Zeitschrift: Der Traktor und die Landmaschine : schweizerische landtechnische Zeitschrift

Herausgeber: Schweizerischer Verband für Landtechnik

Band: 31 (1969)

Heft: 3

Rubrik: IMA-Mitteilungen

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 25.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

IMA-MITTEILUNGEN 1-2 1969

14. Jahrgang Januar-Februar 1969

Herausgegeben vom Schweiz. Institut für Landmaschinenwesen und Landarbeitstechnik in Brugg Aargau

Verantwortliche Redaktion: J. Hefti und W. Siegfried

Beilage zu Nr. 3/69 von «DER TRAKTOR und die Landmaschine»

Strömungstechnische Grundlagen und deren Anwendung bei der Belüftungstechnik und beim pneumatischen Transport

F. Zihlmann, Ing. Agr. (2. Teil)

2.1 Druckverluste der Leitungen

Bei den meisten Anlagen haben wir vor oder nach dem Gebläse oder sogar auf beiden Seiten Rohrleitungen. Ohne dass wir mit dem Luftstrom eine Arbeit verrichten, ist schon zum voraus ein gewisser Druckverlust in der Leitung zu überwinden. So kann z. B. eine unzweckmässige Gestaltung des Kanalsystems bei der Heubelüftung zu einem derartigen Druckverlust führen, dass selbst der beste Heulüfter versagt. Es geht hier also um ein konkretes, praktisches Problem, das zu lösen wir nur in der Lage sind, wenn wir die technischen Zusammenhänge richtig erfassen.

Wenn wir den Gesamtdruck an zwei Stellen einer Gebläserohrleitung messen, so ist derjenige am zweiten Messpunkt tiefer. Die Differenz der beiden gemessenen Drücke ist gleich dem Druckverlust des dazwischen liegenden Rohrleitungsabschnittes. In einer geraden Rohrleitung nimmt der Druckverlust proportional zur Rohrlänge zu. Vergleichen wir den Druckverlust von zwei Rohrleitungen mit unterschiedlichem Rohrdurchmesser, aber bei gleicher Luftgeschwindigkeit, so ist derjenige in der Leitung mit kleinerem Durchmesser grösser. Bezeichnet man den Druckverlust der Leitung mit P_L, so gilt die Gleichung

$$P_L = \lambda \frac{1}{d} P_d \qquad \text{Gl 2}$$

In dieser Gleichung 2 bedeutet λ (sprich Lambda) eine Widerstandsziffer.

Dies ist ein Faktor, welcher für eine glatte Rohrleitung rund 0,014 und für eine Leitung aus rauhem Holz rund 0,028 beträgt. Der Durchmesser wird mit d bezeichnet. Der Bruch $\frac{1}{d}$ zeigt an, dass der Druckverlust mit grösser werdendem Durchmesser proportional abnimmt. P_d ist der dynamische Druck gemäss Gleichung 1. Wie wir vorn gesehen haben (vergl. Tabelle 1 und Abbildung 4), nimmt der dynamische Druck im Quadrat mit der Geschwindigkeit zu; d. h. mit andern Worten, der Druckverlust ist in erster Linie von der Luftgeschwindigkeit abhängig. Will man also viel Luft fördern und gleichzeitig den Leitungsverlust klein halten, was z. B. bei der Heubelüftung der Fall ist, muss man einen grossen Leitungsdurchmesser wählen, und zwar aus zwei Gründen: Einerseits ist der Leitungsverlust wegen des grossen Durchmessers klein, und anderseits erhalten wir eine kleine Luftgeschwindigkeit, was sich insbesonders stark auswirkt. Bei der Heubelüftung empfiehlt man den Querschnitt des Saugkanals doppelt so gross zu wählen wie denjenigen des Druckkanals. Nun wollen wir untersuchen, in welchem Verhältnis die Druckverluste stehen. Die Luftgeschwindigkeit saugseits wird mit 5 m/s, was einem dynamischen Druck von 1,53 mm WS entspricht, und druckseits mit 10 m/s gleich 6,12 mm WS dynamischer Druck angenommen. Hat der Druckkanal einen Durchmesser von 1 m, so muss der Ansaugkanal bei quadratischer Querschnittfläche einen Durchmesser von 1,414 m aufweisen.

Leitungsverlust pro m Länge

$$\text{saugseits} \quad P_L = 0{,}028 \times \frac{1}{1{,}414} \times 1{,}53 = 0{,}0303 \text{ mm WS}$$

$$\text{druckseits} \quad P_L = 0{,}028 \times \frac{1}{1} \times 6{,}12 = 0{,}171 \text{ mm WS}$$

Daraus folgt 0,0303 : 0,171 = 1 : 5,64, was besagt, dass auf der Druckseite der Leitungsverlust pro Laufmeter 5,64 mal grösser ist als auf der Saugseite. In gleichem Verhältnis wirken sich auch andere Verlustquellen aus, die durch Krümmer, Verengungen usw., verursacht werden.

Bei den Abladegebläsen ist der Futtertransport nur gewährleistet, wenn eine bestimmte minimale Luftgeschwindigkeit eingehalten wird. Für Grünfutter ist eine höhere Luftgeschwindigkeit notwendig als bei Dürrfutter. Daher wird oft für das gleiche Gebläse bei Dürrfutter ein Rohrdurchmesser von 400 mm und bei Grünfutter ein solcher von 310 mm gewählt. Die dabei auftretenden Vorgänge werden am besten anhand der sogenannten Widerstandsparabel erklärt. Wir gehen hier näher darauf ein, weil ihr für die Beurteilung von Fördergebläsen und für das Lesen der Prüfberichte grosse Bedeutung zukommt. Die Widerstandsparabeln sind stets proportional zur Parabel des dynamischen Druckes als Funktion von der Geschwindigkeit, welche vorn in

Abbildung 4 graphisch dargestellt wurde. Für gerade Rohrleitungen setzt sich der Proportionalitätsfaktor gemäss Gleichung 2

$P_L = \lambda \frac{1}{d} P_d$ aus den beiden Gliedern λ mal $\frac{1}{d}$ zusammen.

Diese beiden Werte sind in einer bestimmten Rohrleitung stets konstant; lediglich der dynamische Druck variiert je nach Luftgeschwindigkeit. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 6: Widerstandsparabeln zweier Gebläserohrleitungen mit 400 und 310 mm Rohrdurchmessern bildlich dargestellt. Die beiden Widerstandsparabeln gelten für 10 m Rohrlänge. Wegen des kleineren Rohrdurchmessers der 310 mm-Leitung muss die Widerstandsparabel rascher ansteigen als bei der 400 mm-Leitung. Wir können nun annehmen, ein Gebläse fördere in beiden Leitungen gleich viel Luft, z. B. 2,5 m³/s. Die mittlere Luftgeschwindigkeit bei 400 mm ∅ der Leitung beträgt dann 19,9 m/s und bei 310 mm ∅ 33,2 m/s. Für die 400 mm-Rohrleitung erhalten wir bei 10 m Rohrlänge einen Rohrleitungsverlust von 8,5 mm WS bei einem dynamischen Druck von 24,2 mm WS und für die 310 mm-Rohrleitung einen Rohrleitungsverlust von 30,3 mm WS bei einem dynamischen Druck von 67,4 mm. Der Gesamtwiderstand in der 10 m langen Leitung beträgt bei 2,5 m³/s Luftförderung für 400 mm Rohrdurchmesser 8,5 + 24,2 = 32,7 mm WS und für 310 mm Rohrdurchmesser 30,2 + 67,4 = 97,6 mm WS.

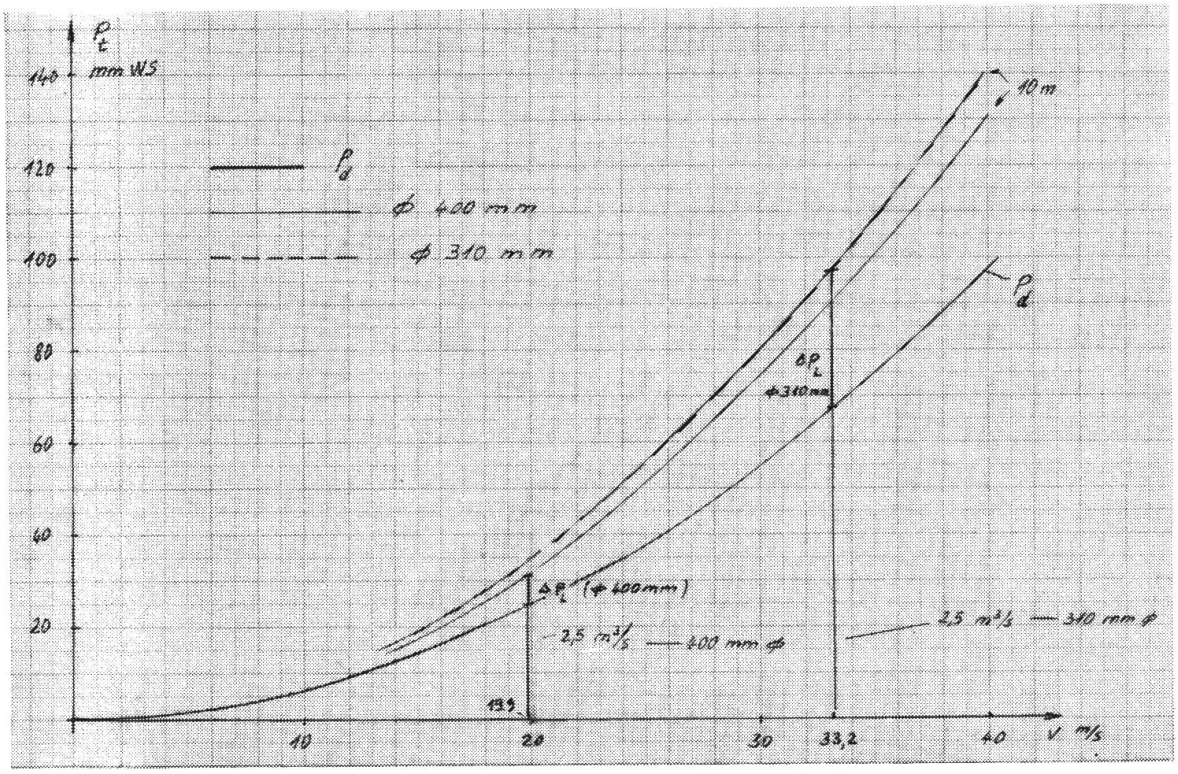


Abb. 6: Widerstandsparabel für Rohrleitungen mit 400 mm Durchmesser und 310 mm Durchmesser bei 10 m Rohrlänge. Annahme: Luftfördermenge 2,5 m³/s; Ergebnis für Rohr mit 400 mm Durchmesser: Luftgeschwindigkeit 19,9 m/s, Betriebsdruck 32,7 mm WS; für Rohr mit 310 mm Durchmesser: Luftgeschwindigkeit 33,2 m³s, Betriebsdruck 97,6 mm WS. P_d = dynamischer Druck, ΔP_L = Rohrreibungsverlust.

Nun ist es so, dass bei steigendem Gegendruck die Luftförderung des Gebläses abnimmt. Den effektiven Betriebsdruck bei gewechselter Rohrleitung erhalten wir, indem wir die Widerstandsparabeln in das Gebläse-Leistungs-Diagramm, wie in Abbildung 7, eintragen. Die Widerstandsparabel für die 400 mm-Rohrleitung bei 10 m Rohrlänge schneidet die Druck-Volumen-Kurve des Gebläses in Punkt B_1, welcher dem Betriebspunkt entspricht. Die Luftförderleistung beträgt 3,37 m³/s und die Luftgeschwindigkeit 26,7 m/s. Bei einer 10 m langen Rohrleitung mit 310 mm Durchmesser schneidet die Widerstandsparabel die Druck-Volumenkurve des Gebläses in B_2, was einer Luftförderleistung von 2,42 m³/s und einer Luftgeschwindigkeit von 32 m/s entspricht.

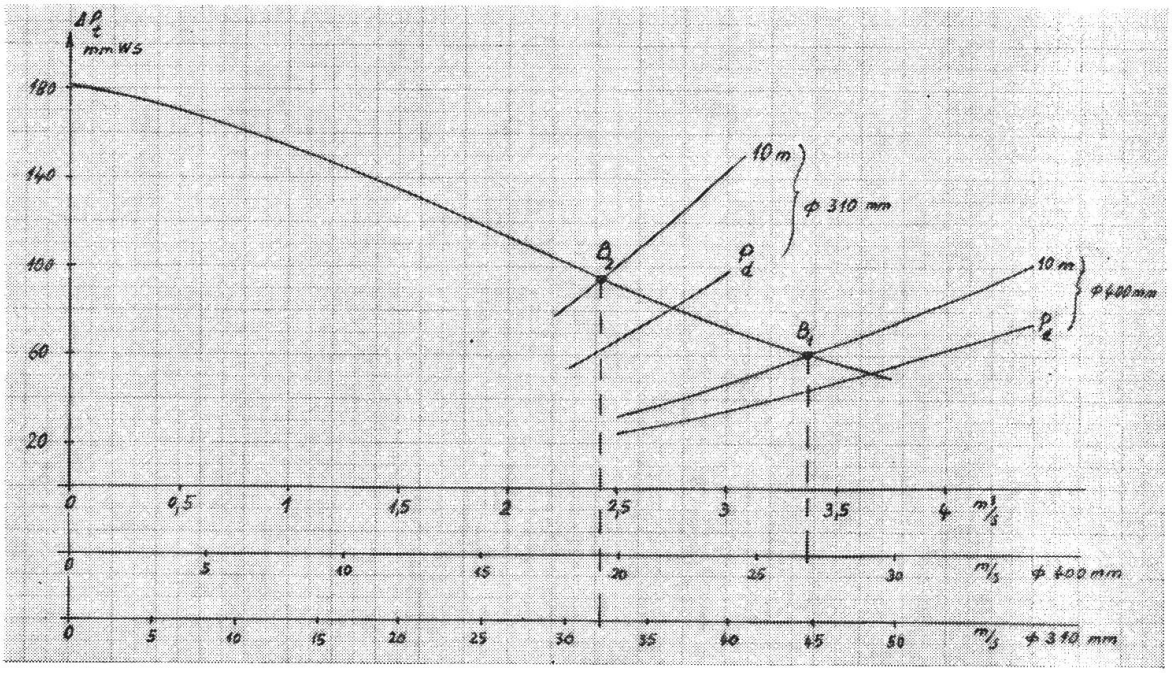


Abb. 7: Gebläseleistungsdiagramm und Widerstandsparabeln. Die fallende Kurve von ca. 180 mm WS Gesamtdruck (ΔP_t) bei 0 m³/s Luftförderung auf ca. 56 mm WS bei 3,5 m³/s ist die gemessene Druck-Volumen-Kurve eines Gebläses. Die mit zunehmender Förderleistung steigenden Kurven stellen die Widerstandsparabeln dar. Für eine 10 m lange Rohrleitung liegt der Betriebspunkt für 400 mm Rohrdurchmesser bei B_1 mit 60 mm Gesamtdruck und für 310 mm Rohrdurchmesser bei B_2 mit rund 95 mm WS Gesamtdruck. Auf den zwei untersten Skalen kann die entsprechende Luftgeschwindigkeit abgelesen werden.

In Zukunft werden in die Gebläse-Leistungsdiagramme auch die Widerstandsparabeln für die verschiedenen Rohrleitungslängen eingetragen. Diese erlauben uns, für die geraden Rohrleitungen die entsprechenden Betriebspunkte (Luftgeschwindigkeit und Druck) bei reiner Luftförderung zu bestim-

men. Nun wissen wir, dass zum Fördern von Heu die Luftgeschwindigkeit mindestens 22 m/s betragen soll. Bei Grünfutter sind wesentlich höhere Luftgeschwindigkeiten (ca. 30 m/s) notwendig. Da aber beim Grünfuttertransport andere Faktoren, z. B. Abwurfeigenschaften des Schaufelrades, entscheidend sind, ist die Luftgeschwindigkeit nicht allein massgebend für die Förderweite.

Wie oben hingewiesen, gelten die Widerstandsparabeln nur für gerade Rohrleitungen. In der Regel sind bei eingebauten Rohrleitungen mehrere Bogen vorhanden. In diesen ist der Druckverlust grösser als in den geraden Rohrstücken. Um die Umrechnung zu erleichtern, werden in Tabelle 2 die Druckverluste der Bogen in Metern gerader Rohrleitung angegeben. Die vergleichbare gerade Rohrleitung erhält man, indem man zuerst die Länge in Metern der geraden Rohrstücke zählt und dazu für jeden Bogen die in Tabelle 2 angeführten Werte in Metern addiert.

Tabelle 2: **Aequivalente Rohrlängen der Bogen**

Rohrdurchmesser	Bogen 90°	60 oder 45°
500	7 m	4,5 m
400	6 m	4,0 m
310	4,5 m	3,5 m

2.2 Druckverluste durch Hindernisse in der Leitung

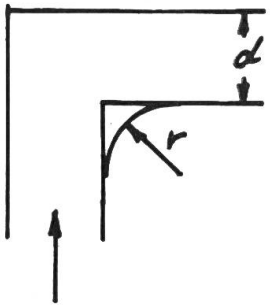
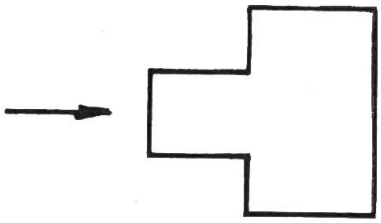
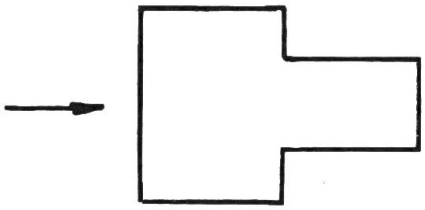
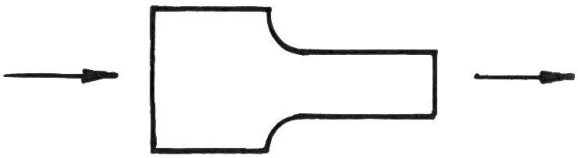
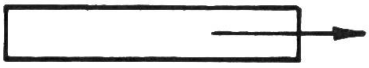
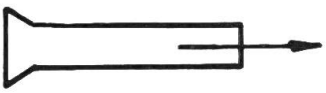
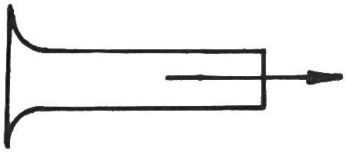
Jede Krümmung, Abzweigung, Verengung oder Erweiterung in einer Leitung verursacht zusätzliche Druckverluste. Diese sind in der Regel wesentlich höher als die Rohrleitungsverluste. Für den Sonderfall der Bogen bei Fördergebläsen haben wir den Druckverlust der Bogen in äquivalenten geraden Rohrlängen ausgedrückt. Eine solche Vereinfachung ist beim Kanalsystem einer Heubelüftungsanlage nicht möglich.

Der Druckverlust der Einzelhindernisse ist, wie der Rohrreibungsverlust λ direkt proportional mit dem dynamischen Duck, also

$$\Delta P_i = \zeta P_d \qquad \text{Gl 3}$$

In Gleichung 3 bedeutet ζ (sprich Zeta) eine Widerstandsziffer, welche angibt, wieviel des dynamischen Druckes durch das betreffende Hindernis verloren geht. Die ζ-Werte variieren vielfach, wie anschliessende Uebersicht zeigt, von 0 bis ca. 1,5. Der Wert 1,5 besagt, dass der Druckverlust für das betreffende Hindernis dem 1,5-fachen des an der Eintrittsstelle herrschenden dynamischen Druckes entspricht. Tragen wir die Verluste in Funktion der Luftgeschwindigkeit graphisch auf, erhalten wir wieder die vorn besprochenen Widerstandsparabeln.

Uebersicht über einige Widerstandsziffern = ζ–Werte

	ζ–Werte	Formstücke
Krümmer (rund oder quadratischer Querschnitt)		
Ecken scharf	1,5	
Ecken rund r = d	0,25	
Plötzliche Erweiterung		
Eintrittsfläche : Austrittsfläche		
1 : 2	0,25	
1 : 1,5	0,11	
1 : 1,25	0,04	
1 : 1	0	
Plötzliche Verengung (scharfe Kanten)		
Eintrittsfläche : Austrittsfläche		
1 : 0,5	1,10	
1 : 0,6	0,75	
1 : 0,7	0,40	
1 : 0,8	0,20	
1 : 0,9	0,10	
1 : 1	0	
Plötzliche Verengung mit guter Rundung	0,05	
Einstromstücke mit scharfen Kanten	1,0	
mit konischem Ansatz	0,07	
mit Düseneinsatz	0,02	

Aus den Widerstandsziffern ζ können folgende Schlüsse gezogen werden: Krümmer mit scharfen Kanten sind äusserst ungünstig. Der Druckverlust ist das 1,5-fache des dynamischen Druckes. Allein durch das Abrunden der inneren Ecke kann der Druckverlust auf 1/6 reduziert werden. Bei Verengungen soll der Uebergang gut gerundet werden. Weiter ist dem Einstromstück grosse Beachtung zu schenken.

3. Einbau von Axialventilatoren

Der Axialventilator lässt sich verhältnismässig leicht montieren. Dieser Vorteil wurde schon oft zum Verhängnis, indem der Ventilator ganz unüberlegt gerade an den ungünstigsten Stellen eingebaut wurde. In Fällen, wo der Axialheulüfter nicht befriedigte, obwohl er grössenmässig richtig gewählt wurde, lag die Ursache fast nie beim Ventilator. Die meisten Fehler sind auf unfachgemässe Planung und Ausführung des Einbaues zurückzuführen. Schätzungsweise weist ungefähr die Hälfte der eingebauten Anlagen mehr oder weniger grobe Mängel auf, welche fast ausschliesslich auf der Saugseite des Ventilators zu finden sind.

Vorab ist zu erwähnen, dass es heute immer noch Firmen gibt, welche Ventilatoren ohne richtigen Einlauf liefern. Solche Ventilatoren verdienen nicht die Bezeichnung Heulüfter und sind in jedem Falle zu beanstanden (Abb. 8).

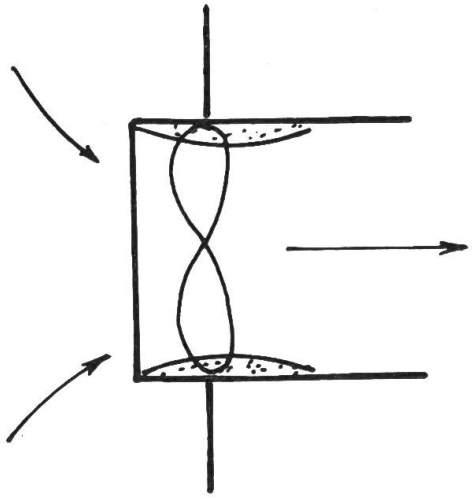


Abb. 8:
Ventilator ohne Einlauf. Im punktierten Bereich herrscht eine Zone mit verdünnter Luft. Daher schlechte Schöpfleistung des Ventilators.

Bekanntlich fördert ein Axialventilator an der Schaufelspitze am meisten Luft. Wenn die Luft über eine Kante angesogen wird, stürzt sie sich, ähnlich wie beim Wasserfall, über die Kante hinweg. Das hat zur Folge, dass im äussersten Bereich der Ventilatorschaufeln ein Vakuum entsteht, also gerade dort, wo die Förderleistung des Ventilators am grössten ist. Deshalb ist es möglich, dass die Förderleistung für das gleiche Laufrad auf ca. 70 bis 80% zurückfällt im Vergleich zu derjenigen mit gutem Einlauf (Abb. 9). Dazu kommt noch, dass sich die Höhe des Schallpegels beim Fehlen des Einlaufes mehr als verdoppelt.

Damit ein Ventilator voll schöpfen kann, ist wesentlich, dass die Luft von allen Seiten her gleichmässig zuströmt. Diese an und für sich selbstverständliche Forderung wird am wenigsten beachtet.

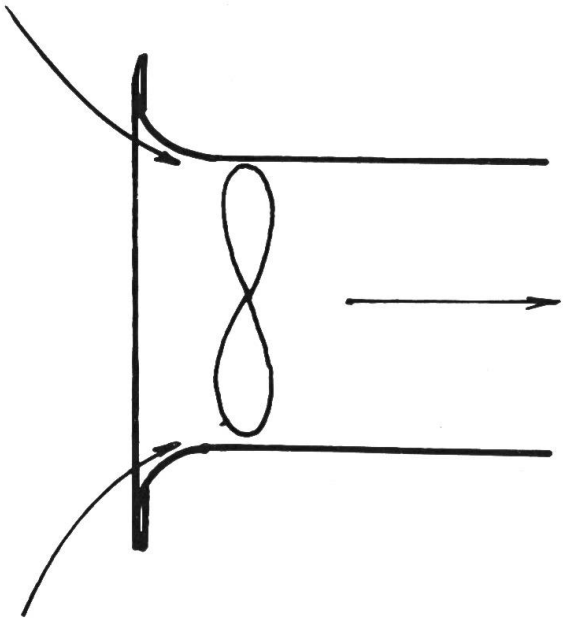


Abb. 9:
Ventilator mit Einlauf. Günstige Einströmverhältnisse.

Wegen der Lärmbekämpfung ist in vielen Fällen ein Krümmer im Ansaugkanal erforderlich. Bei genügend grossem Querschnitt und wenn die Ecken gerundet werden, so liegen die Leitungsverluste in sehr bescheidenem Rahmen. Ausschlaggebend ist jedoch, dass die Luft dem Ventilator strömungstechnisch richtig zugeführt wird, was an nachfolgenden Beispielen näher erläutert werden soll.

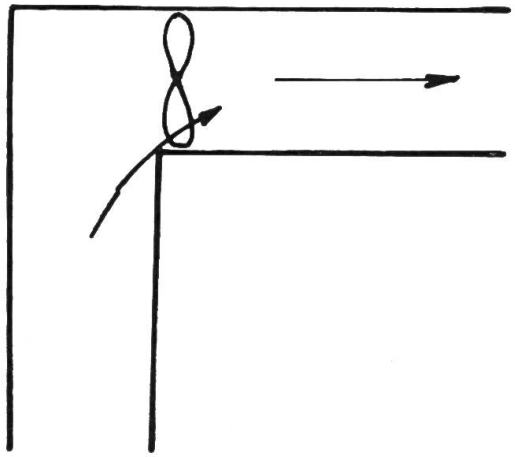


Abb. 10:
Falsch eingebauter Ventilator.

Ein Einbau von Axialventilatoren, wie Abbildung 10 zeigt, ist in der Praxis recht häufig zu finden. Bei solcher Anordnung ist es möglich, dass der Ventilator nur mehr 60 bis 70% oder noch weniger der möglichen Förderleistung abgibt. Der Hauptfehler besteht darin, dass der Ventilator unmittelbar bei der Krümmerkante steht. Das hat zur Folge, dass die Luft praktisch nur auf die Querschnittshälfte zuströmt, welche der Krümmerkante zugewendet ist. Ist zusätzlich kein Einlauf vorhanden, so tritt noch der sogenannte Wasserfalleffekt hinzu, so dass sich die Schaufelspitzen noch in einem luftverdünnten

Raum drehen. Schliesslich ist noch der Querschnitt des Saugkanals zu klein. Unter solchen Bedingungen versagt auch der beste Ventilator. Mit verhältnismässig kleinen Massnahmen können alle Mängel behoben werden und zwar wie folgt: Der Ventilator wird ca. einen Meter gegen den Druckkanal hin versetzt. Wenn kein Einlauf vorhanden ist, ist ein solcher vorn am Ventilator zu montieren. Der Querschnitt des Saugkanals wird vergrössert und die Krümmerkante gerundet (vergl. Abb. 11).

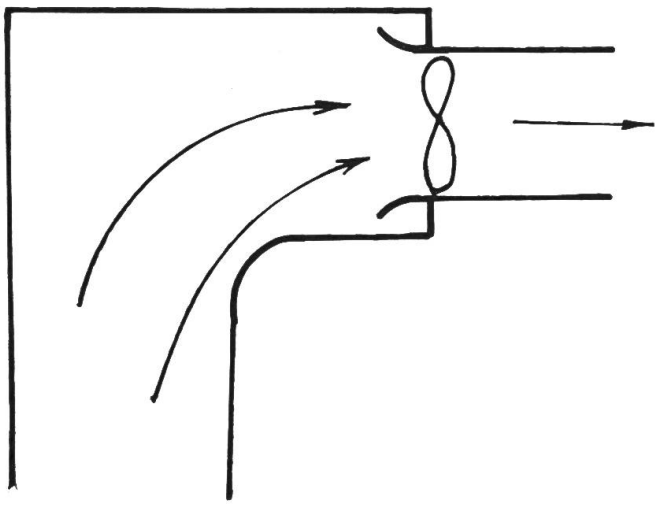


Abb. 11:
Richtig eingebauter Ventilator bei abgewinkeltem Ansaugkanal.

Wenn es nicht möglich ist, den Ventilator gegen den Druckkanal hin zurückzusetzen, kann zu gewissen Hilfseinrichtungen gegriffen werden, wie doppelseitiger Ansaugkanal und Führungsbleche (vergl. Abb. 12 und 13).

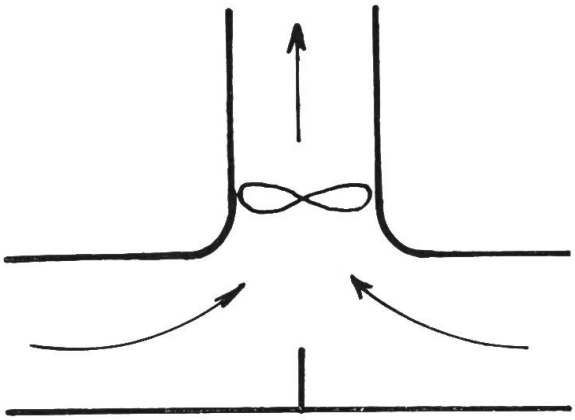


Abb. 12:
Bei zweiseitiger Ausströmung der Luft arbeitet auch ein nicht zurückversetzter Ventilator gut.

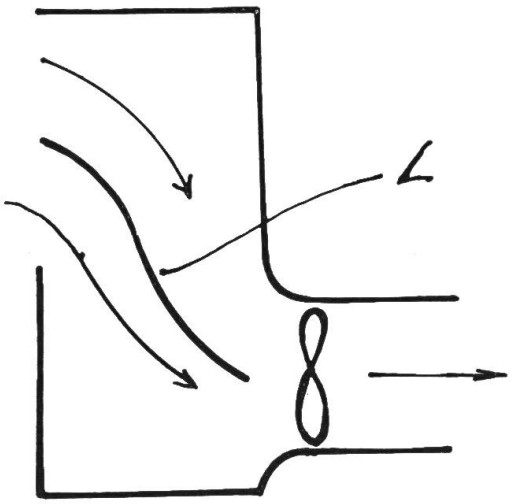


Abb. 13:
Durch das Anbringen eines Leitbleches L können die Anströmverhältnisse eines nicht zurückversetzten Ventilators verbessert werden.

Das Grundproblem besteht darin, dass die Luft im Ansaugkanal so geführt wird, dass sie möglichst gleichmässig auf die ganze Querschnittfläche des Ventilators zuströmt.

4. Schlussbetrachtung

In der Landwirtschaft finden strömungstechnische Anlagen immer grössere Verbreitung. Daher wurde es als notwendig erachtet, die wesentlichsten physikalischen Zusammenhänge aufzuzeigen. Bei der stofflichen Wahl wurde streng darauf geachtet, dass nur solche Probleme behandelt wurden, welche für die Beurteilung der verschiedenen Anlagen in der Praxis von Bedeutung sind. Der zusammengetragene Stoff ist also noch sehr lückenhaft.

Wer etwas mehr in die Tiefe gehen will, wird sofort feststellen, dass die Materie viel komplizierter und vielschichtiger ist. Die Luft geht stets den Weg des geringsten Widerstandes. Sie findet immer Wege, die uns auf den ersten Anhieb fast als unmöglich erscheinen. Mit obigen Ausführungen wurde also nicht das Ziel verfolgt, eine allgemeine Einführung in die Strömungstechnik zu geben. Die hier gestellte Aufgabe wird als erfüllt betrachtet, wenn einerseits das Verständnis für strömungstechnische Belange geweckt werden konnte. Anderseits wurde es als notwendig erachtet, eine Hilfe zu geben, wie strömungstechnische Anlagen zu handhaben und zu beurteilen sind.

Literatur

Eck B.	Ventilatoren, Springer-Verlag Berlin 1962
Dubbels	Taschenbuch für den Maschinenbau 1. Band Springer-Verlag Berlin 1966
Sulzer	Grundlagen für die Projektierung von Ventilatoren Sulzer, Winterthur

Fortschrittliche Landwirte treten dem IMA als Förderer bei und werden von diesem durch kostenlose Zustellung aller Prüf- und Untersuchungsberichte auf dem laufenden gehalten. — Jahresbeitrag Fr. 15.—