

Résumé

Wilhelm Hollmann and Albert Mathes: "Examinations on Centrifugal Fertilizer Spreaders."

The authors report on examinations with centrifugal fertilizer spreaders basing on tests with a spreader model and on those with regular machines made by industry. The report begins with a comparison of the testing and evaluating methods applied in fertilizer spreading experiments. As results of the model experiments carried out in an engine room, the effect of the peripheral speed of the disc, of the disc armourings, and of the feeding device on the spreading amount, spreading width and uniformity of distribution could be judged. Thus interesting indications as to the influence of the fertilizer condition were also obtained.

For the experiments with regular fertilizer spreaders a collecting device had been arranged out of doors which permitted the fertilizer distribution of the stationary spreader to be taken up over the whole spreading width. The experiments of comparison showed that a uniform fertilizer distribution can be achieved by machines of the one-disc system and two-disc system as well. Presupposition is of course an appropriate arrangement of the machines, especially with respect to the regulation and location of the feed inlet, a skilful handling, above all concerning the maintaining of a constant number of revolutions with a properly chosen speed, and the use of suitable fertilizers. An impairment of the results by wind effects had been excluded in the experiments.

Wilhelm Hollmann et Albert Mathes: «Recherches sur les distributeurs centrifuges.»

Les auteurs décrivent les essais effectués avec un prototype de distributeur d'engrais centrifuge et avec des distributeurs fabriqués en série par l'industrie. Ils commencent leur étude par une comparaison des méthodes d'essai et d'interprétation utilisées pour les distributeurs centrifuges. Les essais avec le prototype réalisés dans un hall de machines, ont permis d'évaluer l'influence de la vitesse périphérique des plateaux, de l'armature du plateau et des dispositifs d'alimentation sur la quantité distribuée, la largeur et la régularité de distribution. On a pu tirer de ces essais également des notions intéressantes sur l'influence des caractéristiques de l'engrais distribué.

Pour essayer les distributeurs d'engrais fabriqués en série, on a installé sur le terrain un dispositif de réception qui a permis d'enregistrer les courbes de distribution sur toute la largeur utile des distributeurs entièrement portés. Les essais de comparaison ont montré que l'on peut obtenir une distribution uniforme aussi bien avec les distributeurs à un plateau qu'avec les distributeurs à deux plateaux. Il est toutefois indispensable que la machine soit conçue de façon appropriée, en particulier en ce qui concerne le réglage et la disposition de l'orifice d'alimentation, que la manœuvre soit correcte, en particulier, que le nombre de tours soit maintenu constant et que les passages successifs s'enchaînent bien. On a pris soins pendant les essais que les résultats ne soient pas affectés par l'influence du vent.

Wilhelm Hollmann y Albert Mathes: «Investigaciones en repartidoras centrifugas de abonos.»

Los autores informan sobre investigaciones en repartidoras centrifugas de abonos, hechas en ensayos con un modelo, y de otros hechos con máquinas construidas en serie por la industria. Precede al informe una comparación de los métodos empleados, tanto para los ensayos como para la evaluación. Los ensayos hechos con el modelo que se hicieron en una sala de máquinas, permitieron apreciar la influencia que ejerce la velocidad periférica del disco, la construcción de éste y los dispositivos de alimentación en la cantidad repartida, en el ancho y en la uniformidad de la dispersión. Al mismo tiempo han podido ganarse indicaciones interesantes sobre la influencia que ejercen las condiciones del abono.

Para los ensayos con repartidoras de serie se construyó un dispositivo colector en campo libre que permitía recoger la imagen de dispersión sobre todo el ancho de alcance de la repartidora, montada de manera estacionaria. Ensayos comparativos con repartidoras de un disco y de dos discos demostraron que puede conseguirse el reparto uniforme con las unas y con las otras, siendo sin embargo condición que la construcción de las máquinas sea conveniente, especialmente en cuanto a la disposición de las aberturas de alimentación y su ajuste, que el manejo sea conveniente, especialmente en cuanto a la conservación invariable del número de rotaciones, a la velocidad de marcha acertada, así como el empleo de abonos favorables. Para los ensayos se habían tomado disposiciones que impidiesen la influencia del viento en los resultados.

Hans Bickel:

Der Strömungswiderstand von Dürrfutter in Abhängigkeit von der Strömungsrichtung

Gutsverwaltung und landwirtschaftliche Versuchsanstalt, Liebefeld-Bern

Die in der schweizerischen Praxis angewendeten Heubelüftungsanlagen sind untereinander in der Art und der räumlichen Anordnung des Luftverteilsystems recht verschieden. Dementsprechend weichen auch die in den Anlagen auftretenden Strömungswiderstände unter sonst gleichen Bedingungen voneinander ab. Da die Kenntnis des Strömungswiderstandes der Anlagen, und zwar sowohl der Anlagen im engeren Sinn als auch des in sie eingebrachten Dürrfutters eine wichtige Voraussetzung für die zweckmäßigste Anlegung des Luftverteilsystems und die Wahl des Lüfters ist, stellt sich die Frage, ob die bisherigen Kenntnisse über diesen Widerstand ausreichen. Diese Kenntnisse stützen sich im wesentlichen auf Ergebnisse amerikanischer und deutscher Arbeiten, die wie früher in dieser Zeitschrift zusammenfassend beleuchtet haben [1]. In jenen Arbeiten wurden Modellanlagen verwendet, bei denen die Luft zur Hauptsache nur senkrecht zur Heuschichtung strömen konnte. Diese Bedingungen sind bei den meisten Anlagen der Praxis nicht erfüllt. Hier strömt die Luft teilweise auch parallel zur Heuschichtung. Da zu vermuten war, daß der Strömungswiderstand durch die Strömungsrichtung im lagernden Heu stark beeinflußt wird, stellte sich die Aufgabe, das zur Zeit vorliegende Untersuchungsmaterial durch neue Versuche zu erweitern.

Zur Lösung der gestellten Aufgabe führten wir in den Jahren 1958/59 Versuche mit Großmodellen verschiedenartiger Heubelüftungssysteme durch. Es zeigte sich jedoch bald, daß schlüssige Ergebnisse nur durch Messungen an Kleinmodellen erwartet werden konnten. Solche Versuche wurden alsdann 1959/60 durchgeführt. Sämtliche Versuche mit den Groß- und Kleinmodellen sollen später in einer besonderen Arbeit eingehend beschrieben

werden. An dieser Stelle seien in gekürzter Form lediglich die Ergebnisse der Kleinmodellversuche vorweggenommen.

Versuche und Ergebnisse

Aus einem Heustock wurden zweimal je zwei zur gleichen Schicht gehörende Heuwürfel von 50 cm Kantenlänge herausgeschnitten. Diese Würfel wurden auf vier Seiten rundherum luftdicht vergipst und somit luftdicht eingewandelt¹⁾. Das darauf eingewandelte Heu wurde zur Messung des Strömungswiderstandes in der in Bild 1 und 2 dargestellten Modellanlage verwendet. Das Einwandeln wurde so vorgenommen, daß bei zwei Würfeln die Luft nur senkrecht (Vertikalbelüftung), bei den beiden anderen Würfeln nur parallel (Horizontalbelüftung) zur natürlichen Schicht des Heus strömen konnte. Zudem konnte das Flächenverhältnis f/F_s beziehungsweise f/F_0 verändert werden. Es bedeuten f = Fläche der Luftübertrittsstelle von der Anlage zum Heu, F_s = Fläche des Dürrfutterwürfels senkrecht zur Luftströmung und F_0 = Fläche des Luftkanalquerschnittes.

Zur Darstellung der Ergebnisse wurde von der Widerstandsgleichung für feste Körper in einer Strömung, erweitert nach dem Vorschlag von GUILLOU [2], ausgegangen

$$p_D = c' \cdot \text{Re}^n \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^3}{2}$$

wobei

$$c' \cdot \text{Re}^n = \zeta$$

¹⁾ Es handelte sich um langes, lufttrockenes und blattreiches Naturwiesensheu, hauptsächlich bestehend aus italienischem Raygras, Weißklee und Löwenzahn (Gräser im Rispenstadium bzw. fünfköpfig, mit Kubikmetergewichten (spez. Gewicht) zwischen 74 und 92 kg/m³)

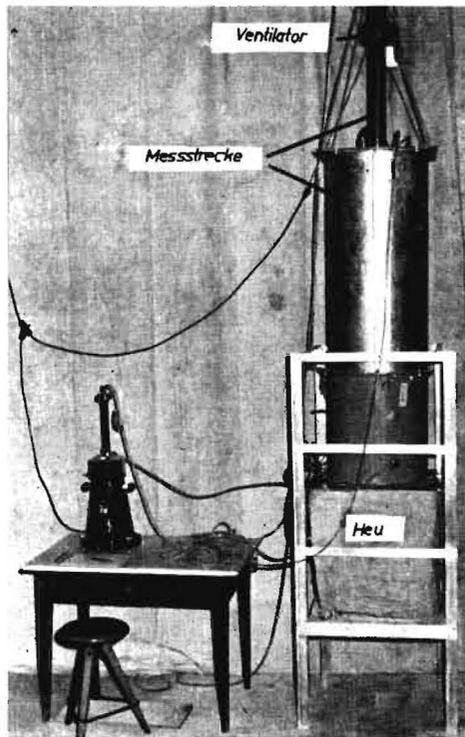


Bild 1: Kleinmodellanlage zur Messung des Strömungswiderstandes von Dürrfutter
Das Dürrfutter (Heu) ist mit Gips luftdicht eingewandt.

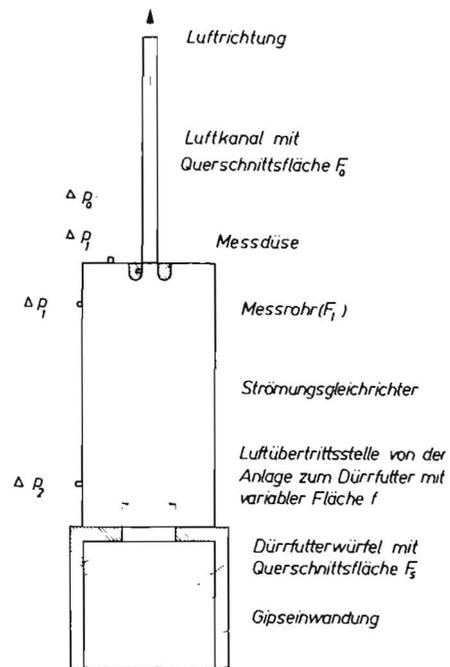


Bild 2: Schema der Kleinmodellanlage

- und worin p_D - Dürrfutterwiderstand [$kp \cdot m^{-2}$; mm WS],
- c' - Widerstandszahl, abhängig von der Definition von l und d ,
- l, d - lineare Dimensionen [m],
- ζ - Widerstandbeiwert,
- Re - Reynoldszahl,
- ρ - Luftdichte [$kg \cdot m^{-3}$],
- w - Luftgeschwindigkeit [$m \cdot s^{-1}$].

w bedeutet in dieser Gleichung die effektive Luftgeschwindigkeit w_k im freien Querschnitt, sie wurde ersetzt durch

$$w_s = w_k \cdot \epsilon.$$

Die lineare Dimension d wurde definiert mit

$$d = \left(\frac{6 \cdot \epsilon \cdot V_s}{\pi} \right)^{1/3}$$

und auf $V_s = 1 \text{ cm}^3$ bezogen. Damit wurde

$$p_D = c'' \cdot Re_s^{n-2} \cdot \frac{l}{10^{-2} \cdot \epsilon^{1/3}} \cdot \frac{\rho \cdot w_s^2}{2}$$

mit

$$c'' = c' \cdot \frac{1,2407 \cdot \epsilon^{-3}}{\epsilon^n}$$

und

$$Re_s = \frac{w_s \cdot 10^{-2} \cdot \epsilon^{1/3}}{\nu}$$

- Es bedeuten w_s - Luftgeschwindigkeit im frei gedachten Querschnitt des Heuwürfels [$m \cdot s^{-1}$],
- V_s = Volumen des Heuwürfels [m^3],
- ϵ = spezifisches Hohlraumvolumen,
- ν = kinematische Zähigkeit der Luft [$m^2 \cdot s^{-1}$].

Für l wurde die Strömungslänge, das heißt im Modellversuch die Kantenlänge des Heuwürfels = 50 cm, gesetzt. Die Strömungsgleichung wurde dimensionslos in der Form

$$\frac{p_D \cdot \epsilon^{1/3} \cdot 10^{-2}}{\frac{\rho \cdot w_s^2}{2} \cdot l} = c'' \cdot Re_s^{n-2} \cdot \zeta_s$$

angewendet. Das spezifische Hohlraumvolumen [3]

$$\epsilon = 1 - \frac{\gamma_s}{\gamma_k}$$

wurde durch experimentelle Festlegung eines Ersatzwertes von γ_k ermittelt. Wir fanden als Ersatzwert von γ_k den Wert 333 kp/m^3 (γ_s - spezifisches Gewicht des Heuwürfels, γ_k - spezifisches Gewicht der festen Heukörper).

Das Ergebnis der Messungen ist in der dimensionslosen Form in Bild 3 dargestellt. Es zeigt erstens die starke Abhängigkeit des Widerstandsbeiwertes von der Strömungsrichtung und zweitens die Abhängigkeit des Widerstandsbeiwertes vom Flächenverhältnis f/F_0 .

Die Tendenzen der beiden Abhängigkeiten waren zu erwarten. Nicht ohne weiteres voraussuchen waren dagegen die Größenordnungen. Um die Meßergebnisse auf die ursprüngliche Fragestellung zurückzuführen, wurde der Strömungswiderstand p_D des Dürrfutters für bestimmte Werte von l , γ_s und ν berechnet. Das Ergebnis dieser als Beispiel gedachten Berechnungen ist in Bild 4 dargestellt.

Die Ergebnisse der Kleinmodellversuche lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. Zwischen der Vertikal- und Horizontalbelüftung traten in bezug auf den Strömungswiderstand des Dürrfutters wesentliche Unterschiede auf. Bei gleicher Luftgeschwindigkeit im freigelegten Querschnitt (w_s), gleichem Kubikmetergewicht des

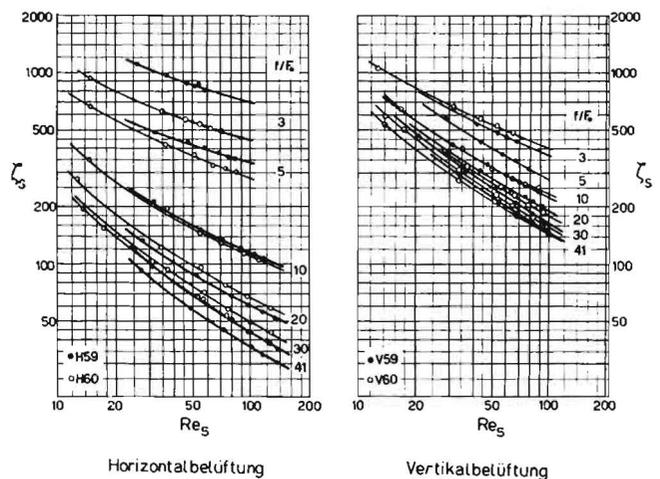


Bild 3: Abhängigkeit des Widerstandsbeiwertes ζ_s des Dürrfutters von der Reynoldszahl Re_s bei Horizontal- und Vertikalbelüftung und bei verschiedenen Flächenverhältnissen f/F_0 .
Ergebnisse der Messungen an der Kleinmodellanlage

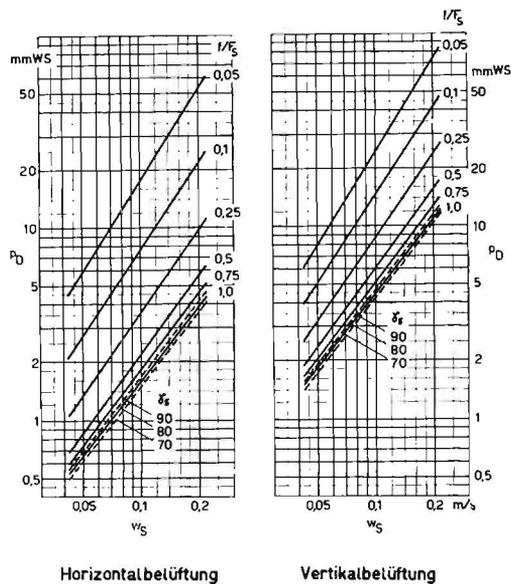


Bild 4: Abhängigkeit des Strömungswiderstandes p_D des Dürrfutters von der Luftgeschwindigkeit w_s bei Horizontal- und Vertikalbelüftung und bei verschiedenen Flächenverhältnissen F_s/F_s .
 Aus den Ergebnissen der Messungen an der Kleinmodellanlage berechnete Werte für $l = 0,5 \text{ m}$; $\gamma_s = 80 \text{ kp/m}^2$ (bzw. 70 und 90 kp/m^2); $\rho = 0,115 \text{ kg/m}^3$; $\nu = 15,83 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Dürrfutters (γ_s), gleichen atmosphärischen Bedingungen sowie unter der Voraussetzung, daß die Luft auf der ganzen Fläche F_s ohne jegliche Einengung aus dem Dürrfutter ausströmen²⁾ kann ($F_s/F_s = 1$), war der Strömungswiderstand des Dürrfutters bei Vertikalbelüftung rund dreimal größer als bei Horizontalbelüftung.

2. Der Dürrfutterwiderstand nahm mit der Verkleinerung der Luftübertrittsfläche beziehungsweise des Flächenverhältnisses F_s/F_s unter sonst gleichen Bedingungen zu. Diese Zunahme war größer bei Durchströmung in horizontaler Richtung als bei Durchströmung in vertikaler Richtung.

3. Der Einfluß des Kubikmetergewichtes des Dürrfutters auf den Strömungswiderstand trat im Modellversuch gegenüber dem Einfluß der Strömungsrichtung und des Flächenverhältnisses zurück.

4. Der Dürrfutterwiderstand stieg im Mittel mit der 1,3- bis 1,6fachen Potenz der Luftgeschwindigkeit w_s , wobei der Potenzwert mit kleiner werdender Übertrittsfläche zunahm.

Diskussion

Der Widerstandsbeiwert ζ_s ist abhängig von

1. der Reynoldszahl Re_s ;
2. dem Flächenverhältnis F_s/F_s beziehungsweise F_s/F_s und
3. der Strömungsrichtung.

Die Abhängigkeit von der Reynoldszahl ist eine logische Folge von Gesetzmäßigkeiten, die in den allgemeinen Strömungsgleichungen festgelegt sind.

Die Abhängigkeit von den Flächenverhältnissen müßte weiter analysiert werden. Es wäre zu unterscheiden zwischen

1. dem Strömungswiderstand an den Übertrittsstellen zwischen Anlage im engeren Sinn und Dürrfutter (Übertrittsgeschwindigkeit) und
2. dem Strömungswiderstand im Dürrfutter, das heißt dem Widerstand zwischen Übertrittsstelle und Oberfläche des Dürrfutters (Dürrfutterwiderstand im engeren Sinn).

Diese Analyse wurde nicht durchgeführt, da uns die hierfür notwendigen Voraussetzungen fehlten. Ihre Bedeutung muß jedoch für eine allfällige Übertragung der Meßergebnisse auf Praxisanlagen erkannt werden.

Die Abhängigkeit des Widerstandsbeiwertes ζ_s von der Strömungsrichtung zeigt, daß dieser vermehrt Beachtung geschenkt werden

²⁾ Es ist zu beachten, daß die Luft im Modellversuch durch das Dürrfutter gesogen und nicht gepreßt wurde. Es müßte sonst heißen: „... in das Dürrfutter einströmen ...“.

muß. Ist zum Beispiel die Luftaustrittsstelle eines Luftverteilungssystems in horizontaler und vertikaler Richtung gleich weit vom Heustockrand entfernt, so dürfte in horizontaler Richtung mehr Luft strömen als in vertikaler Richtung. Für gleiche Luftmengen müßte der Belüftungsweg in horizontaler Richtung länger sein als in vertikaler Richtung. Bei den heutigen Anlagen in der Praxis ist diese Forderung in den seltensten Fällen erfüllt. Wir vermuten, daß ein Teil der Mißerfolge bei Heubelüftungen auf die in den Versuchen festgestellte Abhängigkeit des Widerstandsbeiwertes von der Strömungsrichtung zurückzuführen ist. Auf Grund dieser Überlegung schlagen wir Abänderungen für die sogenannten Vertikalanlagen (sogenannte Kamin- oder Stöpselanlagen, sowie Heutürme) vor. Es betrifft dies insbesondere die getrennte Luftführung zu den horizontalen Rosten und zu den vertikalen Kaminen sowie die Einwandungen der Belüftungsstöcke auch bei den sogenannten Kaminanlagen (Stöpselanlagen).

Beide Vorschläge [4; 5] wurden von der schweizerischen Praxis teilweise verwirklicht. In der eingangs erwähnten ausführlichen Arbeit werden weitere versuchsmäßige Entwicklungen beschrieben werden.

Zusammenfassung

Anhand von Modellanlagen wurde gezeigt, daß der Strömungswiderstand des Dürrfutters von der Größe der Luftübertrittsfläche zwischen Belüftungsanlage (im engeren Sinn) und Dürrfutter sowie von der Strömungsrichtung abhängig ist.

Beide Erkenntnisse müssen bei der Auslegung von Anlagen beachtet werden, wenn eine gleichmäßige Durchlüftung des Dürrfutters gewährleistet werden soll. Die Ergebnisse wurden in Form einer Strömungsgleichung dargestellt, die nach der Art der üblichen Strömungsgleichungen für Schüttgüter formuliert wurde.

Schrifttum

- [1] BICKEL, H.: Zur Frage des Strömungswiderstandes von Luzerne und luzernehaltigem Dürrfutter in Belüftungsanlagen. Landtechnische Forschung 6 (1956), S. 75 - 78.
- [2] GUILLOT, R.: Forced Air Flow in Drying Hay. Agr. Eng. 27 (1946), S. 519 bis 520.
- [3] MATTHIES, H.-J.: Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. VDI-Forschungsheft 454, 1956.
- [4] BICKEL, H.: Richtlinien zur Anwendung der Heubelüftung. Schweizer Bauer 112 (1958), Freitagsausgabe Nr. 19, Schweizerische Landwirtschaftliche Zeitschrift 88 (1960), S. 401—410.
- [5] BICKEL, H.: Les méthodes de séchage des foin et la valeur des plantes fourragères. 62^e Comm. ADCE, Changins-sur-Nyon, 1959.

Résumé

Hans Bickel: «The Resistance to Flow of Dry Food in Relation to the Direction of Flow.»

By means of model layouts it was shown that the resistance to flow of dry food depends on the size of the air changeover area between the ventilation system (in a narrower sense) and the dry food as well as on the direction of flow.

Both findings have to be considered when designing layouts which are to guarantee a uniform ventilation of dry food. The results were expressed by a flow equation which had been formulated according to the kind of usual flow equations for bulk goods.

Hans Bickel: «La résistance opposée par le fourrage sec en fonction de la direction du courant d'air.»

A l'aide d'installations expérimentales, on a démontré que la résistance opposée par le fourrage sec au courant d'air dépend de la grandeur de la surface d'échange d'air entre l'installation d'aération (dans un sens très étroit) et le fourrage sec ainsi que de la direction du courant d'air.

Lors de la conception d'installations d'aération, il faut donc prendre en considération ces deux faits afin d'assurer une aération régulière du fourrage. Les résultats ont été représentés sous forme d'une équation de flux établie selon les équations d'écoulement utilisées couramment pour les produits en vrac.

Hans Bickel: «La resistencia de pastos secos a la corriente en dependencia de la dirección de la misma.»

Con instalaciones modelo se ha demostrado que la resistencia que oponen los pastos secos a la corriente de aire, depende del tamaño de la superficie entre la entrada de aire de la instalación de ventilación (propriadamente dicho) y los pastos, así como de la dirección de la corriente.

Es preciso tener estos dos factores en cuenta en la construcción de las instalaciones, cuando se quiera asegurar una ventilación uniforme de los pastos. Los resultados se expresaron en forma de ecuaciones a modo de las que se emplean corrientemente para mercancías a granel.