^3 \cdot w^{3/2}$   
berechnet aus Versuchen von C. K. Shedd (1946),  
A. T. Hendrix (1946) und H. J. Matthies (1954)**

Nr.	Autor (Versuchsnummer)	Dürrfutterart *)	Wassergehalt %	Kubikmeter- gewicht $\gamma_s$ kg/m <sup>3</sup>	$F$
1	Shedd (6/20)	Trespe und Luzerne	30	87,0	$0,171 \cdot 10^{-3}$
			lufttrocken (20)	87,0	$0,260 \cdot 10^{-3}$
2	Shedd (8/14)	Luzerne	30	95,4	$0,177 \cdot 10^{-3}$
			lufttrocken (20)	88,9	$0,262 \cdot 10^{-3}$
3	Hendrix (1/45)	Luzerne-, Gräser-, Kräutergemenge	61	127,3	$0,085 \cdot 10^{-3}$
			20	82,2	$0,596 \cdot 10^{-3}$
4	Hendrix (3/45)	Luzerne	48	106,0	$0,108 \cdot 10^{-3}$
			21	93,0	$0,259 \cdot 10^{-3}$
5	Hendrix (5/45)	Luzerne, in Ballen	43	115,2	$0,135 \cdot 10^{-3}$
			22	96,0	$0,264 \cdot 10^{-3}$
6	Hendrix (6/45)	Luzerne, gehäcksel (3,8 cm)	41	149,6	$0,122 \cdot 10^{-3}$
			18	138,9	$0,344 \cdot 10^{-3}$
7	Matthies (80—84)	Luzerne, blattarm	20	40,9—102,1	$0,216 \cdot 10^{-3}$
8	Matthies (85—88)	Luzerne, blattreich	59	94,4	$0,105 \cdot 10^{-3}$
			23	71,0—103,7	$0,255 \cdot 10^{-3}$

\*) Außer bei Nr. 5 und 6 wurde das Dürrfutter in ungehäckselter, loser Form gelagert

der Gleichung (2) berechneten  $F$ -Werte unabhängig von der botanischen Zusammensetzung des ungehäckselten oder gehäckselten Dürffutters für die Berechnung des Strömungswiderstandes angewendet werden dürfen. Die einem Wassergehalt von 25%—60% entsprechenden Werte des Faktors  $F$  wurden in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Faktor  $F$  bei verschiedenem Wassergehalt des vorgetrockneten Dürffutters

$$\left( -4,27186 + \frac{0,22653}{\log a - 1} \right)$$

errechnet aus  $F = 10$

Wassergehalt %	$F$
25	$0,198 \cdot 10^{-3}$
30	$0,160 \cdot 10^{-3}$
35	$0,139 \cdot 10^{-3}$
40	$0,127 \cdot 10^{-3}$
45	$0,120 \cdot 10^{-3}$
50	$0,113 \cdot 10^{-3}$
55	$0,108 \cdot 10^{-3}$
60	$0,105 \cdot 10^{-3}$

Im praktischen Gebrauch dürfte bei der Berechnung des Strömungswiderstandes der Wert  $F = 0,125 \cdot 10^{-3}$  für vorgetrocknetes Dürffutter, ohne Bestimmung des Wassergehaltes, genügend genau sein. Dessen Vertrauensbereich für  $P = 0,05$  liegt bei rund  $\pm 0,024 \cdot 10^{-3}$ . (Da der Vertrauensbereich im logarithmischen Maßstab berechnet wurde, sind bei einer Übertragung auf den linearen Maßstab die Plus- und Minuswerte streng genommen nicht gleich groß.)

Bei einem Wassergehalt des Dürffutters unter 25% dürfte eine allgemeine Anwendung der Gleichung (2) zur Berechnung von  $F$  für Dürffutter beliebiger Zusammensetzung nicht mehr in Frage kommen, da für  $F$  in diesem Bereich (senkrechter Schenkel der Kurve in Abbildung 1) mit großen Schwankungen zu rechnen ist. Darauf weisen auch schon die großen Schwankungen des Exponenten  $m$  von  $\gamma_s$  in den Versuchen von H. J. Matthies hin. Aus Abbildung 2 läßt sich berechnen, daß zum Beispiel für Dürffutter mit einem Wassergehalt von 18% der Faktor  $F$  zwischen den Werten  $0,324 \cdot 10^{-3}$  und  $0,528 \cdot 10^{-3}$  streuen kann ( $P = 0,05$ ). Außerdem ist zu erkennen, daß für Mischheu (Nr. 3) der Faktor  $F = 0,596 \cdot 10^{-3}$  entsprechend  $\gamma = 0,775$  deutlich außerhalb des eingezeichneten Vertrauensbereiches liegt. Der für blattarme Luzerne (Nr. 7) berechnete Wert für den Faktor  $F = 0,216 \cdot 10^{-3}$  bzw.  $\gamma = 0,334$  liegt außerhalb der Grenze für  $P = 0,05$ , jedoch innerhalb der Grenze des Vertrauensbereiches für  $P = 0,001$ . Der Ansatz der Gleichung (2) ist daher für trockenes Dürffutter nicht verwendbar. Aus demselben Grund dürfte der Ansatz der Gleichung (1) für lagerfähiges Dürffutter (mit einem Wassergehalt unter 25%) nicht allgemein anwendbar sein. Ein Vergleich der Werte des Faktors  $F$  zwischen trockener, gehäckselter Luzerne (Nr. 6) und trockener, nicht gehäckselter Luzerne (z. B. Nr. 4) deutet darauf hin, daß im trockenen Zustand ein weniger sperriges Dürffutter bei gleichem Kubikmetergewicht (und gleicher Luftgeschwindigkeit) einen größeren Strömungswiderstand als ein sperriges Dürffutter aufweist.

Somit kann an Hand der uns erreichbaren Literatur der Schluß gezogen werden, daß der Strömungswiderstand von trockenem, lagerfähigem Dürffutter nicht nur vom Kubikmetergewicht  $\gamma_s$  und der Luftgeschwindigkeit  $w$ , sondern auch von der botanischen Zusammensetzung und der Form (ungehäckselte, gehäckselte oder in Ballen gepreßte) des Dürffutters abhängig ist. Für Dürffutter, das auf dem Feld bis zu einem Wassergehalt von 25%—60% vorgetrocknet wurde, scheinen die Verhältnisse jedoch anders zu liegen, da der Strömungswiderstand von noch feuchtem Dürffutter, unter der

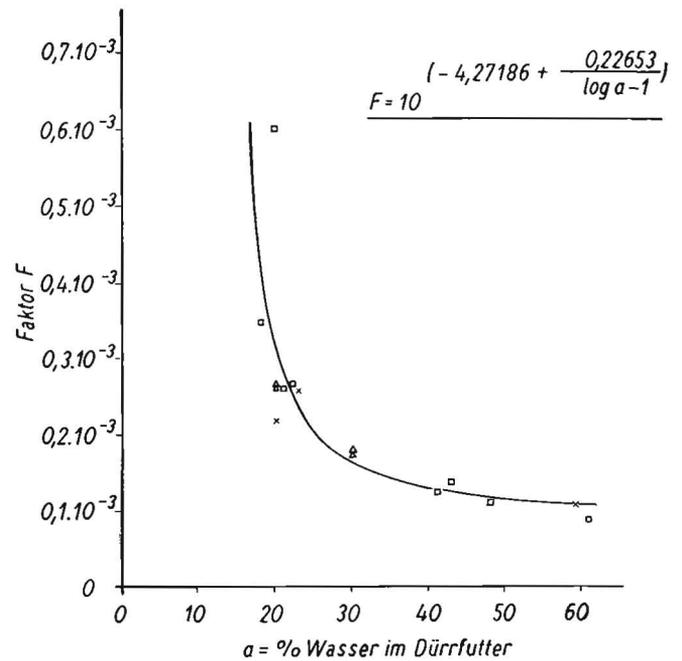


Abb. 1: Faktor  $F$  in Abhängigkeit vom Wassergehalt  $a$  des Dürffutters berechnet aus Versuchen von C. K. Shedd, 1946 ( $\Delta$ ), A. T. Hendrix, 1946 ( $\square$ ) und H. J. Matthies, 1954 ( $\times$ )

Voraussetzung des gleichen Kubikmetergewichtes und der gleichen Luftgeschwindigkeit, von der botanischen Zusammensetzung und der Form des Dürffutters nur wenig abhängig sein dürfte. Dabei ist aber zu beachten, daß die Form und die botanische Zusammensetzung des Dürffutters das Kubikmetergewicht  $\gamma_s$  und dadurch indirekt den Strömungswiderstand beeinflusst; gehäckseltes oder in Ballen gepreßtes Dürffutter weist zum Beispiel im allgemeinen ein höheres Kubikmetergewicht  $\gamma_s$  bei gleichem Wassergehalt bzw. ein höheres Gewicht der Trockensubstanz pro  $m^3$  ( $\gamma_{TS}$ ) als ungehäckseltes, loses Dürffutter auf. Ebenso wird ein junges, blattreiches Heu ein höheres  $\gamma_{TS}$  als ein überständiges, stengeliges Heu aufweisen. Der Strömungswiderstand von feuchtem, nicht lagerfähigem Dürffutter dürfte daher sowohl von dessen

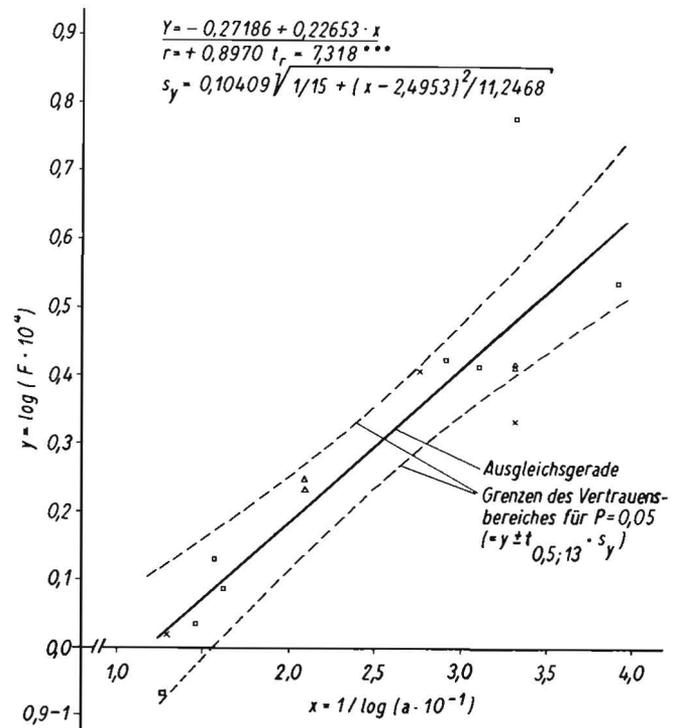


Abb. 2: Faktor  $F$  in Abhängigkeit vom Wassergehalt  $a$  des Dürffutters wobei  $F$  nach  $y = \log(F \cdot 10^4)$  und  $x$  nach  $x = 1/\log(a \cdot 10^{-1})$  transformiert wurden, berechnet aus Versuchen von C. K. Shedd, 1946 ( $\Delta$ ), A. T. Hendrix, 1946 ( $\square$ ) und H. J. Matthies, 1954 ( $\times$ )

Kubikmetergewicht  $\gamma_s$  als auch von der Luftgeschwindigkeit  $w$ , jedoch nur indirekt von dessen Form und botanischer Zusammensetzung abhängig sein.

### Zusammenfassung

Für die Berechnung des Strömungswiderstandes von Dürrfutter, insbesondere von Luzerne und luzernehaltigem Dürrfutter in Belüftungsanlagen wird eine Gebrauchsformel zur Diskussion gestellt, die an Hand von Versuchen von C. K. Shedd (1946), A. T. Hendrix (1946) und H. J. Matthies (1954) berechnet wurde. In einer Gleichung  $\Delta p/h = F \cdot \gamma_s^3 \cdot w^{3/2}$ , worin  $\Delta p/h$  der Strömungswiderstand pro Meter Lagerhöhe (mm WS/m),  $\gamma_s$  das Gewicht des wasserhaltigen Dürrfutters pro Kubikmeter des Dürrfutterstockes ( $\text{kg/m}^3$ ) und  $w$  die Luftmenge pro Quadratmeter Grundfläche der Belüftungsanlage ( $\text{m}^3/\text{sec} \cdot \text{m}^2$ ) bedeutet, wurden die Exponenten von  $\gamma_s$  und  $w$  nach Vorschlägen von R. Guillou (1946) und A. T. Hendrix festgelegt. In einem variablen Faktor  $F$  werden dadurch, ähnlich wie bei R. Guillou, alle unbekannt Einflüsse zusammengefaßt. Die Gleichung gilt streng nur für die zu ihrer Berechnung verwendeten Dürrfutterarten. Der Faktor  $F$  wird für einen Wassergehalt des Dürrfutters von 25%—60% statistisch berechnet und die Möglichkeit diskutiert, für diesen Feuchtigkeitsgehalt die aufgestellte Gleichung für Dürrfutter gleich welcher botanischen Zusammensetzung und Form (ungehäckselt, gehäckselt oder in Ballen) anzuwenden.

### Schrifttum:

- R. B. Davis: Mow-Drying Chopped and Long Alfalfa Hay. Agr. Eng. 28 (1947) S. 105—108.
- R. B. Davis und V. H. Baker: The Resistance of Long and Chopped Hay to Air Flow. Agr. Eng. 32 (1951) S. 92—94.
- E. Doering: Der Druckverlust bei der Durchströmung von Schüttschichten. Allg. Wärmetechnik 6 (1955) S. 82—89.
- R. Guillou: Forced Air Flow in Drying Hay. Agr. Eng. 27 (1946) S. 519—520.
- A. T. Hendrix: Observations on the Resistance of Hay to Air Flow. Agr. Eng. 27 (1946) S. 209—212.
- H. J. Matthies: Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. Diss. TH Braunschweig 1954; VDI-Forschungsheft 454/1956.
- H. J. Matthies: Der Strömungswiderstand bei landwirtschaftlichen Belüftungsanlagen. Landtechn. Forschung 5 (1955) S. 101—109.
- H. Pallmann und O. Dänz: Die Übergärung, Überhitzung und Selbstentzündung des Dürrfutters. 71 S. Gebäudeversicherung Zürich 1939.
- C. K. Shedd: Resistance of Hay to Air Flow and its Relation to Design of Barn Hay-Curing Equipment. Agr. Eng. 27 (1946) S. 169—170.
- G. W. Snedecor: Statistical Methods. 4. Aufl. (1946) S. 118 ff., Iowa State College Press, Ames, Iowa.

### Résumé:

Dipl. Ing. Agr. H. Bickel: „Zur Frage des Strömungswiderstandes von Luzerne und luzernehaltigem Dürrfutter in Belüftungsanlagen.“

Seit der Einführung der Heubelüftung vor 20 Jahren in Amerika wird versucht, empirische Formeln zu finden, in denen der Strömungswiderstand in Beziehung zur Luftgeschwindigkeit einerseits und zum Kubikmetergewicht sowie zur Stapelhöhe andererseits gesetzt wird. Unter Verwendung der amerikanischen und deutschen Literatur stellt der Verfasser eine einfache Gebrauchsformel für Luzerne und luzernehaltiges Dürrfutter auf und stellt zur Diskussion, diese Formel bei einem Feuchtigkeitsbereich von 25 bis 60% für Dürrfutter überhaupt, gleich welcher botanischen Zusammensetzung und Form, anzuwenden.

Dipl. Ing. Agr. H. Bickel:

“On the Resistance of pure and mixed Alfalfa Forage to Air Flow in Barn Hay-Curing Equipment.”

Since barn-curing of hay was introduced in the United States 20 years ago, attempts have been made to establish empirical formulae for the calculation of the resistance to air flow in relation to the velocity of the air and to the density and the height of the mow. Careful perusal of available American and German literature on the subject has enabled the author to propose a simple formula for use with pure and mixed Alfalfa forage. He further discusses the possibilities of applying this formula to all dry forage, irrespective of their botanical composition, at humidities varying from 25% to 60% wet basis.

Ing. agr. dipl. H. Bickel: «La résistance du fourrage sec de luzerne pure et mélangée à la circulation de l'air dans des installations de séchage en grange.»

Depuis que l'utilisation des installations de séchage final de fourrage en grange s'est répandue aux Etats-Unis, il y a vingt ans, on s'efforce de trouver des formules empiriques qui mettent en relation la résistance à la circulation de l'air, d'une part, à la vitesse de mouvement de l'air, et, d'autre part à la densité et à la hauteur du tas. En se servant de la littérature américaine et allemande, l'auteur établit une formule simple pour du fourrage de luzerne pure et mélangée et propose d'utiliser cette formule pour tout fourrage ayant une teneur d'humidité de 25% à 60% sans tenir compte de sa composition botanique et de son état.

Ing. agr. dipl. H. Bickel: «La resistencia de los pastos secos de alfalfa y de mezclas de alfalfa a la circulación del aire en instalaciones de ventilación.»

Desde que se ha introducido hace 20 años en los Estados Unidos la ventilación del heno, se ha tratado de establecer fórmulas empíricas para relacionar la resistencia a la circulación del aire con la velocidad por un lado, así como con el peso por metro cúbico y con la altura de estabado por otro. Fundándose en las publicaciones americanas y alemanas, el autor propone una fórmula sencilla de aplicar para los pastos secos de alfalfa y de mezclas de alfalfa, proponiendo a la discusión, el empleo de la fórmula para toda clase de pastos secos con contenido de humedad del 25% al 60%, cualquiera que sea su forma y la composición botánica.

## MEG in Hannover

Anläßlich der 44. Wanderausstellung der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft vom 9. bis 16. September 1956 finden in Hannover folgende Veranstaltungen statt:

Am Sonntag, dem 9. September 1956 um 20.00 Uhr im Beethovensaal der Stadthalle, Corvinusplatz, eine

### Feier für Max Eyth

dessen 120. Geburtstages und 50. Todestages wird in diesem Jahre gedenken. Diese Feier wird von der DLG und der MEG gemeinsam veranstaltet. Eintrittskarten hierzu bei der Geschäftsstelle der DLG, Frankfurt/M., Zimmerstraße (DLG-Haus).

Am Dienstag, dem 11. September 1956 um 18.30 Uhr im Hodler-Saal des Neuen Rathauses in Hannover

### Feierstunde und Überreichung der Max-Eyth-Gedenkmünze.

Einladungen hierzu durch die Geschäftsstelle der MEG, Frankfurt/M.-Nied, Elsterstr. 57.

Am gleichen Tag, dem 11. 9. 1956 ab 20.00 Uhr im großen Festsaal der Maschsee-Gaststätten, Nordufer des Maschsees in Hannover der

### Ausspracheabend der MEG.

Hier treffen sich, wie alljährlich während der DLG-Ausstellung, die Mitglieder der MEG mit ihren Freunden und Gästen zu zwangloser Aussprache. Mitglieder werden durch Rundschreiben verständigt. Einladungen hierzu für Nichtmitglieder durch die MEG-Geschäftsstelle in Frankfurt/M.