

# Konstruktion landwirtschaftlicher Fördergebläse

Institut für Landmaschinen der TH Braunschweig

Gebläse werden in der Landwirtschaft zur Förderung von Spreu, Häcksel, von Trocken- und Grünfütter, Körnern, Heu, Stroh und Garben benutzt. Gegenüber mechanischen Förderern wie Höhenförderern haben sie den Vorzug größerer Einfachheit. Sie sind billiger in der Anschaffung und unterliegen kaum einer Abnutzung. Ein Nachteil besteht in dem etwas höheren Kraftbedarf, der bei richtiger Bemessung der Gebläsanlage jedoch in wirtschaftlich tragbaren Grenzen gehalten werden kann. Die Kosten für den höheren Kraftbedarf werden durch die geringeren Anschaffungskosten ausgeglichen. Wenn wir bei Gebläseförderanlagen heute noch Kraftbedarfswerte antreffen, die als zu hoch bezeichnet werden müssen, dann ist das stets auf eine falsche windtechnische Bemessung der Rohrleitung, der Schleuseneinrichtung oder des Gebläses zurückzuführen. Entweder ist die Rohrweite nicht richtig gewählt, die Injektorschleuse strömungstechnisch ungünstig ausgeführt oder der Wirkungsgrad des Gebläses zu niedrig. Aber selbst bei Verwendung von Gebläsen mit hohem Wirkungsgrad können Fehler auftreten. Die Luft- und Druckleistung des Gebläses kann falsch auf die Rohrleitung abgestimmt sein, d. h. das Gebläse arbeitet nicht in dem Betriebszustand, bei dem es die gewünschte Luftmenge und den benötigten Druck mit höchstem Wirkungsgrad liefert. Das Gebläse ist entweder zu klein oder zu groß bemessen. Alle diese Fehler können vermieden werden, wenn dem Entwurf eine sorgfältige Berechnung vorausgeht, für die wir heute Unterlagen bis auf wenige Lücken besitzen.

Die oben erwähnten verschiedenen landwirtschaftlichen Fördergüter sind hinsichtlich ihres Raumgewichtes und ihrer Flugeigenschaften im Förderluftstrom so unterschiedlich, daß sie zu ganz verschiedenen charakteristischen Gebläse-Bauformen geführt haben. Rein äußerlich weichen sie so sehr voneinander ab, daß es auf den ersten Blick schwierig erscheint, ihre konstruktive Gestaltung auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen. Windtechnisch gesehen unterliegen sie aber den gleichen Gesetzen, wenn wir die Vorgänge in der Förderrohrleitung, in der Schleuse und die Arbeit des Gebläses als Lufterzeuger betrachten. Nach diesen Gesichtspunkten soll auch ihre Gestaltung hier behandelt werden.

Ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit der Gebläseförderanlage ist neben den Anschaffungskosten der Kraftbedarf. Im Kernpunkt dieser Frage steht die Wahl der Rohrweite. Wir finden bei pneumatischen Getreideförderanlagen zum Entladen von Schiffen sehr enge Rohrleitungen aus schweren Stahlrohren mit Hochdruckgebläsen oder sogar Kompressoren. Enge Rohre mit einem dichten Kornluftgemisch führen zu hohen Luftdrücken in der Rohrleitung, weite Rohre mit einem dünnen Korn-Luftgemisch erlauben die Verwendung von Niederdruckgebläsen in Form von Zentrifugalventilatoren. Diese sind in der Ausführung billiger und erfordern keine besonders sorgfältig verlegten Rohrleitungen, da geringere Undichtigkeitsverluste den Kraftbedarf kaum beeinflussen. Zentrifugalgebläse sind dank ihrer Einfachheit für die Landwirtschaft besonders geeignet, infolge ihrer begrenzten Druckleistung setzen sie aber entsprechend weite Förderrohre voraus. Die Bemessung der Weite ist nach oben hin natürlich begrenzt, da mit zunehmender Weite der Kraftbedarf anwächst. Wenn wir mit der Verwendung von Zentrifugalgebläsen rechnen, ergibt sich aus ihrer begrenzten Druckleistung ganz zwangsläufig die dazu gehörige Mindestrohrweite. Wir müssen infolgedessen beim Entwurf einer Gebläseförderanlage zunächst von der Rohrweite, d. h. von den Verhältnissen in der Förderrohrleitung ausgehen. Unter Berücksichtigung der Einschleusvorrichtung gelangen wir dann zur Berechnung und Festlegung der Gebläseabmessungen. Diese einzelnen Bauteile

der Gebläseförderanlage sollen der Reihe nach behandelt werden.

## Verhältnisse in der Rohrleitung

Bei der Wahl der Rohrweite haben wir von folgender Überlegung auszugehen. Der Kraftbedarf eines Fördergebläses ergibt sich aus der Gleichung:

$$N_1 = \frac{V \cdot h_g}{75} \quad [\text{PS}].$$

Darin ist  $V$  die Luftmenge in  $\text{m}^3/\text{s}$  und  $h_g$  der Gesamtdruck in mm WS. Dieser Kraftbedarf stellt den optimalen Wert dar, der vermindert wird durch die Verluste in der Schleuse und im Gebläse, die in der Gleichung durch die Wirkungsgradwerte  $\eta_G$  für das Gebläse und  $\eta_S$  für die Schleuse berücksichtigt werden können. Wir erhalten dann für den Kraftbedarf folgende Gleichung:

$$N_2 = \frac{N_1}{\eta_G \cdot \eta_S} \quad [\text{PS}].$$

Während wir mit Zentrifugalventilatoren jede beliebige Luftmenge erzeugen können, ist die Druckleistung beschränkt. Die Rohrweite ist daher so zu wählen, daß die zur Verfügung stehende Druckleistung nicht überschritten wird. Es kommt also darauf an, die Rohrweite entsprechend diesem Grenzwert festzulegen, d. h. diejenige Rohrweite zu wählen, bei der dieser Druck nicht überschritten wird. Der Druck kann errechnet werden nach der Gleichung:

$$h_s = \frac{l \cdot \lambda}{D} \cdot h_d = \frac{l \cdot \lambda}{D} \cdot \frac{w^2 \cdot \gamma}{2g}$$

Der Gesamtdruck beträgt dann:

$$h_g = h_s + h_d$$

Darin bedeuten  $h_s$  der statische Druck in mm WS,  $h_d$  der dynamische Druck in mm WS,  $l$  die Rohrlänge in m,  $D$  die Rohrweite,  $\lambda$  die Widerstandszahl,  $\gamma$  das spezifische Gewicht der Luft,  $g$  die Erdbeschleunigung =  $9,81 \text{ m/s}^2$  und  $w$  die Windgeschwindigkeit in m/s. Wir sehen aus der Gleichung, daß der Druck im wesentlichen abhängig ist von der gewählten Windgeschwindigkeit, der Rohrweite und der vorliegenden Rohrwiderstandszahl  $\lambda$ . Die Gleichung zeigt ferner, daß der Druck mit zunehmender Windgeschwindigkeit ansteigt (quadratisch). Das bedeutet, daß die Windgeschwindigkeit nicht zu hoch gewählt werden darf. Für die erforderliche Windgeschwindigkeit besitzen wir Erfahrungswerte, sie betragen für

Spreu . . . . .	16 m/s,
Häcksel . . . . .	18 m/s,
Körner . . . . .	20—24 m/s,
Heu und Stroh . . . . .	23 m/s.

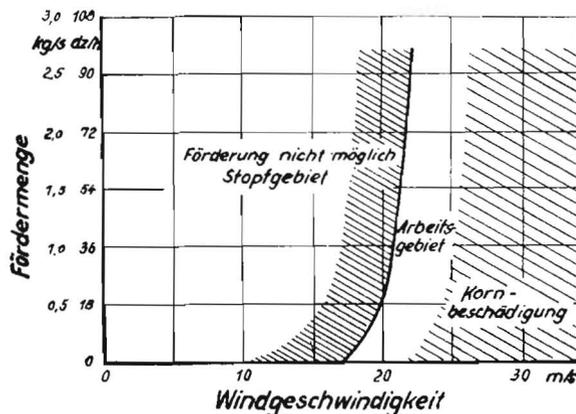


Abb. 1: Wahl der Windgeschwindigkeit bei Körnerförderung

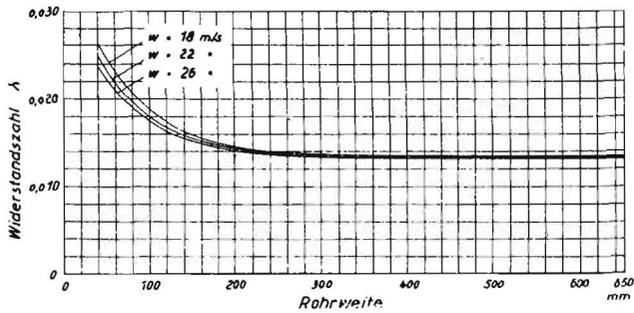


Abb. 2: Widerstandszahl für Luftförderung

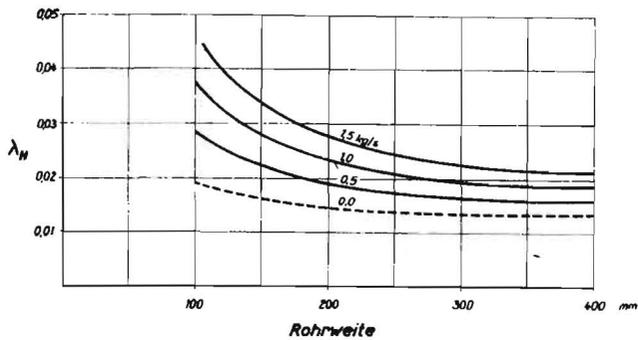


Abb. 3: Widerstandszahl für Häckselförderung bei 57 mm Häcksellänge und 18 m/s Windgeschwindigkeit

Bei zu niedrigen Windgeschwindigkeiten können Verstopfungen in der Rohrleitung auftreten, bei zu hohen Geschwindigkeiten entsteht außer einem zu hohen Kräftebedarf bei empfindlichem Fördergut wie Körnern die Gefahr der Beschädigung, die sich bei Saatgetreide in Keimsschäden nachteilig bemerkbar machen (Abb. 1).

Für die Widerstandszahl  $\lambda$  liegen genaue Meßwerte vor. Für Förderung von Luft ohne Material sind sie in Abbildung 2 wiedergegeben. Bei Heu- und Strohegebläsen können wir die Werte für Luftförderung einsetzen. Wir machen damit einen Unterschied gegenüber

den Gebläsen für die Förderung von Spreu, Häcksel und Körnern, bei denen besondere Widerstandszahlen zu verwenden sind, die die erhöhte Reibung für die Förderung von Material berücksichtigen. Diese unterschiedliche Behandlung wird notwendig, weil wir nur bei den letztgenannten Fördergütern mit einem kontinuierlichen Förderstrom in der Rohrleitung rechnen können, während bei dem voluminösen Heu und Stroh eine stoßweise Belastung des Gebläses durch das nacheinander erfolgende Abwerfen von Ballen nicht zu vermeiden ist und diese Förderverhältnisse rechnerisch schwer zu erfassen sind. Bei Heu- und Strohegebläsen gehen wir daher besser von der Erfahrungstatsache aus, daß eine einwandfreie Förderung erfolgt, wenn das Gebläse im Leerlauf auf eine Windgeschwindigkeit von 23 m/s im Förderrohr eingestellt wird. Daraus ergibt sich für diese Gebläsegattung die Verwendung der für Luft gültigen, in Abbildung 2 wiedergegebenen Widerstandszahlen.

Genauere, experimentell ermittelte Unterlagen für Widerstandszahlen bei Spreu- und Häckselförderung liegen noch nicht vor. Wir sind z. Z. im Rahmen eines Forschungsauftrages des KTL damit beschäftigt, diese Werte zu messen. Solange diese Daten nicht bekannt sind, können für Häckselförderung die in Abbildung 3 wiedergegebenen Widerstandszahlen, die wir rechnerisch ermittelt haben, verwendet werden. Sie gelten nur für eine bestimmte Häcksellänge. Der Fehler, der bei Verwendung dieser Zahlenwerte für andere Häcksellängen entsteht, dürfte nach unserer Erfahrung nicht erheblich sein.

Bei Körnergebläsen sind wir in der glücklichen Lage, sämtliche  $\lambda$ -Werte für alle in Frage kommenden Rohrweiten, Windgeschwindigkeiten und Förderleistungen zu besitzen. In Abbildung 4 ist ein Teil dieser Werte angegeben, andere können aus vorliegenden Veröffentlichungen entnommen werden. Diese Werte gelten für die waagerechte Förderung. Zusätzliche Widerstände für die senkrechte Förderung, für die Beschleunigung des Fördergutes hinter der Schleuse, für Rohrkrümmer und für den Austritt des Fördergutes aus der Rohrleitung müssen besonders berücksichtigt werden. Hierfür wird die Anwendung des Scheinlängenverfahrens empfohlen, bei dem die zusätzlichen Wider-

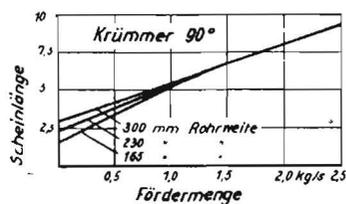
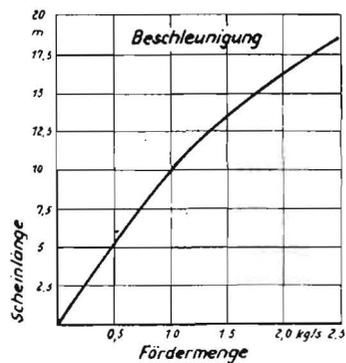
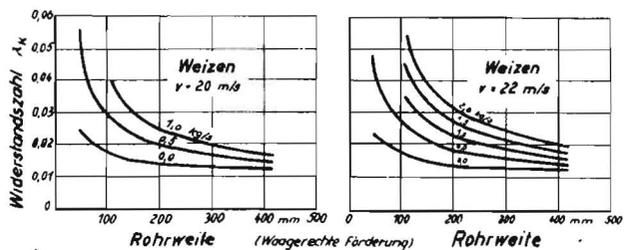


Abb. 4: Widerstandszahl und Scheinlängen für Materialbeschleunigung und Rohrkrümmer bei Körnerförderung

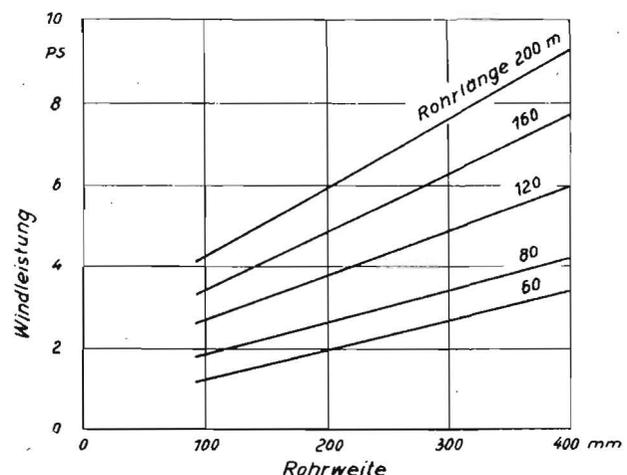
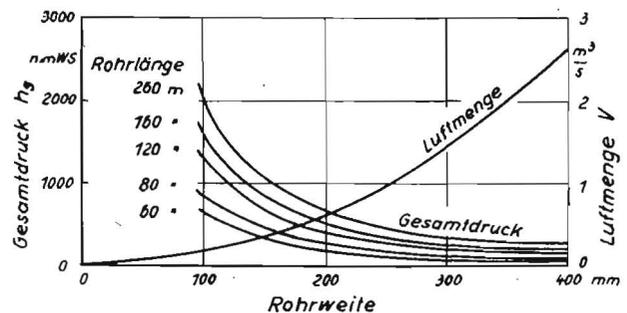


Abb. 5: Einfluß der Rohrweite auf den Kraftbedarf bei Körnerförderung, berechnet für eine stündliche Leistung von 36 dz bei 21 m/s Windgeschwindigkeit

stände durch Zuschläge zur geometrischen Rohrlänge berücksichtigt werden können. So ergibt z. B. die senkrechte Förderung eine Widerstandszahl, die etwa doppelt so hoch liegt wie bei der waagerechten Förderung, das bedeutet, daß für die senkrechte Förderung eine doppelt so große Länge eingesetzt werden muß. Die weiteren Zuschläge für die Beschleunigung, Krümmen und die Austrittsverluste können aus Abbildung 4 entnommen werden. Mit Hilfe dieser Werte und der oben angegebenen Gleichungen erhalten wir für eine bestimmte Rohrweite den erforderlichen Druck und sind damit in der Lage, nachzuprüfen, ob dieser Druck von dem in Aussicht genommenen Gebläse geleistet werden kann. Trifft das nicht zu, dann muß eine Rohrleitung mit größerer Weite der Berechnung zu Grunde gelegt und die gleiche Rechnung wiederholt werden, bis wir einen geeigneten Rohrdurchmesser gefunden haben. Zur Erleichterung des Rechnungsganges ist es zweckmäßig, Diagramme anzufertigen, in denen über der Rohrweite der für eine bestimmte Fördermenge und Windgeschwindigkeit sich ergebende Druck aufgetragen wird. Trägt man dazu die Luftmenge, die sich aus der Rohrweite und der Windgeschwindigkeit errechnen läßt und die dem Produkt von Luftmenge und Druck entsprechende Luftenergie bzw. den Kraftbedarf auf, dann erhalten wir alle für die Berechnung des Körnergebläses wichtigen Daten. Ein Beispiel ist in Abbildung 5 gezeigt. Mit Hilfe dieses Diagrammes kann für eine bestimmte Gebläsedruckleistung der zugehörige Rohrdurchmesser gefunden, die erforderliche Luftmenge und der vorliegende Kraftbedarf ermittelt werden. Der tatsächliche Kraftbedarf der Anlage ergibt sich dann durch Division mit dem Gebläsewirkungsgrad  $\eta_G$  und dem Schleusenwirkungsgrad  $\eta_S$ . Auf die Wirkungsgrade von Schleusen und Gebläsen kommen wir weiter unten noch zu sprechen.

Bei der Auswahl der Rohrweite empfiehlt es sich, die vorliegenden Normvorschlage zu berücksichtigen, denen die Normzahlen zugrunde gelegt sind. Abbildung 6 gibt eine Übersicht über die bei den verschiedenen Geblesearten üblichen Rohrweiten, abgestuft nach den Normzahlen. Die tatsächlich für die Normung vorgesehenen Werte weichen teilweise um ein geringes Maß von der Normzahl ab, weil bei der Festlegung der Normen Rücksicht genommen werden muß auf die vorhandenen und handelsüblichen Maße der Blechtafeln. Leider sind die endgültigen Normen noch nicht zustande gekommen, so daß wir uns zunächst an die Normzahlen halten müssen. In Abbildung 6 sind neben den Rohrweiten die jeweiligen Rohrquerschnitte angegeben und ferner die jeweils erreichbaren Förderleistungen.

Rohrweite R 20	Rohrfläche R 10	Trockenhusel		Kornen		Heu	
		dz/h	v.H.	dz/h	v.H.	dz/h	v.H.
112	1,00	63+8	100				
125	1,25	8-10	125				
140	1,60	10-12,5	160				
160	2,00	12,5-16	200				
180	2,50	16-20	250	12,5-25	100		
200	3,15	20-25	315	16-31,5	125		
224	4,00	25-31,5	400	20-40	160		
250	5,00	31,5-40	500	25-50	200		
280	6,30	40-50	630	31,5-63	250		
315	8,00	50-63	800	40-80	315		
355	10,0						
400	12,5						
450	16,0						
500	20,0					31,5-50	100
560	25,0					40-63	125
630	31,5					50-80	160

Abb. 6: Rohrweiten für die Förderung von Huseln, Kornern und Heu

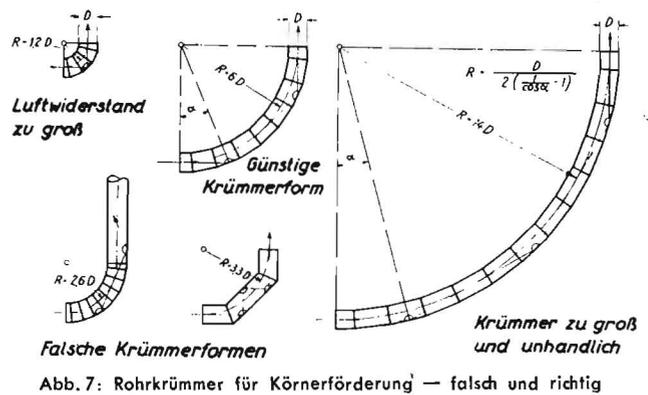


Abb. 7: Rohrkrummer für Kornforderung — falsch und richtig

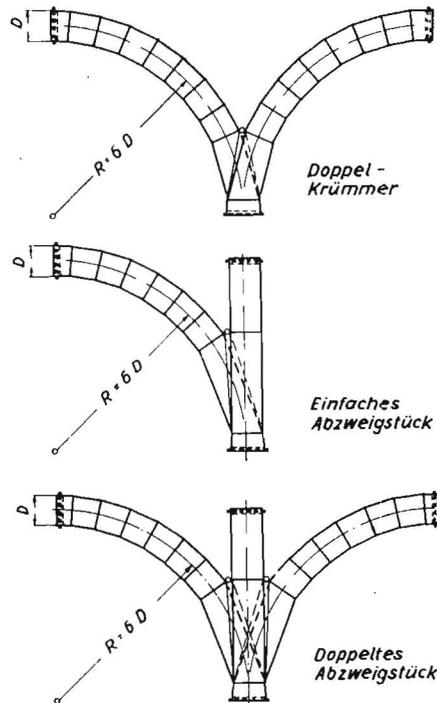


Abb. 8: Rohrabzweigstucke für Huseln- und Korngeblase

Da wir bei landwirtschaftlichen Fordergeblasen annehmen konnen, daß die Leistungen im direkten Verhaltis zum Rohrquerschnitt stehen, gibt die Tabelle uns eine brauchbare Übersicht über die Abstufungen der Leistungen bei den einzelnen Rohrweiten. Die jeweils angegebene hohere Leistung bezieht sich auf eine kurze Rohrleitung, die geringere Leistung auf eine langere Rohrleitung. Es ist aber durchaus moglich, daß bei der einen oder anderen Geblesebauart diese Leistungen überschritten werden konnen. Die Tabelle soll lediglich Anhaltspunkte geben und zeigen, in welchem Zusammenhang Rohrweite, Rohrquerschnitt und Forderleistung stehen.

Schwerwiegende Fehler werden hufig bei der Bemessung der Rohrkrummer gemacht. Die Praxis neigt dazu, kleinere Krummer wegen der besseren Handlichkeit zu bevorzugen. Vom geblasetechnischen Standpunkt sind zu kleine Krummerabmessungen unerwünscht, weil sie infolge ihres großeren Stromungswiderstandes die Forderleistung herabsetzen. Bei Krummern, deren Radius kleiner ist als funf Rohrdurchmesser, treten bereits bei der reinen Luftstromung erhebliche Widerstande auf. Bei Materialforderung erhohen sie sich weiter. Für Krummer von Korngeblasen gelten besondere Gesetzmaßigkeiten, da die durch die Aufprallwinkel beeinflusste Kornflugbahn berücksichtigt werden muß. Auf Grund von theoretischen Überlegungen kommen wir nur zu wenigen für die Kornforderung geeigneten Krummungshalbmessern (Abb. 7). Für die praktische Verwendung bleibt nur eine Krummerform übrig mit einem

Krümmungshalbmesser von  $6D$ . Wenn Rohrleitungen von Körnergebläsen fest verlegt werden, sind besondere Abzweigstücke erforderlich (Abb. 8). Für diese Krümmerformen gilt das gleiche.

Wie bereits oben erwähnt, muß für den freien Ausblas am Ende der Rohrleitung ein zusätzlicher Widerstand angenommen werden. Dieser Widerstand ergibt sich, weil die aus dem Rohr austretende Luft gegen die im Austrittsquerschnitt langsamer als die Luft wandernden Körner bläst. Dieser Widerstand fällt weg, wenn ein Teil der kinetischen Energie des Luftstromes und der Körner durch Verwendung einer diffusorartigen Erweiterung am Rohrende zurückgewonnen wird (Abb. 9). Bei richtiger Bemessung des Diffusors kann je nach Erweiterungsverhältnis des Diffusors (Abb. 10) und je nach Höhe der vorliegenden Windgeschwindigkeit sogar ein erheblicher zusätzlicher Förderdruck zustande kommen. Bei Körnergebläsen führen Diffusoren zu Mehrleistungen bis zu 10%. Die Wirkung eines gut ausgebildeten Diffusors können wir uns gleichbedeutend mit einer Verkürzung der Rohrleitung vorstellen, wobei der Druckrückgewinn einer rechnerischen Verkürzung der Rohrlänge von 5—15 m entspricht. Diese diffusorartige Erweiterung kann auch bei Zyklonen Verwendung finden. Es empfiehlt sich dann, die konische Erweiterung am Zyklon anzubringen.

### Schleusen

Die Einführung des Fördergutes in die Rohrleitung kann auf verschiedene Weise erfolgen. Wir unterscheiden die Einführung durch die Zellenrad- und Schneckenschleuse, die Injektorschleuse und die direkte Einführung durch das Schaufelrad des Gebläses. Zellenrad- und Schneckenschleusen werden vor allem für körniges Gut, wie Getreide und Hülsenfrüchte, verwendet. Bei der Zellenrad- und Schneckenschleuse (Abb. 11) wird das Fördergut durch ein drehbares Zellenrad in die Förderleitung eingeführt. Das Rückblasen von Förderluft wird durch die abdichtende Wirkung des Zellenrades verhindert, das in einem sorgfältig zugepaßten Gehäuse umläuft. Gelegentlich werden an Stelle von Zellenrad- und Schneckenschleusen auch Schneckenschleusen verwendet. Die Schnecke kann in Richtung des Förderrohres oder quer dazu angeordnet sein. Während die Zellenrad- und Schneckenschleuse bei sehr hohen Drücken anwendbar ist, muß die Benutzung von Schneckenschleusen wegen der schlechteren Abdichtung auf Niederdruckgebläse beschränkt bleiben. Zur Vermeidung einer Rückblaswirkung bei Schneckenschleusen wird diese gelegentlich mit der Injektorschleuse verbunden. Eine derartige Anordnung ist zu verwerfen, da sie gegenüber einer Injektorschleuse lediglich eine Verteuerung bedeutet.

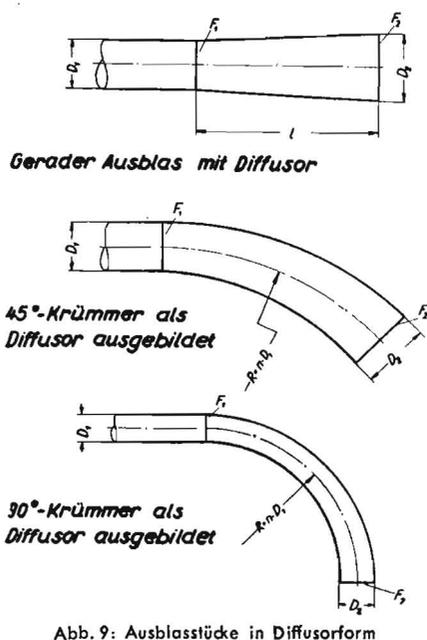


Abb. 9: Ausblasstücke in Diffusorform

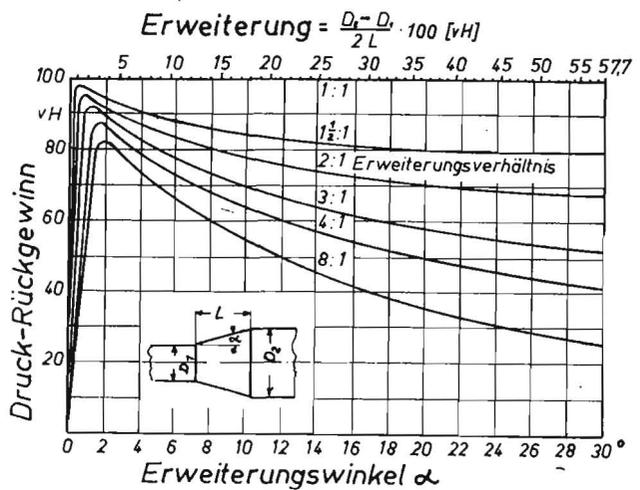


Abb. 10: Wirkungsgrad von Diffusoren

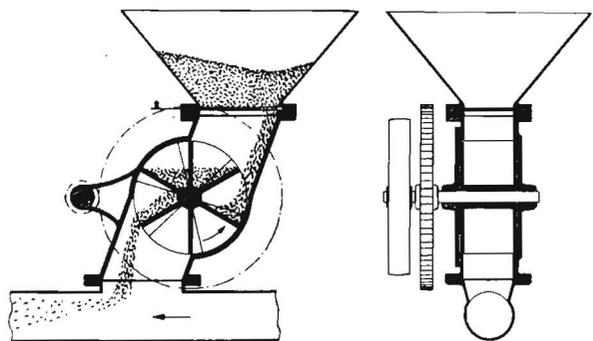


Abb. 11: Zellenrad-Schleuse

Der Vorteil dieser Schleusen besteht in dem ausgezeichneten windtechnischen Wirkungsgrad von fast 100%. Das bedeutet, daß kaum Druckverluste zu verzeichnen sind. Der Kraftbedarf für den Antrieb dieser Schleusen beträgt etwa 0,5—1 PS. Nachteilig ist, daß ein besonderer Antrieb benötigt wird und daß die Ausführung der Zellenrad-Schleuse sehr teuer ist. Ferner können Zellenrad-Schleusen dazu verleiten, zu enge Rohre zu wählen. Bei engen Rohrleitungen und bei den sich dafür ergebenden Mittel- oder Hochdruckgebläsen muß damit gerechnet werden, daß im Leerlauf und bei einer geringeren Belastung des Gebläses zu hohe Windgeschwindigkeiten im Förderrohr und als Folge davon Körnerbeschädigungen auftreten können. Auf diesen Punkt kommen wir noch zu sprechen.

Baulich einfacher ist die Injektorschleuse. Sie ist sowohl für die Einführung von Körnern als auch von Heu, Stroh und Garben geeignet (Abb. 12, 13). Die Wirkungsweise der Injektorschleuse beruht auf dem Prinzip der Strahlpumpe. Der vom Gebläse kommende Luftstrom wird in einer Düse zusammengezogen und zu hoher Geschwindigkeit übergeleitet und der dabei auftretende Geschwindigkeitsdruck in der anschließenden konischen Erweiterung in statischen Druck umgeformt. Der Geschwindigkeitsdruck muß so groß sein, daß nach Abzug der Umformungsverluste genügend statischer und dynamischer Druck in der Förderrohrleitung vorhanden ist. Leider müssen wir bei der Injektorschleuse mit einem Druckverlust rechnen (Abb. 14), der bei der Berechnung des Gebläsedruckes zu berücksichtigen ist. Je länger die Rohrleitung und je größer die Körnermenge, die gefördert werden soll, um so stärker muß die Drosselung sein. Mit zunehmender Drosselung wachsen aber die Druckverluste schnell an (Abb. 15). Körnergebläse arbeiten mit einem Öffnungsverhältnis von Düsenquerschnitt zu Förderrohrquerschnitt von  $m = 0,25$ — $0,35$ , Heugebläse mit einem  $m = 0,34$ . Bei Heugebläsen beträgt der Druckverlust etwa 50%, bei Körnergebläsen älterer Bauart liegen die Druckverluste bei etwa 70%. Für eine Injektorschleusenform, wie sie bei Heu- und Strohegebläsen heute als Standardbauform üblich ist,

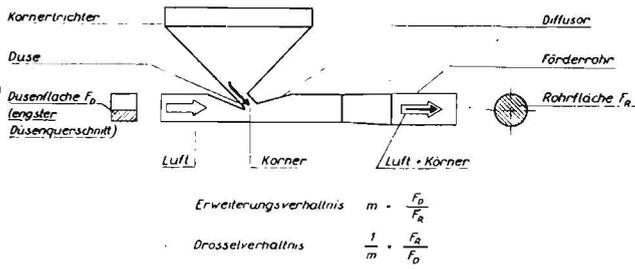


Abb. 12: Injektorschleuse

ergibt sich der Wirkungsgrad bei reiner Luftförderung zu:

$$\eta = \left( \frac{2}{m} - 1 \right) m^2.$$

Bei Verwendung neuartiger Körnergebläsedüsen mit Venturiform werden Wirkungsgrade von 40—60% erreicht. Der Wirkungsgrad von Injektorschleusen für Getreideförderung kann berechnet werden nach der Gleichung:

$$\eta_s = m^{0,418 G + 0,21}$$

worin G die Fördergutmenge in kg/s bedeutet.

Für die Anwendung und Bemessung von Injektorschleusen bestehen bestimmte Gesetzmäßigkeiten. An der Einschleusstelle für das Fördergut darf kein statischer

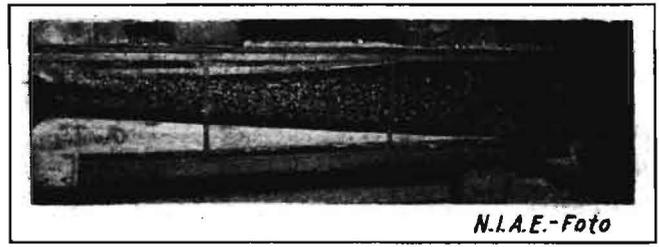


Abb. 13: Körnerförderung in der Injektorschleuse

Überdruck vorhanden sein, da das Fördergut sonst aus dem Trichter zurückgeblasen wird. Das ist der Fall, wenn der im engsten Düsenquerschnitt vorhandene Geschwindigkeitsdruck ausreicht, außer dem Umformungsverlust noch genügend Druck zur Überwindung des Rohrwiderstandes herzugeben. Das sich aus dieser Bedingung ergebende Mindestmaß der Drosselung läßt sich nach folgender Gleichung errechnen:

$$m = \frac{1}{\left( \frac{l \cdot \lambda}{D} + 1 \right)^{1,79 - 0,418 G}}$$

Die Grenzrohrlänge, bis zu der eine bestimmte Körnermenge gefördert werden kann, ohne daß ein Rückblasen in der Schleuse auftritt, beträgt:



Zellenradschleuse



Injektorschleuse

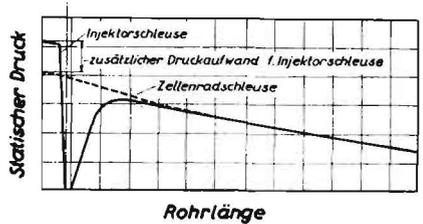


Abb. 14: Druckabfall in der Rohrleitung bei Zellenrad- und Injektorschleusen

$$l = \frac{D}{\lambda} \left( \frac{\eta}{m^2} - 1 \right) [m]$$

oder:

$$l = \frac{D}{\lambda} \left( \frac{1}{m^{1,79 - 0,418 G}} - 1 \right) [m].$$

Näheres über die obengenannten Gleichungen befindet sich in dem Buch „Pneumatic grain conveying“. Mit Hilfe der verschiedenen, obengenannten Gleichungen lassen sich für eine bestimmte Fördermenge, Windgeschwindigkeit und Rohrweite sowohl der Druck als auch die Luftmenge, die vom Gebläse zu leisten sind, berechnen, so daß hiernach die Auswahl eines bestimmten Gebläses

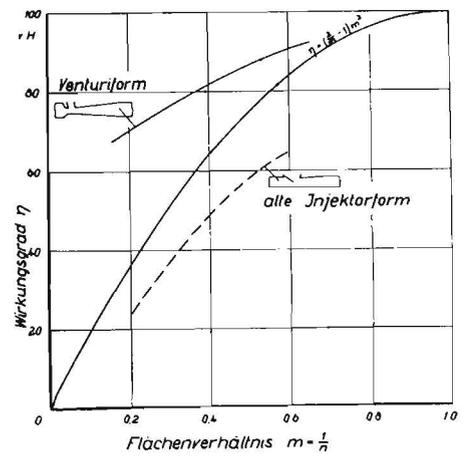


Abb. 15: Wirkungsgrad von Injektorschleusen

getroffen oder das erforderliche Gebläse berechnet werden kann.

Die allereinfachste Form der Materialeinschleusung ist die durch das Schaufelrad des Gebläses. Bei Körnern und empfindlichem Blattheu ist diese Einführung wegen der damit verbundenen, vom Schaufelrad herrührenden Beschädigung nicht anwendbar. Dagegen kann sie für die Förderung von Spreu und Trockenhäcksel benutzt werden. Voraussetzung ist, daß das Schaufelrad in offener Bauweise ausgebildet ist (Abb. 16). Geschlossene Schaufel-

**Offene Bauarten** für Förderung von Luft · Material

**Geschlossene Bauart** für reine Luftförderung

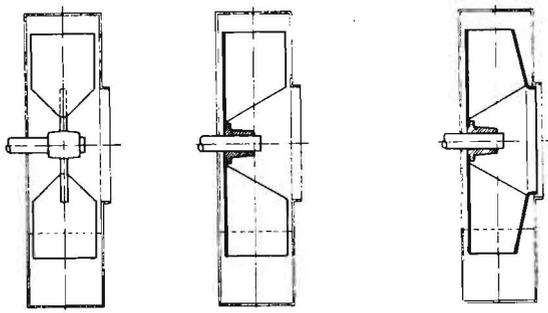


Abb. 16: Offene und geschlossene Schaufelräder

räder sind hierfür nicht geeignet, da längere Halnteile leicht an der Verkleidung des Schaufelrades hängenbleiben und schließlich zu seiner Verstopfung führen können. Der etwas geringere Wirkungsgrad von offenen Schaufelrädern muß in Kauf genommen werden. Als Gehäuseform (Abb. 17) empfiehlt sich die Verwendung der Spiralförmigkeit, ähnlich wie bei Gebläsen zur reinen Luftförderung. Wird dagegen feuchtes, zum Kleben neigendes Fördergut eingeführt, dann können im Spiralgehäuse Verstopfungen durch Ankleben der Fördergutteile an der Gehäusespirale entstehen. In diesem Fall muß das Gehäuse konzentrisch um das Schaufelrad herumgeführt werden, und zwar mit möglichst knappem seitlichem und radialem Spalt. Die Förderung erfolgt dann mehr durch Wurf als durch Lufteinwirkung. Wir kommen damit zu einer

besonderen Gebläsegestaltung, dem Wurfgebläse, das nach folgendem Prinzip arbeitet:

Das von den Schaufeln des Gebläses erfaßte Fördergut verläßt ungefähr mit der Geschwindigkeit der Schaufeln, also der Umfangsgeschwindigkeit des Schaufelrades des Gebläse. Die Luft hat innerhalb der Schaufelkanäle etwa die gleiche Geschwindigkeit, die aber beim Austritt aus dem Gehäuse zum Teil in Druck umgesetzt wird, so daß sie im ersten Abschnitt des Rohres geringer ist als die Geschwindigkeit der Fördergutteile. Die Luft wirkt also zunächst nicht fördernd, sondern bremsend, im Gegensatz zur rein pneumatischen Förderung, bei der die Luft dem Fördergut voraus-eilt und das Fördergut mit sich reißt (Abb. 18). So beträgt beispielsweise bei der pneumatischen Körnerförderung die durchschnittliche Materialgeschwindigkeit etwa ein Drittel der Luftgeschwindigkeit. Erst im weiteren Verlauf der Rohrleitung tritt eine Verlangsamung der Fördergutgeschwindigkeit ein, bei entsprechend langer Rohrleitung bis auf einen zur Vermeidung von Verstopfungen im Rohr erforderlichen Mindestwert, so daß die Luft im letzten Teil der Rohrleitung schneller wandert und zur Abgabe von Förderarbeit nur im geringen Maße herangezogen wird. Aus diesem Grund hat eine Erhöhung der Luftförderung durch Verwendung einer größeren Anzahl von Schaufeln keinen wesentlichen Einfluß auf den Fördererfolg, sie erhöht unnötig den Kraftbedarf. Im allgemeinen genügt eine Schaufelzahl von zwei bis vier.

Gehen wir von der Annahme aus, daß das Fördergut beim Verlassen der Schaufeln deren Geschwindigkeit annimmt, würde die Förderhöhe bei Außerachtlassen der Reibung theoretisch nach der Wurfformel sich ergeben zu:

$$H = \frac{u^2}{2g} \quad [\text{m}],$$

worin  $u$  die Umfangsgeschwindigkeit der Schaufeln und  $g$  die Erdbeschleunigung ist. Praktisch wird dieser Wert jedoch nur zum Teil erreicht infolge der Verzögerung der Materialbewegung im Rohr durch folgende Faktoren:

- Reibung der Materialteile untereinander,
- Reibung an der Rohrwand,
- Bremswirkung der Luft je nach Relativgeschwindigkeit Material zu Luft.

Alle diese Erscheinungen wirken sich entscheidend auf die Förderhöhe aus. Für die Förderhöhe wurden bei Grünhäcksel von 30 mm Länge die in Abbildung 19 dargestellten praktischen Förderhöhen erreicht. Für Grüngut ergibt sich daraus folgende empirische Gleichung:

$$H = \frac{u^2}{2g} \cdot \frac{C}{\sqrt{G}} \quad [\text{m}].$$

Bei Körnerförderung gilt die gleiche Beziehung, nur mit dem Unterschied, daß an Stelle der Konstanten  $C=0.41 \left[ \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)^{1/3} \right]$  der Wert von  $C=0,398$  eingesetzt werden muß.

Die Wurförderung ist nur bei rein senkrechter Förderung anwendbar. Bei einer waagerechten oder etwas schräg geneigten Rohrleitung treten sehr schnell ein Ablagern von Fördergutteilen und anschließend Verstopfung auf. Bei der senkrechten Förderung können keine Ablagerungen erfolgen, da die langsamer fliegenden Fördergutteile durch die schneller wandernden mitgerissen werden, vorausgesetzt, daß eine genügende Anfangsgeschwindigkeit vorliegt. Die Wurförderung kann auch bei Körnern angewandt werden. Die Schaufelradgeschwindigkeiten sollten möglichst nicht höher als 10 m/s, auf keinen Fall über 20 m/s liegen, da sonst Keimbeschädigungen auftreten. Nach Versuchen, die wir 1930 durchgeführt haben, kann die Beschädigung durch Verkleidung der Schaufeln mit Gummi auf etwa ein Drittel vermindert werden. Der Vorteil des Wurfgebläses besteht in der sehr einfachen Bauweise und in einem sehr niedrigen Kraftbedarf, wenn die Luftförderung auf ein möglichst geringes Maß herabgesetzt wird.

Wir sehen also, daß wir bei der Körnerförderung die verschiedensten Formen von Einschleusvorrichtungen verwenden können. Eine Übersicht über die Verwendungs-

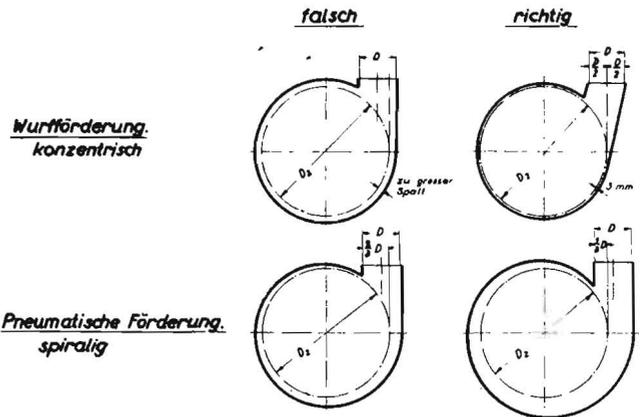


Abb. 17: Gehäuseformen für Wurförderung und pneumatische Förderung

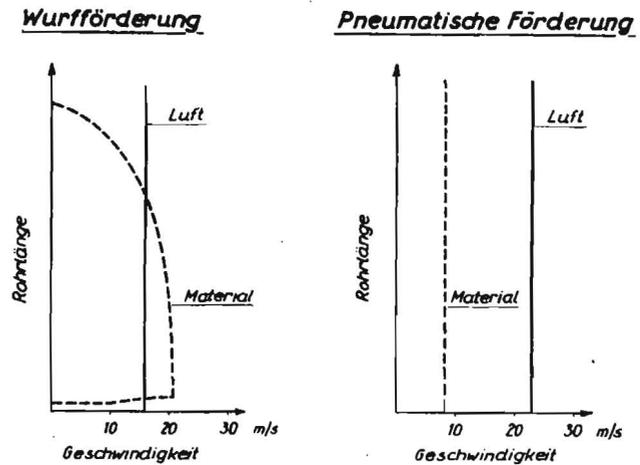


Abb. 18: Luft- und Materialgeschwindigkeiten bei Wurf- und pneumatischer Förderung

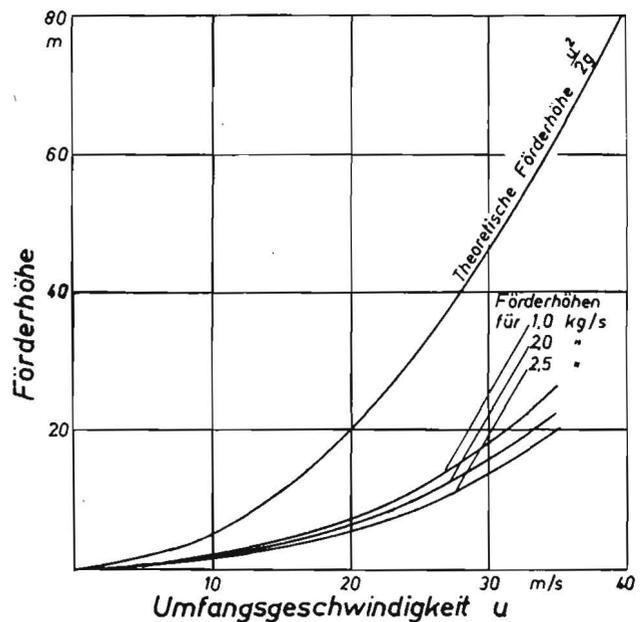


Abb. 19: Förderhöhe bei der Wurförderung von gehäckseltem Grüngut

gebiete der verschiedenen Schleusenbauarten gibt Abbildung 20. Für kurze senkrechte Förderungen empfiehlt sich die Verwendung von Wurfgebläsen, bei waagerechter und senkrechter Förderung kommt in den meisten Fällen die Injektorschleuse mit verhältnismäßig weiten Röhren in Frage, bei größeren Fördermengen und bei größeren Rohrlängen dagegen reicht die Wirkungsweise der Injektorschleuse nicht mehr aus. In diesen Fällen müssen wir auf die Zellenrad-schleuse zurückgreifen. Ein Ausführungsbeispiel eines Körner-gebläses mit Injektorschleuse in Leichtbauweise zeigt Abbildung 21. Das Gebläse hat eine Leistung von 20 bis 40 dz/h, wobei die größere Leistung für eine kürzere Rohr-

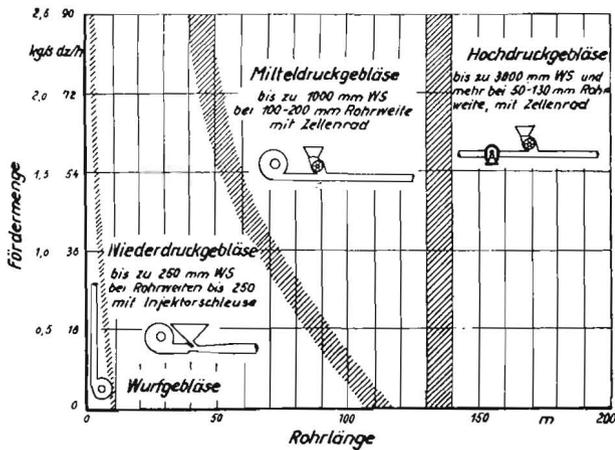


Abb. 20: Arbeitsgebiet verschiedener Körnergebläsebauarten

leitung gilt. Das Gebläse wiegt etwa 100 kg und hat einen Kraftbedarf von 3—6 PS je nach Leistung und Förderrohrlänge. Diese günstigen Werte werden erreicht durch ein Gebläse von besonders gutem Wirkungsgrad und durch Anwendung einer Düse in Venturiform mit ebenfalls günstigem Wirkungsgrad.

### Gebläse

Nachdem wir gesehen haben, wie Luftmenge und Druck in der Förderrohrleitung berechnet werden können, kommen wir zum Gebläse. In manchen Fällen wird es möglich sein, auf ein vorhandenes Gebläse zurückzugreifen und ein Gebläse für die gewünschte Leistung aus einem Firmenkatalog herauszusuchen. Hinsichtlich der Berechnung und der Gestaltung von Gebläsen verweise ich auf die bekannten Handbücher. Ich möchte mich hier auf die Behandlung einiger Besonderheiten beschränken, die bei landwirtschaftlichen Fördergebläsen zu beachten sind.

Da ist zunächst die Schaufelform. In Frage kommen Schaufelräder mit vorwärtsgekrümmten, radialen und rückwärtsgekrümmten Schaufeln. Die Ansicht der Gebläsefachleute geht meist dahin, daß rückwärtsgekrümmte Schaufeln wegen ihres etwas höher liegenden Wirkungsgrades zu bevorzugen sind. Bei landwirtschaftlichen Gebläsen legen wir Wert darauf, Gebläse mit niedriger Umfangsgeschwindigkeit zu verwenden, die wir nur bei vorwärtsgekrümmten Schaufeln erhalten. Legen wir die in Abbildung 22 dargestellten Schaufelformen zugrunde, so müssen wir damit rechnen, daß im Vergleich zum radialen Schaufelrad Schaufelräder mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln etwa 10 bis 30% schneller zur Vollbringung der gleichen Luft- und Druckleistung laufen müssen, während vorwärtsgekrümmte Schaufeln um den gleichen Betrag langsamer laufen können. Der Wirkungsgrad von Schaufelrädern mit vorwärtsgekrümmten Schaufeln ist nach meiner Erfahrung nicht um so viel ungünstiger, daß unbedingt ein Zwang zur Verwendung von rückwärtsgekrümmten Schaufeln vorliegt. Der Verfasser hat Schaufelräder mit vorwärtsgekrümmten Schaufeln entworfen, bei denen bei Verwendung einer einfachsten Gehäuseform Wirkungsgrade bis zu 75% bei geschlossenen Schaufelrädern erzielt werden konnten. Leider treffen wir in der Landtechnik häufig Schaufelformen an, die von völlig falschen Vorstellungen hinsichtlich der Luftströmungen ausgehen. Auf keinen Fall dürfen die Schaufeln an der Eintrittskante vorwärts gestellt werden, ein Fehler, den wir leider noch an manchen landwirtschaftlichen Gebläsen antreffen. Bei reiner Luftförderung kommt nur das geschlossene Schaufelrad (Abb. 16) in Frage, während wir zum offenen Schaufelrad übergehen müssen, wenn faseriges Gut durch das Schaufelrad eingeführt wird.

Die Schaufellänge ergibt sich aus der Höhe des Druckes, der erzeugt werden soll. Für geringe Drücke genügen kurze, für höhere Drücke benötigen wir längere Schaufeln. Liegt also ein verhältnismäßig geringer Strömungswiderstand wie bei Reinigungsgebläsen vor, der nur wenig

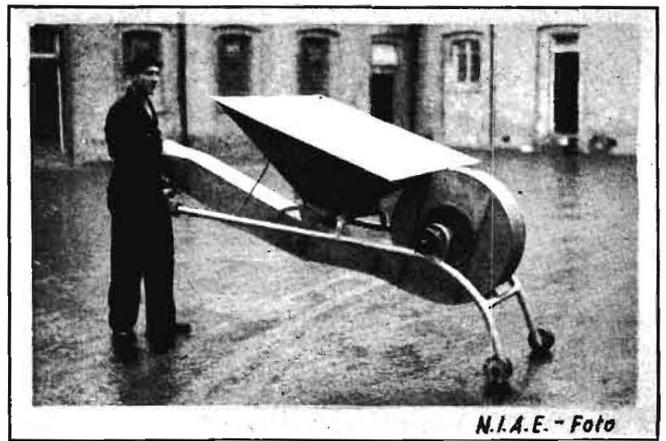


Abb. 21: Körnergebläse in Leichtbauweise

Druck verzehrt, dann sind die Schaufeln möglichst kurz auszubilden. In dieser Beziehung werden oft grundlegende Fehler gemacht. Bei Körnergebläsen brauchen wir mit Ausnahme von Wurfgebläsen im allgemeinen längere Schaufeln. Ein Durchmesser Verhältnis von Schaufelrad-Innendurchmesser zu Schaufelrad-Außendurchmesser von 1:2 soll möglichst nicht überschritten werden.

Unklarheiten bestehen über die erforderliche Zahl der Schaufeln. Es gibt für jedes Gebläse eine optimale Schaufelzahl, bei der die besten Leistungen erreicht werden. Bei zu wenigen Schaufeln ist sowohl die Luft- als auch die Druckleistung ungenügend. Infolge der schlechten Luftführung in zu weiten Schaufelkanälen ergibt sich ein schlechter Wirkungsgrad. Bei zu großer Schaufelzahl wachsen die Reibungsverluste an der vergrößerten Schaufelwandfläche sehr stark an. Lange Schaufeln erfordern eine geringere Stückzahl als kurze Schaufeln. Bei Spreugebläsen sollte die Schaufelzahl nie unter sechs liegen. Bei Körner- und Heugebläsen sind größere Schaufelzahlen erforderlich. Leider geben die in den bekannten Gebläse-Handbüchern angegebenen Gleichungen für die Berechnung der Schaufelzahl keine für den landwirtschaftlichen Gebläsebau brauchbaren Ergebnisse. Wir haben uns daher entschlossen, in einer Serie von Versuchen auch die Frage der optimalen Schaufelzahl zu klären.

Grundlegende Fehler treffen wir hinsichtlich der Anordnung und Bemessung der Saugöffnung an. Bei frei an-

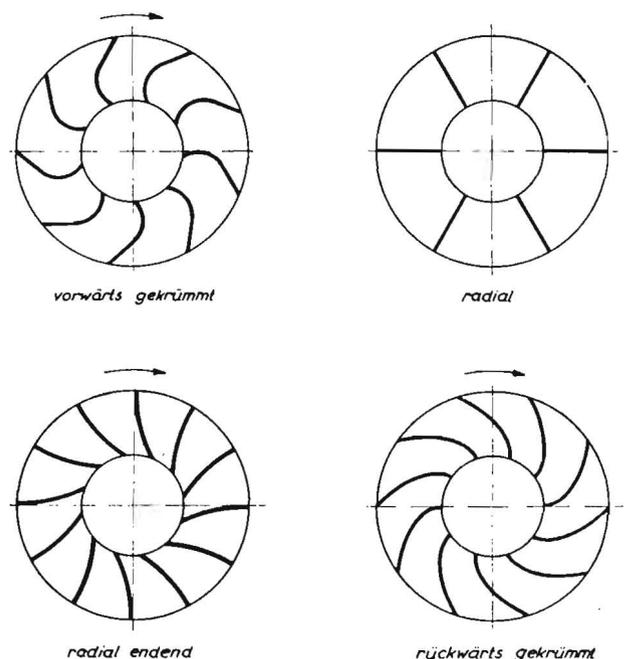


Abb. 22: Schaufelformen

saugenden Gebläsen bestehen keine Schwierigkeiten, genügend weite Saugöffnungen vorzusehen, um die Ansauggeschwindigkeit und damit die auf der Saugseite auftretenden Druckverluste zu verringern. Bei Saug- und Druckgebläsen ist die Größe der Saugöffnung durch die Rohrweite der Saugleitung vorbestimmt. Daraus ergibt sich zwangsläufig die Bemessung des Schaufelrad-Innenkreises und für eine bestimmte Druckleistung auch das Maß für den Außendurchmesser des Schaufelrades. Werden Spreugebläse entsprechend diesem Zusammenhang konstruiert, dann tritt häufig eine sehr hohe Gebläsedrehzahl auf, die durch die Anwendung von vorwärtsgekrümmten Schaufeln verringert werden kann. Ist sie trotzdem zu hoch, dann ist zu anderen Maßnahmen zu greifen, gegebenenfalls zu längeren Schaufeln, als sie sonst üblich sind. Bei hohen Ansauggeschwindigkeiten ist darauf zu achten, daß der Übergang der Saugleitung in das Gebläsegehäuse strömungstechnisch sorgfältig ausgebildet wird. Aus bestimmten Gründen kann es gelegentlich notwendig sein, die Saugöffnung aus der Gehäusemitte herauszulegen und exzentrisch zur Gebläsewelle anzuordnen. Eine zu starke Exzentrizität ist auf alle Fälle zu

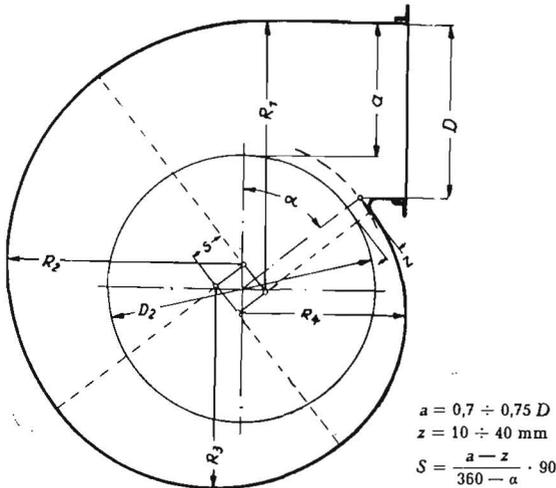


Abb. 23: Konstruktion der Gehäusespirale

vermeiden. Kommen wir mit der Ansaugöffnung in die Druckzone des Schaufelrades, tritt Rückblasen und eine starke Verschlechterung des Gebläsewirkungsgrades ein.

Große Unterschiede finden wir hinsichtlich der Ausbildung der Gehäusespirale (Abb. 17). Zu schwach erweiterte Spiralen weisen einen schlechten Wirkungsgrad auf, das Schaufelrad soll im allgemeinen nur bis zu etwa 25–30% in das Schaufelradgehäuse hineinreichen. Die Konstruktion der Gehäusespirale wird im allgemeinen in Form einer archimedischen (Abb. 23) statt einer logarithmischen Spirale ausgeführt. Der logarithmischen Spirale ist der Vorzug zu geben, vor allem wenn eine starke Geschwindigkeitsherabsetzung im Gehäuse stattfindet.

Unbedingt notwendig ist eine Nachprüfung der Gebläseleistung auf dem Prüfstand. Es kommt darauf an, daß das Gebläse tatsächlich mit seinem optimalen Wirkungsgrad arbeitet, der im allgemeinen etwa bei einer Drosselung von 60% vorliegt. Ob dies im vorliegenden Fall zutrifft, kann nur an Hand von aufgenommenen Gebläsekennlinien (Abb. 24) nachgeprüft werden. Die Nachprüfung erfolgt auf die Weise, daß der Betriebspunkt im Volumen-Druck-Diagramm ermittelt und in die Wirkungsgradkurve übertragen wird (Abb. 25). Liegt der Betriebspunkt links oder rechts vom Wirkungsgradoptimum, ist das Gebläse entweder zu groß oder zu klein, d. h. das Schaufelrad und ebenfalls das Gehäuse müssen schmaler oder breiter gebaut werden. In Sonderfällen, wie beispielsweise bei Reinigungsgebläsen, bei denen ein geringer Druckwiderstand vorliegt, also ein ausgesprochenes Niederdruckgebläse mit sehr kurzen Schaufeln verlangt wird, ist eine Verlagerung des Wirkungsgradoptimums an das Ende der Wirkungsgradkurve erwünscht. Das läßt sich durch ein sehr weiträumiges

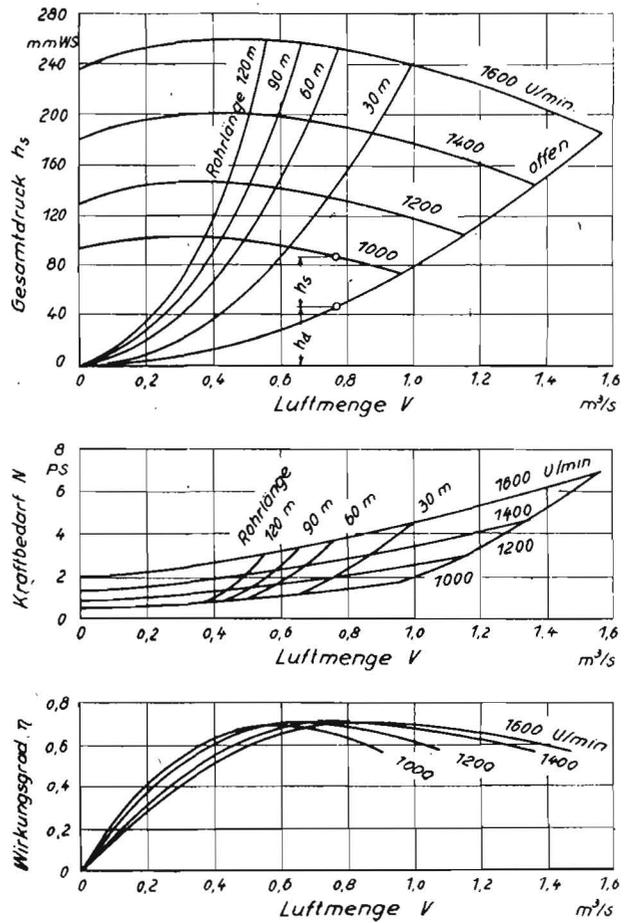


Abb. 24: Kennlinien eines Körnergebläses

Spiralgehäuse erreichen, das die Umsetzung von Geschwindigkeit in Druck selber übernimmt. Durch die dabei auftretenden Umsetzungsverluste leidet allerdings die Höhe des Wirkungsgrades und es ist vorzuziehen, diese Umsetzung im Anschluß an das Gebläse in einem besonderen Diffusor vorzunehmen. Häufig ist hierfür nicht genügend Platz vorhanden, so daß meist nur der erstgenannte Weg übrigbleibt. Abgesehen von diesem Fall gibt es bei Land-

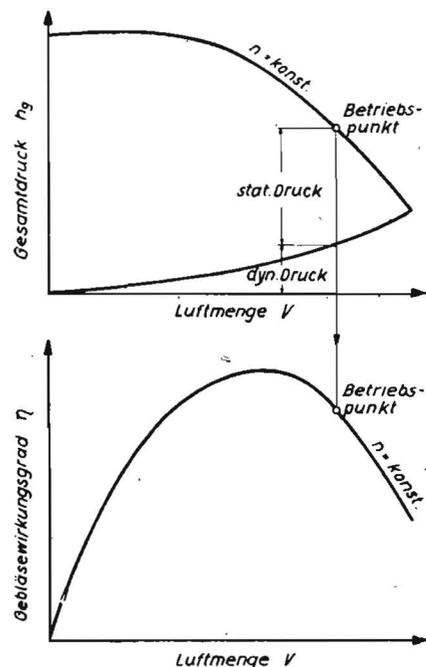


Abb. 25: Wirkungsgradabstimmung

maschinen die verschiedenartigsten Anforderungen, die an ein Gebläse gestellt werden und die zu Abweichungen von den üblichen Ventilatorbauarten führen, so daß es schwierig ist, bestimmte Regeln aufzustellen. Das gilt vor allem für Reinigungsgebläse. Bei der Lösung solcher Fragen wird man stets von den Gesetzen der Strömungstechnik ausgehen und versuchen müssen, sie folgerichtig anzuwenden.

DK 631.374.678

#### Schrifttum:

1. Dencker, C. H. u. Segler, G. Hauptprüfung von Heu- und Strohegebläsen, Mittlg. d. D. L. G. 1931, Stück 23.
2. Segler, G. Untersuchungen an Körnergebläsen und Grundlagen für ihre Berechnung, RKTL-Schrift 55, 1934.
3. Dencker, C. H. Untersuchungen an Körnergebläsen, RKTL-Schrift 57.
4. Segler, G. Abstimmung von Gebläse- und Schneidwerkleistung bei Wurfradhäckslern, Landtechnik 1951.
5. Segler, G. Pneumatic Grain Conveying, N I A E 1951.
6. Pfeiderer, C. Die Kreiselpumpen, 1949.
7. Segler, G. Untersuchungen an Silohäckslern, Tidl. 14 (1933) 134/38.

#### Résumé:

*Prof. Dr.-Ing. G. Segler: „Construction of Blowers for Agricultural Conveyors“.*

*When cases of the use of excessive power for pneumatic conveyors are encountered nowadays, one can be sure that this is invariably due to faulty proportions and dimensions of the pipe lines, air locks or blowers. Either the diameter of the pipe line has not been correctly determined, the injector chamber not properly streamlined or the efficiency of the blower is too low. Nevertheless, mistakes can also arise when more powerful blowers are used. The quantity and pressure of air furnished by the blower may not be right for the pipe line, i. e., the blower is not working under those conditions that would enable it to deliver the required quantity and pressure of air with maximum efficiency. Its dimensions are either too great or too small. All these mistakes can be avoided if a series of careful calculations are made before the actual design is commenced. The Author furnishes the bases for the greater number of these calculations.*

*Prof. Dr.-Ing. G. Segler: „Construction d'engrangeurs pneumatiques“.*

*La trop grande énergie nécessitée encore de nos jours par les installations de soufflerie provient toujours d'une mauvaise application de la technique pneumatique aux calculs de la tuyauterie, de la chambre d'injection et de la soufflerie. Ou bien le diamètre de la tuyauterie est mauvais, ou bien la chambre d'injection est mal réglée ou encore la puissance de la soufflerie est insuffisante. Mais même si la puissance est très grande, le débit d'air et la pression de la soufflerie peuvent être mal adaptés à la tuyauterie, c'est-à-dire que la soufflerie ne travaille pas dans des conditions rationnelles où une arrivée d'air suffisante sous la pression requise permettrait un rendement maximum. Ces erreurs peuvent être évitées si la construction est précédée d'un calcul minutieux pour lequel l'auteur a rassemblé à peu près tous les éléments.*

*Prof. Dr.-Ing. G. Segler: „Construcción de ventiladores de transporte agrícolas“.*

*Si en las instalaciones de transporte por presión de aire hoy encontramos todavía valores de fuerza necesaria que tienen que ser designados como demasiado elevados, entonces esto debe atribuirse casi siempre a una medición técnicamente falsa de la tubería, del dispositivo de compuertas y del ventilador. O el ancho de los tubos no se ha elegido correctamente, las compuertas inyectoras ejecutadas desfavorablemente en la técnica de la corriente o la acción efectiva del ventilador demasiado baja. Pero incluso con el empleo de ventiladores de más alto rendimiento pueden presentarse defectos. El trabajo de aire y presión del ventilador pueden ser concertados erróneamente en la tubería, es decir el ventilador no trabaja en las condiciones, en las cuales da el más alto rendimiento con la cantidad de aire deseada y la presión necesaria. Está calculado o demasiado pequeño o demasiado grande. Todas estas faltas pueden ser evitadas, si previamente se calcula esmeradamente el proyecto para lo cual el autor, reúne las bases indispensables.*

Prof. Dr.-Ing. W. G. Brenner und Dipl.-Ing. H. Gaus:

## Besser schützbar und besser geführte Zapfwellen-Triebe

Institut für Landmaschinenforschung, Braunschweig-Völkenrode

### Allgemeines

Eine immer größer werdende Zahl von Landmaschinen (Kartoffelroder, Getreidebinder, Mäher, Mähdrescher, Stalldünger-Verteilvorrichtungen, Heuwerbegeräte, Schädlingsbekämpfungsmaschinen, Ackerwagen und viele andere mehr) benutzen heute in aller Welt den Zapfwellenantrieb, d. h. die vom Schlepper abgezapfte Kraft zum Antrieb teils angebauter, teils angehängter Geräte. Kombinierte Maschinen und ganz neue Arbeitsverfahren werden durch ihn möglich. Der Zapfwellenantrieb ist damit tatsächlich zu einem Markstein für die gesamte Landtechnik geworden. Diese grundsätzliche Bedeutung hindert nicht, daß vieles, was mit der Zapfwellenübertragung zusammenhängt, schon immer etwas behelfsmäßig und unvollkommen war. Die Zapfwelle steht zwischen Schlepper und Landmaschinen, und keiner der beiden will so recht dafür verantwortlich sein.

Auch heute stellt man immer wieder fest, daß besonders neu hinzukommenden Herstellern, die den Zapfwellenantrieb bei ihren Maschinen verwenden wollen, die grundsätzlich und an sich bekannten Zusammenhänge einer optimalen Zapfwellenübertragung durchaus nicht immer klar sind.

Zweck der vorliegenden Zeilen ist es daher, diese Zusammenhänge zunächst noch einmal herauszustellen, ferner verschiedene neue Momente, die in die Entwicklung getragen werden, aufzuzeigen und verschiedene Überlegungen zu beschreiben, wie man für die Zukunft vielleicht doch zu besseren Zapfwellenübertragungen kommen kann.

Eine gewisse Unvollkommenheit der Zapfwellenübertragung beginnt schon im Schlepper selbst. Die Zapfwelle ist hauptkupplungsabhängig: Wird die Kupplung betätigt, bleibt auch der Zapfwellenantrieb stehen, was bei verschiedenen Landmaschinen zu beträchtlichen Unzulänglichkeiten im Betrieb führt. Daraus leiten sich die neueren Forderungen nach einer unabhängigen Zapfwellenschaltung her.

Für viele Zapfwellenmaschinen ist ferner eine feinere Abstufung der Schleppergetriebe erwünscht; die Zapfwellenfragen haben also auch mittelbar auf die Schleppergetriebe ihren Einfluß ausgeübt.

Auch die Führung des Zapfwellenantriebes zur Landmaschine nach hinten, die hier behandelt werden soll, ist heute durchaus noch nicht so vollkommen, wie es wünschenswert wäre, wovon viele Verbesserungsvorschläge und Klagen aus der Praxis Zeugnis ablegen [1 und 2].

Der allgemeine Vorteil des Zapfwellenantriebes ist, daß er sich einfach und billig bauen läßt. Billiger jedenfalls als ein besonderer Aufbau- oder Hilfsmotor auf der Landmaschine selbst, der heute mit dem Zapfwellenantrieb vor allem in Wettbewerb steht — nachdem der Bodenantrieb (besonders aus Gründen des Wirkungsgrades) in den Hintergrund tritt.

Nachteil des Zapfwellenantriebes ist, daß er leicht falsch angeordnet wird und die Unzulänglichkeiten dabei so groß werden, daß sich die praktische Landwirtschaft dem vollkommen unabhängigen Antrieb durch den Aufbaumotor zuwendet. Eine diesbezügliche Entwicklung war und ist in den USA zu erkennen — der größte Teil vor allem der schwereren Landmaschinen ist dort mit Aufbaumotoren ausgerüstet —, und erst neuerdings wird viel Sorgfalt auf die Ausbildung verbesserter Zapfwellenantriebe, unabhängiger Zapfwellenschaltungen usw. gelegt.

Das ist bemerkenswert und erfreulich, denn das erstrebenswerte Endziel einer zukünftigen Schlepperlandwirtschaft dürfte nicht darin zu sehen sein, daß auf all den vielerlei Geräten jeweils ein besonderer Aufbaumotor sitzt, sondern darin, daß ein einziger Schlepper als „Kraftzentrale“ im Mittelpunkt steht und um ihn herum die Arbeitsmaschinen angeordnet sind, die er über seine Zapfwelle antreibt.