

# Landtechnische Forschung

HERAUSGEBER: KURATORIUM FÜR TECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT  
FACHGEMEINSCHAFT LANDMASCHINEN IM VDMA  
MAX EYTH-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER LANDTECHNIK

Heft 5/1957

MÜNCHEN

7. JAHRGANG

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

## Merkmale, Bedingungen und Grenzen der Leistungsfähigkeit von Drehstrahlregnern<sup>1)</sup>

I. Düsenform, Strahlbildung und Düsenleistung<sup>2)</sup>

Über die Leistung, besonders über die Wasserspense und die Wurfweite von Regnern gleicher Düsenweite finden sich im Fachschrifttum oft recht unterschiedliche Angaben, die für den Käufer oder Benutzer der Geräte verwirrend sind und zu unrichtigen Urteilen führen können.

Um hier Klarheit zu schaffen, soll darüber berichtet werden, welche Leistungen unter günstigen hydraulischen Bedingungen erreicht werden können und welche Einbußen an Leistungen durch ungünstige Dimensionen des Strahlrohrs und durch unzweckmäßige Formen der Düse eintreten.

Bei der großen Zahl der gebräuchlichen Regnertypen können nicht jedes Gerät und jede Dimension untersucht werden. Doch sollen an Hand von Meßergebnissen an einer Versuchseinrichtung die Faktoren besprochen werden, die für die Leistungen von Strahlregnern maßgebend sind. Die wichtigsten Dimensionen der Versuchseinrichtung, Weite und Länge des Strahlrohrs, wurden nach Möglichkeit den Abmessungen einiger seit langem auf dem Markt befindlichen Regner angepaßt. Die für die Wasserspense und die Wurfleistungen gefundenen Daten zeigen deshalb unmittelbar an, was von diesen Regnern erwartet werden kann. Sie erlauben aber auch Schlüsse auf die möglichen Leistungen solcher Regner, die in den hydraulisch wichtigsten Abmessungen von der Versuchseinrichtung abweichen.

### Theoretische und wirkliche Leistungen von Strahldüsen

#### Vorbemerkungen

Der Begriff „Düsensdruck“ wird in der Berechnungstechnik für den manometrisch gemessenen Wasserdruck am Regnerzulauf oder am Düseneinlauf (oberen Strahlrohrende) verwendet. Weder der eine noch der andere Druck ist unmittelbar maßgebend für die quantitative Leistung der Düse oder die Wurfweite des Strahls. Die folgenden Darlegungen gehen, soweit es möglich ist, von dem „Düsenpotential“ aus, das hier allgemein als alleinige Grundlage dienen kann.

Das Düsenpotential ist die Summe des am Düseneinlauf herrschenden manometrischen Druckes ( $h_m$ ) und der Geschwindigkeitshöhe ( $h_d$ ). Letztere ist die Druckhöhe, die nötig ist, um der Strömung die Geschwindigkeit zu geben, welche sie beim Eintritt in die Düse (genauer an der Stelle der Druckmessung) hat. Die Gleichung für das Düsenpotential lautet somit

$$H_d = h_m + h_d \quad (1)$$

Alle Werte haben die Dimension [m].

<sup>1)</sup> Eine Zusammenfassung und Weiterverarbeitung der Ergebnisse von Untersuchungen, die im Auftrage des KTL und der DLG durchgeführt worden sind. Daraus ergeben sich Richtlinien für zweckmäßige Abmessungen der Drehstrahlregner.

<sup>2)</sup> Teil II „Auswirkungen der Dimensionierung und Formgebung von Regner und Düse auf die Güte und Wurfweite des Wasserstrahls“ folgt im nächsten Heft.

#### Grundgleichungen

a) Wasserspense. Für die Wasserspense gelten die Gleichungen

$$Q = v \cdot f \quad (2) \quad \text{und} \quad v = \frac{Q}{f} \quad (2a)$$

Der Wert von  $v$  berechnet sich aus der Gleichung

$$v = \sqrt{2 g \cdot h} \quad (3); \quad h = \frac{v^2}{2 g} \quad (4)$$

Hierin bedeuten:

$v$  = mittlere Strömungsgeschwindigkeit in einem durchflossenen Querschnitt

$f$  = Größe des Durchflußquerschnittes

$Q$  = Sekundliche Durchflußmenge

$h$  = Geschwindigkeitshöhe

$g$  = Fallbeschleunigung der Erdanziehung = 9,8 m/sec<sup>2</sup>

Diese Gleichungen können auf die Strömungsverhältnisse an einer beliebigen Stelle der Leitung, der Düse oder auch des geschlossenen Wasserstrahles angewandt werden. Die Einzelglieder erhalten dabei, soweit erforderlich, die Indices  $s$  und  $d$  je nachdem sie sich auf den Strahlquerschnitt oder auf die Düse beziehen. Damit lauten die Grundgleichungen

$$Q = v_d \cdot f_d \quad (2a); \quad Q = v_s \cdot f_s \quad (2b)$$

$$v_d = \sqrt{2 g h_d} \quad (3a); \quad v_s = \sqrt{2 g h_s} \quad (3b)$$

$$h_d = \frac{v_d^2}{2 g} \quad (4a); \quad h_s = \frac{v_s^2}{2 g} \quad (4b)$$

Die Aufgabe der Strahldüsen ist es, das Potential ( $H_d$ ), das den Wert einer Geschwindigkeitshöhe hat, möglichst vollständig in den Geschwindigkeitswert  $v_s$  umzuwandeln. Es soll also die aus dem Düsenpotential resultierende (irreale) Geschwindigkeit  $v_p$  gleich der Strahlgeschwindigkeit  $v_s$  werden. Dies ist nur angenähert möglich. Immer wird  $h_s < H_d$  und  $v_s < v_p$  sein. Ein Teil von  $H_d$  wird durch Wirbel und Reibung des Umwandlungsvorganges aufgezehrt. Der Wirkungsgrad der Umformung drückt sich aus in dem Verhältnis

$$\eta = \frac{v_s}{v_p} \quad (5) \quad \text{oder} \quad v_s = \eta \cdot v_p \quad (5a)$$

Hierin ist  $\eta$  stets ein echter Bruch.

b) Wurfweiten. Die beim reibungsfreien Wurf erreichte Weite ( $W$ ) ergibt sich aus der Gleichung

$$W = \frac{v^2}{g} \cdot \sin 2 \epsilon \quad (6)$$

Hierbei ist  $v$  die Anfangsgeschwindigkeit, gleichbedeutend mit

der Strahlgeschwindigkeit  $v_s$ , und  $\epsilon$  der Steigungswinkel der Flugbahn am Anfang der Wurfparabel. Bei  $\epsilon = 45^\circ$  wird  $\sin 2\epsilon = 1$ , und man erhält die größte theoretische Wurfweite mit  $W_{max} = v^2/g$ .

Da nach Gleichung (4)  $h = \frac{v^2}{2g}$  ist, kann die Gleichung auch geschrieben werden

$$W = 2h \cdot \sin 2\epsilon \quad (7). \text{ Für } \epsilon = 45^\circ \text{ wird } W_{45} = 2h \text{ [m]} \quad (7a)$$

Bei dem üblichen Erhebungswinkel des Strahlrohres an einem Beregnungsgerät von  $\epsilon = 32^\circ$  ist  $\sin 2\epsilon = \sin 64^\circ = 0,899 \sim 0,9$ . Damit erhält man:  $W_{32} = 1,8h$  [m] (7b)

Die Gleichung (7b) hat für die Beregnung nur wenig praktische Bedeutung. Sie gilt für den reibungslosen Wurf, der im Luftraum nie ganz verwirklicht werden kann. Eine gute Annäherung ist nur bei einem von der Düse bis zum Aufschlag auf den Erdboden nahezu geschlossenen Strahl erreichbar. Dieser ist jedoch nur bei niedrigen Drücken möglich und wegen seiner Geschlossenheit und geringen Wurfweite in der Beregnung nicht verwendbar (Abb. 8). Der Luftwiderstand (Reibung und Verdrängung) beeinträchtigt die Wurfweite bei den in der Beregnung üblichen Betriebsdrücken erheblich (Abb. 9).

Die von mehreren gleichzeitig wirksamen Faktoren bestimmte tatsächlich erreichbare Wurfweite läßt sich nicht durch einfache Gleichungen ausdrücken. Es mögen deshalb hier an die Stelle theoretisch zu berechnender Faktoren die in sorgfältigen Untersuchungen gewonnenen Werte treten. Sie sind in den graphischen Tafeln des Reichskuratoriums für Technik in der Landwirtschaft (RKTU) für Düsenweiten von 5 bis 52 mm und Düsendrücke von etwa 1 bis 12 atü enthalten.<sup>3)</sup> Sie wurden teils mit spitzen Konusdüsen, teils mit Mundstücken, die einen zylindrischen Auslauf hatten, gewonnen und stellen annähernd das Höchstmaß der in der Praxis erzielbaren Wurfweiten dar. Unter günstigen Umständen können sie auch durch Industriegeräte erreicht werden. Vielfach sind jedoch aus praktischen Erwägungen heraus deren Abmessungen, besonders Durchmesser und Länge der Strahlrohre, so gewählt, daß die Tabellenwerte nicht erreicht werden.

Für Strahlen aus vollständig konischen Düsen oder solchen mit konischem Auslauf und scharfer Auslaufkante gelten die nebenstehenden Eigenschaften.

### Mit der Versuchseinrichtung erzielte Leistungen

Der wichtigste Teil der Versuchseinrichtung ist das Strahlrohr mit einer Lichtweite von 50 mm und einer Länge von 350 mm. Am Auslaufende des aus Leichtmetall gefertigten Strahlrohres

<sup>3)</sup> Oehler, Th.: „Grundlagen der Wasserverteilung durch Beregnungsgeräte“, KTL-Berichte über Landtechnik, H. VI, München-Walfratshausen 1949.

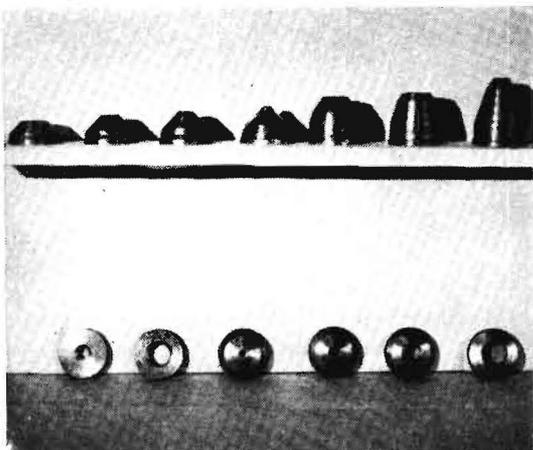


Abb. 1: Formen der Versuchsdüsen  
Obere Reihe von links nach rechts:  
Nr. 1 bis 4 Konuswinkel  $60^\circ$ , Nennw.: 24, 16, 12, 5  
Nr. 5 bis 7 Konuswinkel  $32^\circ$ , Nennw.: 24, 20, 12  
Untere Reihe von links nach rechts:  
Nr. 1 und 2 Konuswinkel  $180^\circ$  (Flachd.), Nennw.: 12, 24  
Nr. 3 bis 6 Konuswinkel  $90^\circ$ , Nennw.: 8, 12, 16, 24

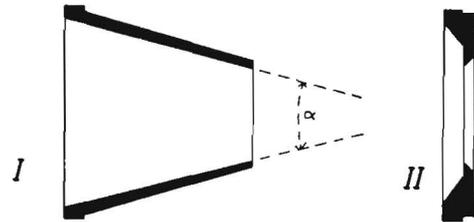


Abb. 1a: Schnitte durch Düsen von 24 mm Nennweite  
I Konusdüse,  $\epsilon = 30^\circ$  II Flachdüse

befindet sich ein mit einer 2 mm weiten Bohrung versehener Anschlußstutzen für ein Präzisionsmanometer. Nach Bedarf kann an beliebiger Stelle des Strahlrohres ein Gleichrichter aus dünnwandigen Röhren mit einer Länge von 190 mm und einem Außendurchmesser von 10 mm eingesetzt werden. Die Versuchsdüsen (Abb. 1 und 1a) haben einfache Konusform. Ausnahmen bilden nur die Flachdüsen, bei welchen ein kurzer, flacher Konus den Übergang von dem zylindrischen Rohr zu der quer zur Strömung stehenden Lochblende (Konuswinkel  $180^\circ$ ) vermittelt. Der Auslauf aller Düsen ist scharfkantig, der Erhebungswinkel des Strahlrohres mißt  $32^\circ$ .

### Eigenschaften von Wasserstrahlen (Düsendruck nicht unter 1 atü)

Strömungszustand:	Eigenschaften des aufsteigenden Abschnitts der Strahlbahn	Wurfweite Abb. Nr.
a) schwach-turbulent	Strahl zylindrisch, großenteils glasklar, im übrigen durchscheinend bis undurchsichtig, kein nennenswertes Flackern, keine Sprühwasserbildung, Auflösungsbeginn einige Meter hinter der Düse	gut bis sehr gut Nr. 2 u. 3
b) stark-turbulent	Strahl leicht konisch erscheinend, glasklarer Abschnitt kurz, im übrigen undurchsichtig, deutliches Flackern, Sprühwasserbildung, Auflösungsbeginn höchstens einige dm hinter der Düse	weniger gut als bei a) Nr. 4, 6, 7
c) stark drehend (Drall)	Völlige Auflösung fast unmittelbar an der Düse, Ausbreitungswinkel größer als bei b), Strahl erscheint konisch bis glockenförmig, Flackern soweit Turbulenz vorhanden, starke bis sehr starke Sprühwasserbildung	gering Nr. 5

### Vorgänge im Wasserstrahl

Beim vorsichtigen Anstellen eines Wasserstrahles und bei langsamer Steigerung des Betriebsdruckes zeigen sich anfänglich von der Düse ausgehende, wie Schatten über den Strahl huschende Störungen. Mit zunehmendem Druck wird ihre Folge rascher und ihr Ausmaß stärker. Bald können sie nicht mehr einzeln erkannt werden; der Strahl scheint zu zittern und zu flackern. Die Ursachen dieser Erscheinungen sind periodisch entstehende und abreißende Wirbel, die mit der Strömung in den Strahl übergehen. Sie bringen eine ununterbrochen wechselnde Struktur desselben mit unverkennbaren Auflösungserscheinungen (Abb. 5, 6 und 7). Je stärker die Auflösung des Strahls, um so mehr Widerstand erfährt er im Luftraum. Die Bahn des gut zusammenhaltenden, bei niedrigem Druck entstehenden Strahles hat in ihrem abfallenden Teil einen zu dem aufsteigenden Teil spiegelbildlichen Verlauf; der Aufschlagwinkel ist dem Erhebungswinkel gleich, und der Scheitel bildet den Mittelpunkt der Wurflinie (Abb. 8). Mit zunehmendem Druck wird bei wachsender Strahlauflösung der abfallende Zweig steiler und gleichzeitig im Verhältnis zum ansteigenden kürzer (Abb. 9).

### Düsen- und Strahlformen

Der Düsenauslauf ist der für die Strahlform und die Strahleigenschaften wichtigste Teil der Düse. Er übernimmt die mehr oder weniger turbulente oder drehende, der Düse zufließende Strömung und formt sie endgültig zum Strahl.

1. Die Strahlstärke (an der Stelle der größten Einschnürung) wird durch die Auslaufweite der Düse und den Auslaufkonus bestimmt.



Abb. 2: Strahl aus D 12/32 (Düse mit Nennw. 12, Konusw. 32°) mit Gleichrichter im Strahlrohr, Düsendr. 3,5 atü. Sehr gute Strahlform, ohne Sprühwasser. Bel.: Tageslicht,  $\frac{1}{25}$  sec



Abb. 3: Strahl wie in Abb. 2, trotz sehr kurzer Belichtung keine Auflösungserscheinungen wahrnehmbar. Bel.: Elektronenblitz  $\frac{1}{1000}$  sec

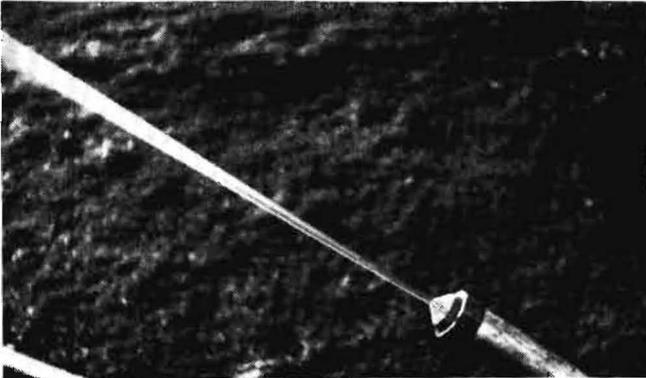


Abb. 4: Strahl aus Düse D 12/60, kein Gleichrichter im Strahlrohr. Düsendr. 8,4 atü. Strahl stark turbulent, kein Sprühwasser, kurze Anfangsstrecke durchsichtig, konische Strahlform, Turbulenz im Zulauf zum Strahlrohr

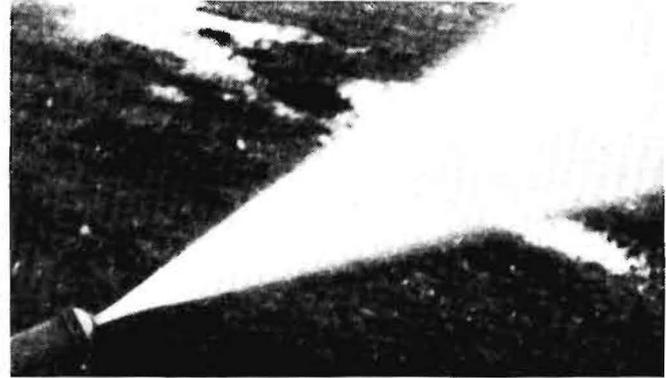


Abb. 5: Strahl mit starkem Drall, Druck 5 atü, keine durchsichtige Anfangsstrecke, konische bis glockenförmige Ausbreitung, vollständige Auflösung in einzelne Tropfen gleich nach dem Austritt aus der Düse



Abb. 6: Strahl aus Düse D 12/60°, Strahlrohrweite 1", kein Gleichrichter, Düsendr. rd. 3 atü, Strahl sehr stark turbulent, Bel.: Tageslicht  $\frac{1}{25}$ . Die Strahlaulösung scheint gleichmäßig kontinuierlich zu erfolgen



Abb. 7: Strahl wie Abb. 6. Bel.: Elektronenblitz  $\frac{1}{1000}$ . Auflösungsvergang durch rasche Folge von Ablösungswirbeln ist an der Knotenbildung zu erkennen



Abb. 8: Strahl aus Düse D 24/60, Betriebsdruck 0,5 atü; Strahlbahn infolge der nur unwesentlichen Auflösung mit der theoretischen Wurflinie gut übereinstimmend (Scheitelpunkt in der Mitte, abfallender Strahlabschnitt spiegelbildlich zum aufsteigenden)



Abb. 9: Düse wie in Abb. 8, Betriebsdruck 3,0 atü; infolge der stärkeren Auflösung tritt die Verkürzung des abfallenden Strahlabschnitts stärker als in Abb. 8 in Erscheinung, das Wurfverhältnis ist wesentlich ungünstiger

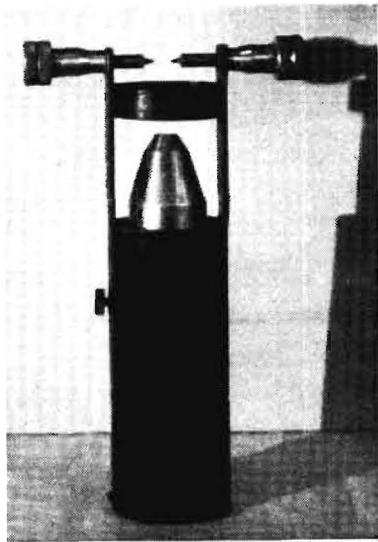


Abb. 10: Gerät zur Messung der Strahlstärke mit Hilfe von zwei Mikrometerschrauben

2. Für die Bildung eines sauberen, gut zusammenhaltenden Strahles ist eine leicht konische Verjüngung des Auslaufes mit scharfer, fein bearbeiteter Abschlußkante von Vorteil.
3. Ist der Düsenauslauf rau oder hat er eine unsaubere Abschlußkante, so zeigt sich dies in einer ungleichmäßigen Glätte und in sonstigen Störungen der Strahlfläche, die sich mitunter nach dem Strahlinneren hin auswirken und dadurch eine beschleunigte Strahlauflösung zur Folge haben.
4. Ein zylindrischer Auslauf verursacht durch Wandreibung eine gleichmäßige Aufrauung und Trübung der Strahlfläche sowie Sprühwasserbildung. Die Auswirkung ist meist schwach und dann ohne Bedeutung.
5. Ein sich leicht konisch erweiternder oder abgerundeter Auslauf bewirkt die Entstehung eines Vakuums um den Strahl mit Ablösungswirbeln. Diese greifen mitunter recht tief in den Strahl ein, weshalb die Störung der Strömungsvorgänge erheblich sein kann.

#### Konuswinkel und Strahlstärke

Der durch eine konische oder auch nur mit einem konischen Auslauf versehene Düse deformte Strahl zeigt eine auf einem sehr kurzen Anfangsabschnitt sich vollziehende Einschnürung. Beim zylindrischen Auslauf (Konuswinkel  $0^\circ$ ) ist keine Einschnürung zu sehen, Strahlstärke und Auslaufweite der Düse sind hier gleich. Bei der Flachdüse (Konuswinkel  $180^\circ$ ) erreicht die Einschnürung ihren größten Wert (Verhältnis der Strahlstärke zur Düsenweite 1 : 1,2 — Abb. 15).

Die Strahlstärken in einem kurzen Bereich hinter dem Düsenauslauf sind mit einer besonderen Vorrichtung mit Hilfe von Mikrometerschrauben gemessen worden (Abb. 10).

Zahlreiche Untersuchungen mit den in Abbildung 1 gezeigten Düsen bei Düsendrücken zwischen 1 und 9 atü haben feststehende Beziehungen zwischen Mündungsweite, Konuswinkel und Strahlstärke ergeben. Der Düsendruck hat keinen oder einen mit der Meßvorrichtung nicht mehr nachweisbaren sehr kleinen Einfluß auf die Strahlstärke. Einige charakteristische Längenschnitte durch die Anfangsstrecken von Wasserstrahlen sind vergrößert in den Abbildungen 11 bis 14 wiedergegeben.

Tabelle 1: Abhängigkeit der Strahlstärken vom Konuswinkel

Konuswinkel	Verhältnis der Strahlstärke zur Düsenstärke
$30^\circ$	0,959
$50^\circ$	0,923
$60^\circ$	0,920
$90^\circ$	0,887
$180^\circ$	0,840

Die Gesetzmäßigkeit der Tabellenwerte wird ausgedrückt durch die Gleichung  $D_s = D_d (1 - 0,16 \sin \frac{\alpha}{2})$  (8)

In dieser bedeuten  $D_s$  = Strahlstärke (mm),  $D_d$  = Düsenweite (mm). Aus Tabelle 1 und Abbildung 15 ist das Verhältnis der Strahlstärke (stärkste Einschnürung) zur Lichtweite des Düsenauslaufes zu entnehmen. Die Längenschnitte durch Strahlen aus Düsen mit verschiedenem Konuswinkel (Abb. 11 bis 14) zeigen die Strahlform im Bereich der Einschnürungsstrecke.

#### Die Wasserspende der Düsen

Die Messungen mit den Versuchsdüsen haben die aus Abbildung 16 zu entnehmenden Spenden ergeben. Die sekundliche Wasserabgabe war für gleiches Potential (am Manometeranschluß 5 cm vor dem Ende des Strahlrohres) nicht nur entsprechend den Durchlaßweiten sehr verschieden, sondern es machte sich auch ein Einfluß der Düsenform geltend. Die Leistungsunterschiede können zum größten Teil auf den verschiedenen Grad der Einschnürung zurückgeführt werden, doch reicht diese Begründung nicht aus, um das Phänomen vollständig zu erklären.

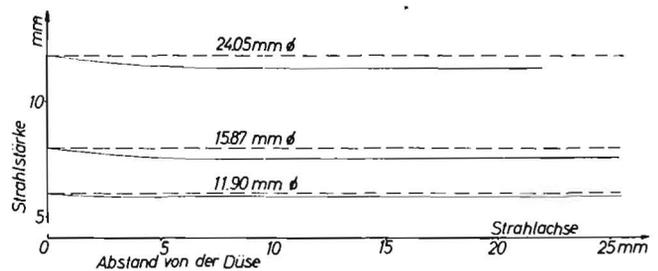


Abb. 11: Halbe Stärke der Strahlen aus Konusdüsen (Düsenwinkel  $\alpha = 32^\circ$ )

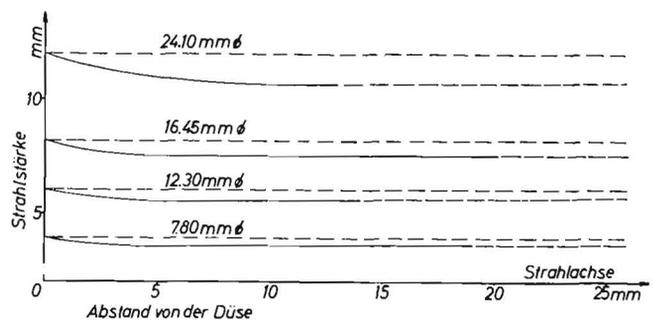


Abb. 12: Halbe Stärke der Strahlen aus Konusdüsen (Düsenwinkel  $\alpha = 60^\circ$ )

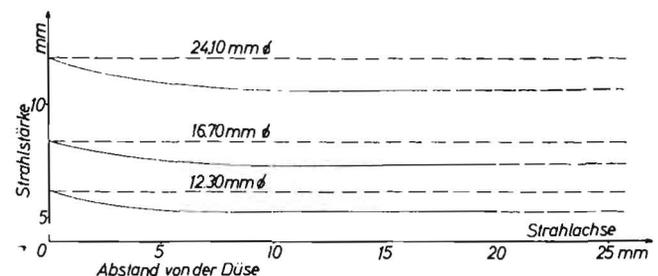


Abb. 13: Halbe Stärke der Strahlen aus Konusdüsen (Düsenwinkel  $\alpha = 90^\circ$ )

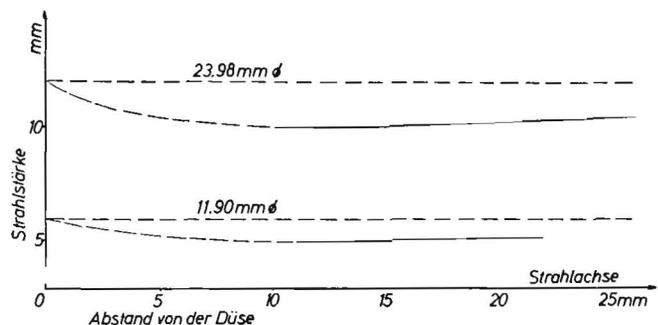


Abb. 14: Halbe Stärke der Strahlen aus Flachdüsen (Düsenwinkel  $\alpha = 180^\circ$ )

In Abbildung 17 sind die Werte von  $\eta$  in Abhängigkeit vom Konuswinkel für die untersuchten Düsenweiten aufgetragen. Die Darstellung zeigt eine Abnahme des Wirkungsgrades mit zunehmendem Düsenwinkel (zwischen den Werten 30° und 180°). Die Schaulinien haben für die Düsenweiten von 12 und 24 mm angenähert geraden und parallelen Verlauf.

Der Wert  $\eta$  ist sowohl vom Düsenwinkel wie auch von der Düsenweite abhängig. Unter günstigen Umständen (spitze Düsen mit kleinem Durchmesser) wurde mit  $\eta = 0,995$  ein sehr hoher Wirkungsgrad erreicht. Als anderes Extrem ergab sich für eine Flachdüse von 24 mm Durchmesser ein Wirkungsgrad von nur 0,838.

Tabelle 2: Wirkungsgrad von Konus- und Flachdüsen

Düsenweite mm	Konuswinkel Grad	Wirkungsgrad $\eta$
5	60	0,970
8	90	0,960
12	32	0,995
12	60	0,975
12	90	0,955
12	180	0,901
20	32	0,985
24	32	0,980
24	60	0,962 (interpoliert)
24	90	0,943
24	180	0,838

Die Unterschiede im Wirkungsgrad können zum großen Teil darauf zurückgeführt werden, daß sich der Wasserstrom besonders bei den kurz gebauten Düsen an deren Wänden stößt und sich an der Übergangsstelle vom zylindrischen Strahlrohr zu der Konusform der Düsen tote Winkel befinden, welchen sich die Strömung nicht anpassen kann. Es entstehen in ihnen energieverzehrende Wirbel. Dies muß sich in besonders hohem Grad an sehr kurzen konischen Düsen und an Flachdüsen auswirken, die dementsprechend stark turbulente Strahlen abgeben. Auffallenderweise wird der Wirkungsgrad mit zunehmender Strahlstärke schlechter. Die Ursache liegt in dem ungünstigen Verhältnis der Düsenweite zur Strahlrohrweite. Hierauf wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

### Düsenleistung und Strahlrohrdurchmesser

Die neueren Untersuchungen über den Wasserverbrauch von Düsen haben gezeigt, daß die Strahlrohrweite von Einfluß auf die Düsenleistung sein kann. Die in Tabelle 3 mitgeteilten Werte geben hierzu einen Beitrag. Sie wurden mit einem Strahlrohr von 2" Weite und mit in dieses gut eingepaßten Einsatzrohren von 1", 1 1/4" und 1 1/2" Weite gewonnen.

Tabelle 3: Abhängigkeit der Düsenleistung von der Strahlrohrweite

Düse	Konuswinkel					
	180°			32°		
24 mm (NW)						
Betriebsdruck atü	7	4	2	6	4	2
Strahlrohr	Durchflußmengen in l/sec					
LW 1"	9,47	7,10	5,14	13,15	11,10	8,31
LW 2"	11,10	8,40	6,40	13,23	11,50	8,55
Verh. $\frac{1}{2}$	$\beta = 0,85$	0,84	0,88	0,99	0,97	0,973

Besonders deutlich zeigen sich die Unterschiede bei der größten verwendeten Düsenweite von 24 mm mit den Konuswinkeln von 180° und 32°.

Bei kleineren Düsenweiten ergaben sich verhältnismäßig kleinere Differenzen. Dies zeigt besonders der Vergleich der Messungen mit den beiden Düsen von Konuswinkel 32° (Tob. 3 und 3a).

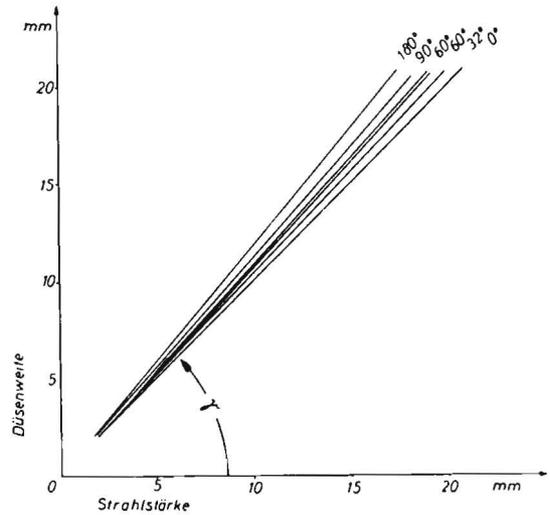


Abb. 15: Abhängigkeit der Strahlstärke von der Düsenweite und dem Konuswinkel

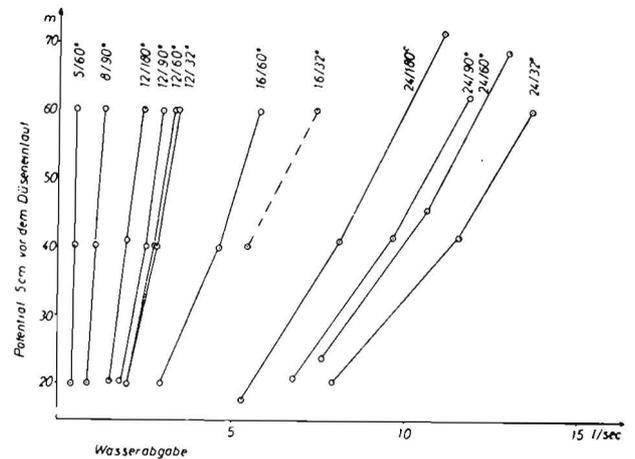


Abb. 16: Wasserabgabe von Konusdüsen von 5 bis 24 mm L. W.

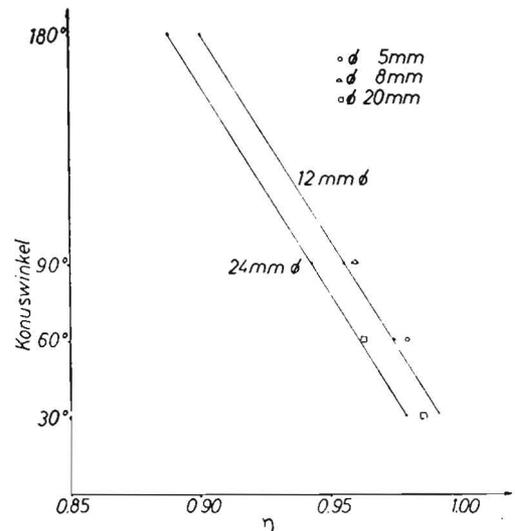


Abb. 17: Wirkungsgrad von Konusdüsen

$$\eta = \frac{v_s}{v_p} = \frac{\text{Strahlgeschwindigkeit}}{\text{Potentialgeschwindigkeit}}$$

(berechnet aus dem Potential 5 cm vor dem Düsenanlauf)

Bei den kleinen Düsen von 8 und 5 mm Nennweite wurden die Unterschiede in der Durchlaßleistung so gering, daß sie nicht mehr sicher nachgewiesen werden konnten. Bei den

Messungen zu Tabelle 3 und 3a befand sich ein Gleichrichter im Strahlrohr. Das Manometer war am Zulauf zum Strahlrohr, also vor dem Gleichrichter angebracht.

**Tabelle 3a: Abhängigkeit der Düsenleistung von der Strahlrohrweite**

Düse	Konuswinkel					
	90°			32°		
16 mm (NW)						
Betriebsdruck $\alpha_{\text{tÜ}}$	6	4	2	7,8	4	2
Strahlrohr	Durchflußmengen in l/sec					
LW 1"	—	4,64	3,34	7,31	5,31	3,17
LW 2"	—	4,88	3,47	7,35	5,42	3,20
Verh. $\frac{1''}{2''}$	$\beta =$	0,96	0,92	0,998	0,997	0,980

Der Vergleich der  $\beta$ -Werte der Düsen 24/32 und 16/32 läßt ein weniger starkes Ansprechen der letzteren auf die Unterschiede der Strahlrohrweite erkennen. Ohne Zweifel spielt hier die kleinere Durchflußgeschwindigkeit eine Rolle. Dies kann jedoch nicht allein den Ausschlag geben, denn in einem Vergleich der  $\beta$ -Werte für die Düsen 24/180 und 24/32 ist die Wassermenge, also auch die Durchflußgeschwindigkeit im Strahlrohr, bei letzterer wesentlich größer als bei der Vergleichsdüse. Trotzdem hat sich ein erheblich günstigerer  $\beta$ -Wert ergeben. Es ist somit nicht die Durchflußgeschwindigkeit allein ausschlaggebend, sondern das Maß der Wirbelbildung am Düseneinlauf, das bei der Flachdüse mit zunehmender Durchflußgeschwindigkeit schneller wächst als bei der Spitzdüse.

Hieraus folgt, daß Strahlrohre von kleinem Durchmesser in ihrer mengenmäßigen Leistung stärker auf die Düsenform ansprechen als weitere. Es empfiehlt sich deshalb bei engen Strahlrohren besonders die Verwendung von Düsen mit kleinem Konuswinkel.

Diese Ergebnisse bestätigen die Feststellung des vorhergehenden Abschnittes, daß der Wirkungsgrad mit der Zunahme der Düsenweite oder — wenn diese unverändert bleibt — mit abnehmender Strahlrohrweite zurückgeht. Oder anders ausgedrückt: Die Spendenleistung der Kombination Strahlrohr-Düse ist innerhalb gewisser Grenzen um so höher, je größer der Unterschied zwischen Düsen- und Strahlrohrweite wird.

**Zusammenfassung:**

Für die Beurteilung der hydraulischen Eigenschaften ist der kleinste Durchflußquerschnitt, in welchem die Umwandlung von Druck in Strömungsgeschwindigkeit ihren Abschluß findet, von besonderer Bedeutung. Er liegt beim zylindrischen Auslauf an dessen Ende, beim konischen einige mm hinter diesem. Die dort auftretende Geschwindigkeit erlaubt, den nutzbar gemachten Anteil des Betriebs- oder Düsendrucks zu berechnen und den Wirkungsgrad der Umformung zu bestimmen. Aus dem Turbulenzzustand der Strömung an dieser Stelle kann auch auf die Streuung des Strahls und damit unter Berücksichtigung von Strahlstärke und Erhebungswinkel auf die Wurfweite geschlossen werden.

Der Druckverbrauch zwischen Düsenvorraum und engstem Strahlquerschnitt, der in der Hauptsache durch Wirbelbildung verursacht wird, gibt auch ein Bild von der Güte der Düse und ihres Anschlusses an das Strahlrohr.

\*

Ein weiterer Beitrag im nächsten Heft behandelt die Auswirkungen der Dimensionierung und Formgebung von Regner und Düse auf die Güte und Wurfweite des Wasserstrahls. Es werden Richtlinien entwickelt, bei deren Nichteinhaltung Einbußen an der Wurfweite von 10 % und mehr sowie Druckverluste in gleicher Höhe entstehen können.

**Résumé:**

Prof. Dr.-Ing. Th. Oehler:

„Merkmale, Bedingungen und Grenzen der Leistungsfähigkeit von Drehstrahlregnern.“

Über die Leistung, besonders über die Wasserspense und die Wurfweite von Regnern gleicher Düsenweite finden sich im Fachschrifttum oft recht unterschiedliche Angaben, die für den Käufer oder Benutzer der Geräte verwirrend sind und zu unrichtigen Urteilen führen können. Deshalb wird hier darüber berichtet, welche Leistungen unter günstigen hydraulischen Bedingungen erreicht werden können und welche Einbußen an Leistungen durch ungünstige Dimensionen des Strahlrohrs und durch unzweckmäßige Formen der Düse eintreten. Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der hydraulischen Eigenschaften ist der kleinste Durchflußquerschnitt (kleinster Querschnitt des geschlossenen Wasserstrahls), in welchem die Umwandlung von Druck in Strömungsgeschwindigkeit ihren Abschluß findet. Aus der dort auftretenden Geschwindigkeit kann man den nutzbar gemachten Anteil des Betriebs- oder Düsendrucks berechnen und den Wirkungsgrad der Umformung bestimmen. Aus dem Turbulenzzustand der Strömung an dieser Stelle kann auch auf die Streuung des Strahls und damit unter Berücksichtigung von Strahlstärke und Erhebungswinkel auf die Wurfweite geschlossen werden.

Prof. Dr.-Ing. Th. Oehler:

“Characteristics, Conditions and Limits for the Efficient Utilisation of Rotating Field Sprinklers.“

The pages of technical literature contain many references to comparative performances of rotating field sprinklers of equal nozzle size. The articles quote widely different characteristics, such as quantity of water distributed and effective range, all of which tend to confuse buyers and users and can lead to erroneous ideas concerning the actual performances of such sprinklers. The article is intended to clear up some of these discrepancies and to show what results can be attained under favourable hydraulic conditions and what losses are incurred through unsuitable dimensions of the pipes and nozzles. Of particular importance in judging hydraulic properties is the minimum cross-sectional area in which the conversion of pressure into flow velocity takes place. Determination of the actual velocity at that particular place enables a further determination to be made of the effective pressure at the nozzle and to calculate the degree of efficiency of the conversion. The degree of turbulence at this point permits an estimate to be made of the distribution pattern of the water delivered. The effective range of the sprinkler can then be calculated from the angle of elevation of the sprinkler and of the size of the emergent water jet.

Prof. Dr.-Ing. Th. Oehler:

«Caractéristiques, conditions hydrauliques et limites de la capacité d'appareils d'arrosage rotatifs.»

La littérature spéciale donne souvent des indications très différentes sur les capacités d'appareils d'arrosage à diamètre de buse identique, en particulier sur le débit horaire et l'envergure, qui peuvent induire en erreur les acheteurs et utilisateurs. L'auteur a examiné l'influence avantageuse ou désavantageuse qu'ont sur la capacité les conditions hydrauliques, les dimensions des lances et les formes des buses. Les caractéristiques hydrauliques peuvent être appréciées d'après le diamètre le plus petit du système qui entrave la transformation de la pression en vitesse d'écoulement. La vitesse d'écoulement au passage le plus étroit permet de calculer la pression utile de la buse et le rendement de transformation. La dispersion du jet peut être appréciée d'après la turbulence créée au passage le plus étroit et l'envergure peut être déterminée d'après la puissance du jet et l'angle d'élevation.

Ing. Dr. Th. Oehler, catedrático:

«Características, condiciones y límites de la capacidad de regadores giratorios.»

En los artículos publicados en revistas del ramo se dan con frecuencia datos muy distintos de la capacidad de regadores del mismo diámetro de tobera, especialmente en cuanto a la cantidad de agua repartida y a la distancia de proyección, dándose así lugar a la confusión y a conceptos erróneos de parte del comprador o del que los emplee. De ahí que en este artículo se dé una información sobre los rendimientos que pueden conseguirse bajo condiciones hidráulicas favorables, así como de las reducciones de rendimiento a que pueden dar lugar las dimensiones desfavorables de los tubos proyectores y las formas inconvenientes de las toberas. Para el criterio de las condiciones hidráulicas, el diámetro más pequeño del sistema es de máxima importancia, en el cual termina la conversión de la presión en velocidad de corriente. De la velocidad en aquel punto se puede calcular el efecto útil de la presión de servicio o de la tobera, estableciéndose el efecto de la transformación. Del estado de turbulencia de la corriente en este punto se pueden hacer también deducciones, en cuanto a la dispersión del chorro y, teniendo en cuenta la potencia del chorro y el ángulo de elevación, a la distancia de proyección.