

En outre, on a recherché des relations analytiques représentant des courbes obtenues dans le but de pouvoir aussi utiliser les résultats pour calculer, pratiquement, d'une manière approximative, assez exacte, la résistance à la traction de la charrue, entre les limites assez étendues de variation de différents facteurs.

Ing. Dr. P. Caparrini, catedrático: «Sobre los factores que influyen el esfuerzo de tracción del arado.»

Después unas breves palabras sobre los más importantes factores de que depende el esfuerzo de tracción del arado, vamos a examinar los éxitos conseguidos por una amplia investigación experimentos recogidos durante la experimentación, se han delineado las tablas, de la amplitud de la tajada y también de la velocidad al avance, sobre el esfuerzo de tracción de mismo arado.

Sobre la base de una racional elaboración de los muchísimos elementos recogidos durante la experimentación, se han delineado las curvas que atan directamente, para una reja, dos y tres, respectivamente, en tres diferentes tipos de terreno, (suelto, media amasadura, agarrado), el esfuerzo de tracción del arado a las grandezas tecnológicas y dinámicas, consideradas.

Han sido además rebuscadas relaciones analíticas representativas de las curvas obtenidas, para utilizar también los éxitos para calcular prácticamente, por aproximación, los valores del esfuerzo de tracción del arado, dentro de límites bastante amplios de variación de los diferentes factores.

Prof. Dr.-Ing. Th. Oehler, Karlsruhe:

Merkmale, Bedingungen und Grenzen der Leistungsfähigkeit von Drehstrahlregnern

II. Auswirkungen der Dimensionierung und Formgebung von Regner und Düse auf die Güte und Wurfweite des Wasserstrahls

Strahlgeschwindigkeit (v_s) und Strahlwurfweite (W)

Die Beziehung W/H (Wurfweite : Düsendruckhöhe) umfaßt den ganzen Komplex der Strömungs- und Störungsvorgänge zwischen dem Düsenvorraum und dem Aufschlagsort des Wasserstrahles. Sie hat sich als Kriterium der Wurfleistung von Strahlregnern bewährt, genügt jedoch nicht, um die für die Länge der Flugbahn maßgebenden Faktoren, den Wirkungsgrad der in der Düse sich vollziehenden hydraulischen Umformung von Druck in Strömungsgeschwindigkeit (Turbulenz, Drill) im einzelnen zu erkennen.

Es wurde deshalb im Heft 5/1957 der „Landtechnischen Forschung“ zunächst der Wirkungsgrad der hydraulischen Umformungen, also der Komplex der Vorgänge zwischen dem Düsenvorraum und der Stelle der stärksten Strahleinschnürung, für den der Luftwiderstand ohne Bedeutung ist, erfaßt. Der folgende Teil beschäftigt sich mit dem fertig entwickelten Strahl, dessen Verhalten im Luftraum (bei Windstille) von den unveränderlich anzunehmenden Faktoren Erdanziehung und Luftbeschaffenheit und den veränderlichen Faktoren, den Strahleigenschaften, bestimmt wird.

In Tabelle 5a sind die Werte W/v_s für den reibungslosen Wurf der W/v_s -Werten gegenübergestellt, die unter sehr günstigen hydraulischen Voraussetzungen in älteren Untersuchungen gewonnen wurden. Vergleiche der beiderseitigen Werte lassen die Beeinträchtigung der Wurfweite eines hochqualifizierten Strahles durch den Luftwiderstand erkennen.

Tabelle 4: Strahlgeschwindigkeit und Strahlwurfweite

Düsen-Nennweite	8	12			24		
Düsen-Meßweite mm	8,1	11,9	12,3	11,9	23,98	24,10	24,05
Konuswinkel Grad	90	180	90	32	180	90	32
Strohlstärke mm	7,19	10,0	10,9	11,3	20,2	21,4	22,85
Strahlquerschn. mm ²	40,6	78,6	93,0	100	320	360	408

Druckstufe 20 m							
Wassersperde Q l/sec	0,8	1,45	1,75	1,95	5,6	6,6	7,95
Strahlgeschwindigkeit v_s m/sec	19,7	18,5	18,8	19,5	17,5	18,3	19,4
Wurfweite W m	17,5	21	23	24	26	28	30
W/v_s	0,89	1,13	1,22	1,23	1,49	1,53	1,55

Druckstufe 40 m							
Wassersperde Q l/sec	1,1	2,0	2,5	2,78	8,0	9,4	11,3
Strahlgeschwindigkeit v_s m/sec	27,1	25,5	26,95	27,8	25,0	26,2	27,7
Wurfweite W m	19,5	27,4	30,0	32,0	35,0	38,0	42,5
W/v_s	0,72	1,07	1,13	1,15	1,40	1,45	1,48

Druckstufe 60 m							
Wassersperde Q l/sec	1,3	2,45	3,00	3,45	10,0	11,30	13,70
Strahlgeschwindigkeit v_s m/sec	32,1	31,2	32,3	34,5	31,1	31,4	33,7
Wurfweite W m	21	32	35	37	40	43,5	49
W/v_s	0,65	1,02	1,08	1,09	1,28	1,38	1,45

Die Tabelle 5b enthält Vergleichswerte, die mit der neueren Versuchseinrichtung von nur 50 mm weitem Strahlrohr und mit Düsen von verschiedener Gestalt gewonnen wurden. Die Gegenüberstellung der beiden Zahlentafeln gibt ein Bild von dem Einfluß der stärkeren Turbulenz der noch als recht gut zu bezeichnenden Strahlen (Tabelle 5b) auf die Wurfweite im Vergleich mit besonders guten Strahlen (Tabelle 5a).

Als Unterlage für die Tabelle 5b möge die Tabelle 4 dienen. Nach der Gleichung (7 a) ist beim reibungslosen Wurf und einem Erhebungswinkel von 32° die Wurfweite

$$W = 1,8 \cdot h_s [m]$$

wobei h_s die Geschwindigkeitshöhe nach Gleichung (4 b) ist. Aus den Gleichungen (7 a) und (3 b) erhält man für die Beziehung der Wurfweite (W) zur Strahlgeschwindigkeit (v_s):

$$\bar{w} = \frac{W}{v_s} = \frac{1,8 h_s}{\sqrt{2 g h_s}} = 0,407 \sqrt{h_s}$$

Die Tabelle 5a enthält in der zweiten Spalte die Werte W/v_s für die Geschwindigkeitshöhen h_s von 10 bis 60 m. Sie

Tabelle 5a: Wurfverhältnisse

Düsen		7/0			12/49			24/49		
h_s m	W/v_s	v_s m/sec	W m	W/v_s	v_s m/sec	W m	W/v_s	v_s m/sec	W m	W/v_s
10	1,28	13,0	14,5	1,11	—	—	—	—	—	—
20	1,82	18,2	19,8	1,09	21,9	26,0	1,19	—	—	—
30	2,22	—	—	—	25,4	31,0	1,17	26,4	42,0	1,62
40	2,56	—	—	—	30,0	33,0	1,10	30,7	49,0	1,60
50	2,78	—	—	—	—	—	—	34,1	55,0	1,60
60	3,12	—	—	—	—	—	—	37,8	59,0	1,58

Die Düse 7 hat zylindrischen Auslauf

Tabelle 5b: Wurfverhältnis W/v_s nach den neueren Untersuchungen mit einem Strahlrohr von 50 mm LW

Düse	8/90		12/180		12/90		12/32	
Stufe atü	h m	W/v_s	h m	W/v_s	h m	W/v_s	h m	W/v_s
2	19,8	0,89	17,4	1,13	18,0	1,22	19,4	1,23
4	37,5	0,72	33,2	1,07	37,0	1,13	39,0	1,18
6	52,4	0,66	49,6	1,03	53,2	1,08	58,0	1,08

Düse	24/180		24/90		24/32	
Stufe atü	h m	W/v_s	h m	W/v_s	h m	W/v_s
2	15,7	1,49	17,0	1,53	19,2	1,55
4	31,9	1,40	35,0	1,49	38,1	1,53
6	49,4	1,28	50,0	1,38	58,0	1,45

sind von der Strahlstärke unabhängig und nehmen gesetzmäßig entsprechend $\sqrt{h_s}$ zu. Zum Vergleich bringt die Tabelle 5a auch die Werte W/v_s (Spalten 5, 8 und 11), die sich aus der graphischen Tafel des Reichskuratoriums für Technik in der Landwirtschaft (RKTL) ergeben¹⁾.

Die Meßergebnisse der Tabelle 5a wurden mit großen Strahlrohrweiten von 100 bis 250 mm erzielt, die sich sehr günstig auf die Strahltrüblichkeit und damit auf die Wurfweiten auswirkten. Der Turbulenzgrad wächst mit dem Druck, nimmt aber mit zunehmender Strahlstärke ab.

Die W/v_s -Werte der Tabelle 5a (Spalte 5, 8 und 11) wachsen mit der Zunahme der Strahlstärken und dem Abnehmen des Konuswinkels. Sie sind durchweg kleiner als die Werte der Spalte 2 und zeigen im Gegensatz zu diesen eine mit steigender Geschwindigkeitshöhe leicht abnehmende Tendenz. Ein ähnliches Verhalten lassen die W/v_s -Werte der Tabelle 5b erkennen. Die Unterschiede zwischen den beiden Tabellen sind meist nicht groß. In den Strahlstärken der Größenordnung von 12 mm stimmen die Angaben der Tabelle 5a und 5b gut überein. Ungünstiger ist das Verhältnis W/v_s bei den Strahlstärken der Größenordnung von 24 mm. Die besten mit der Düse 24/32 erzielten Ergebnisse (Tabelle 5b, letzte Spalte) liegen 5 bis 10% niedriger als die der letzten Spalte in Tabelle 5a. Im gleichen Verhältnis stehen auch die Wurfweiten bei gleichem h_s . Soll der Unterschied, der bei einem Druck von 4 atü rund 3 m, bei 6 atü 4,5 bis 5 m beträgt, ausgeglichen werden, so ist eine Vergrößerung der Strahlrohrweite auf mindestens 70 mm erforderlich. Weitere Voraussetzungen sind ein guter Gleichrichter im Strahlrohr und die Verwendung einwandfreier Spitzdüsen.

¹⁾ Oehler, Th.: Grundlagen der Wasserverteilung durch Beregnungsgeräte. KTL-Berichte über Landtechnik, H. VI. München-Walfratshausen 1949

Strahlwurfweite und Strahlrohrweite

Schon die Untersuchungen zur Verbesserung des Wasserstrahles aus den Jahren 1926—1927²⁾ haben gezeigt, daß die Strahlrohrweite von Einfluß auf die Qualität des Wasserstrahles ist (Abb. 18—22). Die Wurfweite nahm deutlich mit der Vergrößerung der Strahlrohrweite zu. Die Ursache der Erscheinung wurde in einer schwächeren Turbulenz der Strömung infolge der geringeren Durchflußgeschwindigkeit und der vollständigeren Wirkung des Gleichrichters bei langsamem Durchfluß gesehen.

Die Beobachtungsergebnisse spiegeln sich in Tabelle 6 über zweckmäßige Gleichrichterabmessungen wider³⁾. Die

Tabelle 6: Düsenweiten und wünschenswerte Strahlrohrweiten

Düsenweite bis mm	Strahlrohr- u. Gleichrichter-Lichtweite mm	Düsenweite bis mm	Strahlrohr- u. Gleichrichter-Lichtweite mm
4	16—18	12	44—50
5	20—22	14	50—60
6	24—26	16—18	50—60
7	28—30	19—24	60—70
8	32—36	26—30	80—100
10	40—44		

Bemerkung: Auch die kleinsten Strahlrohre brauchen einen eingebauten Gleichrichter. Rohrweiten unter 16 mm eignen sich nicht zum Einbau eines Gleichrichters und sollten nicht verwendet werden.

Bis zu Strahlrohrweiten von 2½" (rd. 67 mm) werden Regner noch tragbar ausgeführt, darüber fahrbar oder ortsfest. Eine Unterteilung großer Regner in Unterbau und abnehmbares Strahlrohr mit Gleichrichter erlaubt die tragbare Ausführung von Regnern über 70 mm Rohrweite.

²⁾ Oehler, Th.: Grundsätzliches über die hydraulische Ausbildung von Feldberegnungsgeräten. In: Die Feldberegnung und ihre Bedeutung für Landwirtschaft und Gartenbau, Heft 13 d. RKTL-Schriften, Berlin 1930

³⁾ desgl., S. 107

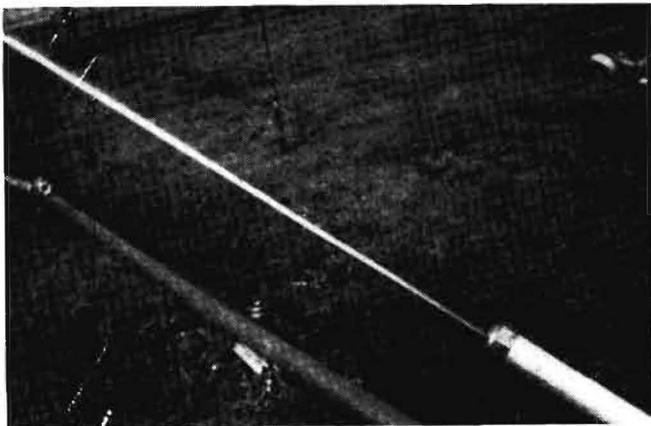


Abb. 18: Strahl aus einer Düse D 8/90°, Druck 5 atü
Strahlrohrweite 2", Gleichrichter
Strahl nur schwach turbulent, wenig streuend

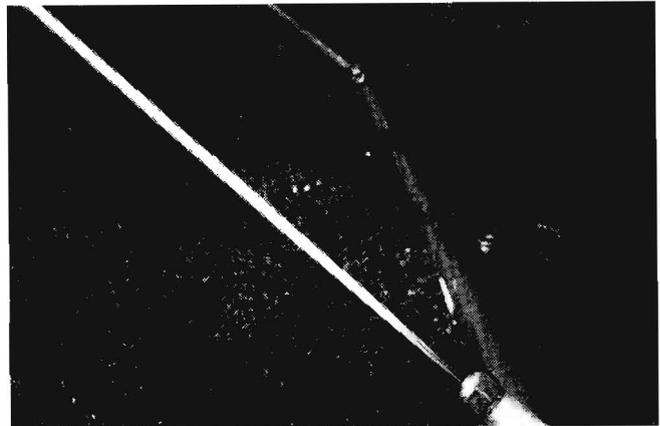


Abb. 19: Düse und Druck wie in Abb. 18
Strahlrohrweite 1"
Strahl infolge der geringeren Strahlrohrweite stärker turbulent und mehr streuend

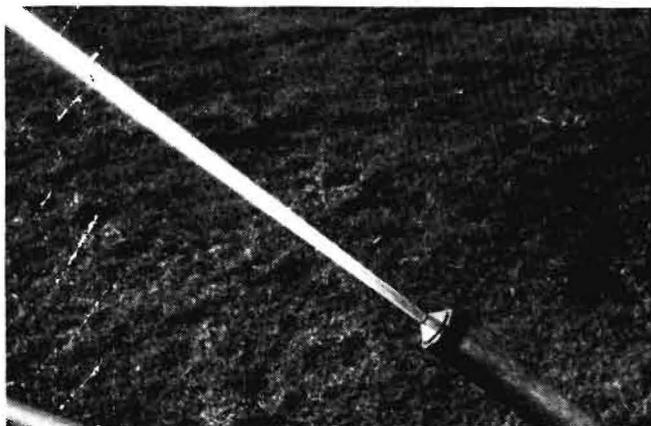


Abb. 20: Strahl aus Düse D 16/60°, Druck 7,8 atü
Gleichrichter im Strahlrohr
Strahlrohrweite 2", Aufnahmeabstand 2 m



Abb. 21: Düse und Druck wie in Abb. 20
Gleichrichter im Strahlrohr Einsatzrohr von 1" Weite
Wesentlich stärkere Turbulenz und Streuung als in Abb. 20, 19 und 18
Aufnahmeabstand 1,5 m

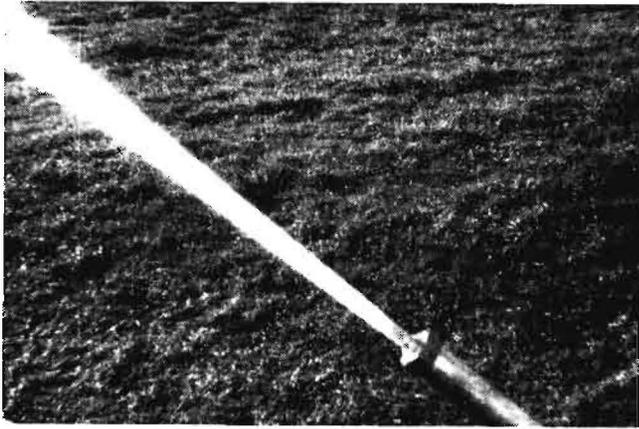


Abb. 22: Strahl aus einer Düse D 24/60°, Druck 5,9 atü
Strahlrohrweite 2", Gleichrichter
Strahl trotz Gleichrichter stark turbulent und streuend wegen des
ungünstigen Verhältnisses von Düsenweite und Strahlrohrdurchmesser

angegebenen Durchmesser des Gleichrichters sind identisch mit der Lichtweite der zylindrischen Strahlrohre. Sie entsprechen nicht den optimalen Maßen, sondern sind schon mit Rücksicht auf die Praxis herabgesetzt. Die besten Ergebnisse wurden mit dem größten verwendeten Durchmesser von 250 mm erzielt.

Die Beeinträchtigung der Wurfweiten durch ein ungünstiges Verhältnis der Strahlrohrweite zur Strahlstärke ist für Düsen der Nennweite 24 und Konuswinkel 180° und 60° aus Tabelle 7 ersichtlich.

Tabelle 7: Wurfweite und Verhältnis von Strahlrohrweite zur Strahlstärke

Strahlrohrweite		1"		1½"		2"	
Düsenweite u. Konus	Druck atü	W m	W/H	W m	W/H	W m	W/H
24/180	4	19,4	0,49	27,5	0,69	29,0	0,73
	6	23,0	0,38	31,0	0,52	34,7	0,58
24/60	2	23,0	1,15	25,0	1,30	31,0	1,55
	4	33,0	0,82	34,0	0,85	36,0	0,90
	6	35,0	0,57	36,0	0,60	38,0	0,62

Bemerkung: Bei diesen Messungen war es nicht möglich, ein Monometer unmittelbar vor dem Düsenanlauf anzubringen und so den Düsendruck zu messen. Die Wurfweiten mußten deshalb auf den am Zulauf zum Versuchsgerät gemessenen Betriebsdruck bezogen werden.

Der Unterschied der Strahlrohrweiten wirkt sich bei den hohen Drücken (größerer Durchflußgeschwindigkeiten) mehr aus als bei den niedrigen und bei den Flachdüsen mehr als bei den konischen.

Außerdem erreichten bei gleichen Betriebsdrücken und Strahlrohrweiten durchweg die spitzen Düsen wieder größere Wurfweiten, was teils auf die größere Strahlstärke, teils auf die schwächere Turbulenz der ersteren zurückzuführen ist.

Die in den graphischen Tafeln des RKTl angegebenen Wurfweiten wurden mit Strahlrohren erzielt, deren Lichtweiten das 5- bis 7,5-fache der Strahlstärken betragen. Die aus ihnen berechneten Wurfverhältnisse sind sehr günstig.

Düsenform, Düsenpotential und Strahlwurfweite

Verläuft die Umwandlung des Düsenpotentials in Strahlgeschwindigkeit ohne Energieverluste, so kann die letztere aus dem Potential nach der Gleichung (4) berechnet werden:

$$v = \sqrt{2g \cdot H_d} \quad (4)$$

Diesem Idealfall kommen einige spitz gebaute Düsen sehr nahe; bei anderen ergeben sich mitunter erhebliche Differenzen. Diese sind gleichbedeutend mit Energieverlusten durch Wirbel und Reibung zwischen Düsen ein- und -auslauf. Über die Größe dieser Verluste, deren Wirkung bereits klargelegt wurde, gibt Tabelle 8 Auskunft. Die Werte W/H_d zeigen wieder ein ähnliches Verhalten wie die W/v_s -Werte der Tabelle 5a und 5b, doch sind die Schwankungsbereiche wesentlich größer.

Tabelle 8: Verhältnis der Wurfweite zum Düsenpotential

Nennweite	8			12		24	
	90	180	90	32	180	90	32
Konuswinkel Grad	7,2	10,0	10,9	11,4	20,2	21,4	23,5
Strahlstärke mm							
$H_d = 20$	W [m]	17,5	21,0	23,0	24,0	26,0	28,0
	W/H_d	0,88	1,05	1,15	1,20	1,30	1,40
$H_d = 40$	W [m]	19,5	27,4	30,0	32,0	35,0	38,0
	W/H_d	0,49	0,69	0,78	0,80	0,88	0,95
$H_d = 60$	W [m]	21,0	32,0	36,0	37,2	40,0	43,5
	W/H_d	0,35	0,53	0,60	0,62	0,67	0,73

Noch deutlicher als die Verhältniszahlen W/H_d zeigt Tabelle 9 die Bedeutung der Düsenform für die Strahlwurfweite. Die Differenzen $H_d - h_s$ geben die Verluste an Druckhöhe zwischen dem Düsenvorraum und dem Strahl an der Stelle der stärksten Einschnürung.

Überraschend groß sind die Druckverluste der Düsen mit den Konuswinkeln 90 und 180°. Sie überschreiten zum Teil 1 atü und betragen bis zu 17 oder 18 % des Düsenpotentials.

Tabelle 9: Düsenpotential H_d und Strahlgeschwindigkeitshöhe h_s

Nennweite der Düsen mm	8			12		25	
	90	180	90	32	180	90	32
Konuswinkel °							
Druckstufe 20 m (H_d)							
h_s	m	19,8	17,4	18,0	19,4	15,7	17,0
$H_d - h_s$	m	0,2	2,6	2,0	0,6	4,3	3,0
Druckstufe 40 m (H_d)							
h_s	m	37,5	33,2	37,0	38,6	31,9	35,0
$H_d - h_s$	m	2,5	6,8	3,0	1,4	8,1	5,0
Druckstufe 60 m (H_d)							
h_s	m	52,6	49,6	53,2	57,2	49,4	50,0
$H_d - h_s$	m	7,4	10,4	6,8	2,8	10,6	10,0

Die Turbulenz im Strahlrohr

Bei den vorstehenden Angaben war vorausgesetzt, daß die von der Leitung kommende Turbulenz durch einen guten Strahlgleichrichter bis auf ein unschädliches Maß unterdrückt war. Bei Strahlregnern ohne Gleichrichter wirkt auch diese Turbulenz auf den Strahl und verschlechtert ihn (Abb. 23 und 24). Das Ausmaß dieser Einflüsse zeigt Tabelle 10.

Tabelle 10: Verbesserung der Wurfweite durch einen Gleichrichter

Düsenweite mm	Konuswinkel Grad	Betriebsdruck atü	Wurfweite		Differenz	
			ohne Glr. m	mit Glr. m	m	%
24	90	4,0	34	38	+ 4	+ 11,8
24	180	4,0	30	35	+ 5	+ 16,7
24	180	6,0	34	40	+ 6	+ 17,6

Sie bringt ein Beispiel für die Verbesserung der Wurfweite durch einen gut wirkenden Gleichrichter bei einem Verhältnis der Düsenweite zum Durchmesser des Strahlrohrs von 24 : 50 oder rund 1 : 2. Bei verhältnismäßig kleinerer Düsenweite ist die Durchflußgeschwindigkeit und damit auch die Turbulenz im Strahlrohr schwächer. Die Verbesserung durch den Gleichrichter kann somit nicht dasselbe Ausmaß haben. Bei den in Tabelle 6 als „wünschenswert“ aufgeführten Abmessungen wird ein Gleichrichter noch immer gute Dienste leisten. Diese sind nicht nur in der Verbesserung der Wurfweite, sondern auch in einer Herabsetzung der Empfindlichkeit des Strahls gegen Verwehung zu sehen.

Abbildung 25 gibt auch über die mit anderen Düsenweiten und Düsenformen erzielten „Wurfweiten mit Gleichrichter“ Auskunft. Die Ergebnisse der Tabelle 10 wurden mit einer stark turbulenten, jedoch rotationsfreien Strömung gewonnen. Ist ausgesprochene Rotation (Drall) vorhanden, so kann diese durch einen guten Gleichrichter vollständig unterdrückt werden, während die Turbulenz nur eine, wenn auch weitgehende Abschwächung erfährt.

Summierung der Turbulenz

Die in den Tabellen 7 und 10 mitgeteilten Meßwerte geben eine Antwort auf die Frage, ob eine Summierung der an mehreren hintereinander liegenden Stellen entstehenden Turbulenzen innerhalb des Regners stattfinden kann. Die Frage ist durchaus zu bejahen.

Die Tabelle 10 enthält nur Daten über Düsen mit stumpfem Konuswinkel, die, wie aus den vorhergehenden Darlegungen ersichtlich ist, starke bis sehr starke Turbulenz verursachen. Trotz dieser von den Düsen ausgehenden Turbulenz hatte die Verwendung des Gleichrichters eine erhebliche Herabsetzung der Gesamtturbulenz zur Folge. Dies läßt sich aus der Verbesserung der Wurfweiten schließen.

Durchflußwiderstand des Düsenträgers

Der Düsenträger, d. h. der Regner von seinem Anschluß an die Zuleitung bis zum Düsenraum (Düsenvorraum) ist, hydraulisch gesehen, ein kurzes Leitungsstück mit einer mindestens einmaligen starken Richtungsänderung. Mitunter verändert sich auch der Querschnitt kontinuierlich oder stufenweise. Der Durchflußwiderstand des Leitungsstückes kann bei rascher Strömung recht erheblich sein und für den am Regnerzulauf erforderlichen Betriebsdruck eine große Bedeutung haben.

Die durch Messungen festgestellten Durchflußwiderstände der Versuchseinrichtung bei der Speisung von sieben Düsen sind in Tabelle 11 für drei Stufen des Düsenpotentials angegeben.



Abb. 23: Strahl aus einer Düse D 24/180°, Druck 7,5 atü
Strahlrohrweite 2", Gleichrichter
Die Leitungsturbulenz ist durch den Gleichrichter in der Hauptsache unterdrückt, die Düsenanschluß-turbulenz ist voll wirksam



Abb. 24: Düse und Druck wie in Abb. 23
Strahlrohrweite 2", kein Gleichrichter
Strahl wesentlich stärker turbulent und aufgelöst. Die starke Turbulenz ergibt sich durch Summierung der Leitungs- und Düsenanschluß-turbulenz

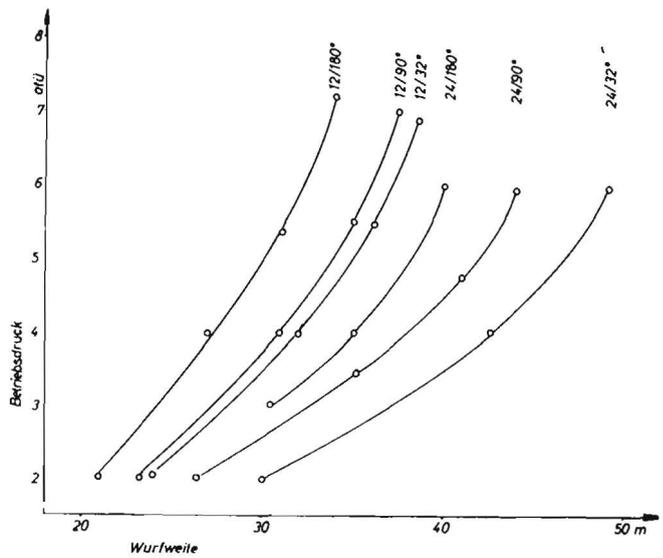


Abb. 25: Wurfweite von Wasserstrahlen aus Düsen mit unterschiedlichem Auslaufkonus

Vergleiche mit den ebenfalls eingetragenen Widerständen der Düsen zeigen, daß — wie zu erwarten war — mit den günstiger (spitzer) werdenden Düsenformen infolge des größeren Wasserverbrauchs der Durchflußwiderstand des Düsenträgers erheblich steigen kann. Dies wird besonders an den Daten zu den Düsen der Nennweite 24 deutlich.

Während bei der Düse 24/180 in der Stufe 2 die beiden Werte 4,3 und 1,16 m betragen (Verhältnis 3,7 : 1), erhält man für die Düse 24/32 die Werte 0,8 und 1,87 (Verhältnis 1 : 2,09).

Tabelle 11: Gesamter Durchflußwiderstand von Düsenträger und Düse

Düse	8/90	12/180	12/90	12/32	24/180	24/90	24/32
Stufe 2 (20 m Druckhöhe am Düseneinlauf)							
Q	0,80	1,45	1,75	1,95	5,60	6,60	7,95
h _s	19,8	17,4	18,0	19,4	15,7	17,0	19,2
H _d - h _s	0,20	2,60	2,00	0,60	4,30	3,00	0,80
W _{it}	0,12	0,24	0,30	0,35	1,16	1,44	1,87
W _{ir}	0,32	2,84	2,30	0,95	5,46	4,44	2,67
Bdr.	20,12	20,24	20,30	20,35	21,16	21,44	21,87
Stufe 4 (40 m Druckhöhe am Düseneinlauf)							
Q	1,10	2,00	2,50	2,80	8,00	9,40	11,30
h _s	37,5	33,2	37,0	38,6	31,9	35,0	38,1
H _d - h _s	2,50	6,80	3,00	1,40	8,10	5,00	1,90
W _{it}	0,18	0,35	0,45	0,50	1,88	2,44	3,55
W _{ir}	2,68	7,15	3,45	1,90	9,98	7,44	5,45
Bdr.	40,18	40,35	40,45	40,50	41,88	42,44	43,55
Stufe 6 (60 m Druckhöhe am Düseneinlauf)							
Q	1,30	2,45	3,00	3,45	10,00	11,30	13,70
h _s	52,4	49,6	53,2	59,0	49,4	50,0	58,0
H _d - h _s	7,60	10,40	6,80	1,00	10,60	10,00	2,00
W _{it}	0,22	0,46	0,55	0,64	2,72	3,55	(3,85) ⁴⁾
W _{ir}	7,82	10,86	7,35	1,64	13,32	13,55	7,85
Bdr.	60,22	60,46	60,55	60,64	62,72	63,55	65,85

Es bedeuten:

- Q = Durchflußmengen (l/sec)
- h_s = Geschwindigkeitshöhen des Wasserstrahls (m)
- H_d - h_s = Druckverbrauch zwischen Düsenzulauf und kleinstem Strahlquerschnitt (m)
- W_{it} = Durchflußwiderstand des Düsenträgers (Gleichrichters im Strahlrohr) (m)
- W_{ir} = Gesamtwiderstand des Regners mit der Düse (m)
- Bdr. = Betriebsdruck = Druckhöhe · W_{it} (m)

⁴⁾ Wert durch Extrapolation erhalten

Die Durchflußwiderstände des Düsenträgers liegen bei Anschluß der Düsen 8 und 12 (Nennweite) noch weit unter 1 m und haben wirtschaftlich deshalb keine große Bedeutung. Dagegen nehmen sie mit 2,7 bis rund 6 m beträchtliche Höhe an. Hieraus muß wieder gefolgert werden, daß die Düsen der Nennweite 24 für das Strahlrohr von 50 mm Lichtweite zu groß sind, während es dem Wasserverbrauch der Düsen bis zu 12 mm Weite gut entspricht.

Als Ergänzung zur Tabelle 11, deren Daten mittels der Versuchseinrichtung von 50 mm Lichtweite des Düsenträgers gewonnen wurden, mögen in der Tabelle 12 noch einige an Industrieregner mit größeren und kleineren Lichtweiten der Düsenträger gemachte Feststellungen mitgeteilt werden. Sie zeigen, wie auch hier durch die Wahl eines ungünstigen Verhältnisses der Strahlstärke zur Durchlaufweite des Düsenträgers außerordentlich hohe Druckverluste verursacht werden können. Im ungünstigsten Falle gehen sie über 19 m, betragen also einen sehr hohen Prozentsatz des Betriebsdruckes von 60 m.

Tabelle 12: Durchflußwiderstände einiger Industrieregner

Lichtweite der Düsentr.	mm	15		32		67	
		Düsenweite		Düsenweite		Düsenweite	
	mm	5	12	18	20	28	
Betriebsdruck 20 m							
Q	l/sec	0,28	1,88	3,70	5,3	9,6	
h_s	m	17,2	17,5	13,8	19,0	17,95	
W_r	m	2,80	2,50	6,20	1,00	2,05	
Betriebsdruck 40 m							
Q	l/sec	0,41	2,73	5,15	6,80	13,80	
h_s	m	36,6	36,9	27,0	35,1	34,2	
W_r	m	3,4	3,1	13,0	4,9	5,8	
Betriebsdruck 60 m							
Q	l/sec	0,50	3,35	6,35	8,25	—	
h_s	m	56,0	55,6	40,7	46,3	—	
W_r	m	4,0	4,4	19,3	13,3	—	

Die Strömungsgeschwindigkeit im Strahlrohr ergibt sich aus der Wasserspende des Strahls und dem Strahlrohrquerschnitt. Das Geschwindigkeitsverhältnis ist gleich dem umgekehrten Verhältnis des Strahlrohr- und des Strahlquerschnitts (engste Stelle). Mit Rücksicht auf die Höhe der Leitwiderstände ist eine mäßige Durchflußgeschwindigkeit auch im Steigrohr der Strahlregner erforderlich.

An Hand der Untersuchungsergebnisse und in Anlehnung an die Feststellungen von Freeman⁵⁾ wird empfohlen, mit dem Strahldurchmesser nicht ohne zwingende Notwendigkeit über 25 % der Strahlrohrweite hinaus zu gehen. Zwingt das Gewicht eines tragbaren Gerätes zur Wahl ungünstigerer Maßverhältnisse, so müssen höhere Leitwiderstände und weniger gute Strahlqualität und Wurfweiten in Kauf genommen werden. Keinesfalls sollte die Strahlstärke mehr als 50 % der Strahlrohrweite betragen, da schon dieses Größenverhältnis zu recht hohen Druckverlusten (Tab. 11) und zu einem wenig befriedigenden Wurfverhältnis W/H_d (Tab. 8) führt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden: Bei zweckmäßiger Dimensionierung des Strahlrohres und eines in dieses eingebauten, gut arbeitenden Gleichrichters kann bei mäßigem Druckverbrauch im Regner durch eine einwandfrei angeschlossene, innen glatte, spitze Konusdüse ein Strahl abgegeben werden, dessen Leistung nur wenig unter dem theoretisch im Luftraum erreichbaren Maß liegt.

Die so in der Praxis erreichbaren Höchstwerte entsprechen ungefähr den Angaben der vom Reichskuratorium für Technik in der Landwirtschaft im Jahre 1938 herausgegebenen graphischen Tafeln „Wasserspender und Wurfweiten der Drehstrahlregner in Abhängigkeit von Druck und Düsenweite“.

Regner für grobverunreinigte Flüssigkeiten (ungeklärte Abwässer, Harn- und Mistgülle) werden möglichst ohne Gleichrichter oder mit einer Sonderbauart betrieben. In beiden

Fällen kann nicht derselbe Grad der Unterdrückung von Stromstörungen wie in guten Gleichrichtern für Klarwasser erreicht werden. Hier kann nur durch besonders weite Bemessung der Durchlässe in Strahl- und Steigrohr das Maß der Strömungsstörungen etwas eingeschränkt werden.

Erscheint mit Rücksicht auf die Verstopfungsgefahr die Austrittsweite einer spitzen Düse zu klein, kann eine weniger spitze oder eine flache Düse mit größerem Auslauf bei gleicher Strahlstärke gute Dienste leisten. Dabei müssen hydraulische Mängel in Kauf genommen werden.

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

- Die hydraulischen Verhältnisse an der Stelle der stärksten Strahleinschnürung spiegeln die hydraulischen Vorgänge im Regner und kennzeichnen die Eigenschaften des Wasserstrahls.
 - Das Verhältnis der Strömungsgeschwindigkeit an dieser Stelle zu der rechnerisch aus dem Düsenpotential bestimmbaren Höchstgeschwindigkeit gibt den Wirkungsgrad der durch die Düse vollzogenen Umwandlung des Potentials in Geschwindigkeit.
 - Die Untersuchungen haben gezeigt, daß diese Umwandlung nahezu hundertprozentig erfolgen kann.
 - Ein hoher Wirkungsgrad der Umwandlung bedeutet nicht nur die vollkommene Ausnützung der durch das Potential gegebenen Energie, sondern auch eine Strahlqualität entsprechend der Strömung im Düseneinlauf oder, anders ausgedrückt, eine Umformung ohne Entwicklung energiezehrender Wirbel (Turbulenz).
 - Alle Störungen der Strömung bei ihrem Eintreffen im Düseneinlauf werden, wenn auch in abgewandelter Form, auf den Strahl übertragen und beeinträchtigen dessen Qualität und Wurfweite.
 - Um einen einwandfreien Strahl zu erhalten, müssen alle Störungen der Strömung vor ihrem Eintritt in die Düse nach Möglichkeit unterdrückt werden.
 - Störungsfreiheit der Strömung läßt sich durch einen guten, an richtiger Stelle in das Strahlrohr eingebauten Gleichrichter weitgehend erreichen.
 - Im Interesse einer guten Ausnützung des am Regnerzulauf verfügbaren Betriebsdruckes sind die hydraulischen Eigenschaften des Gerätes so zu gestalten, daß die in den graphischen Tafeln des RKTL angegebenen Wurfweiten mindestens bis zu 95 % erreicht werden. Hierzu ist erforderlich:
 - Ausschaltung des Dralls und weitgehende Unterdrückung der Turbulenz der ankommenden Strömung durch einen Gleichrichter im Strahlrohr.
 - Verhinderung einer zusätzlichen Turbulenzsteigerung in Strahlrohr und Düse durch:
 - ausreichende Bemessung der Strahlrohrweite. Unterteilt tragbare Regner erhalten bei Düsenweiten von 4 bis 20 mm Strahlrohre von 16 bis 70 mm Lichtweite. Bei fahrbaren, ortsfesten oder zweiteiligen, tragbaren Regnern können entsprechend größere Düsen- und Strahlrohrweiten verwendet werden.
 - zweckmäßige Düsenformen. Spitze Konusdüsen-Winkel 30° oder weniger, nicht zu kurze Düsen mit zylindrischem Auslauf.
 - Glatte Anschluß der Düse ans Strahlrohr
 - Glatte Innenwände der Düsen, gut runder Düsenauslaufquerschnitt mit scharfer, gratfreier Auslaufkante.
- Durch Nichteinhalten dieser Richtlinien können leicht Einbußen an Wurfweite von 10 % und mehr sowie vermeidbare Druckverluste im Regner von gleicher Höhe entstehen.
- Keinesfalls sollte die Weite des Strahlrohres weniger als das Doppelte der Düsenweite betragen. Auch sollte mitt Rücksicht auf den Einbau eines wirksamen Gleichrichters, der selbst bei Verwendung der kleinsten Düsen wertvoll ist, die Strahlrohrweite nicht unter 1/2" gewählt werden.

⁵⁾ Hütte, Theoret. Grundlagen 1955 S. 801 ff.

Résumé:

Prof. Dr.-Ing. Th. Oehler: „Auswirkungen der Dimensionierung und Formgebung von Regner und Düse auf die Güte und Wurfweite des Wasserstrahls.“

Häufig liegen die in der Praxis erzielten Wurfweiten wesentlich tiefer als die rechnerisch erreichbaren. Dies ist auf stärkere Turbulenz, mitunter auch auf Drall im Wasserstrahl zurückzuführen. Durch einen wirksamen Gleichrichter kann die Turbulenz stark herabgesetzt, der Drall bis zur Unschädlichkeit unterdrückt werden. Bei Regnern mit gutem Gleichrichter im Strahlrohr spielt deshalb nur die Turbulenz eine Rolle. Fehlt ein Gleichrichter, so kann sich der Drall noch stärker auf die Strahleigenschaften auswirken als die Turbulenz. — Trotz der ausgleichenden Wirkung eines Gleichrichters kann ein Strahl noch starke, seine Wurfweite herabsetzende Turbulenz aufweisen, wenn die Düse selbst oder deren Anschluß an das Strahlrohr zur Turbulenzbildung Anlaß geben, oder wenn die Durchflußgeschwindigkeit im Gleichrichter so groß ist, daß dieser seine Aufgabe nur unvollkommen erfüllen kann. Mäßige Durchflußgeschwindigkeit ist deshalb eine der wichtigsten, an einen hochqualifizierten Regner zu stellenden Anforderungen. — Auf Grund seiner Untersuchungen gibt der Verfasser dann Hinweise auf die Konstruktion von Regner und Düse, bei deren Einhaltung die vom RKTL angegebenen Wurfweiten bis zu 95 % erreicht werden.

Prof. Dr. Ing. Th. Oehler: „The Effect of the Shapes and Dimensions of Nozzles of Sprinklers on the Quality and Effective Range of the Water Jets.“

It is frequently found that, in actual practice, the effective ranges attained by sprinkler installations are much less than the ranges obtained by theoretical calculations. This divergence can be caused by turbulence and by spin of the jet. An efficient rectifier will greatly reduce the turbulence whilst the spin will be cut down to a degree where it will not affect the jet. Hence, in sprinklers fitted with an efficient rectifier, only the reduced turbulence will have any effect on the jet. If no rectifier is fitted, spin will exert an even greater influence on the properties of the jet than will turbulence. Even when an efficient rectifier is fitted, it is still possible that there will be some turbulence in the jet, thereby reducing the effective range of the jet. This can occur when the nozzle or its connection to the sprinkler pipe is of such a design that it creates turbulence or if the velocity of the water through the rectifier is so great that the latter cannot function properly. A moderate water velocity is one of the most important properties of an efficient sprinkler installation. The author concludes his article with some important remarks, based on his own experiences, on the design of sprinklers and nozzles. Application of these remarks to the design of sprinklers will enable effective ranges to be obtained which will be within 95 % of those cited by RKTL.

Prof. Dr.-Ing. Th. Oehler: «Influence des dimensions et de la forme des appareils d'arrosage et des ajutages sur la finesse de pulvérisation et de la portée des jets.»

La portée effective des appareils d'arrosage est souvent inférieure à la portée calculée. Ce fait est dû à la turbulence et quelquefois à des phénomènes de torsion produits dans le jet d'eau. Le montage d'un redresseur efficace peut diminuer considérablement la turbulence et supprimer en même temps la torsion jusqu'à ce qu'elle devienne inefficace. C'est pourquoi la turbulence seule joue un rôle dans les arroseurs pourvus d'un bon redresseur. Quand le redresseur fait défaut, la torsion a souvent une action plus néfaste sur le jet que la turbulence. Mais malgré l'effet régulateur d'un redresseur, le jet peut encore présenter une turbulence considérable réduisant la portée si l'ajutage ou son raccordement au tuyau donne naissance à la turbulence ou si la vitesse d'écoulement à travers le redresseur est trop élevée de sorte que ce dernier ne peut remplir sa fonction qu'insuffisamment. Une vitesse d'écoulement réduite est donc une condition essentielle à laquelle doit répondre un appareil d'arrosage de haute qualité. Il résulte des recherches entreprises par l'auteur quelques principes constructifs dont l'observation permet d'assurer des portées allant jusqu'à 95 % des valeurs indiquées par le RKTL.

Ing. Dr. Th. Oehler, catadrático: «Efecto de las dimensiones y de la forma de los aparatos de lluvia artificial y de las toberas en la calidad y distancia de proyección del chorro.»

Con frecuencia las distancias de proyección que en la práctica se consiguen, son inferiores a las calculadas, diferencia que se debe a una mayor turbulencia y a veces también a la torsión del chorro. Empleándose un buen rectificador, la turbulencia puede reducirse mucho, suprimiéndose la torsión hasta quedar inofensiva. De ahí que en los aparatos de lluvia artificial que tengan un rectificador eficaz en el tubo eyector, solamente la turbulencia debe tomarse en consideración. Faltando un rectificador, el efecto de la torsión en el chorro puede hasta ser mayor que el de la turbulencia. A pesar del efecto compensador de un rectificador, el chorro puede seguir teniendo una turbulencia que reduce la distancia de proyección, si la tobera o su conexión con el tubo eyector dan lugar a la formación de turbulencia, o cuando la velocidad de paso por el rectificador es excesiva, de modo que éste sólo puede cumplir su cometido en forma deficiente. La velocidad de paso moderada es pues una de las condiciones más importantes que deben ponerse a un aparato de lluvia artificial de alta calidad. Fundándose en sus investigaciones, el autor da indicaciones en cuanto a la construcción de estos aparatos y de las toberas. Siguiéndose estas indicaciones, las distancias de proyección dadas por el RKTL pueden conseguirse hasta el 95 %.

Das erste kommerzielle Atomprogramm

Entwicklung bis zum Jahre 1965 — Eine Kommission für die betriebstechnische Sicherheit von Reaktoren

Das Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft teilt mit: Die Deutsche Atomkommission billigte in ihrer 9. Sitzung, die am 9. Dezember 1957 unter Vorsitz von Bundesminister Prof. Dr.-Ing. Siegfried Balke im Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft stattgefunden hat, das von ihren Fachkommissionen III („Technisch-wirtschaftliche Fragen bei Reaktoren“) und V („Wirtschaftliche, finanzielle und soziale Probleme“) ausgearbeitete Atomprogramm. Dieses Programm sieht bis zum Jahre 1965 die Entwicklung und Errichtung von Leistungsreaktoren mit einer Stromleistung von 500 000 kW vor. Es umfaßt folgende Reaktorprojekte, die bereits von der deutschen Industrie bearbeitet werden:

1. Fortgeschrittener gasgekühlter, graphitmoderierter Reaktor mit Natur-Uran;
2. schwerwassermoderierter und -gekühlter Reaktor mit Natur-Uran;
3. leichtwassermoderierter und -gekühlter Reaktor mit schwach angereichertem Uran;
4. fortgeschrittener Hochtemperatur-Reaktor mit Gaskühlung und angereichertem Uran.

Das Programm umfaßt außerdem die Errichtung der erforderlichen Kapazitäten für die Herstellung der Hilfs- und Betriebsstoffe sowie die Aufarbeitung der Spaltprodukte („heiße Chemie“). Für die Installierung dieser Atomkraftwerkskapazität werden nach den Schätzungen von Sachverständigen folgende Materialien benötigt: 400 t natürliches Uran; 40 t schwach angereichertes Uran (zwischen 1 und 1,5 v.H.);

300 kg 20 %ig angereichertes Uran; 2000 t Graphit; 150 t schweres Wasser; 50 bis 60 t Zirkon; etwa 50 t Thorium.

Zur Durchführung dieses ersten kommerziellen Atomprogramms in der Bundesrepublik sind etwa 2,2 bis 2,4 Mrd. DM erforderlich, die gemeinsam von Staat und Wirtschaft bis zum Jahre 1965 aufgebracht werden sollen.

Die Deutsche Atomkommission stimmte einem vom Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft ausgearbeiteten Plan zu, der die Bildung einer Kommission für die betriebstechnische Sicherheit von Reaktoren vorsieht. Aufgabe dieser Sicherheitskommission soll es sein, die für Reaktoranlagen erforderlichen Sicherheitsberichte zu prüfen und zu begutachten, damit der Bundesminister für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft auf Grund solcher Gutachten Empfehlungen an die für den Bau und Betrieb von Reaktoren zuständigen Genehmigungsbehörden erteilen kann. In die Sicherheitskommission sollen auf Vorschlag der Deutschen Atomkommission vom Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft Sachverständige aus allen für die Reaktortechnik und den Strahlenschutz bei Reaktoranlagen in Frage kommenden Fachgebieten berufen werden. Die Mitglieder der Sicherheitskommission sollen an keine Weisungen gebunden und unabhängig von Regierung, Wirtschaft oder sonstigen interessierten Stellen sein. Zu diesem Zweck ist vorgesehen, daß die Sicherheitskommission selber die Verfahrensrichtlinien für die Erstattung von Gutachten festlegt. Die Tätigkeit der Gutachter soll angemessen honoriert werden.