

Résumé :

Prof. Dr.-Ing. K. Gallwitz: „Untersuchungen an Naßfutterbereitern und Trockenzerkleinerern.“

Die seit einiger Zeit vorliegenden Fütterungsversuche mit Naßfutterbereitern und Trockenzerkleinerern werden hier nach der mechanisch-technischen Seite ergänzt. Dazu wurde zunächst ein Verfahren zur Bestimmung des Zerkleinerungsgrades entwickelt. Die Untersuchung an beiden Gerätegruppen erstreckte sich auf die Feststellung der Zerkleinerung, des Leistungsbedarfes für eine bestimmte Zerkleinerung und der Verschleißfestigkeit bei längerem Betrieb. Die Ergebnisse zeigen, besonders bei Naßfutterbereitern, beträchtliche Unterschiede in der erreichten Zerkleinerung. Bei der Suche nach den Gründen dafür ergab sich eine augenfällige Parallelität zwischen dem Zerkleinerungsgrad einerseits und der von den Messern in der Zeiteinheit überstrichenen Fläche sowie der Größe der der Strömung entgegengestellten Behälterrippen andererseits. Bei der Ermittlung des Leistungsbedarfes zeigten beide Gerätegruppen für Silage höhere Werte als für Rüben. Die Verschleißprüfung ergab nur in zwei Fällen starke Abnutzungserscheinungen an den Messern.

Prof. Dr.-Ing. K. Gallwitz: „Investigations on Wet and Dry Fodder Mixers.“

Existing investigations made on Wet and Dry Fodder Mixers are supplemented by additional investigations of the machinery. For this purpose a method for determining the degree of comminution was developed. Investigations made on both types of fodder mixers included determination of the degree of comminution, power requirements for a definite degree of comminution and the resistance to wear and tear during long periods of operation. The results disclosed considerable differences in the degree of comminution obtained, particularly in the case of wet fodder mixers. Further investigations made to determine the cause of this, brought to light a marked parallelism between the degree of comminution, the space swept out by the knives per unit of time and the size of the static ribs in the mixing vessel. Both groups required more power when operating on ensilage than when operating on beets and turnips. Tests made to determine wear and tear only showed a marked degree of wear of the knives in two cases.

Prof. Dr.-Ing. K. Gallwitz: «Examen des broyeurs par voie humide et des broyeurs par voie sèche.»

Les essais pratiqués il y a quelque temps sur la nourriture du bétail à l'aide de broyeurs par voie humide et par voie sèche, sont complétés dans cet article, au point de vue mécanique. On a tout d'abord étudié un procédé visant à déterminer la finesse de concassage. L'examen pratique sur les deux groupes d'appareils a porté sur la détermination du degré de concassage, de la consommation en énergie pour un concassage déterminé et sur la résistance à l'usure pendant un service prolongé. Les résultats montrent en particulier, en ce qui concerne les broyeurs par voie humide, des différences considérables entre les concassages obtenus. En recherchant les raisons, on a établi un parallélisme qui saute aux yeux entre la finesse de concassage d'une part et la surface travaillée par les lames dans l'unité de temps, et d'autre part entre les dimensions des nervures de la trémie s'opposant au mouvement. Les deux groupes d'appareils ont montré, lors de la détermination de la consommation en énergie des chiffres plus élevés pour les fourrages mis en silos que pour les betteraves. Le contrôle de l'usure n'a révélé des usures notables des lames que dans deux cas.

Ing. Dr. K. Gallwitz, catedráticos:

«Experimentos con preparadoras de piensos húmedos y con trituradoras en seco.»

Se complementan aquí bajo los aspectos mecánico y técnico las pruebas de alimentación que desde hace algún tiempo se vienen haciendo, empleándose preparadoras de piensos húmedos y trituradoras en seco. Se empezó estableciendo procedimientos para determinar el grado de trituración. Las investigaciones con ambos dispositivos abarcaron el grado de trituración, el consumo de energía para un grado de trituración determinado y la resistencia de las máquinas al desgaste por un servicio prolongado. Los resultados acusan diferencias bastante grandes en la trituración conseguida, especialmente en las preparadoras de piensos húmedos. Buscándose las causas, se dió con un paralelismo notable entre el grado de la trituración por un lado, y la superficie alcanzada por las cuchillas en la unidad de tiempo y el tamaño de los nervios del recipiente, colocados en sentido contrario a la corriente por el otro. Fijándose el consumo de energía, ambos aparatos acusan valores más crecidos para la remolacha. Las pruebas de desgaste mostraron desgaste importante de las cuchillas, sino en dos casos.

Obering. Dr.-Ing. H. Nickels:

Ausflußeigenschaften von Prall- und Drallkörperdüsen*)

Technische Hochschule Hannover

Die in der Zeiteinheit ausgebrachte Flüssigkeitsmenge wird durch die Pumpenleistung bestimmt. Die Flüssigkeitsmenge kann sich dabei auf eine oder mehrere Düsen verteilen. Von Bedeutung, insbesondere für die Beurteilung des Zerstäubungsvorganges, ist die Feststellung der Ausflussmengen bei den verschiedenen Bedingungen für die einzelne Düse und die Untersuchung ihres betriebsmäßigen Verhaltens in bezug auf diese Ausflussmengen. Ferner ist der Einfluß zu studieren, den der Zerstäubungsdruck p und die Düsenbohrung d , der durch die Pralldüse zerteilte Strahl beziehungsweise der durch den Drallkörper verursachte Drall und die Beschaffenheit der Flüssigkeit auf die Ausflußmenge ausüben.

1. Ausflußgesetz.

Es bedeuten:¹⁾

- Q = Ausflußmenge (m³/sec)
 - p = Zerstäubungsdruck (kg/m²)
 - $f = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ Ausflußquerschnitt der Düse (m²)
 - v = Ausflußgeschwindigkeit (m/sec)
 - φ = Geschwindigkeitsziffer
 - α = Kontraktionsziffer
 - μ = Ausflußziffer
 - t = Zeit (sec)
 - γ = spezifisches Gewicht des Wassers 1000 (kg/m³)
 - g = Erdbeschleunigung 9,81 (m/sec²)
 - $C =$
 - $c_v =$
 - $c_Q =$
- } = Konstanten

Die Ausflußgeschwindigkeit ist nach dem „Torcellischen Theorem“

$$v = \varphi \sqrt{2 g h} \quad (\text{m/sec})$$

Die Geschwindigkeitsziffer φ ist abhängig von der Zähigkeit der Flüssigkeit und der Form der Ausflußöffnung. Bei zugeschärften Ausflußkanten ist für Wasser $\varphi \cong 0,97$, bei ganz kurzer, gut abgerundeter und geglätteter Düse $\varphi \cong 0,99$. Bei anderen Formen der Ausflußöffnung, namentlich bei längeren Mündungen, wird φ kleiner [1].

Ferner gilt nach Prandtl [2]:

$$h = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} \quad (\text{m})$$

Somit ergibt sich nach der Bernouillischen Gleichung

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} + \frac{p}{\gamma} = \text{const}$$

$$v = \varphi \sqrt{\frac{2 \cdot g}{\gamma} \cdot (p_2 - p_1)} \quad (\text{m/sec})$$

1 kg/cm² = 10 000 kg/m²

Hierin ist:

$$\text{Konstante } c_v = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 10000}{1000}}$$

und damit die

Ausflußgeschwindigkeit, wenn $p_1 = 0$

$$v = c_v \cdot \varphi \cdot \sqrt{p} \quad (\text{m/sec}),$$

d. h.: Der Zerstäubungsdruck p ist proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit v .

Strömen unter gleichen Bedingungen zwei Flüssigkeiten mit den spezifischen Gewichten γ_1 und γ_2 aus, so verhalten sich

*) Untersucht im Institut für Landmaschinen der Universität Göttingen. (Leiter: Prof. Dr.-Ing. K. Gallwitz.)

1) VDI-Durchflußregeln. DIN 1952, 6. Ausgabe 1948.

die Zeiten, in denen die gleichen Volumina ausströmen, umgekehrt proportional den Ausflußgeschwindigkeiten.

Also:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\varphi}{\varphi} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (p_2 - p_1)}{\gamma_2}} = \sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma_2}}$$

mithin ist:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{(t_1)^2}{(t_2)^2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2$$

Die Ausflußmenge in der Zeiteinheit ist nach der

$$\text{Kontinuitätsgleichung: } Q = a \cdot v \cdot f \quad (\text{m}^3/\text{sec}) \quad [3]$$

Der Kontraktionskoeffizient α bezeichnet die Einschnürung des Strahles nach Verlassen der Düsenmündung und erreicht den Höchstwert 1,0 bei gut abgerundeten sehr kleinen Düsen.

Bei zugeschärften Düsenkanten wird der Wert für α kleiner. Würden alle Stromlinien parallel austreten und keine Energieverluste vorhanden sein, so wäre der Ausflußkoeffizient

$$\mu = \varphi \cdot \alpha = 1,0$$

Hierin ist: Konstante

$$c_Q = \frac{\pi}{4}$$

$$\text{Also: } Q = c_Q \cdot \alpha \cdot v \cdot d^2 \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

$$\text{oder } Q = c_Q \cdot c_v \cdot \mu \cdot d^2 \cdot \sqrt{p} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

Fassen wir die Konstanten zusammen, so ist:

$$c_Q \cdot c_v = C \text{ und damit}$$

$$\text{die Ausflußmenge: } Q = C \cdot \mu \cdot d^2 \cdot \sqrt{p} \quad (\text{m}^3/\text{sec}),$$

d. h.: Die Ausflußmenge Q ist dem Produkt aus Düsenquerschnitt (d^2) und der Wurzel aus dem Zerstäubungsdruck p proportional.

Für den Idealfall, ($\mu = \alpha \cdot \varphi = 1$) ergibt sich die theoretische Ausflußgeschwindigkeit:

$$v_{th} = c_v \cdot \sqrt{p} \quad (\text{m}/\text{sec})$$

und die theoretische Ausflußmenge:

$$Q_{th} = C \cdot d^2 \cdot \sqrt{p} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

Somit wird für die wirkliche Ausflußgeschwindigkeit

$$\text{die Geschwindigkeitsziffer: } \frac{c_v \cdot \varphi \cdot \sqrt{p}}{c_v \cdot \sqrt{p}} = \frac{v}{v_{th}}; \varphi = \frac{v}{v_{th}}$$

und für die wirkliche Ausflußmenge

$$\text{der Ausflußkoeffizient: } \frac{C \cdot \mu \cdot d^2 \cdot \sqrt{p}}{C \cdot d^2 \cdot \sqrt{p}} = \frac{Q}{Q_{th}}; \mu = \frac{Q}{Q_{th}}$$

Anschließend werden nun Prall- und Drallkörperdüsen für Pflanzenschutzgeräte untersucht, inwieweit diese dem oben entwickelten Ausflußgesetz gehorchen.

2. Untersuchung der Ausflußmenge

Um bei den Untersuchungen mit einem jeweils konstanten Zerstäubungsdruck arbeiten zu können, wurde eine Preßluftanlage benutzt. Der Preßluftbehälter (Druck ~ 150 atü) war durch eine Rohrleitung über ein Reduzierventil mit einem Hochdruckkessel, der mit Wasser gefüllt war, verbunden. Am Hochdruckbehälter wurde die zu untersuchende Düse über eine Schlauchleitung angeschlossen und die austretende Flüssigkeitsmenge in einem spritzsicher abgedichteten Meßzylinder für eine jeweils konstante Zeit aufgefangen. Zwischen dem Flüssigkeitsspiegel im Hochdruckkessel und der Düsenmündung bestand während der Versuchsdurchführung kein Höhenunterschied.

Trotzdem wird durch diese Versuchsanordnung ein gewisser Ungenauigkeitsgrad in die Untersuchung hineingetragen, denn

sämtliche Teile, die der Zuleitung der Flüssigkeit bis zur Düse dienen, üben auf Grund der Flüssigkeitsreibung einen gewissen Einfluß auf die Ausflußmenge aus. Diesen Einfluß auszuschalten war unter den gegebenen Verhältnissen recht schwierig, daher wurde darauf verzichtet, die Düse separat zu prüfen, um so mehr, als die vorhandene Zuleitung im wesentlichen auch der bei Pflanzenschutzgeräten entsprach und die Ergebnisse sich daher besser den Bedingungen des praktischen Betriebes anpassen.

Die Messungen an den verschiedenen Düsen erfolgten bei Zerstäubungsdrücken im Bereich zwischen $p = 2$ und 30 atü und Düsenbohrungen zwischen $d = 0,5$ und $2,0$ mm ϕ .

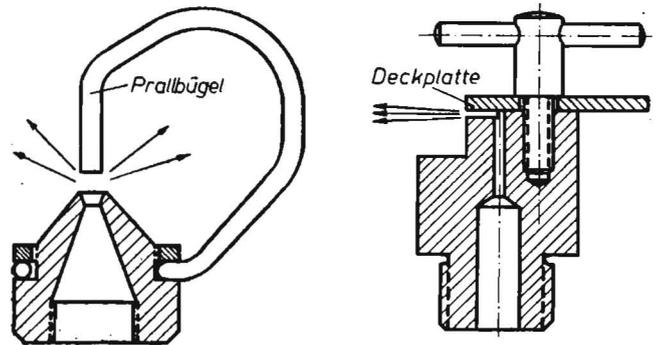


Abb. 1: Pralldüsen; links Tegmeier, rechts Walther

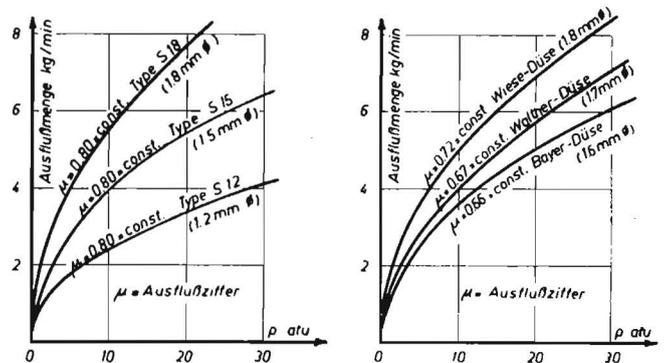


Abb. 2: Ausflußmenge als Funktion des Druckes bei Tegmeier-Pralldüsen (links) und bei Wiese-, Walther- und Bayer-Pralldüsen (rechts)

a) Pralldüsen

Da bei Pralldüsen für Pflanzenschutzgeräte (Abb. 1) die Zerstäubung der Flüssigkeit durch das Aufprallen des Strahles auf die Prallfläche erfolgt und durch den Rückstoß, unabhängig von Düsenbohrung d und Zerstäubungsdruck p , mehr oder minder eine „Flüssigkeitsdrosselung“ eintritt, im Gegensatz zu Düsen bei denen der Flüssigkeitsstrahl ungehindert ausströmen kann, so sind bei den Messungen diese Gesichtspunkte berücksichtigt und getrennt behandelt worden.

1. Austritt ohne Stoßrückwirkung: Die Prallplatte wurde in einer Entfernung vor die Ausflußmündung der Düse geschaltet, so daß keine Stoßrückwirkung auf die Düsenmündung vorhanden war. Hierbei wurde in Anlehnung an Vorversuche für sämtliche zu untersuchenden Düsen die Spalthöhe $s > d$ gewählt und während der Versuchsdurchführung konstant gehalten.

2. Austritt mit Stoßrückwirkung: Die Spalthöhe d wurde kontinuierlich verkleinert, um speziell den Einfluß des Stoßes und Düsen- bzw. Spaltquerschnittes auf die Ausflußmenge untersuchen zu können.

Unter Zugrundelegung der oben entwickelten Formeln und der gemessenen Q -Werte wurden dann μ und v berechnet und deren Verlauf in Abhängigkeit von Zerstäubungsdruck p und Düsenbohrung d bzw. Düsenquerschnittsfläche d^2 im rechtwinkligen Koordinatensystem graphisch dargestellt.

Ohne Stoßrückwirkung

Die graphische Darstellung (Abb. 2) der Meßwerte $Q = f(p)$ für die verschiedenen Düsentypen und Ausflußquerschnitte

**Theoretische und gemessene Ausflußmengen sowie Ausflußkoeffizient verschiedener Düsen
bei steigendem Zerstäubungsdruck**

p	Tegtmeierdüse S 12 Bohrung 1,2 mm			Tegtmeierdüse S 15 Bohrung 1,5 mm			Tegtmeierdüse S 18 Bohrung 1,8 mm			Tegtmeierdüse S 12, 15, 18 Bohrung 1,2, 1,5, 1,8 mm			
	Q _{th}	Q	μ	Q _{th}	Q	μ	Q _{th}	Q	μ	v _{th}	v	φ	α
atü	kg/min	kg/min	—	kg/min	kg/min	—	kg/min	kg/min	—	m/sec	m/sec	—	—
2	1,340	1,050	0,785	2,100	1,660	0,790	3,020	2,370	0,784	19,75	19,10	0,970	0,808
4	1,900	1,500	0,788	2,970	2,320	0,782	4,280	3,500	0,815	28,00	27,10	0,970	0,840
6	2,330	1,850	0,795	3,640	2,960	0,813	5,250	4,150	0,790	34,30	33,80	0,985	0,803
8	2,690	2,190	0,815	4,200	3,360	0,800	6,050	4,870	0,805	39,50	38,40	0,972	0,828
10	3,000	2,450	0,817	4,690	3,680	0,785	6,760	5,300	0,785	44,25	43,50	0,984	0,800
12	3,290	2,630	0,800	5,140	4,200	0,815	7,420	5,900	0,795	48,50	47,00	0,970	0,820
15	3,690	2,990	0,810	5,750	4,650	0,808	8,300	6,730	0,812	54,20	53,00	0,978	0,830
20	4,250	3,350	0,789	6,650	5,300	0,795	9,550	7,700	0,816	62,50	61,50	0,987	0,828
25	4,750	3,780	0,795	7,430	5,850	0,785	10,700	8,500	0,795	70,00	68,50	0,980	0,812
30	5,200	4,080	0,784	8,150	6,600	0,810	11,750	9,450	0,803	76,50	74,50	0,973	0,835

p	Bayerdüse D 95-S Bohrung 1,6 mm			Bayerdüse D 95-S Bohrung 1,8 mm			Bayerdüse D 95-S Bohrung 1,6 und 1,8 mm			
	Q _{th}	Q	μ	Q _{th}	Q	μ	v _{th}	v	φ	α
atü	kg/min	kg/min	—	kg/min	kg/min	—	m/sec	m/sec	—	—
2	2,390	1,550	0,650	3,050	1,980	0,650	19,75	19,00	0,960	0,685
4	3,380	2,250	0,665	4,200	2,705	0,655	28,00	27,00	0,968	0,697
6	4,150	2,780	0,670	5,270	3,540	0,672	34,30	33,30	0,972	0,700
8	4,780	3,200	0,680	5,800	3,920	0,675	39,50	38,50	0,975	0,670
10	5,335	3,600	0,663	6,420	4,360	0,680	44,25	42,60	0,963	0,675
12	5,850	3,950	0,675	7,170	4,680	0,653	48,50	46,50	0,960	0,693
15	6,550	4,200	0,662	8,100	5,370	0,662	54,20	52,85	0,977	0,670
20	7,550	4,950	0,668	9,500	6,260	0,660	62,50	61,20	0,978	0,693
25	8,450	5,500	0,650	11,000	7,200	0,655	70,00	67,80	0,968	0,698
30	9,300	6,200	0,667	11,700	7,800	0,665	76,50	73,50	0,960	0,700

p	Waltherdüse 0,7/1,7 Bohrung 1,7 mm			Waltherdüse 0,7/1,8 Bohrung 1,8 mm			Waltherdüse 0,7/1,7 und 0,7/1,8 Bohrung 1,7 und 1,8 mm			
	Q _{th}	Q	μ	Q _{th}	Q	μ	v _{th}	v	φ	α
atü	kg/min	kg/min	—	kg/min	kg/min	—	m/sec	m/sec	—	—
2	2,700	1,740	0,645	3,000	1,95	0,650	19,75	19,15	0,970	0,670
4	3,820	2,490	0,652	4,200	2,77	0,660	28,00	26,80	0,966	0,680
6	4,680	3,150	0,673	5,330	3,54	0,665	34,30	33,10	0,965	0,705
8	5,400	3,590	0,665	6,080	3,89	0,648	39,50	38,50	0,975	0,675
10	6,030	3,920	0,666	6,800	4,45	0,652	44,25	43,00	0,972	0,680
12	6,620	4,470	0,675	7,550	4,94	0,653	48,50	46,50	0,962	0,698
15	7,400	4,820	0,650	8,200	5,46	0,665	54,50	53,00	0,978	0,678
20	8,520	5,630	0,660	9,450	6,20	0,655	62,50	60,00	0,963	0,680
25	9,550	6,400	0,668	10,750	7,00	0,650	70,00	68,50	0,982	0,674
30	10,500	7,050	0,670	11,650	7,82	0,670	76,50	73,80	0,965	0,697

p	Wiesedüse Bohrung 1,8 mm			Wiesedüse Bohrung 1,8 mm			
	Q _{th}	Q	μ	v _{th}	v	φ	α
atü	kg/min	kg/min	—	m/sec	m/sec	—	—
2	3,020	2,160	0,715	19,75	19,10	0,970	0,735
4	4,280	3,080	0,720	28,00	27,10	0,970	0,740
6	5,250	3,830	0,730	34,30	33,85	0,985	0,748
8	6,050	4,250	0,705	39,50	38,45	0,970	0,726
10	6,760	4,800	0,710	44,25	43,50	0,980	0,730
12	7,420	5,250	0,708	48,50	47,00	0,970	0,738
15	8,300	5,970	0,722	54,20	53,00	0,980	0,742
20	9,550	6,920	0,725	62,50	61,50	0,986	0,750
25	10,700	7,600	0,710	70,00	68,50	0,980	0,730
30	11,750	8,300	0,705	76,50	74,50	0,972	0,725

ergibt konvexe parabelähnliche Kurven, die ihren Ursprung im Nullpunkt haben und bei denen die Ausflußmenge Q pro Zeiteinheit mit anwachsendem Zerstäubungsdruck p größer wird. Die Parabeln für Düsen mit größerem Düsenquerschnitt verlaufen steiler.

Je geringer also der Zerstäubungsdruck p und der Düsenquerschnitt f , desto geringer die Ausflußmenge Q .

Hierbei unterscheiden sich die theoretischen Ausflußmengen Q_{th} von den gemessenen Ausflußmengen Q lediglich durch den Ausflußkoeffizienten μ . Der Ausflußkoeffizient μ ist in seiner Größenordnung für die einzelnen Düsenfabrikate verschieden, begründet durch die konstruktive Formgebung der Düsenmündung.

Legt man zur Kontrolle durch einen Kurvenpunkt derart eine Parabel, daß die X-Achse die Parabel-Achse und die Y-Achse ihre Scheiteltangente bilden, so deckt sich die Parabel mit der empirisch gefundenen Kurve fast vollständig, d. h. der jeweilige Ausflußkoeffizient μ bleibt konstant, im Gegensatz zu Angaben in der Literatur [4], wonach die Ausflußziffer μ mit steigendem Zerstäubungsdruck geringfügig abnimmt (etwa 3—5%). Trotz vielzähliger Wiederholungsmessungen konnte eine sinkende Tendenz des Ausflußkoeffizienten μ nicht festgestellt werden. Dieses Verhalten läßt darauf schließen, daß die untersuchten Düsen sich in konstruktiver Hinsicht weitgehendst der Idealdüse nähern.

Vergleichen wir die Meßergebnisse miteinander, so läßt sich erkennen, daß der Ausflußkoeffizient μ konstant ist für konstruktiv gleichartige Düsentypen, unabhängig von den Düsenbohrungen und den Drücken im untersuchten Bereich von $p = 2$ bis 30 atü. D. h. der Wert $Q/d^2 \cdot \sqrt{p}$

ist konstant für alle Düsen der betreffenden Type. Eine Gegenüberstellung kennzeichnet die Größenordnung der konstanten Ausflußkoeffizienten μ mit einem Streubereich von $\pm 1,5\%$. Die geringen Abweichungen lassen sich durch Meßungenauigkeiten und Wasserverunreinigungen begründen.

Transformieren wir die Meßwerte in ein Koordinatensystem, in dem auf der Ordinatenachse die Q -Werte und auf der Abszissenachse die Düsenquerschnitte (d^2) aufgetragen sind (Abb. 3, links), so ergeben sich erwartungsgemäß Geraden.

Die Meßwerte übertragen in ein Koordinatensystem mit linearer Einteilung (Q und d) ergeben eine Art von Parabelscharen mit konkavem Charakter (Abb. 3, rechts). In beiden Fällen, sei es bei quadratischer oder linearer Einteilung der Abszissenachse, verlaufen die Geraden bzw. konkaven Parabeln flacher, je geringer der Zerstäubungsdruck p ist. Die Ausflußmenge Q nimmt zu, je größer Zerstäubungsdruck p und Düsenquerschnitt (d^2) werden.

Gleichzeitig lassen sich auch die jeweils konstanten mittleren Strömungsgeschwindigkeiten (ohne Berücksichtigung der Reibung) erkennen. Die Strömungsgeschwindigkeit nimmt mit zunehmendem Düsenquerschnitt bei jeweils konstanten Ausflußmengen ab, wobei das Quadrat der mittleren Ausflußgeschwindigkeit v dem Zerstäubungsdruck p proportional ist.

Aus den vorstehenden Meßergebnissen und den graphischen Darstellungen läßt sich zusammenfassend der Schluß ziehen, daß Pralldüsen dem allgemeinen Ausflußgesetz

$$Q_{Düse} = C \cdot \mu \cdot d^2 \cdot \sqrt{p} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

gehören, sofern die Prallfläche einen genügenden Abstand ($s > d$) von der Austrittsmündung der Düse besitzt und dadurch keine „Drosselwirkung“ auf die Ausflußmenge ausübt. Hierbei bleibt zunächst noch offen, welche funktionellen Beziehungen bei einem auftretenden Stoß sich zwischen Düsenbohrung und Spaltquerschnitt bzw. Spalthöhe s ergeben.

Mit Stoßrückwirkung

Da bei Pralldüsen die Regelung der Ausflußmenge und die Variierung der Tröpfchengrößen nicht nur durch Düsenbohrung und Zerstäubungsdruck erfolgen kann, sondern auch durch „Drosselung der Flüssigkeitsmenge“, indem der Spalt zwischen Prallfläche und Austrittsmündung der Düse verringert wird, scheint es geboten, diese Verhältnisse näher zu untersuchen. Insbesondere interessiert die Frage, welche Mindest-Spalthöhe für eine Düse mit bestimmter Bohrung erforderlich ist, ohne daß „Drosselwirkung“ eintritt, und wie sich die Ausflußmengen von Pralldüsen bei „Drosselwirkung“ errechnen lassen.

Trifft ein Strahl auf eine Platte, die senkrecht zur Strahlachse steht, so spricht man von senkrechtem „Stoß“ oder besser Strahlendruck. Beim Strahlendruck werden die einzelnen Wasserteilchen durch die Umlenkplatte aus der ursprünglich senkrechten in eine zur Platte parallelen, also waagerechten Richtung abgelenkt. Die Platte muß mithin die senkrecht gerichtete Bewegungsgröße des Strahles durch Gegendruck aufheben und deshalb so groß ausgebildet sein, daß die Bewegungsgröße in der ursprünglichen Strahlrichtung zu Null werden kann, d. h. daß die volle Umlenkung um 90° vollzogen ist (Abb. 4). Bezeichnet Q die in der Zeiteinheit

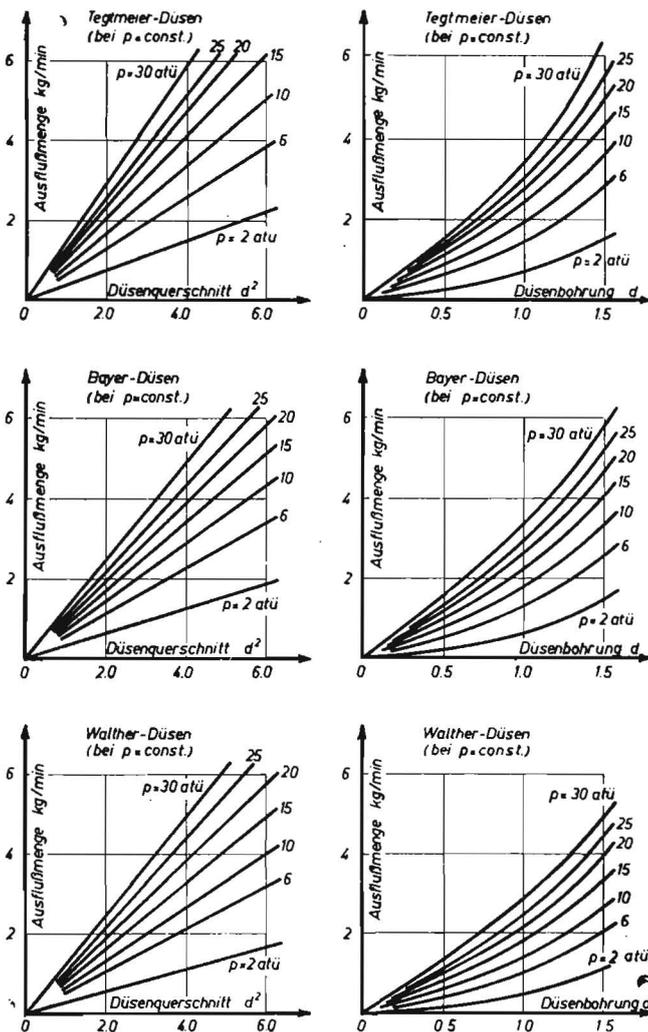


Abb. 3: Ausflußmengen als Funktion des Düsenquerschnittes für Tegtmeier-, Bayer- und Walther-Pralldüsen (links) und als Funktion der Düsenbohrung für Tegtmeier-, Bayer- und Walther-Pralldüsen (rechts)

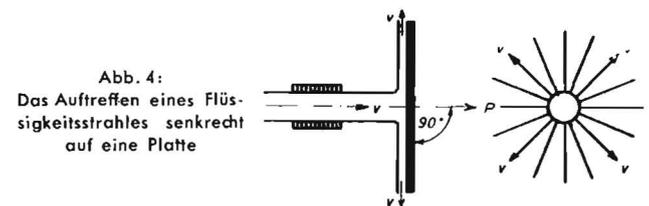


Abb. 4: Das Auftreffen eines Flüssigkeitsstrahles senkrecht auf eine Platte

ausströmende Wassermenge und $Q \cdot \gamma/g$ ihre Masse, ist ferner v die der Fallhöhe bis zur Platte entsprechende Geschwindigkeit, so ist $Q \cdot \gamma \cdot v/g$ die gesamte Bewegungsgröße. Sie muß gleich dem ausgeübten Gegendruck P sein, demnach:

$$P = \frac{Q \cdot \gamma \cdot v \cdot (\cos 0^\circ - \cos 90^\circ)}{g}$$

(Stoßdruck = Masse in der Sekunde \times Stoßgeschwindigkeit)

wobei $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$ ist.

Befindet sich aber die Platte sehr nahe der Düsenmündung, so erstreckt sich die durch sie hervorgerufene Staudruckwirkung bis in die Mündung hinein, und es entspricht die in der Mündung herrschende mittlere Geschwindigkeit gar nicht mehr der Größe H , so daß eine Berechnung des Strahldruckes nach vorstehender Gleichung falsche Werte liefern würde.

Ersetzt man die Wassermenge Q gleichzeitig durch einen anderen Ausdruck, so müßte man schreiben:

$$P = f \cdot v_m \cdot \rho \cdot v (\cos 0^\circ - \cos 90^\circ)$$

wobei f der an der Mündung vorhandene Strahlquerschnitt, v_m die in ihm herrschende mittlere Geschwindigkeit ist, Masendichte $\rho = \gamma/g$ und v die alte Bedeutung hat.

Wo liegt nun aber bei Pralldüsen die Grenze, bei der „Drosselwirkung“ eintritt?

Theoretisch müßte erfüllt sein: $f_{Düse} = f_{Spalt}$.

Es bedeuten:

- d = Düsenbohrung in m
- l = Spalllänge in m
- s = Spalthöhe in m
- β = Spritzwinkel der Düse bezogen auf den Umfang.

$$f_{Düse} = f_{Spalt} \quad \frac{\pi \cdot d^2}{4} = l \cdot s$$

Hierin ist:

$$l = \frac{d \cdot \pi \cdot \beta}{360^\circ} \quad (m)$$

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{d \cdot \pi \cdot \beta \cdot s}{360^\circ}$$

$$d^2 = \frac{d \cdot \beta \cdot s}{90^\circ} \quad (m^2)$$

Wie verhalten sich nun die Versuchsergebnisse der verschiedenen Pralldüsen zur Theorie (Abb. 5)?

Druck	Durchflußmengen							
	Tegtmeierdüsen Bohrung 1,2, 1,5 u. 1,8 mm				Waltherdüsen 1,7 mm		Bayerdüsen 1,8 mm	
	S_{12} Q bei $s=0,33$ o. Dros.	S_{15} Q bei $s=0,40$ o. Dros.	S_{18} Q bei $s=0,48$ o. Dros.	Q bei $s=1,0$ o. Dros.	Q bei $s=0,70$ m. Dros.	Q bei $s=0,86$ o. Dros.	Q bei $s=0,45$ m. Dros.	
otü	kg/mln.	kg/mln	kg/min	kg/min	kg/min	kg/min	kg/min	
2	1,00	1,65	2,30	1,75	1,22	1,58	0,84	
4	1,55	2,30	3,42	2,50	1,75	2,15	1,15	
6	1,80	3,05	4,00	3,14	2,20	2,72	1,43	
8	2,20	3,30	4,80	3,60	2,50	3,20	1,70	
10	2,40	3,75	5,20	4,00	2,82	3,70	1,98	
12	2,65	4,10	5,95	4,50	3,19	3,90	2,17	
15	3,00	4,55	6,70	4,80	3,45	4,25	2,35	
20	3,30	5,25	7,75	5,60	3,97	4,92	2,75	
25	3,80	5,75	8,50	6,40	4,55	5,58	3,16	
30	4,10	6,50	9,50	7,00	5,05	6,15	3,41	

Die Ausflußmengen bei Tegtmeierdüsen (Type S 12, S 15 und S 18) zeigen keine nennenswerten Abweichungen bei Verringerung der Spalthöhe von $s = d$ auf $s = 0,48$ mm, bzw. 0,40 mm bzw. 0,33 mm. Wird die Spalthöhe s allerdings über dieses Maß hinaus verringert, so tritt infolge „Drosselwirkung“ eine Verringerung der Ausflußmenge ein.

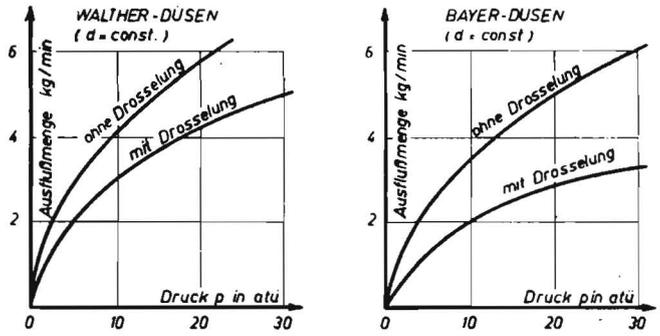


Abb. 5: Einfluß der Drosselung bei verschiedenen Drücken auf die Ausflußmenge (links Walther-Pralldüse, rechts Bayer-Pralldüse)

Für konstante Ausflußmengen gilt: $f_{Düse} = f_{Spalt} \cdot \epsilon$
und daraus der Beiwert: $\epsilon = f_{Düse} / f_{Spalt}$

	Tegtmeierdüsen $\beta = 360^\circ$		
	S_{12} $s = 0,33$	S_{15} $s = 0,40$	S_{18} $s = 0,48$ mm
Querschnitt der Düse ($f_{Düse}$)	1,130	1,770	2,540
Spaltquerschnitt (f_{Spalt})	1,245	1,885	2,710
Beiwert ϵ)	0,910	0,935	0,920

Außer dem Verhältnis des Spaltquerschnittes zum Düsenquerschnitt wird nachstehend noch das Verhältnis der jeweiligen Ausflußmengen zu den entsprechenden Drossel-Querschnitten ermittelt.

Druck	Waltherdüse 0,7/1,7 Bohrung 1,7 mm		Bayerdüse D 95-S Bohrung 1,6 mm	
	Durchflußmengen $\frac{Q}{1,0}$ $\frac{Q}{0,7}$	Querschnitte f 1,0 f 0,7	Durchflußmengen $\frac{Q}{0,86}$ $\frac{Q}{0,45}$	Querschnitte f 0,86 f 0,45
atü	—	—	—	—
2	1,435	1,430	1,880	1,910
4	1,430	1,430	1,870	1,910
6	1,430	1,430	1,895	1,910
8	1,440	1,430	1,880	1,910
10	1,420	1,430	1,860	1,910
12	1,410	1,430	1,790	1,910
15	1,390	1,430	1,810	1,910
20	1,410	1,430	1,790	1,910
25	1,405	1,430	1,800	1,910
30	1,390	1,430	1,800	1,910

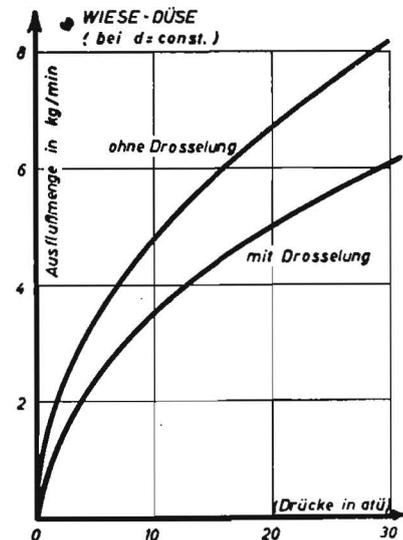


Abb. 6: Ausflußmenge als Funktion des Druckes mit und ohne Drosselung bei einer Wiese-Pralldüse

Querschnitte	Waltherdüse, 0,7/1,7 Bohrung 1,7 mm Spritzwinkel $\beta = 170^\circ$		Querschnitte	Bayerdüse D 95 - S Bohrung 1,6 mm Spritzwinkel $\beta = 180^\circ$	
	$f = \text{mm}^2$	$s = 1,0$		$s = 0,7 \text{ mm}$	$f = \text{mm}^2$
$f_{1,7}$	2,27	2,27	$f_{1,6}$	2,01	2,01
$f_{1,0}$	2,52	—	$f_{0,86}$	2,16	—
$f_{0,7}$	—	2,53	$f_{0,45}$	—	2,16
Beiwert ϵ	0,900	0,895	Beiwert ϵ	0,925	0,930

Druck	Wiesedüse Bohr. 1,8 mm			
	Durchflußmengen Q bei $s = 0,55$ o. Dros.	Durchflußmengen Q bei $s = 0,40$ m. Dros.	Durchflußmengen Q 0,55 Q 0,40	Querschnitte f 0,55 f 0,40
atü	kg/min	kg/min	—	—
2	2,100	1,530	1,370	1,375
4	3,080	2,250	1,365	1,375
6	3,850	2,900	1,365	1,375
8	4,260	3,100	1,375	1,375
10	4,790	3,500	1,370	1,375
12	5,320	3,850	1,380	1,375
15	6,050	4,400	1,375	1,375
20	6,900	5,050	1,365	1,375
25	7,580	5,550	1,365	1,375
30	8,200	6,050	1,355	1,375

Querschnitte	Wiesedüse Bohrung 1,8 mm Spritzwinkel $\beta = 315^\circ$	
	$f = \text{mm}^2$	$s = 0,55$ $s = 0,40 \text{ mm}$
$f_{1,8}$	2,54	2,54
$f_{0,55}$	2,72	—
$f_{0,40}$	—	2,74
Beiwert ϵ	0,930	0,930

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß die Ausflußmengen proportional den Austrittsquerschnitten, bzw. Spalthöhen s sind (Abb. 6),

$$\frac{Q_{1,00}}{Q_{0,70}} = \frac{s_{1,00}}{s_{0,70}}$$

unabhängig davon, daß die Messungen geringe Ungenauigkeiten mit einem Streubereich von $\pm 1,5\%$ aufweisen. Weiterhin stellt sich bei einem Vergleich der Düsen heraus, daß die Beiwerte ϵ für die einzelnen Düsenfabrikate angenähert in derselben Größenordnung ($\epsilon = 0,90-0,93$) liegen und unabhängig von dem Zerstäubungsdruck und dem Spaltquerschnitt einen konstanten Charakter aufweisen.

Auf Grund dieser Erkenntnisse und in Anbetracht der konstruktiven Durchbildung der Düsen ergibt sich nun für Pralldüsen eine Einschränkung bezüglich der Gültigkeit der allgemeinen Ausflußformel.

Die Ausflußformel

$$Q = C \cdot \mu \cdot d^2 \cdot \sqrt{p} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

kann nur dann in dieser Form angewendet werden, wenn

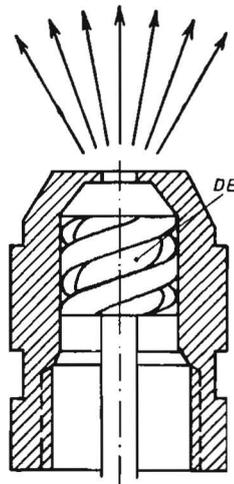
$$d^2 \leq \frac{\beta \cdot d \cdot s \cdot \epsilon}{90^\circ} \text{ ist.}$$

Hieraus ergibt sich die minimale Spalthöhe bei einer Pralldüse ohne „Drosselwirkung“ zu:

$$s = \frac{90 \cdot d}{\beta \cdot \epsilon}$$

Ist hingegen der Ausdruck $\frac{\beta \cdot d \cdot s \cdot \epsilon}{90^\circ} < d^2$, so ist d^2 in

der Ausflußformel durch diesen Ausdruck zu ersetzen.



DE = Drallkörper-Einsatz

Abb. 7: Platz-Drallkörperdüse

Für die rechnerische Bestimmung der Ausflußmenge Q bei Pralldüsen wird also die Vorprüfung folgender zwei Punkte erforderlich:

1. Durchführung eines Testes ohne Vorschaltung einer Prallfläche zur Bestimmung des Ausflußkoeffizienten μ .
2. Kontrolle der Spalthöhe s vor Anwendung der Durchflußformel.

b) Drallkörperdüsen

Stellen wir die Meßwerte für Drallkörperdüsen (Abb. 7) graphisch als Funktion $Q = f(p)$ für die einzelnen Düsenquerschnitte dar, so ergeben sich auch hier parabelähnliche Kurven, die ihren Ursprung im Nullpunkt haben und bei denen die Ausflußmenge Q pro Zeiteinheit mit anwachsendem Druck größer wird (Abb. 8). Auch diese konvexen Parabeln verlaufen mit größer werdendem Düsendurchmesser steiler; d. h. je größer Druck und Querschnitt, desto größer die Durchflußmenge Q .

Platz-Drallkörperdüsen
Durchflußmengen bei verschiedenen Bohrungen

Druck atü	$Q_{2,0}$ kg/min	$Q_{1,5}$ kg/min	$Q_{1,2}$ kg/min	$Q_{1,0}$ kg/min
2	1,175	0,875	0,700	0,575
4	1,650	1,250	1,000	0,830
6	2,000	1,500	1,230	1,000
8	2,350	1,750	1,400	1,150
10	2,600	1,950	1,550	1,300
12	2,850	2,140	1,700	1,420
15	3,150	2,385	1,900	1,580
20	3,650	2,750	2,200	1,850
25	4,100	3,100	2,500	2,050
30	4,500	3,400	2,720	2,250

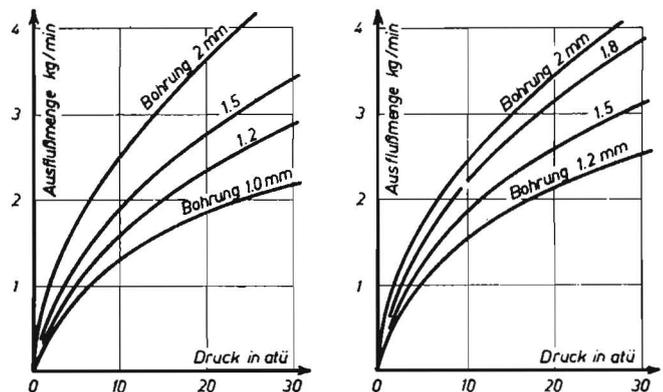


Abb. 8: Ausflußmenge als Funktion des Druckes bei Drallkörperdüsen (links Platz-Drallkörperdüse, rechts Holder-Drallkörperdüse)

Holder-Drallkörperdüsen Durchflußmengen bei verschiedenen Bohrungen

Druck atü	$Q_{2,0}$ kg/min	$Q_{1,8}$ kg/min	$Q_{1,5}$ kg/min	$Q_{1,2}$ kg/min
2	1,100	1,000	0,830	0,660
4	1,575	1,400	1,175	0,950
6	1,900	1,700	1,420	1,150
8	2,200	2,000	1,630	1,340
10	2,450	2,200	1,850	1,490
12	2,700	2,400	2,025	1,630
15	3,050	2,750	2,250	1,800
20	3,450	3,150	2,600	2,100
25	3,950	3,500	2,900	2,375
30	4,300	3,900	3,150	2,600

Verhält sich nun der Ausflußkoeffizient μ bei Drallkörperdüsen genau so wie im Falle der Pralldüsen; d. h. $\mu = \text{const.}$, und folgen die Drallkörperdüsen der oben entwickelten Ausflußformel $Q = C \cdot \mu \cdot d^2 \cdot \sqrt{p}$, so müssen sich wiederum Geraden bei quadratischer und im Falle linearer Auftragung der Q - und d -Werte auf Ordinate und Abszisse eine Schar von parabelähnlichen Kurven ergeben (Abb. 9), die vom

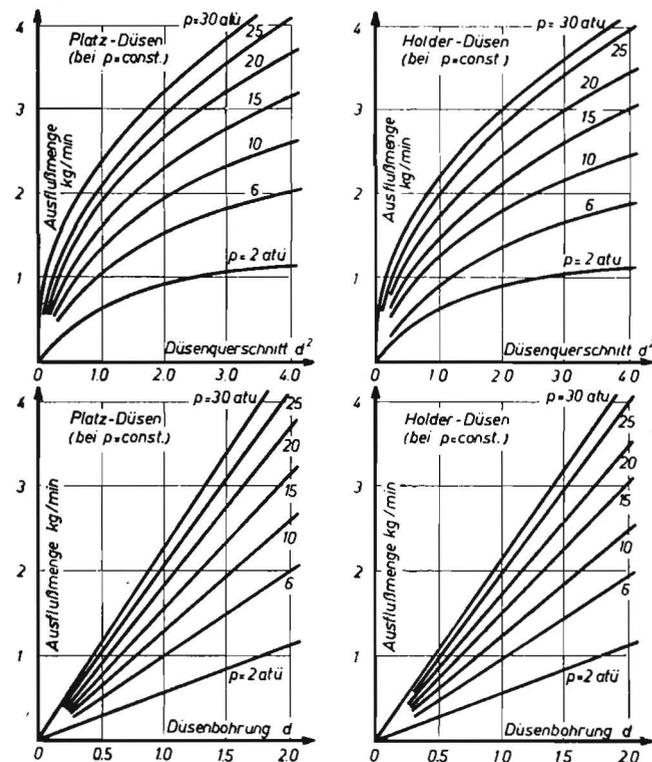


Abb. 9: Ausflußmenge als Funktion des Düsenquerschnittes bei Platz- und Holder-Drallkörperdüsen (oben) und als Funktion des Düsendurchmessers (unten)

Nullpunkt als Ursprung ausgehen und asymptotisch bei wachsendem Durchmesser d sich einer Geraden parallel zur Q -Achse anschließen und ins Unendliche verlaufen.

Entgegen dieser Erwartung müssen wir aber feststellen, daß sich die ursprünglich vermuteten Kurvenscharen nicht ergeben, sondern parabelähnliche Kurven bei quadratischer und Geraden bei linearer Einteilung der Abszissenachse.

Diese Erkenntnis bedeutet, daß sich die Ausflußmengen für Drallkörperdüsen nicht ohne weiteres nach der obigen Durchflußformel

$$Q = C \cdot \mu \cdot d^2 \cdot \sqrt{p} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

bestimmen lassen.

Als weitere Aufgabe ergibt sich nun die Klärung dieser Zusammenhänge und die Entwicklung einer gültigen Durchflußformel.

Betrachten wir die Verhältnisse bei Drallkörperdüsen, so bewirkt der Drallkörper eine Strahlteilung des Wassers, die durch die Drallzüge eine Wirbelung erfährt und die die Flüssigkeitsstrahlen vor der Ausflußmündung wieder zusammen-treten lassen. Durch diese Strahlteilung und -ablenkung wird die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsstrahlen in eine axiale und eine tangentielle Komponente zerlegt, wobei die axiale Komponente mit $1/r^2$ Düse und die tangentielle Komponente mit $1/r$ Düse wächst, also die Staudrücke axial mit $1/r^4$ Düse und tangential mit $1/r^2$ Düse zunehmen¹⁾.

1) Beweis:

$$v = \text{Axialgeschwindigkeit}$$

$$u = \text{Umfangsgeschwindigkeit}$$

Aus dem Gleichgewicht an einem rotierenden Teilchen ergibt sich für den radialen Druckanstieg infolge der Zentrifugalkräfte

$$\frac{d p}{d r} = \rho \frac{u^2}{r} \quad (1)$$

warin p den Druck, r den Halbmesser und ρ die Dichte der Flüssigkeit bedeuten. Da die Flüssigkeit mit gleichförmiger Geschwindigkeit in die Drallbohrungen (hierbei wird vorausgesetzt, daß die Drallzüge so geschnitten sind, daß ihr Verlauf dem Drallsatz gehorcht), eintritt, hat die Bernoullische Konstante — bei Annahme reibungsfreier Strömung — für alle Stromlinien den gleichen Wert. Man kann also die Bernoullische Gleichung

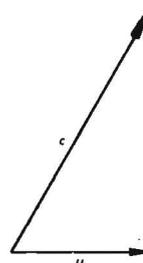
$$\frac{p}{\rho} + \frac{c^2}{2} = \text{const}$$

nach r differenzieren und erhält:

$$\frac{d p}{d r} = -\rho \cdot c \frac{d c}{d r} \quad (2)$$

Die Absolutgeschwindigkeit c setzt sich aus Axialgeschwindigkeit v und Umfangsgeschwindigkeit u nach

$$c^2 = v^2 + u^2 \quad (\text{Abb. 10}) \quad (3)$$



zusammen, sofern die Radialgeschwindigkeit vernachlässigt wird. Durch Gleichungen 1 und 2 gleichgesetzt, ergibt sich zwischen der Umfangs- und der Absolutgeschwindigkeit die Beziehung:

$$\frac{u^2}{r} = -c \frac{d c}{d r} \quad (4)$$

Differenziert man Gleichung (3) nach r , so ist

$$c \cdot \frac{d c}{d r} = v \cdot \frac{d v}{d r} + u \cdot \frac{d u}{d r} \quad (5)$$

Abb. 10: Geschwindigkeits-Dreieck

Wenn man die Axialgeschwindigkeit v über den Halbmesser r als konstant, also $d v / d r = 0$, annimmt, und dann Gleichung (5) in Gleichung (4) einsetzt, so erhält man:

$$\frac{u^2}{r} = -u \cdot \frac{d u}{d r}$$

oder

$$u \cdot r = \text{const} \quad (6)$$

Es ergibt sich also die bekannte Tatsache, daß die Gültigkeit des Drallsatzes gleichbedeutend mit einer gleichmäßigen Verteilung der Axialgeschwindigkeit v über den durchströmten Querschnitt ist.

$$p_2 - p_1 = \Delta p = \frac{\gamma}{2 \cdot g} \cdot c^2$$

oder Gleichung (3) in die Bernoullische Gleichung eingesetzt ergibt:

$$\Delta p = \frac{\gamma}{2 \cdot g} (v^2 + u^2); \quad (6a)$$

andererseits ist die Ausflußmenge nach der Kontinuitätsgleichung

$$Q = v \cdot f \quad f = \text{constant} \cdot r^2$$

$$\frac{\gamma}{2 \cdot g} \cdot v^2 = \frac{\gamma}{2 \cdot g} \cdot \frac{Q^2}{r^4} \quad (7)$$

Die Umfangsgeschwindigkeit auf der freien Oberfläche läßt sich unter Benutzung des Drallsatzes durch $u = U \cdot R/r$ ausdrücken, wobei U die Umfangsgeschwindigkeit auf dem Halbmesser der Düsenbohrung R ist.

$$\frac{\gamma}{2 \cdot g} \cdot u^2 = \frac{\gamma}{2 \cdot g} \cdot \frac{U^2 \cdot R^2}{r^2}$$

Damit wird aus Gleichung (6a)

$$\Delta p = \frac{\gamma}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q^2}{r^4} + \frac{U^2 \cdot R^2}{r^2} \right) \quad (8)$$

Für die sich ergebende Gerade (vgl. Meßwerte) ist nun die zugehörige Gleichung zu entwickeln.

Allgemeine Form: $a \cdot x + b \cdot y + c = 0$

od. falls b nicht gleich 0 in entwickelter Form: $y = a \cdot x + b$.

Hierin ist a der Anstieg (tg α) und b die Ordinate des Schnittpunktes der Geraden mit der y -Achse. Da aber die Gerade in unserem Falle durch den Ursprung geht, ist $b = 0$ und es ergibt sich folgende Gleichung:

$$y = a \cdot x + 0 = a \cdot x$$

Setzen wir nun:

$y = Q$ (Durchflußmenge)

$x = d$ (Düsendurchmesser)

$a = C \cdot k \cdot \sqrt{p}$, (für die Geradenschar verschiedener Drücke)

so ergibt sich als Gleichung für die Geradenschar:

$$Q = C \cdot k \cdot \sqrt{p} \cdot d \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

Diese Gleichung hat die Eigenschaft, daß sie nicht nur für eine Gerade eines konstanten Zerstäubungsdruckes gilt, sondern für alle Geraden im untersuchten Druckbereich zwischen $p = 2,0$ bis $30,0$ atü; d. h. der Faktor k ist konstant für sämtliche Geraden bei den verschiedenen Zerstäubungsdrücken p und Düsenbohrungen d .

$$k = \frac{Q}{C \cdot \sqrt{p} \cdot d} = \text{const.}$$

p	Platz-Drallkörperdüsen				Holderdrallkörper-Düsen			
	$k_{2,0}$	$k_{1,5}$	$k_{1,2}$	$k_{1,0}$	$k_{2,0}$	$k_{1,8}$	$k_{1,5}$	$k_{1,2}$
atü	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2	0,631	0,625	0,628	0,620	0,590	0,597	0,595	0,592
4	0,627	0,630	0,632	0,630	0,595	0,590	0,593	0,599
6	0,620	0,620	0,630	0,620	0,587	0,585	0,586	0,593
8	0,628	0,624	0,635	0,616	0,590	0,594	0,582	0,597
10	0,624	0,623	0,620	0,625	0,588	0,585	0,592	0,595
12	0,624	0,624	0,620	0,622	0,592	0,584	0,590	0,595
15	0,618	0,620	0,618	0,620	0,596	0,598	0,588	0,587
20	0,619	0,622	0,622	0,628	0,585	0,594	0,586	0,594
25	0,623	0,628	0,630	0,622	0,598	0,590	0,587	0,598
30	0,622	0,627	0,627	0,624	0,594	0,599	0,583	0,600

Da aber bekanntlich die Durchflußmenge Q eine Funktion des Düsenquerschnittes d^2 ist, führen wir die Durchflußformel für Drallkörperdüsen auf diese Grundform zurück. Hiernach schließt der Wert k nicht nur den Beiwert für die tangentiale Geschwindigkeitskomponente ein, sondern steht auch in funktioneller Beziehung zum Düsendurchmesser d .

Extrahieren wir aus dem Faktor k den Düsendurchmesser d , so bleibt der Beiwert der tangentialen Geschwindigkeitskomponente erhalten;

Résumé:

Obering. Dr.-Ing. H. Nickels: „Ausflußeigenschaften von Prall- und Drallkörperdüsen.“

Der Verfasser stellt fest, daß Pralldüsen dem Ausflußgesetz nach der Formel $Q = C \cdot \mu \cdot d^2 \cdot \sqrt{p}$ gehorchen, sofern $d^2 \leq \frac{\alpha \cdot d \cdot s \cdot r}{90^\circ}$

ist. Wird allerdings der Spaltquerschnitt der Düse $\frac{\alpha \cdot d \cdot s \cdot r}{90^\circ} < d^2$, so tritt die „Drosselwirkung“ ein, und d^2 ist in der Formel durch den Ausdruck $\frac{\alpha \cdot d \cdot s \cdot r}{90^\circ}$ zu ersetzen.

Für Drallkörperdüsen läßt sich hingegen die Ausflußformel in der bisherigen Form nicht anwenden, sondern die Ausflußmenge ergibt sich auf Grund der experimentellen Untersuchungen nach der in dem Beitrag neu entwickelten Durchflußformel zu: $Q = C \cdot \kappa \cdot d^2 \cdot \sqrt{p}$. Hierin ist κ ein Beiwert in Abhängigkeit der Düsenbohrung, wobei der Ausdruck $k = f(\kappa \cdot d) = \text{const}$ eine hyperbolische Funktion darstellt.

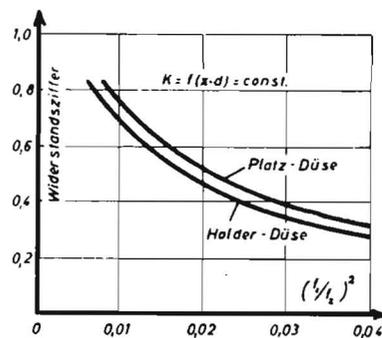
Obering. Dr.-Ing. H. Nickels: „The Flow Properties of Reaction and Rotary Jets.“

The autor demonstrates that reaction jets obey the law $Q = C \cdot \mu \cdot d^2 \cdot \sqrt{p}$ as long as $d^2 \leq \frac{\alpha \cdot d \cdot s \cdot r}{90^\circ}$. If the cross-sectional area of the orifice of the jet $\frac{\alpha \cdot d \cdot s \cdot r}{90^\circ} < d^2$ a throttling effect takes place, and d^2 must be replaced by the expression $\frac{\alpha \cdot d \cdot s \cdot r}{90^\circ}$ in the above formula.

The above formula cannot be employed in the above form in the case of rotary jets. Experiments have shown that the volume ejected obeys the formula $Q = C \cdot \kappa \cdot d^2 \cdot \sqrt{p}$ as developed in the article in this case is a value depending on the bore of the jet, where the expression $k = f(\kappa \cdot d) = \text{const}$ represents a hyperbolic function.

Abb. 11: Widerstandsziffer

$$\kappa = \int \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2$$



$$k = f(\kappa \cdot d) = \text{const}$$

Die Funktion $k = f(\kappa \cdot d)$ stellt in einem rechtwinkligen Koordinatensystem einen Kurvenzug dar, dessen Scheitellinie vom Ursprung aus unter dem Winkel von 45° aufsteigt und dessen Kurvenäste sich der κ - und d -Achse asymptotisch nähern und ins Unendliche verlaufen; d. h. es ergibt sich eine hyperbolische Funktion, graphisch dargestellt eine gleichseitige Hyperbel.

	Platz-Drallkörperdüsen	Holder-Drallkörperdüsen
$\left[\frac{f_1}{f_2} \right]^2$	0,003 0,006 0,013 0,018 0,028 0,050	0,018 0,028 0,040 0,050
km (mm)	0,625 0,625 0,625 0,625 0,625 0,625	0,590 0,590 0,590 0,590
d (mm)	0,50 0,70 1,00 1,20 1,50 2,00	1,20 1,50 1,80 2,00
κ	1,250 0,890 0,625 0,520 0,417 0,312	0,492 0,393 0,328 0,30

$f_1 =$ Düsenquerschnitt

$f_2 =$ Drallkörperquerschnitt

Der Faktor κ ist um so kleiner, je größer die Düsenbohrung wird, oder umgekehrt, je kleiner der Durchmesser, also der Düsenquerschnitt wird, um so größer ist κ . (Abb. 11).

Führen wir den Ausdruck $k = f(\kappa \cdot d)$ in die Gleichung $Q = C \cdot k \cdot d \cdot \sqrt{p}$ ein, so ergibt sich die Durchflußformel in abgeänderter Form für Drallkörperdüsen zu:

$$Q = C \cdot \kappa \cdot d^2 \cdot \sqrt{p} \quad (\text{m}^3/\text{sec}).$$

Schrifttum:

[1] Prandtl: Führer durch die Strömungslehre. 1941, S. 13 ff.

[2] Prandtl: Führer durch die Strömungslehre. 1949, S. 159 ff.

[3] Prandtl: Führer durch die Strömungslehre. 1942, S. 153 ff.

[4] VDI-Durchflußregeln DIN 1952, 6. Aufl. 1948.

Witte: Die Strömung durch Düsen und Blenden. Forschung-Ing.-Wes. Bd. 2. 1931.

[5] Dubbel: Bd. 1, 6. Aufl. S. 342.

Obering. Dr.-Ing. H. Nickels:

„Propriétés des jets à percussion et à mouvement giratoire, eu égard à la sortie du liquide.“

L'auteur constate que les jets à percussion obéissent à la loi d'écoulement des liquides, d'après la formule $Q \leq C \cdot \mu \cdot d^2 \cdot \sqrt{p}$, dans la mesure où $d^2 \leq \frac{a \cdot d \cdot s \cdot \epsilon}{900}$. Cependant, si la section de la fente du jet devient $\frac{a \cdot d \cdot s \cdot \epsilon}{900} < d^2$, il se produit une sorte d'étranglement et d^2 est alors à remplacer dans la formule par l'expression $\frac{a \cdot d \cdot s \cdot \epsilon}{900}$.

Pour un jet à mouvement giratoire, on ne peut appliquer la formule d'écoulement dans sa forme usuelle, mais la quantité du liquide qui s'écoule se présente, compte tenu des recherches expérimentales, d'après la nouvelle formule d'écoulement représentée dans l'exposé: $Q = C \cdot \kappa \cdot d^2 \cdot \sqrt{p}$. Dans celle-ci κ est un coefficient, en corrélation avec l'alésage du jet et l'expression $k = f(\kappa \cdot d)$ représente une fonction hyperbolique.

Ing. Dr. H. Nickels, ingeniero jefe:

«Las condiciones de salida en toberas con cuerpo deflector y toberas de chorro retorcido.»

El autor declara que las toberas con cuerpo deflector siguen la ley de salida según la fórmula

$$Q = C \cdot \mu \cdot d^2 \cdot \sqrt{p}, \text{ siendo } d^2 \leq \frac{a \cdot d \cdot s \cdot \epsilon}{900}$$

Llegando, sin embargo, la sección de la rendija de la tobera a $\frac{a \cdot d \cdot s \cdot \epsilon}{900} < d^2$, se produce un efecto de estrangulación, teniendo que sustituirse en la fórmula d^2 por $\frac{a \cdot d \cdot s \cdot \epsilon}{900}$.

En cambio, la fórmula de salida no puede emplearse del modo hasta aquí en uso para las toberas de chorro retorcido, resultando la cantidad salida, según las investigaciones experimentales, de acuerdo con la ecuación nueva, desarrollada en la reseña de

$$Q = C \cdot \kappa \cdot d^2 \cdot \sqrt{p}$$

En esta fórmula κ es un valor que depende del taladro de la tobera, siendola expresión $k = f(\kappa \cdot d) = \text{const}$ una función hiperbólica.

Dipl.-Ing. B. Winkeler:

Feuchtigkeitsgleichgewicht von Luzerne und Wiesengras

Institut für Landmaschinenforschung, Braunschweig-Völkenrode

Bei jedem Trocknungsvorgang wird dem Gut Wasser entzogen. Um landwirtschaftliche Futterpflanzen ohne ein zusätzliches Konservierungsverfahren über längere Zeit haltbar zu machen, muß dieser Trocknungsvorgang so lange fortgesetzt werden, bis der verbleibende Wassergehalt keine nachteilige Wirkung mehr ausüben kann. Dieser Entzug des Wassers erfolgt durch die das Gut umgebende Luft. Bei der künstlichen Trocknung können Temperatur und Feuchtigkeit der Luft verändert werden, bei der natürlichen Trocknung sind sie durch das Wetter bestimmt.

Es ist bekannt, daß jeder Stoff ein sogenanntes Feuchtigkeitsgleichgewicht besitzt, bei dem weder Wasser abgegeben noch aufgenommen wird. Dieser Gleichgewichtszustand kann bei jedem Wassergehalt erreicht werden, setzt aber jeweils eine bestimmte Luftfeuchtigkeit voraus. Ermittelt man also von einem Material die Wassergehalte (im Folgenden bezogen auf Gesamtsubstanz) und die dazugehörigen Luftfeuchtigkeiten, so erhält man durch graphische Auftragung eine Feuchtigkeitsgleichgewichtskurve, die für eine bestimmte Lufttemperatur Gültigkeit hat. Derartige Messungen sind für Holz, Textilien, Getreide und dergleichen durchgeführt, fehlen aber fast vollständig für Klee, Luzerne und Gräser. Bei diesen Früchten haben sie eine Bedeutung für die künstliche, aber auch für die natürliche Trocknung. Sobald von einer Grasart die Feuchtigkeitsgleichgewichtskurven vorliegen, kann man von vornherein sagen, bei welchen Wetterverhältnissen ein Trocken beispielsweise bis 20 % Wassergehalt möglich ist, und wann die Voraussetzungen nicht mehr erfüllt sind.

Frühere Versuchsergebnisse

Der englische Wissenschaftler Cashmore hat bei bereits getrocknetem Heu die Wasseraufnahmefähigkeit aus der Luft untersucht und dabei die in Abbildung 1 dargestellten Kurven ermittelt. Jede Kurve gilt für eine bestimmte relative Luftfeuchtigkeit und zeigt, wie das Heu seinen Wassergehalt steigern kann, bis die Kurve horizontal verläuft und damit der Gleichgewichtszustand erreicht ist. Nimmt man an, daß nach 32 Stunden keine wesentliche Veränderung der Proben mehr erfolgt, so kann man die erreichten Endwassergehalte aus Abbildung 1 über der dazugehörigen Luftfeuchtigkeit auftragen und erhält damit eine Gleichgewichtskurve (Abb. 2). Cashmore führte die Messungen bei $70^\circ \text{F} = 21,1^\circ \text{C}$ Lufttemperatur durch. Die Kurve läßt also folgern, daß bei etwa 21°C Lufttemperatur das Heu bis 80 % Luftfeuchtigkeit lagerfähig bleibt, darüber hinaus sein Wassergehalt aber wieder über 20 % ansteigt.

Bei diesen englischen Untersuchungen wurde Heu verwendet und die Wiederaufnahme von Wasser festgestellt. In den USA wurde von Zink das hygroscopische Gleichgewicht von Luzerne, Rotklee und Wiesenheu in gleicher Weise ermittelt, wenn auch das Meßverfahren ein anderes war. Zink nahm Proben von 7 g Gewicht und arbeitete in den Trockenapparaten mit Schwefelsäurelösungen. Aus seinen Ergebnissen

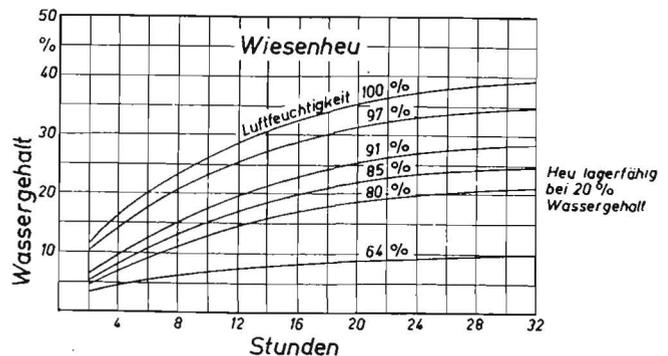


Abb. 1: Wasseraufnahmefähigkeit von Heu nach Cashmore

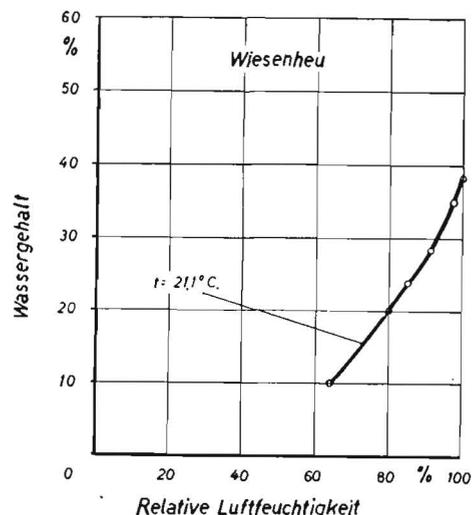


Abb. 2: Feuchtigkeitsgleichgewicht von Heu aus Versuchsergebnissen der Abbildung 1