

ENTWERFEN LANDWIRTSCHAFTLICHER FÖRDERGEBLÄSE

Von G. Segler

Gebläse werden in der Landwirtschaft zur Förderung von Spreu, Häcksel, von Trocken- und Grünfutter, Körnern, Heu, Stroh und Garben benutzt. Gegenüber den mechanischen Förderern wie Höhenförderern haben die Gebläse 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 Gebläseanlage 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 voraus geht, 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 von einander 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 und in der Schleuse sowie 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 Kornluft-

gemisch 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 Einschlussvorrichtung gelangen wir dann zur Berechnung und Festlegung der Gebläseabmessungen. Diese einzelnen Bauteile der Gebläseförderanlage sollen nun der Reihe nach behandelt werden.

1. Rohrleitung

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

$$N_1 = \frac{V \cdot p_g}{75} \text{ [PS]} \quad (1)$$

darin ist V die Luftmenge in m^3/s und p_g der Gesamtdruck in kg/m^2 bzw. 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 η_G für das Gebläse und η_S für die Schleuse berücksichtigt werden können. Wir erhalten dann für den Kraftbedarf folgende Gleichung:

$$N_2 = \frac{N_1}{\eta_G \cdot \eta_S} \text{ [PS]} \quad (2)$$

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:

$$p_s = \frac{l \cdot \lambda}{D} \cdot p_d = \frac{l \cdot \lambda}{D} \cdot \frac{w^2 \cdot \gamma}{2g} \quad (3)$$

Der Gesamtdruck beträgt dann:

$$p_g = p_s + p_d \quad (4)$$

Darin bedeuten p_s der statische Druck in kg/m^2 bzw. mm WS, p_d der dynamische Druck (Staudruck) in kg/m^2 bzw. mm WS, l die Rohrlänge in m, D Rohrweite in m, λ die Widerstandszahl, γ das spezifische Gewicht der Luft in kg/m^3 , die Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ 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 λ . Die Gleichung zeigt ferner, dass der Druck im Quadrat der Windgeschwindigkeit ansteigt. 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.

Bei zu niedrigen Windgeschwindigkeiten können Verstopfungen in der Rohrleitung auftreten, bei zu hohen Geschwindigkeiten entsteht ausser einem zu hohen Kraftbedarf bei empfindlichem Fördergut wie Körnern die Gefahr der Beschädigung, die sich bei Saatgetreide in Keim Schäden nachteilig bemerkbar machen (Bild 1).

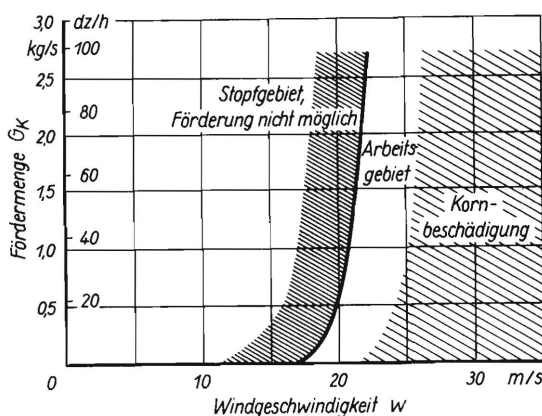


Bild 1. Wahl der Windgeschwindigkeit bei Körnerförderung mit Rücksicht auf die Stopfgefahr und Kornbeschädigung [3].

Für die Widerstandszahl λ liegen genaue Messwerte vor. Für Förderung von Luft ohne Material sind sie in Bild 2 wiedergegeben. Bei Heu- und Strohgebläsen 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 stossartige 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 Strohgebläsen 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 Bild 2 wiedergegebenen Widerstandszahlen.

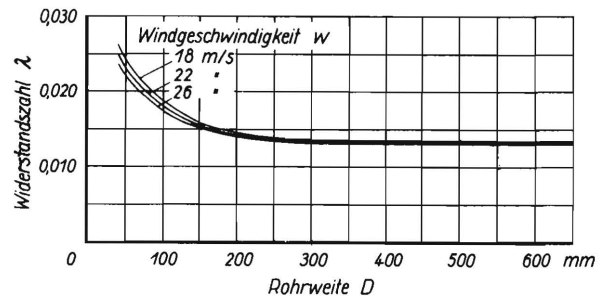


Bild 2. Widerstandszahl λ für Luftförderung für glatte Rohre [3].

Genaue, 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. So lange diese Daten nicht bekannt sind, können für Häckselförderung die in Bild 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.

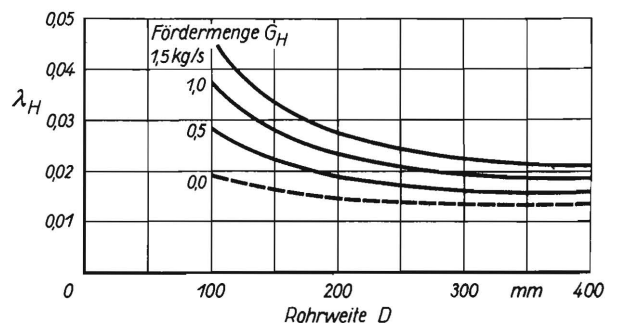


Bild 3. Widerstandszahl λ_H für Häckselförderung bei 57 mm Häcksellänge und 18 m/s Windgeschwindigkeit.

Bei Körnergebläsen sind wir in der glücklichen Lage, sämtliche λ -Werte für alle in Frage kommenden Rohrweiten, Windgeschwindigkeiten und Förderleistungen zu besitzen. In Bild 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 Förder-

gutes aus der Rohrleitung müssen besonders berücksichtigt werden. Hierfür wird die Anwendung des Scheinlängenverfahrens empfohlen, bei dem die zusätzlichen Widerstände 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, die Krümmer- und die Austrittsverluste können Bild 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

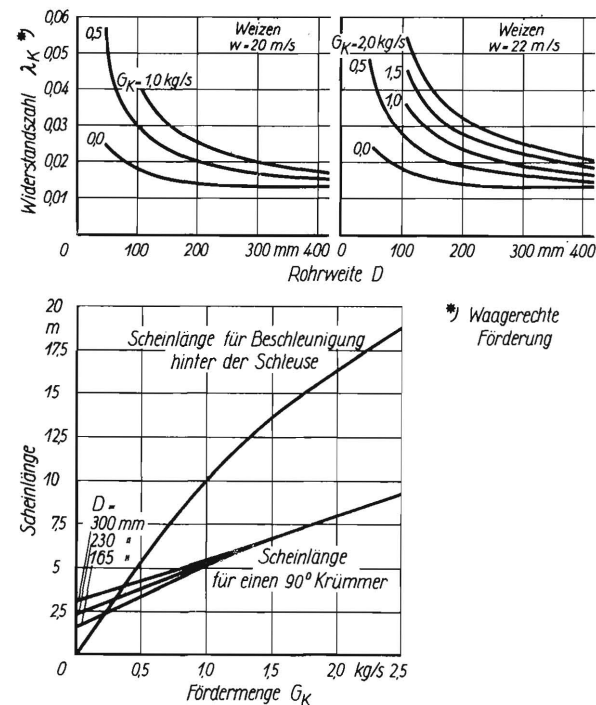


Bild 4. Widerstandszahl λ_K und Scheinrohrlängen für Fördergutbeschleunigung und Rohrkrümmer bei Körnerförderung [3 u. 4].

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 Bild 5 gezeigt. Mit Hilfe dieses Diagrammes kann für eine bestimmte Gebläse-

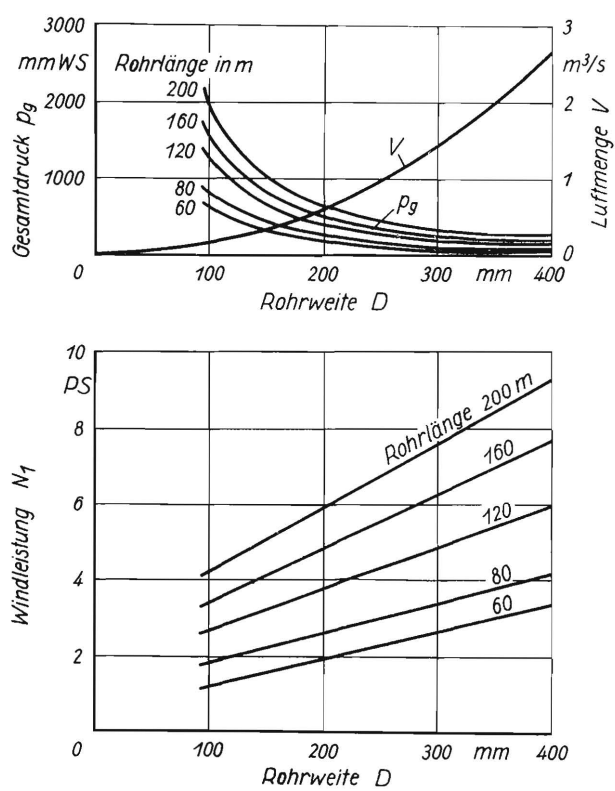


Bild 5. Einfluss der Rohrweite auf den Kraftbedarf bei Körnerförderung, berechnet für eine stündliche Leistung von 36 dz und 21 m/s Windgeschwindigkeit [3].

funden und die erforderliche Luftmenge und der vorliegende Kraftbedarf ermittelt werden. Der tatsächliche Kraftbedarf der Anlage ergibt sich dann durch Division mit dem Gebläsewirkungsgrad η_G und dem Schleusenwirkungsgrad η_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 Normvorschläge zu berücksichtigen, denen die Normungszahlen zu Grunde gelegt sind. Bild 6 gibt eine Übersicht über die bei den verschiedenen Gebläsearten üblichen Rohrweiten, abgestuft nach den Normungszahlen. Die tatsächlich für die Normung vorgesehenen Werte weichen teilweise um ein geringes Mass von der Normungszahl 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, sodass wir uns zunächst an die Normungszahlen halten müssen. In Bild 6 sind neben den Rohrweiten die jeweiligen Rohrquerschnitte angegeben und ferner die jeweils erreichbaren Förderleistungen. Da wir bei landwirtschaftlichen Fördergebläsen annehmen können, dass die Leistungen im direkten Verhältnis zum Rohrquerschnitt stehen, gibt die Tabelle uns eine sehr brauchbare Übersicht über die Abstufungen der Leistungen bei den einzelnen Rohrweiten. Die jeweils angegebene höhere Leistung bezieht sich auf eine kurze Rohrleitung, die geringere Leistung auf eine längere Rohrleitung. Es ist aber durchaus möglich, dass bei der einen oder anderen Gebläsebauart diese Leistungen überschritten werden können. Die

Tabelle soll lediglich Anhaltspunkte geben und zeigen, in welchem Zusammenhang Rohrweite, Rohrquerschnitt und Förderleistung stehen.

Bild 6. Rohrweiten
für die Förderung von Häcksel, Körnern und Heu.

Rohr- weite R 20	Rohr- quer- schnitt R 10	Förderleistung					
		Trocken- häcksel		Körner		Heu	
mm	dm ²	dz/h	v. H.	dz/h	v. H.	dz/h	v. H.
112	1,00	6,3–8	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

Schwerwiegende Fehler werden häufig bei der Bemessung der Rohrkrümmer gemacht. Die Praxis neigt dazu, kleinere Krümmer wegen der besseren Handlichkeit zu bevorzugen. Vom gebläsetechnischen Standpunkt sind zu kleine Krümmerabmessungen unerwünscht, weil sie infolge ihres grösseren Strömungswiderstandes die Förderleistung herabsetzen. Bei Krümmern, deren Radius kleiner ist als 5 Rohrdurchmesser, treten bereits bei reiner

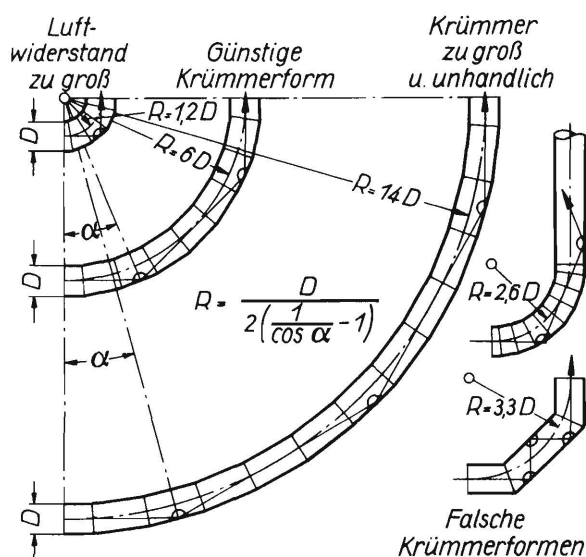


Bild 7. Rohrkrümmer 90° für Körnerförderung falsch und richtig [6].

Luftströmung erhebliche Widerstände auf. Bei Materialförderung erhöhen sie sich weiter. Für Krümmer von Körnergebläsen gelten besondere Gesetzmässigkeiten, da die durch die Aufprallwinkel beeinflusste Körnerflugbahn berücksichtigt werden muss. Auf Grund von theoretischen Überlegungen kommen wir nur zu wenigen für die Körnerförderung geeigneten Krümmungshalbmessern (Bild 7). Für die praktische Verwendung bleibt nur eine Krümmer-

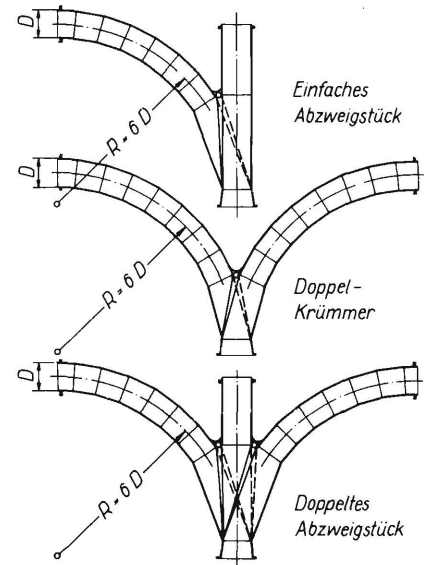


Bild 8. Rohrabzweigstücke für Häcksel- und Körnergebläse [6].

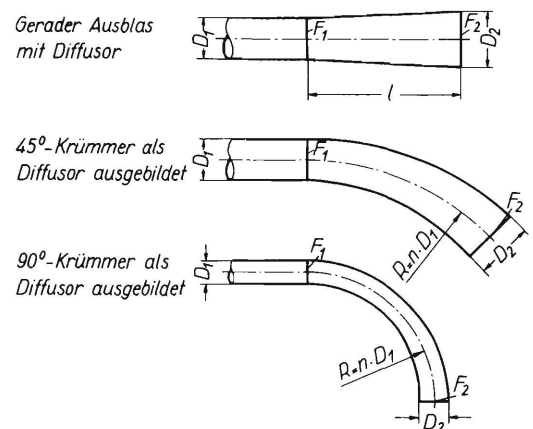


Bild 9. Ausblasestücke in Diffusorform.

form übrig mit einem Krümmungshalbmesser von 6 D. Wenn Rohrleitungen von Körnergebläsen fest verlegt werden, sind besondere Abzweigstücke erforderlich (Bild 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

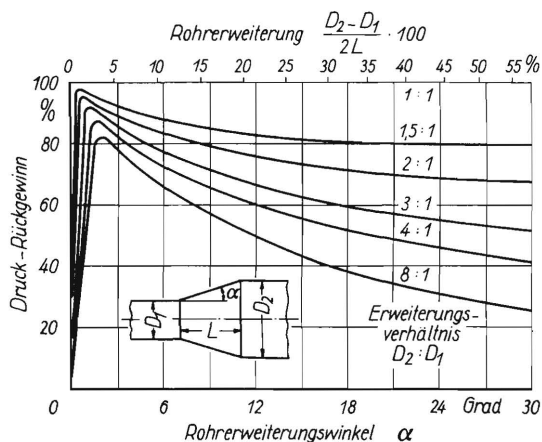


Bild 10. Wirkungsgrad von Diffusoren.

einer diffusorartigen Erweiterung am Rohrende zurückgewonnen wird (Bild 9). Bei richtiger Bemessung des Diffusors kann je nach Erweiterungsverhältnis des Diffusors (Bild 10) und je nach Höhe der vorliegenden Windgeschwindigkeit sogar ein erheblicher zusätzlicher Förderdruck zu Stande 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.

2. 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. Zellenradschleusen und Schneckenschleusen werden vor allem für körniges Gut, wie Getreide und Hülsenfrüchte verwendet. Bei der Zellenradschleuse (Bild 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 zugesetzten Gehäuse umläuft.

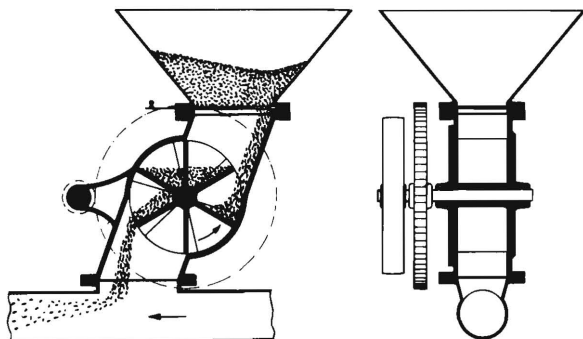


Bild 11. Zellenradschleuse.

Gelegentlich werden anstelle von Zellenradschleusen auch Schneckenschleusen verwendet. Die Schnecke kann in Richtung des Förderrohres oder quer dazu angeordnet sein. Während die Zellenradschleuse 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 aber zu verwerfen, da sie gegenüber einer Injektorschleuse lediglich eine Verteuerung bedeutet.

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 Zellenradschleuse sehr teuer ist. Ferner können Zellenradschleusen dazu verleiten, zu enge Rohre zu wählen. Bei engen Rohrleitungen und bei den sich dafür ergebenden Mitteldruckgebläsen 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 wird noch weiter unten eingegangen.

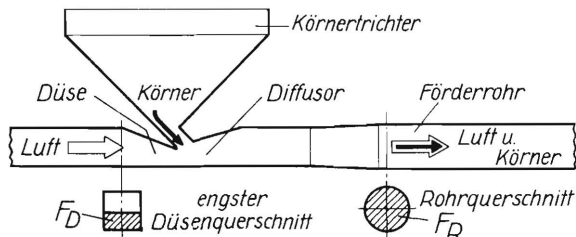


Bild 12. Injektorschleuse.

$$\begin{aligned} \text{Erweiterungsverhältnis } m &= F_D / F_R \\ \text{Drosselverhältnis } n &= 1/m = F_R / F_D \end{aligned}$$

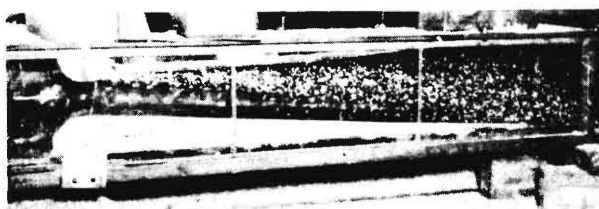


Bild 13. Körnerförderung in der Injektorschleuse (Aufnahme N.I.A.E. [6]).

Baulich einfach ist die Injektorschleuse. Sie ist sowohl für die Einführung von Körnern als auch von Heu, Stroh und Garben geeignet (Bild 12 und 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

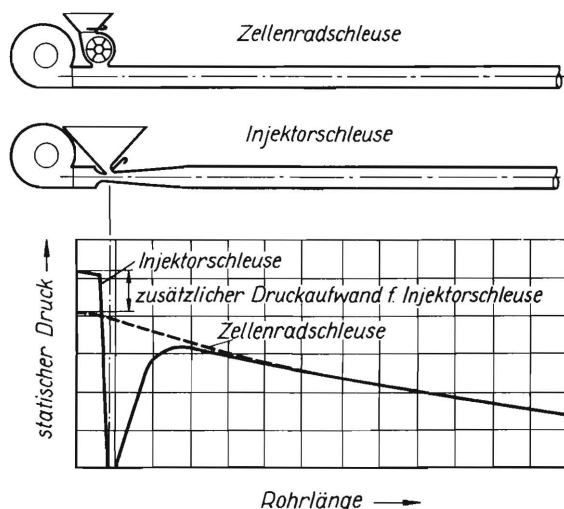


Bild 14. Druckabfall in der Rohrleitung bei Zellenrad- und Injektorschleusen [6].

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 (Bild 14), der bei der Berechnung des Gebläsedruckes zu berücksichtigen ist. Je länger die Rohrleitung und je grösser die Körnermenge, die gefördert werden soll, umso stärker muss die Drosselung sein. Mit zunehmender Drosselung wachsen aber die Druckverluste schnell an (Bild 15). Körnergebläse arbeiten mit einem Öffnungsverhältnis von Düsenquerschnitt

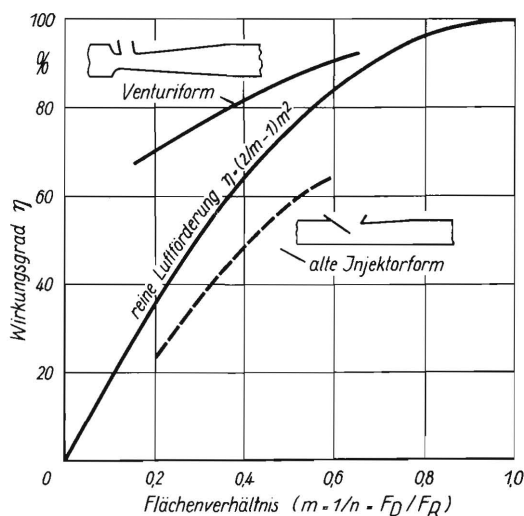


Bild 15. Wirkungsgrad von Injektorschleusen [6].

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 Strohgebläsen heute als Standardbauform üblich ist, ergibt sich der Wirkungsgrad bei reiner Luftförderung zu:

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

Bei Verwendung neuartiger Körnergebläse-Düsen mit Venturiform werden Wirkungsgrade von 40–60 % erreicht. Der Wirkungsgrad von Injektorschleusen für Getreideförderung kann berechnet werden nach der Gleichung [6]:

$$\eta_s = m^{0,418} G + 0,21 \quad (5)$$

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 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 [6]:

$$m = \frac{1}{\left(\frac{l \cdot \lambda}{D} + 1 \right)^{\frac{1}{1,79 - 0,418 G}}} \quad (6)$$

Die Grenzlänghe, bis zu der eine bestimmte Körnermenge gefördert werden kann, ohne dass ein Rückblasen in der Schleuse auftritt, beträgt [6]:

$$l = \frac{D}{\lambda} \left(\frac{\eta}{m^2} - 1 \right) [m] \quad (7)$$

$$\text{oder} \quad l = \frac{D}{\lambda} \left(\frac{1}{m^{1,79 - 0,418 G}} - 1 \right) [m] \quad (8)$$

Mit Hilfe der verschiedenen, oben genannten Gleichungen lässt 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 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 (Bild 16). Geschlossene

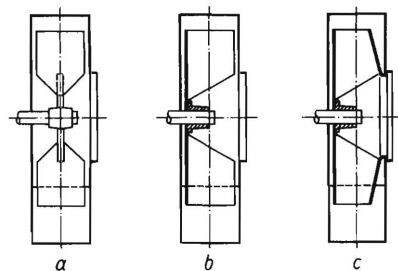


Bild 16. Offene und geschlossene Bauarten von Schaufelrädern.

- a und b offene Bauart für Förderung von Luft und Material
- c geschlossene Bauart für reine Luftförderung.

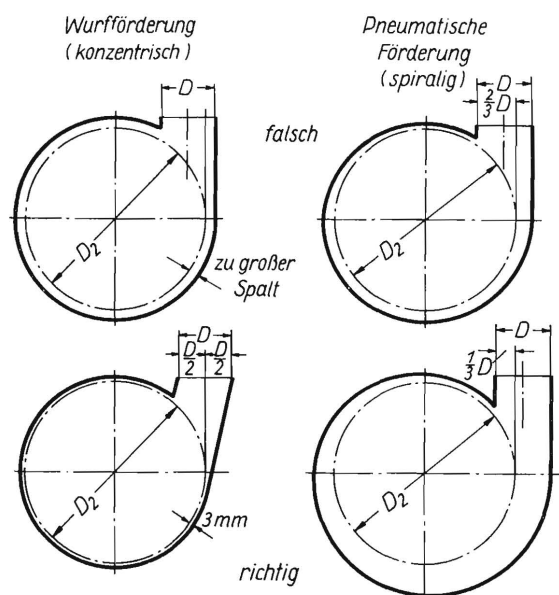


Bild 17. Gehäuseformen für Wurf- und pneumatische Förderung.

Schaufelräder sind hierfür nicht geeignet, da längere Halmteile leicht an der Verkleidung des Schaufelrades hängenbleiben und schliesslich zur Verstopfung des Schaufelrades führen können. Der etwas geringere Wirkungsgrad von offenen Schaufelrädern muss in Kauf genommen werden. Als Gehäuseform (Bild 17) empfiehlt sich die Verwendung der Spiralform, ähnlich wie bei Gebläsen zur reinen Luft-

wirkt also zunächst nicht fördernd, sondern bremsend, im Gegensatz zur rein pneumatischen Förderung, bei der die Luft dem Fördergut vorausseilt und das Fördergut mit sich reisst (Bild 18). So beträgt beispielsweise bei der pneumatischen Körnerförderung die durchschnittliche Materialgeschwindigkeit etwa $\frac{1}{3}$ 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, sodass 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 nur unnötig den Kraftbedarf. Im allgemeinen genügen 2 bis 4 Schaufeln.

Gehen wir von der Annahme aus, dass das Fördergut beim Verlassen der Schaufeln deren Geschwindigkeit annimmt, so würde die Förderhöhe H bei ausser Acht lassen der Reibung theoretisch nach der Wurfformel sich ergeben zu:

$$H = \frac{u^2}{2g} \quad [m] \quad (9)$$

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 zwischen Material und Luft.

Alle diese Erscheinungen wirken sich entscheidend auf die Förderhöhe aus. Für die Förderhöhe wurden bei Grünhäcksel von 30 mm Länge die in Bild 19 dargestellten praktischen Förderhöhen er-

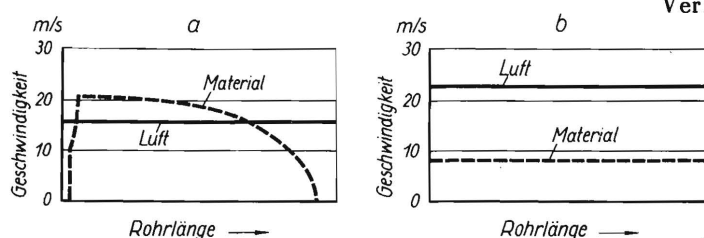


Bild 18. Luft- und Materialgeschwindigkeiten bei Wurf- (a) und pneumatischer Förderung (b).

förderung. 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 knappen seitlichem und radialem Spalt. Die Förderung erfolgt dann mehr durch Wurf als durch Luftwirkung. Wir kommen damit zu einer besonderen Gebläsegattung, dem Wurfgebläse, das nach folgendem Prinzip arbeitet.

Das von den Schaufeln des Wurfgebläses erfasste Fördergut verlässt ungefähr mit der Geschwindigkeit der Schaufeln, also der Umfangsgeschwindigkeit des Schaufelrades das Gebläse. Die Luft hat innerhalb der Schaufelkanäle etwa die gleiche Geschwindigkeit, die aber beim Austritt aus dem Gehäuse zum Teil in Druck umgesetzt wird, sodass sie im ersten Abschnitt des Rohres geringer ist als die Geschwindigkeit der Fördergutteile. Die Luft

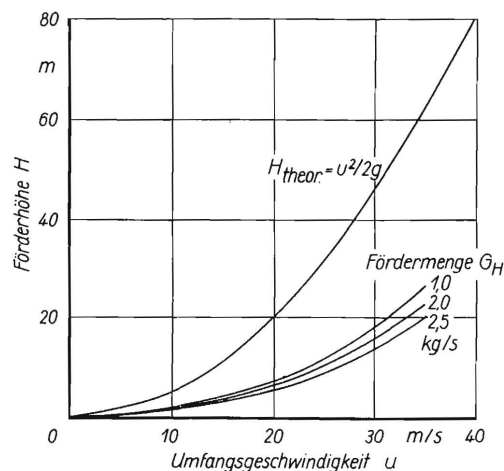


Bild 19. Förderhöhe bei der Wurf- und pneumatischen Förderung von gehäckseltem Grün- und Grünhäcksel in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit der Gebläseschaufeln [2].

reicht. Für Grüngut ergibt sich daraus folgende empirische Gleichung:

$$H = \frac{u^2}{2g} \cdot \frac{C}{\sqrt[3]{G}} \quad [m] \quad (10)$$

Bei Körnerförderung gilt die gleiche Beziehung, nur mit dem Unterschied, dass anstelle der Konstanten $C = 0,41 \text{ (kg/s)}^{1/3}$ der Wert von $C = 0,398$ eingesetzt werden muss.

Die Wurf Förderung ist nur bei rein senkrechter Förderung anwendbar. Bei einer waagerechten oder etwas schräg geneigten Rohrleitung tritt 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 Wurf Förderung 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 $\frac{1}{3}$ 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 Maass herabgesetzt wird.

Wir sehen also, dass bei der Körnerförderung die verschiedensten Formen von Einschleusvorrichtungen verwendet werden können. Eine Übersicht über die Verwendungsgebiete der verschiedenen Schleusenbauarten gibt Bild 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 Rohren in Frage, bei grösseren Fördermengen und bei

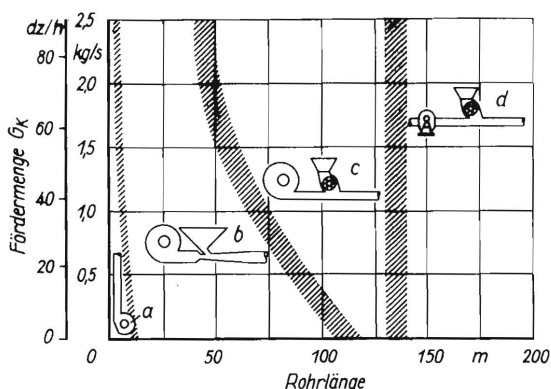


Bild 20. Arbeitsgebiet verschiedener Körnergebläsebauarten [6].

	Gesamtdruck (Gebläse) p_g mm WS	Rohr- weiten D mm	Schleuse
a Wurfgebläse	—	—	—
b Niederdruckgebläse	bis 250	150–300	Injektor
c Mitteldruckgebläse	„ 1000	100–200	Zellenrad
d Hochdruckgebläse	„ 3000	50–130	Zellenrad

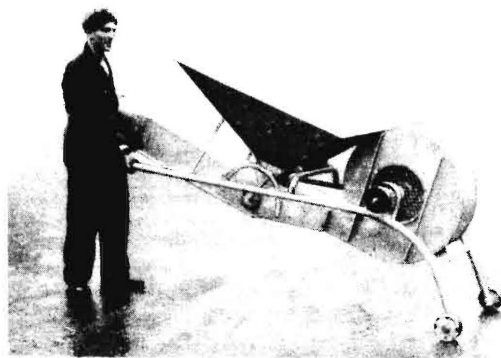


Bild 21. Körnergebläse in Leichtbauweise
(Aufnahme N.I.A.E.).

grösseren Rohrlängen dagegen reicht die Wirkungsweise der Injektorschleuse nicht mehr aus. In diesen Fällen müssen wir auf die Zellenradschleuse zurückgreifen. Ein Ausführungsbeispiel eines Körnergebläses mit Injektorschleuse in Leichtbauweise zeigt Bild 21. Das Gebläse hat eine Leistung von 20–40 dz/h, wobei die grössere Leistung für eine kürzere Rohrleitung gilt. Das Gebläse wiegt etwa 100 kg und hat einen Kraftbedarf von 3–6 PS je nach Leistung und Förderrohrlänge. Diese günstigen Werte werden durch ein Gebläse von besonders gutem Wirkungsgrad und durch Anwendung einer Düse in Venturiform mit ebenfalls günstigem Wirkungsgrad erreicht.

3. Gebläse

Nachdem wir gesehen haben, wie die Luftmenge und der 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 wird auf die bekannten Handbücher verwiesen. Hier sollen nur einige Besonderheiten, die bei landwirtschaftlichen Fördergebläsen zu beachten sind, behandelt werden.

Da ist zunächst die Frage der 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 Bild 22 dargestellten Schaufelformen zu Grunde, so müssen wir damit rechnen, dass im Ver-

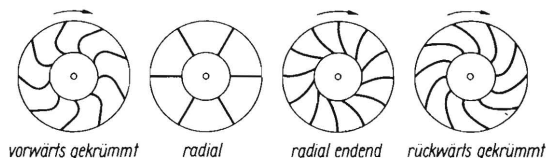


Bild 22. Schaufelformen.

gleich zum radialen Schaufelrad, Schaufelräder mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln etwa 10–30% schneller zur Vollbringung der gleichen Luft- und Druckleistung laufen müssen, während vorwärtsgekrümmte Schaufeln entsprechend langsamer laufen können. Der Wirkungsgrad von Schaufelrädern mit vorwärtsgekrümmten Schaufeln ist nach unseren Erfahrungen nicht 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 (Bild 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 Schaufeln, für höhere Drücke benötigen wir längere Schaufeln. Liegt also ein verhältnismässig geringer Strömungswiderstand wie bei Reinigungsgebläsen vor, der nur wenig 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 Schaufelzahl. 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. Schaufelräder mit langen Schaufeln (z.B. bei einem Verhältnis 1 : 2) erfordern weniger Schaufeln als solche mit kurzen Schaufeln. Bei Spreugebläsen sollte die Schaufelzahl nie unter 6 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 ansaugenden 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 Gebläsemitte herauszulegen und exzentrisch zur Gebläsewelle anzuordnen. Eine zu starke Exzentrizität ist auf alle Fälle zu vermeiden. Kommen wir mit der Ansaugöffnung in die Druckzone des Schaufelrades, dann tritt Rückblasen und eine starke Verschlechterung des Gebläsewirkungsgrades ein.

Grosse Unterschiede finden wir hinsichtlich der Ausbildung der Gehäusespirale (Bild 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 (Bild 23) statt einer logarithmischen

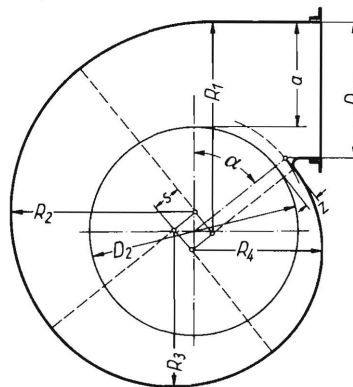


Bild 23. Konstruktion der Gehäusespirale.

$$\begin{aligned} a &= 0,7 \text{ bis } 0,75 D \\ z &= 10 \text{ bis } 40 \text{ mm} \\ s &= \frac{a-z}{360-\alpha} 90 \end{aligned}$$

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 in einem vorliegenden Fall zutrifft, kann nur anhand von aufgenommenen Gebläsekennlinien (Bild 24) nachgeprüft werden. Die Nachprüfung erfolgt auf die Weise, dass der Betriebspunkt im Volumen-Druckdiagramm ermittelt und in die Wirkungsgradkurve übertragen wird (Bild 25). Liegt der Betriebspunkt links oder rechts vom Wirkungsgrad-Optimum, dann ist das Gebläse entweder zu gross oder zu klein, d.h. das Schaufelrad und das Gehäuse müssen schmaler oder breiter gebaut werden. In Sonder-

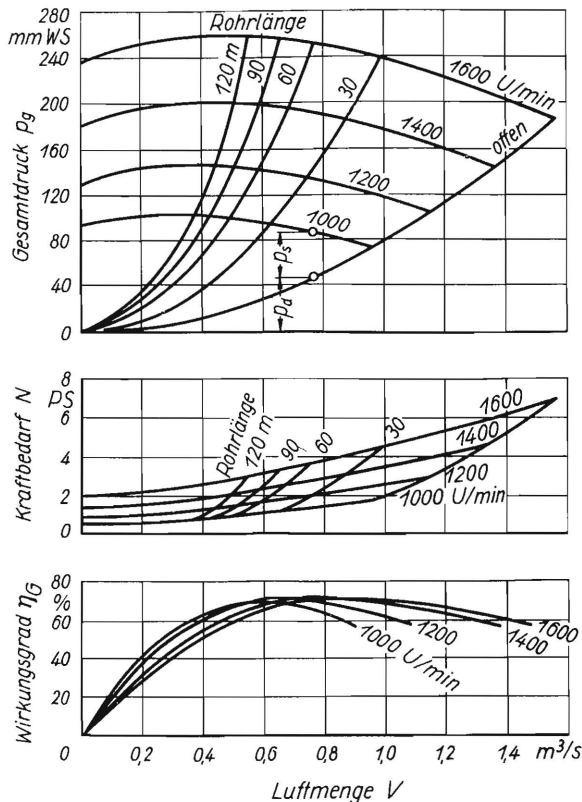


Bild 24. Kennlinien eines Körnergebläses.

p_s statischer Druck
 p_d dynamischer Druck
 p_g Gesamtdruck
 (in mm WS bzw. kg/m^2)

fällen, wie beispielsweise bei Reinigungsgebläsen, bei denen ein geringer Druckwiderstand vorliegt, also ein ausgesprochenes Niederdruckgebläse mit sehr kurzen Schaufeln verlangt wird, ist eine Verlagerung des Wirkungsgrad-Optimums an das Ende der Wirkungsgradkurve erwünscht. Das lässt sich durch ein sehr weiträumiges Spiralgehäuse erreichen, das die Umsetzung von Geschwindigkeit in Druck selber übernimmt. Durch die dabei auftretenden Umsetzungsverluste leidet allerdings die Höhe des Wirkungsgrades; es ist vorzuziehen, diese Umsetzung im Anschluss an das Gebläse in einem besonderen

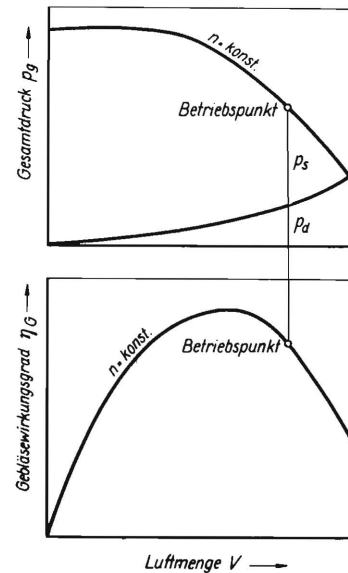


Bild 25. Wirkungsgradabstimmung.

Diffusor vorzunehmen. Häufig ist hierfür nicht genügend Platz vorhanden, sodass nur der erstgenannte Weg übrig bleibt. Abgesehen von diesem Fall gibt es bei Landmaschinen die verschiedenartigsten Anforderungen, die an ein Gebläse gestellt werden und die zu Abweichungen von den üblichen Ventilator-Bauarten 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.

Schrifttum

- [1] C.H. Dencker u. G. Segler: Hauptprüfung von Heu- und Strohgebläsen. Mitt. DLG 46 (1931) Stück 23.
- [2] G. Segler: Untersuchungen an Silohäckslern. Tidl 14 (1933) 134/138.
- [3] G. Segler: Untersuchungen an Körnergebläsen und Grundlagen für ihre Berechnung. RKTL-Schrift 55, Mannheim 1934.
- [4] C.H. Dencker: Untersuchungen an Körnergebläsen. RKTL-Schrift 57, Berlin 1935.
- [5] G. Segler: Abstimmung von Gebläse- und Schneidwerkleistung bei Wurfadhackslern. Landtechnik 6 (1951) 144/147.
- [6] G. Segler: Pneumatic Grain Conveying. Veröffentlichung des National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe, Bedfordshire. Braunschweig 1951.
- [7] C. Pfeleiderer: Die Kreiselpumpen. 3. Auflage, Berlin 1949.

Institut für Landmaschinen der Technischen Hochschule Braunschweig

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Ing. Georg Segler, (20b) Braunschweig, Mühlenfordstrasse 307