

Zum Einfluß der konstruktiven Gestaltung auf die hydraulische Leistungsfähigkeit von Drehstrahlregnern

Dr.-Ing. D. Voigt, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

Für die weitere Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion ist eine kontinuierliche Steigerung der Qualität der Erzeugnisse und der Effektivität der Produktion erforderlich. Zur Ermittlung der dafür notwendigen Maßnahmen ist das wissenschaftlich-technische Niveau der Erzeugnisse ständig zu analysieren und mit dem internationalen Höchststand zu vergleichen. Die auch in der Beregnung steigenden Anforderungen an die Qualität erfordern bessere wissenschaftlich-technische Grundlagen für die Gestaltung der technischen Anlagenbestandteile und für die Projektierung und Berechnung der Beregnungsanlagen.

Zu den wichtigsten Parametern in diesem Zusammenhang gehören der Wasserverbrauch und die Wurfweite der Regner, besonders der heute am meisten eingesetzten Drehstrahlregner, da sie sowohl den Investitionsaufwand als auch die Betriebskosten wesentlich beeinflussen.

1. Theoretische Grundlagen

1.1. Wasserverbrauch

Für den Wasserverbrauch oder Durchsatz eines Regners gilt die Beziehung $Q = v_a A_a$; v_a Austrittsgeschwindigkeit A_a Ausflußquerschnitt. Für die Austrittsgeschwindigkeit kann man setzen:

$$v_a = \sqrt{2gH_n}$$

H_n nutzbare Energiehöhe im Austrittsquerschnitt
 g Erdbeschleunigung.
 Die nutzbare Energiehöhe ergibt sich aus $H_n = H - h_r$;
 H Energiehöhe vor dem Regner
 h_r Verlusthöhe infolge innerer Widerstände.
 Für die Verlusthöhe gilt:

$$h_r = \zeta \frac{v_a^2}{2g}$$

ζ Widerstandsbeiwert, Verlustbeiwert.
 Durch Einsetzen in die Beziehung $H = H_n + h_r$ erhält man:

$$H = \frac{v_a^2}{2g} + \zeta \frac{v_a^2}{2g}$$

Daraus ergibt sich durch Umformen

$$v_a = \sqrt{\frac{2gH}{1+\zeta}}$$

Da der Austrittsquerschnitt selbst auch einen Widerstand verursacht, muß man noch mit einem Beiwert multiplizieren:

$$v_a = \varphi \sqrt{2gH_n}$$

Außerdem zieht sich beim freien Austritt aus einem Kreisquerschnitt A der Strahl etwas zusammen (Kontraktion), so daß der Quer-

schnitt nur noch $A_a = \psi A$ beträgt. Die Beiwerte φ und ψ werden im allgemeinen zu einem Beiwert μ zusammengefaßt, der durch Versuche bestimmt werden kann. Im vorliegenden Fall ist es zweckmäßig, auch noch den Widerstandsbeiwert ζ mit einzubeziehen, so daß sich ergeben:

$$\mu = \varphi \psi \sqrt{\frac{1}{1+\zeta}}$$

$$Q = \mu A \sqrt{2gH}$$

Da sich die Querschnittsfläche aus $A = \pi/4 d^2$ (d Düsenweite) ergibt, wird der Wasserverbrauch schließlich

$$Q = \mu \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2gH}$$

Bei d in m und H in MPa gelten die Beziehungen für den Wasserverbrauch wie folgt:
 $Q = 34,78 \mu d^2 H^{1/2}$ (Angabe in m^3/s)
 $Q = 0,125 \mu d^2 H^{1/2}$ (Angabe in m^3/h).

Aus der Ableitung geht hervor, daß der Ausflußbeiwert μ ein wichtiges Kriterium für die Gestaltung und damit für die Leistungsfähigkeit des Regners darstellt.

Unmittelbaren Einfluß auf diesen Beiwert haben beim Drehstrahlregner Konuswinkel, Strahlrohrdurchmesser, Strahlrohrlänge und Wandrauigkeit im Regner. Während die ersten drei Größen konstruktiv bedingt bzw. festgelegt sind, ist die Wandrauigkeit hauptsächlich von der Fertigungstechnologie und -qualität abhängig.

In diesem Zusammenhang interessiert vor allem der Einfluß der konstruktiven Gestaltung auf die hydraulische Leistungsfähigkeit des Regners:

- $\mu = f(\beta, D/d, L/D)$;
- β Düsenkonuswinkel
- D Strahlrohrweite
- L Strahlrohrlänge.

1.2. Wurfweite

Für die Wurfweite im luftleeren Raum gilt die Beziehung $W_o = 2 H_o \sin 2\alpha$;
 W_o Wurfweite im luftleeren Raum
 H_o Geschwindigkeitshöhe des austretenden Strahls ($\triangleq H_n$)
 α Neigungswinkel gegenüber der Horizontalen.

Unter realen Bedingungen ist jedoch der Luftwiderstand zu berücksichtigen. Für die Ermittlung der Wurfweite ist die ballistische Gleichung der Flugbahn des Wasserstrahls bzw. der Wassertropfen erforderlich. Die Gleichung der Flugbahn ergibt sich aus den auf den Wassertropfen wirkenden Kräften und Beschleunigungen:

- $m b_x - c \rho/2 v_x^2 A_T = 0$
- $m b_y - c \rho/2 v_y^2 A_T - m \cdot g = 0$;
- m Masse des Tröpfchens
- b_x Beschleunigung in x-Richtung
- c Luftwiderstandsbeiwert
- ρ Dichte der Luft
- v_x Geschwindigkeit in x-Richtung
- A_T Tropfenquerschnittsfläche
- b_y Beschleunigung in y-Richtung

v_y Geschwindigkeit in y-Richtung.
 Diese Gleichungen sind analytisch nicht lösbar. In der Literatur [1, 3] findet man vereinfachte Ansätze, bei denen die Geschwindigkeit nur linear eingeführt wird. Aber auch diese Gleichungen sind analytisch nicht lösbar. Die mit Hilfe von elektronischen Rechenmaschinen durchgeführten sehr aufwendigen numerischen Näherungsrechnungen haben zu keiner guten Übereinstimmung mit Meßergebnissen geführt.

Die berechneten Wurfweiten sind zu klein, weil der Ansatz des Luftwiderstands auf ein Wassertröpfchen nicht mit der Realität übereinstimmt. In Wirklichkeit bewegt sich das Wasser eine gewisse Strecke als mehr oder weniger geschlossener Strahl durch die Luft, ehe es in Tröpfchen zerfällt.

Angeichts dieser Problematik haben viele Autoren empirische Formeln zur Berechnung der Wurfweite angegeben, die jedoch nur für die jeweils untersuchten Regner zutreffen und keine allgemeingültigen Aussagen über die Beziehungen zwischen Wurfweite und Gestaltung des Regners zulassen. Geht man von der Vorstellung aus, daß sich der Wasserstrahl wie in einem Rohr durch die Luft bewegt und zwischen Wasserstrahl und Luft Reibung wie in einem Rohr auftritt, die zu einem Verlust an Energiehöhe und damit an Wurfweite führt, erhält man in Anlehnung an [2] ein relativ einfaches mathematisches Modell:

Dazu subtrahiert man in der Beziehung für die Wurfweite im luftleeren Raum von der Druckhöhe den Reibungsverlust h_r :
 $W = 2 (H_o - h_r) \sin 2\alpha$.

Setzt man analog zur Rohrhydraulik folgende Beziehung an:

$$h_r = \lambda \frac{v^2}{d 2g}$$

- λ Reibungsbeiwert, Widerstandsbeiwert
 - d Strahldurchmesser (\approx Düsenweite)
 - v Geschwindigkeit des austretenden Strahls ($v \approx v_o$)
- und näherungsweise für $l \approx W$, so erhält man

$$W = 2 \left(H_o - \lambda \frac{W v_o^2}{d 2g} \right) \sin 2\alpha$$

Aufgrund von $v_o^2/2g = H_o$ wird

$$W = 2 \left(H_o - \lambda \frac{W}{d} H_o \right) \sin 2\alpha$$

Durch Umformen ergibt sich:

$$W = \frac{2 H_o \sin 2\alpha}{1 + \lambda/d 2 H_o \sin 2\alpha}$$

Mit der weiteren Vereinfachung $H_o \approx H$ wird

$$W = \frac{2 H \sin 2\alpha}{1 + \lambda/d 2 H \sin 2\alpha}$$

und schließlich

$$W = \frac{H}{a + \lambda H/d}$$

für H in MPa und d in mm lautet die Gleichung

$$W = \frac{100 H}{a + \lambda 100 H/d}$$

wobei

$$a = \frac{1}{2 \sin 2\alpha}$$

Für $\lambda = 0$ geht diese Beziehung über in die Gleichung für die Wurfweite im luftleeren Raum.

Aus der Strömungslehre (Rohrhydraulik) ist bekannt, daß der Widerstandsbeiwert λ von der Reynolds-Zahl Re und von der konstruktiven Gestaltung abhängt.

In der Berechnungstechnik wird zur Charakterisierung der Strömungsverhältnisse und der Strahlaufösung in Tropfen häufig das Verhältnis H/d verwendet. Für den Widerstandsbeiwert wird daher formuliert:

$$\lambda = f(\beta, D/d, L/D, H/d).$$

2. Versuchsdurchführung

Zur Untersuchung der genannten Zusammenhänge wurden an einer Vielzahl in- und ausländischer Drehstrahlregner Wasserverbrauch und Wurfweite gemessen [4, 5, 6, 7].

Die Regner unterschieden sich hinsichtlich Düsenweite, Strahlrohrneigung, Konuswinkel der Düsen, Strahlrohrweite und Strahlrohrlänge. Die Messungen wurden mit jedem Regner mit mehreren Düsenweiten und jeweils mehreren Betriebsdrücken durchgeführt. Die Betriebsdrücke wurden mit einem geeichten Feinmeßmanometer in der Zuleitung unmittelbar vor jedem Regner gemessen. Der Wasserverbrauch wurde mit einer Wasseruhr ermittelt, die vor und nach den Untersuchungen kalibriert wurde. Als Meßdauer wurden mindestens 5 min gewählt, um den Fehler der Zeitmessung möglichst gering zu halten.

Die Wurfweite wurde im Achsenkreuz, also in vier Richtungen, bei Windgeschwindigkeiten bis zu höchstens 1 m/s gemessen. Die vier Meßwerte wurden jeweils gemittelt. Die Konstruktions- und Betriebsparameter der untersuchten Regner bewegten sich in folgenden Bereichen:

- d = 3,7...32 mm
- H = 0,25...0,8 MPa
- α = 28,5...31,5°
- β = 0...60°
- D = 14,5...50 mm
- L = 15...400 mm
- H/d = 1,3...11,2 (H in MPa, d in dm)
- L/D = 0,8...8,3
- D/d = 1,6...4,4.

3. Ergebnisse und Auswertung der Versuche

Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse wurden die Zuflußgeschwindigkeit des Wassers an der Druckmeßstelle vor dem Regner und der Höhenunterschied zwischen Druckmeßstelle und Regnerdüse (\approx Regnerhöhe) vernachlässigt. Beide Beträge liegen in der Größenordnung der Meßfelder (<1%) und heben sich außerdem gegenseitig auf.

3.1. Wasserverbrauch

Für den Ausflußbeiwert μ wurde aus den Meßergebnissen ein Mittelwert $\bar{\mu} = 0,88$ mit einer Standardabweichung von $v = \pm 8\%$ ermittelt. Zur Untersuchung des Einflusses $\mu = f(\beta, D/d, L/D)$ wurde eine multiple quadratische Funktion verwendet. Die statistische Auswertung lieferte folgende Regressionsgleichung:

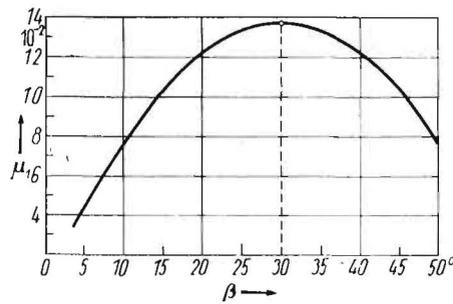


Bild 1. Einfluß des Konuswinkels β auf den Ausflußbeiwert μ_1

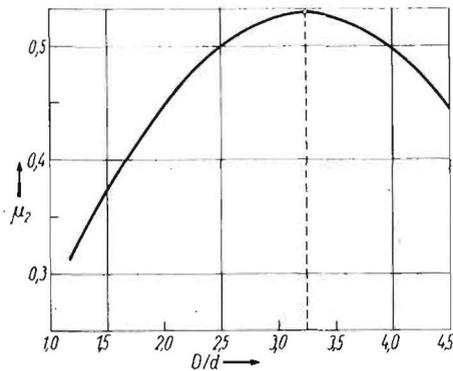


Bild 2. Einfluß der Strahlrohrweite D (dargestellt durch das Verhältnis zur Düsenweite d) auf den Ausflußbeiwert μ_2

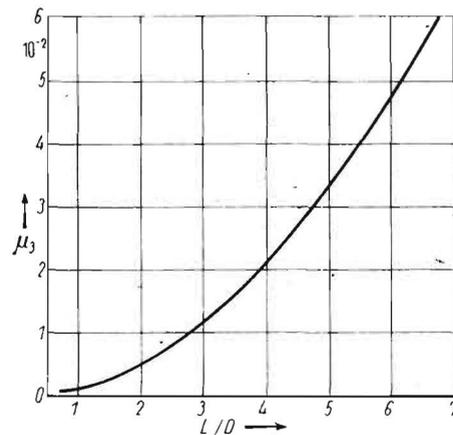


Bild 3. Einfluß der Strahlrohrlänge L (dargestellt durch das Verhältnis zur Strahlrohrweite D) auf den Ausflußbeiwert μ_3

$$\mu = 0,2767 + 9,136 \cdot 10^{-3} \beta - 1,516 \cdot 10^{-4} \beta^2 + 3,243 \cdot 10^{-1} (D/d) - 4,984 \cdot 10^{-2} (D/d)^2 + 1,343 \cdot 10^{-3} (L/D)^2$$

$$B = 0,529.$$

Diese Gleichung ist für folgende Schwankungsbereiche der Einflußgrößen definiert:

- $\beta = 0 \dots 60^\circ$
- $D/d = 1,6 \dots 4,4$
- $L/D = 0,8 \dots 8,3$.

In den Bildern 1 bis 3 ist der Einfluß der drei Größen im einzelnen dargestellt. Dazu wurde wie folgt umgeformt:

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_0 + \mu_1 + \mu_2 + \mu_3; \\ \mu_0 &= 0,2767 \\ \mu_1 &= f(\beta) = 9,136 \cdot 10^{-3} \beta - 1,516 \cdot 10^{-4} \beta^2 \\ \mu_2 &= f(D/d) = 3,243 \cdot 10^{-1} (D/d) - 4,984 \cdot 10^{-2} (D/d)^2 \\ \mu_3 &= f(L/D) = 1,343 \cdot 10^{-3} (L/D)^2. \end{aligned}$$

3.1.1. Einfluß des Konuswinkels

Aus Bild 1 geht hervor, daß der Ausflußbeiwert bei sehr kleinem und sehr großem Konuswinkel ungünstig, d. h. klein ist. Bei einem mittleren Konuswinkel ist der Ausflußbeiwert am günstigsten.

Zur genauen Ermittlung des optimalen Konuswinkels wird die Gleichung für den Ausflußbeiwert μ partiell nach β differenziert und gleich Null gesetzt:

$$\frac{\partial \mu}{\partial \beta} = 9,136 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 1,516 \cdot 10^{-4} \beta = 0$$

Danach ergibt sich ein für den Ausflußbeiwert optimaler Konuswinkel von $\beta = 30,1^\circ$.

Aus Bild 1 geht hervor, daß der Ausflußbeiwert durch ungünstige Wahl des Konuswinkels bis zu 10% schwanken kann.

3.1.2. Einfluß der Strahlrohrweite

Die Strahlrohrweite hat einen erheblichen Einfluß auf den Ausflußbeiwert (Bild 2). Wie beim Konuswinkel gibt es ein optimales Verhältnis von Strahlrohrweite zu Düsenweite. Die partielle Ableitung der Gleichung für den Ausflußbeiwert ergibt:

$$\frac{\partial \mu}{\partial (D/d)} = 3,243 \cdot 10^{-1} - 2 \cdot 4,984 \cdot 10^{-2} (D/d) = 0.$$

$$D/d = 3,25.$$

Für den Ausflußbeiwert ist damit ein Verhältnis von Strahlrohrweite zu Düsenweite von $D/d = 3,25$ am günstigsten. Kleinere und größere Strahlrohrweiten ergeben ungünstigere Ausflußbeiwerte. Die entsprechenden Schwankungen des Ausflußbeiwerts können bis zu 20% betragen (Bild 2).

3.1.3. Einfluß der Strahlrohrlänge

Aus den Untersuchungsergebnissen läßt sich keine optimale Strahlrohrlänge ableiten. Im Bild 3 ist jedoch ersichtlich, daß der Ausflußbeiwert mit zunehmender Strahlrohrlänge günstiger wird. Der Einfluß ist jedoch nicht so groß, wie bisher angenommen wurde. Er beträgt im untersuchten Bereich lediglich maximal etwa 6%.

3.2. Wurfweite

Für den Widerstandsbeiwert λ wurde aus den Meßergebnissen ein Mittelwert $\bar{\lambda} = 0,293$ mit einer Standardabweichung (Variationskoeffizient) $v = \pm 18,1\%$ ermittelt.

Mit Hilfe der Regressionsanalyse wurde der Einfluß von Konstruktions- und Betriebsparametern auf den Widerstandsbeiwert untersucht:

$$\lambda = f(\beta, D/d, L/D, H/d).$$

Dabei wurde ebenfalls eine multiple quadratische Funktion zugrunde gelegt.

Die statistische Auswertung ergab die Gleichung:

$$\lambda = 0,38 - 4,428 \cdot 10^{-3} \beta + 7,526 \cdot 10^{-5} \beta^2 - 5,904 \cdot 10^{-3} (D/d)^2;$$

$$B = 0,552.$$

Aus der Gleichung geht hervor, daß aus den Untersuchungsergebnissen kein statistisch gesicherter Einfluß der Strahlrohrlänge und des Betriebsdrucks auf den Widerstandsbeiwert nachgewiesen werden konnte.

Die Gleichung ist für folgende Schwankungsbereiche der Einflußgrößen definiert:

- $\beta = 0 \dots 60^\circ$
- $D/d = 1,6 \dots 4,4$.

Zur Darstellung des Einflusses dieser Größen

auf den Widerstandsbeiwert wurde die obige Gleichung umgeformt:

$$\lambda = \lambda_0 - \lambda_1 - \lambda_2;$$

$$\lambda_0 = 0,38$$

$$\lambda_1 = f(\beta) = 4,428 \cdot 10^{-3} \beta - 7,526 \cdot 10^{-5} \beta^2$$

$$\lambda_2 = f(D/d) = 5,904 \cdot 10^{-3} (D/d)^2$$

3.2.1. Einfluß des Konuswinkels

Wie im Bild 4 zu sehen ist, hat der Konuswinkel einen erheblichen Einfluß auf den Widerstandsbeiwert λ_1 . Mit zunehmendem Konuswinkel wird der Widerstandsbeiwert λ_1 zunächst größer, um dann mit weiter wachsendem Konuswinkel wieder kleiner zu werden. Die partielle Ableitung der Regressionsgleichung nach β liefert den optimalen Konuswinkel:

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \beta} = -4,428 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 7,526 \cdot 10^{-5} \cdot \beta = 0;$$

$$\beta = 29,4^\circ \approx 30^\circ$$

Dieser Wert stimmt sehr gut mit dem für den Ausflußbeiwert ermittelten optimalen Konuswinkel überein. Durch ungünstige Wahl des Konuswinkels kann der Widerstandsbeiwert bis zu 17% schwanken.

3.2.2. Einfluß der Strahlrohrweite

Nach Bild 5 wird der Widerstandsbeiwert λ_2 mit zunehmender Strahlrohrweite größer. Größerer Widerstandsbeiwert λ_2 bedeutet kleineren Widerstandsbeiwert λ und damit größere Wurfweite. Mit zunehmender Strahlrohrweite wird die Wurfweite also größer. Eine optimale Strahlrohrweite in Bezug auf den Widerstandsbeiwert war aus den Untersuchungsergebnissen nicht zu ermitteln. Der Einfluß der Strahlrohrweite auf den Widerstandsbeiwert beträgt im untersuchten Bereich etwa 30%.

3.2.3. Einfluß der Strahlrohrneigung auf die Wurfweite

Der Einfluß der Strahlrohrneigung auf die Wurfweite ist durch den gewählten Modellsatz

$$W = \frac{H}{a + \lambda H/d}$$

$$a = \frac{1}{2 \sin 2\alpha}$$

(für $\alpha = 45^\circ \rightarrow a = 0,5$)

festgelegt und entspricht den Verhältnissen im luftleeren Raum.

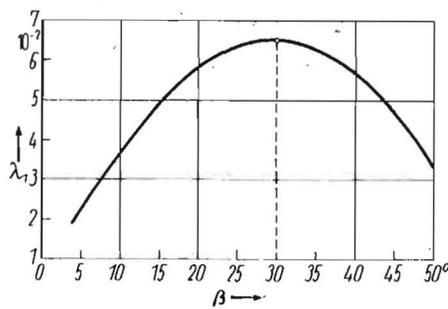


Bild 4. Einfluß des Konuswinkels auf den Widerstandsbeiwert

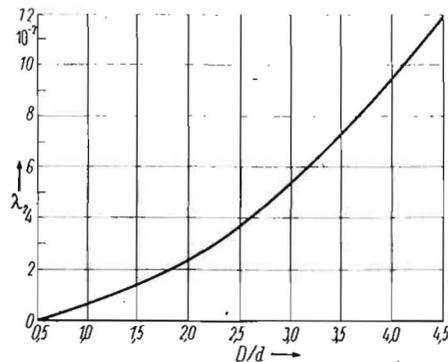


Bild 5. Einfluß der Strahlrohrweite auf den Widerstandsbeiwert

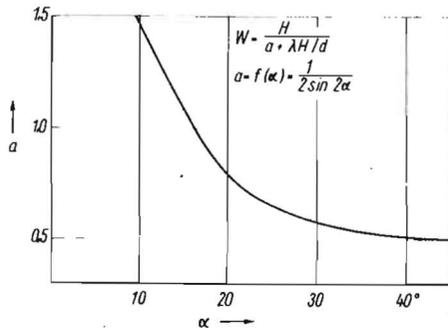


Bild 6. Beziehung zwischen Strahlrohrneigung α und dem Koeffizienten a

Danach ergibt sich die maximale Wurfweite bei einer Strahlrohrneigung von $\alpha = 45^\circ$ (Bild 6). Nach den bisherigen Auffassungen und Erfahrungen liegt die optimale Strahlrohrneigung in Bezug auf die Wurfweite unter praktischen Bedingungen jedoch bei etwa 30° . Die Strahlrohrneigungen der untersuchten Regner lagen dementsprechend zwischen $28,5$ und $31,5^\circ$. Für diesen Bereich ist die Modellgleichung zunächst auch nur definiert.

Darüber hinaus wurde die Anwendbarkeit der Gleichung auf andere Strahlrohrneigungen getestet. Im Bild 8 sind die gemessenen und die nach der Modellgleichung berechneten Wurfweiten eines Flachstrahlregners (Strahlrohrneigung $\alpha = 12^\circ$) dargestellt. Danach besteht zwischen den gemessenen und berechneten Wurfweiten auch beim Flachstrahlregner eine gute Übereinstimmung. Die Formel ist folglich auch zur Berechnung der Wurfweite bei stark abweichenden Strahlrohrneigungen geeignet.

4. Anwendungsbeispiel

Die ermittelten Beziehungen sind zur schnellen und relativ genauen Berechnung des Wasserverbrauchs und der Wurfweite von Drehstrahlregnern geeignet. Im Bild 7 sind der Wasserverbrauch des Regners Typ W 68 und des Regners Typ U 64 mit verschiedenen Düsenweiten in Abhängigkeit vom Betriebsdruck dargestellt.

Der Wasserverbrauch des Regners W 68 wurde mit Ausflußbeiwerten berechnet, die unter Berücksichtigung der konstruktiven Parameter des Regners ermittelt wurden; der des Regners U 64 wurde mit dem mittleren Ausflußbeiwert der untersuchten Regner berechnet.

Aus der Darstellung geht hervor, daß die Abweichungen zwischen berechneten und gemessenen Werten gering sind. Die Standardabweichung beträgt beim W 68 $\pm 3,6\%$ und beim U 64 $\pm 5,7\%$. Diese Fehler liegen bereits in der Größenordnung der Meßfehler.

Bild 8 zeigt die Wurfweiten der Regner W 68 und U 64 bei verschiedenen Düsenweiten und Betriebsdrücken. Auch hier wurden die Wurfweiten des Regners W 68 aus den ermittelten Beziehungen $\lambda = f(\beta, D/d)$ berechnet, die des Regners U 64 aus dem durchschnittlichen Widerstandsbeiwert der untersuchten Regner. Die Standardabweichung zwischen gemessenen und berechneten Werten beträgt beim W 68 $\pm 6\%$, beim Regner U 64 $\pm 4\%$. Auch hier ist eine gute Übereinstimmung festzustellen. Die durchgeführten Untersuchungen ermöglichen

Bild 7. Vergleich zwischen gemessenem und berechnetem Wasserverbrauch bei verschiedenen Düsenweiten und Drücken

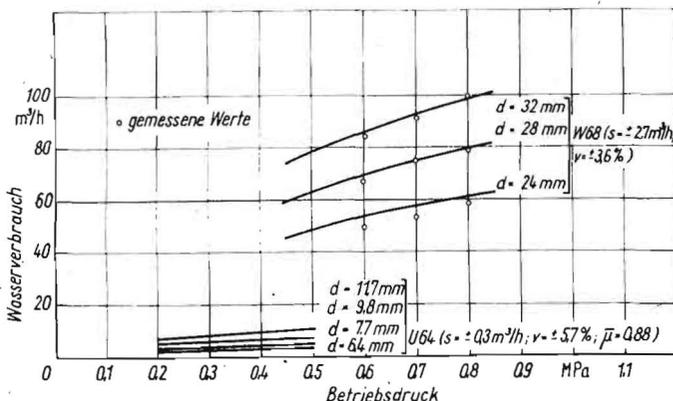
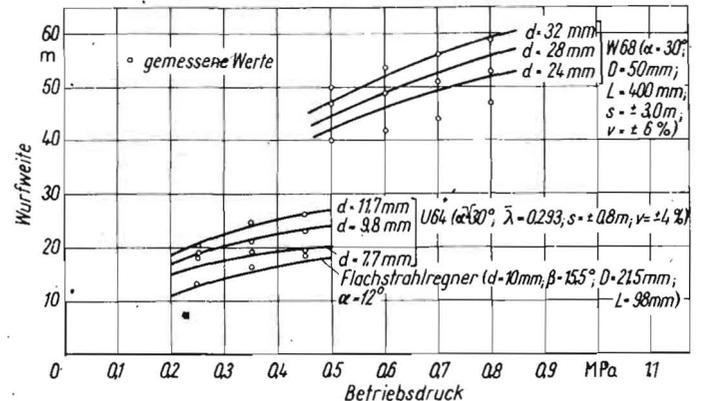


Bild 8. Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Wurfweiten bei verschiedenen Düsenweiten und Drücken



die Einschätzung, daß zum Beispiel beim Regner W 68 durch günstigere konstruktive Gestaltung eine Verbesserung der hydraulischen Leistungsfähigkeit, besonders der Wurfweite, erreicht werden kann.

Sowohl die Konuswinkel der Düsen des Regners W 68 als auch seine Strahlrohrweite entsprechen nicht den ermittelten optimalen Werten.

Die relativ großen Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten bei der Düsenweite 24 mm deuten jedoch auf weitere, hier nicht speziell erfaßte Einflußgrößen hin. Vermutlich wirken sich besonders bei der Düsenweite 24 mm fertigungstechnische Einflüsse (Fertigungsqualität), wie große Wandrauigkeit, Absätze u. ä., im Strahlrohr negativ aus.

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Ausgehend von theoretischen Überlegungen wurden in Auswertung umfangreicher experi-

menteller Untersuchungen Zusammenhänge zwischen der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Drehstrahlregnern, ausgedrückt im Ausflußbeiwert μ für den Wasserverbrauch und dem Widerstandsbeiwert λ für die Wurfweite, und der konstruktiven Gestaltung anhand der Parameter Düsenkonuswinkel, Strahlrohrweite und Strahlrohrlänge ermittelt. Sowohl für den Wasserverbrauch als auch für die Wurfweite ist ein Düsenkonuswinkel von 30° optimal. Die Strahlrohrweite sollte etwa das 3fache der Düsenweite betragen. Die ermittelten Zusammenhänge ermöglichen eine schnelle und relativ genaue rechnerische Bestimmung des Wasserverbrauchs und der Wurfweite von Drehstrahlregnern. Gleichzeitig sind sie eine Grundlage für die Entwicklung verbesserter, leistungsfähiger Regnertypen.

Literatur

- [1] Szalay, M.: Ballistische Fragen des Wasserstrahls von Beregnungsdüsen. Hidrologiai Közlöny (1963) H. 4, S. 323.

- [2] Isaev, A. P.: Optimale Arbeitsweise von Weitstrahlregnern. Mech. i. elektrifikacija socialiszičeskogo sel'skogo chozjajstva, Moskva 24 (1966) Nr. 9, S. 4—9.
- [3] Okamura, S.: Theoretische Untersuchung des Wasserstrahls aus einem Regner unter den Bedingungen der Windstille. Vodni hospodarstvi, Praha (1970) H. 7.
- [4] Voigt, D.: Untersuchungen verschiedener Regnertypen. Dt. Agrartechnik 16 (1966) H. 5, S. 210—214.
- [5] Drehstrahlregner U 64. Prüfbericht Nr. 424 der Zentralen Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim.
- [6] Gülleregner G 68. Prüfbericht Nr. 550 der Zentralen Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim.
- [7] Weitstrahlregner W 68. Prüfbericht Nr. 563 der Zentralen Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim. A 2135

Zum Temperaturverhalten von Hydraulikanlagen

Dr.-Ing. E. Hlawitschka, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

Verwendete Formelzeichen

A	Fläche
c	spezifische Wärme
k	Wärmedurchgangszahl
P_{an}	Antriebsleistung
P_v	Verlustleistung
p	Druck
t	Zeit
u	innere Energie
v	Geschwindigkeit
W	Energie
W_v	Verlustenergie
z	Lagehöhe
η_{ges}	Gesamtwirkungsgrad
η_{mech}	mechanischer Wirkungsgrad
η_{vol}	volumetrischer Wirkungsgrad
ϑ	Temperatur
ρ	Dichte

Kennzeichnend für den Betrieb von Hydraulikanlagen ist die mit zunehmender Betriebszeit ansteigende Temperatur der Gesamtanlage. Diese Erscheinung kann vornehmlich bei Landmaschinen und Traktoren häufig vom Bedienenden nicht wahrgenommen werden, da einerseits andere Wärmequellen, wie z. B. der Dieselmotor, das Temperaturniveau von Hydraulikbaugruppen verdecken können und auch die konstruktive Lösung der Gesamtmaschine

die Zugänglichkeit zu den hydrostatischen Baugruppen, die durch Befühlen zu kontrollieren sind, oft erschwert und andererseits entsprechende Temperaturmeßgeräte an der Hydraulikanlage derzeit fehlen. Diese Umstände führen dazu, daß das Temperaturniveau von Hydraulikanlagen meist völlig unbeachtet bleibt.

Besondere Aufmerksamkeit muß auch dem Betrieb von Hydraulikanlagen bei sehr niedrigen Temperaturen gelten. Solche Verhältnisse stellen sich bei mobilen Maschinen unter Umständen im Winter zum Zeitpunkt des Startens der Anlage ein.

Sowohl sehr niedrige als auch sehr hohe Temperaturen üben negative Einflüsse auf das Betriebs- und Verschleißverhalten von hydrostatischen Baugruppen aus. Es ist daher von Interesse, nach den Ursachen der Temperaturzunahme und der Möglichkeit ihrer Ermittlung und Reduzierung zu suchen.

Wärmeentwicklung infolge Energiewandlung

Hydraulikanlagen sind technische Einrichtungen, in denen Energiewandlungsprozesse ablaufen. So wird mechanische in hydraulische

bzw. hydraulische in mechanische Energie umgewandelt (Bild 1), je nachdem, ob man eine Hydraulikpumpe oder einen Hydraulikmotor betrachtet. Wegen der Unmöglichkeit, solche Vorgänge verlustlos ablaufen zu lassen, ergibt sich, daß in jeder Hydraulikanlage Verlustleistungen auftreten. Die jeweiligen Verlustleistungsanteile lassen sich durch die Höhe der entsprechenden Wirkungsgrade kennzeichnen. Diese Verlustleistungen bzw. -energien setzen sich in Wärmeenergie um, so daß diese bzw. die entsprechenden Wirkungsgrade ein Maß für die in einer Hydraulikanlage freiwerdende Wärmeenergie sind.

Eine mathematische Beschreibung der Energiewandlungsvorgänge ist mit Hilfe der Energiegleichung möglich. Für zwei beliebige Bezugspunkte 1 und 2. (Bild 1) lautet diese Energiegleichung, wenn man die Energie auf die Zeiteinheit bezieht:

$$W' = A_2 v_2 \rho_2 \left(u_2 + \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + g z_2 \right) - A_1 v_1 \rho_1 \left(u_1 + \frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} + g z_1 \right) \quad (1)$$

Bild 1. Energiefluß in Hydraulikanlagen

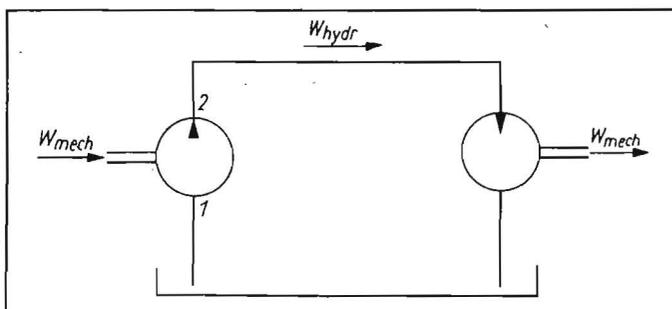


Bild 2. Temperaturverlauf in Hydraulikanlagen (schematisch)

