

weichungsgruppen regressionsanalytisch ausgewertet, wobei das Bild ein typisches Beispiel für den Regner Nr. 4 bei positionsweisem Einsatz darstellt. Für die im gleichen Bild wiedergegebenen Ergebnisse zur kompletten Berechnungsmaschine Fregat gilt eine ähnliche Vorgehensweise. Die Bestimmtheitsmaße für die Abweichungsgruppen 0, 2 und 4 betragen $B = 0,36 \dots 0,82$. Die Zusammenhänge in den Gruppen 1 und 3 sind nicht gesichert. Die Abweichungsgruppe 2 mit -20 bis 20% Abweichung von der mittleren Regenhöhe entspricht weitgehend dem Koeffizienten K der effektiv berechneten Fläche, der in der UdSSR verwendet wird [5]:

$$K = \frac{\text{Fläche, die mit } \pm 25\% \text{ Abweichung von } \bar{x} \text{ berechnet wird}}{\text{berechnete Fläche}}$$

Der Cu-Wert bezeichnet folglich bei diskontinuierlich und kontinuierlich arbeitenden Berechnungsmaschinen unterschiedliche Anteile ausreichend berechneter, unterberechneter bzw. überberechneter Flächen. Kreisberechnungsmaschinen mit kontinuierlicher Arbeitsweise haben bei gleichem Cu-Wert, z. B. 75, einen höheren Anteil gut berechneter Flächen, Abweichungsgruppe 2 mit -20 bis 20% , und damit einen geringeren Anteil ertragsmindernder Plus-Minus-Abweichungen.

Der hohe Anteil gut berechneter Flächen bei der Analyse kompletter Maschinen gilt für die Kreisberechnung nicht nur summarisch (Bild 4), sondern auch für 6 verschiedene Modifikationen mit unterschiedlicher Regnerbestückung (Bild 5):

- DM-454-100, Originalbestückung für Klarwasser, $B = 0,54^{**}$ (Kurve 1)
- DM-276-30, Originalbestückung für Gülle, $B = 0,54^{**}$ (2)

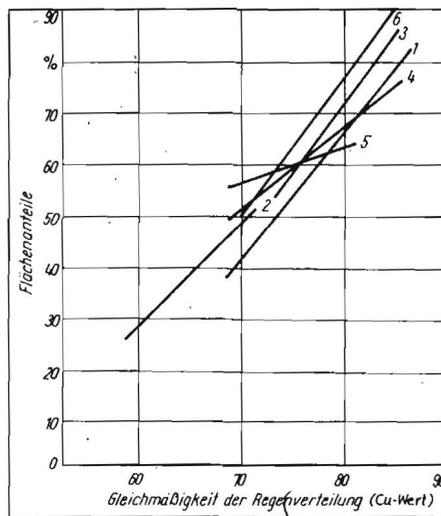


Bild 5. Zusammenhang zwischen den Flächenanteilen für die Abweichungsgruppe 2 (-20 bis 20% Abweichung von der mittleren Regenhöhe) und der Gleichmäßigkeit der Regenverteilung für 6 Fregat-Modifikationen

- DM-335-58, Originalbestückung für Klarwasser, $B = 0,77^{***}$ (3)
- DM-454-70, DDR-Bestückung für Klarwasser, $B = 0,76^{*}$ (4)
- DM-276-30, DDR-Bestückung für Gülle, $B = 0,22$ (5)
- DM-335-58, DDR-Bestückung für Klarwasser, $B = 0,93^{***}$ (6).

4. Zusammenfassung

Bei der Berechnung mit Drehstrahlregnern

wird die berechnete Fläche nicht völlig gleichmäßig mit Wasser versorgt. Als Maßstab für die Gleichmäßigkeit der Regenverteilung wird international meist der Cu-Wert nach Christiansen verwendet, über den aber nicht unmittelbar auf den Mehrertrag geschlossen werden kann. Dazu ist die Kenntnis der ausreichend berechneten, unterberechneten bzw. überberechneten Flächenanteile wichtig. Bei gleichem Cu-Wert haben diskontinuierlich, positionsweise arbeitende Maschinen einen höheren Anteil unzureichend berechneter Fläche als kontinuierlich arbeitende Maschinen. Die Ermittlung der o. g. Flächenanteile fällt als Zwischenschritt bei der Berechnung dieses Zwischenschrittes sollte in Zukunft Bestandteil jeder Regnerprüfung sein.

Literatur

- [1] Meyer, L. D.: Modelling conservation practices (Modellierung der Schutzpraxis). In: Morgan, R. P. C.: Soil Conservation (Sammelband), CTI-Press, Großbritannien (1981) S. 33-44.
- [2] Ploey, J. de: A stemflow equation for grasses and similar vegetation (Eine Stengelabflußgleichung für Gräser und ähnliche Vegetation). Catena 43 (1982) 1/2, S. 139-152.
- [3] Stern, J.; Bresler, E.: Nonuniform sprinkler irrigation and crop yield (Ungleichmäßige Beregnung und Pflanzenertrag). Irrigation Science, New York 4 (1983) 1, S. 17-29.
- [4] Solomon, K.-H.: Coefficient of uniformity (Der Uniformitätskoeffizient). The Irrigation Association, Jahrbuch 1983. Technical Conference Proc., Denver, Colorado (USA) S. 194-199.
- [5] Štangej, A. I.; Grin, Ju. I.: Ocenka osnovnych pokazatelej kačstva poliva mašinoj „Kuban“ (Die Bestimmung wesentlicher Parameter der Beregnungsqualität mit der Maschine Kuban). Ekspres-Informacija, Melior. i Vodnoe Choz., Moskva (1985) 6, S. 1-10. A 5038

Dynamische Einflußfaktoren auf die Kaltwasserhochdruckreinigung

Dr.-Ing. J. Sobzig/Dr. agr. G. Wirsching

Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

A_D	m^2	Düsenquerschnittsfläche
A_s	m^2	Strahlwirkungsfläche
b_s	m	Strahlbreite
d_0	m	Düsenöffnungsdurchmesser
F	N	Kraft
F_s	N	Strahlkraft
l_s	m	Strahlänge
P_p	kW	Pumpenleistung
p_0	Pa	Ausgangsdruck
p_s	N/mm ²	Strahlendruck
s	m	Schlitzbreite
\dot{V}	m ³	Volumenstrom
\dot{V}_e	m ³	effektiver Volumenstrom
v_s	m/s	mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Freistrahls
v_R	m ² /h	Reinigungsgeschwindigkeit
α	°	Strahlwinkel
α_0	°	düsenpezifischer Ausflußbeiwert
β	°	Strahlneigungswinkel
λ		Rohrreibungszahl
ζ		Widerstandsbeiwert der Geschwindigkeit

verwendet. Für die Wirtschaftlichkeit des Reinigungsverfahrens ist die Größe der flächenspezifischen Aufwendungen an Arbeitszeit, Elektroenergie und Wasser entscheidend [1]. Diese Aufwendungen werden durch eine Reihe von Einflußfaktoren bestimmt [2].

2. Einflußfaktoren

Die Einflußfaktoren auf die Hochdruckreinigung lassen sich den Arbeits- bzw. Betriebsparametern zuordnen (Bild 1). Zu den Arbeitsparametern zählen Arbeitstechnik und Geschicklichkeit der Bedienperson des Reinigungsgeräts. Die Bedienperson trifft die Düsenauswahl, entscheidet über die Einwirkdauer der Faktoren und den Abstand der Düse zum Reinigungsobjekt.

Die Betriebsparameter werden durch die Wirkungsweise des Wassers charakterisiert. Entscheidend bei der Kaltwasserhochdruckreinigung ist der hydromechanische Einfluß durch Druck und Volumenstrom des Wasserstrahls. Entsprechend dem Trend zu hohen Arbeitsdrücken und somit zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten des Wassers er-

gibt sich das Problem des unerwünschten frühzeitigen Strahlerfalls. Damit ist ein erhöhter Verlust an kinetischer Energie des Wasserstrahls verbunden, der sich wiederum negativ auf das Schmutzablösevermögen auswirken kann.

3. Ordnung der funktionellen Zusammenhänge

Im Ergebnis der Analyse der theoretischen Zusammenhänge und aus Erkenntnissen von Reinigungsversuchen lassen sich die Abhängigkeiten der Einflußfaktoren ordnen (Bild 2 und 3). Die Zielgröße des Reinigungsprozesses ist die Reinigungsgeschwindigkeit, d. h. die gereinigte Fläche je Zeiteinheit. Dabei zeigt sich, daß diese Zielgröße nur vom Strahlendruck abhängt. Der Strahlendruck p_s ist eine Funktion der Strahlkraft F_s und der Strahlwirkungsfläche A_s entsprechend dem formelmäßigen Zusammenhang. In die Beziehung der Strahlwirkungsfläche A_s gehen die Strahlänge l_s , die Strahlbreite b_s , der Strahlwinkel α sowie der Strahlneigungswinkel β als unabhängige Variable ein. Die Strahlkraft F_s wird funktionell bestimmt vom

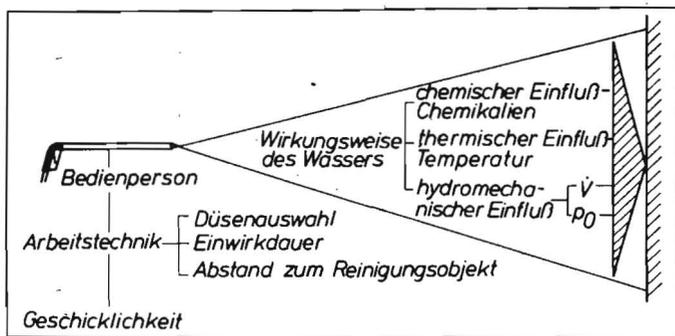
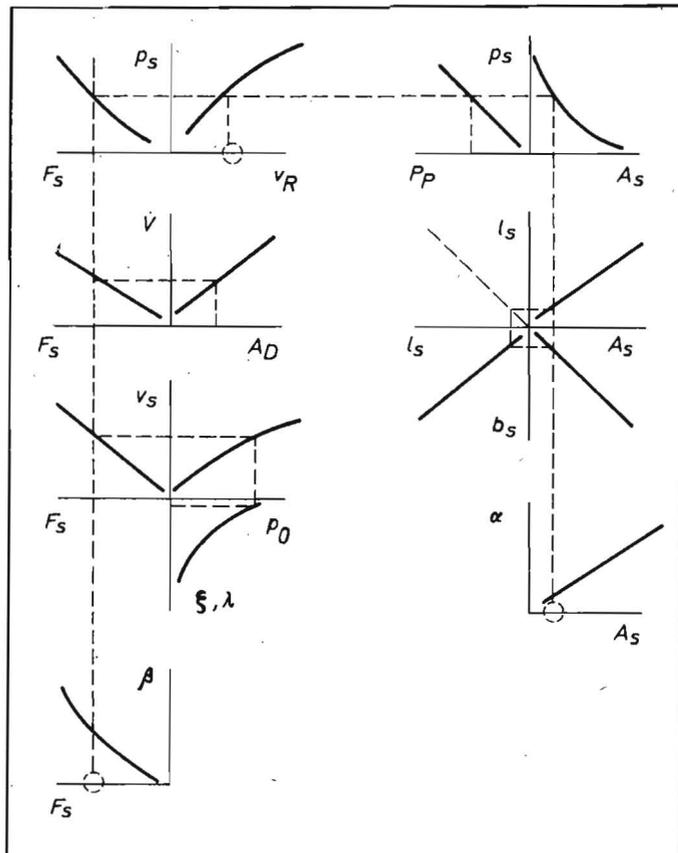
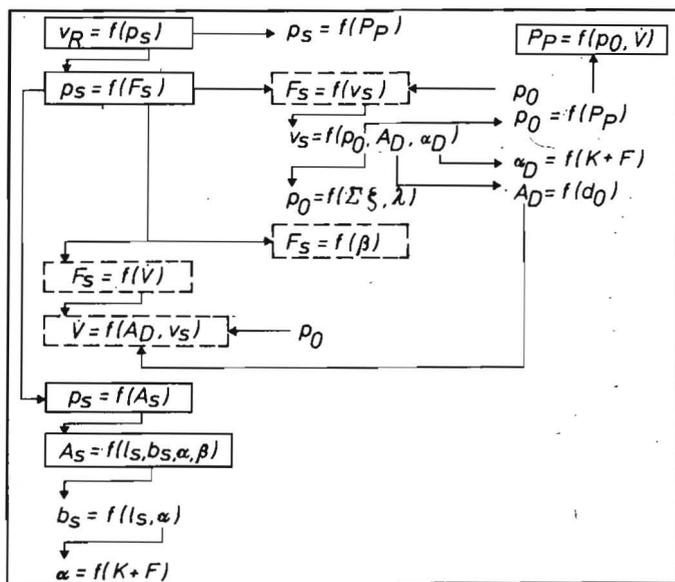


Bild 1. Einflussfaktoren auf die Hochdruckreinigung (nach [3])
 Bild 3. Nomogramm wesentlicher Abhängigkeiten zur Kennzeichnung der Einflussfaktoren
 Bild 2. Ordnung der Abhängigkeiten der Einflussfaktoren; (K + F) Konstruktion und Fertigung
 — experimentell untersucht - - - rechnerisch ermittelt



Tafel 1. Untersuchte Düsen

Düse	\dot{V}_0 bei $p_0 = 10 \text{ MPa}$ l/h	α °	d_0 mm	s mm
D 12	706,6	24,3	1,632	1,323
A 11	755,5	27,0	1,594	1,338
D 10	778,1	35,5	1,615	1,336
D 16	998,1	16,1	1,910	1,506
A 7	1 135,8	27,9	2,069	1,507

Ausgangsdruck p_0 über die Geschwindigkeit v_s des Strahls und somit von den Konstruktionsparametern der Düse, wie Düsenquerschnittsfläche A_D und düsenpezifischer Ausflußbeiwert α_D . Diese Parameter sind z. T. konstruktions- und z. T. fertigungsbedingt. Die Strahlkraft F_s ist aber auch vom Volumenstrom V und vom Strahlneigungswinkel β abhängig. Der Volumenstrom steht in Beziehung zur Düsenaustrittsfläche A_D und zur Geschwindigkeit v_s des Strahls, die wiederum mit dem Ausgangsdruck zusammenhängt. Wesentliche Abhängigkeiten wurden experimentell untersucht bzw. errechnet.

4. Untersuchungsmethoden

Die experimentellen Untersuchungen zur Quantifizierung der funktionellen Zusammenhänge der Einflussfaktoren erfolgten im Labor auf einem Reinigungsprüfstand. Dabei wurden mit Testschmutz beschichtete Versuchsplatten einem Reinigungsprozeß unterzogen und die Reinigungsgeschwindigkeit ermittelt. Strahlkraft und Strahldruck wurden auf einem speziellen Kraftmeßstand bestimmt [4]. Die Versuche wurden mit serienmäßigen Flachstrahldüsen, die sich im Volumenstrom wesentlich unterscheiden, durchgeführt (Tafel 1).

5. Wesentliche Ergebnisse

5.1. Einfluß von Ausgangsdruck und Strahlänge auf den Strahl Druck

Der Strahl Druckverlauf in Abhängigkeit von

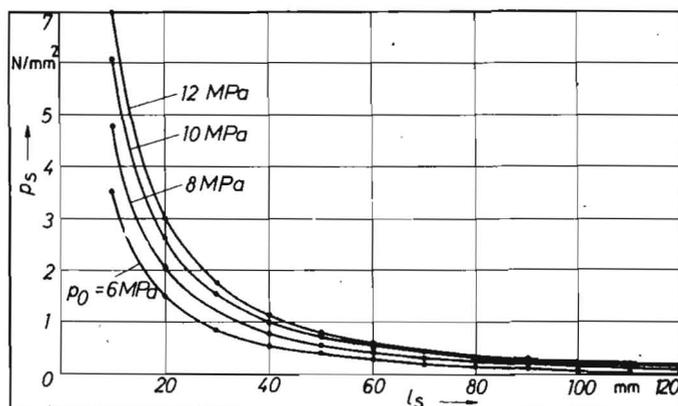
Strahlänge und Ausgangsdruck ist im Bild 4 dargestellt. Die exponentielle Abnahme des Strahl drucks über die Strahlänge ist für alle Ausgangsdrücke charakteristisch. Der am Beispiel der Düse D 12 gezeigte Verlauf der Strahl drucklinien ist bei den untersuchten Düsen ähnlich und zeigt nur Unterschiede hinsichtlich der absoluten Strahl drücke entsprechend den Strahlkräften und Strahlwinkeln der Düsen. Im Bereich der Strahlänge von 10 bis 50 mm fällt der Strahl druck relativ steil ab, über 50 mm nur noch in geringem Maß. Die Unterschiede in der Strahl druckdifferenz von einem Ausgangsdruck zum anderen werden mit zunehmender Strahlänge immer geringer. Die Strahl druckdifferenzen bei konstanter Strahlänge werden mit zu-

nehmendem Ausgangsdruck kleiner. Ursache dafür ist wiederum der intensive Strahl zerfall mit größer werdenden Strömungsgeschwindigkeiten, der sich hiermit nachweisen läßt. Man erkennt weiter, daß für den praktischen Reinigungsprozeß die Strahlänge so klein wie möglich zu halten ist, um den vorhandenen Strahl druck effektiv für die Schmutzablösung einsetzen zu können.

5.2. Abhängigkeit der Reinigungsgeschwindigkeit vom Strahl druck

Für Düsen mit gleichem Strahlwinkel läßt sich die direkte funktionelle Abhängigkeit der Reinigungsgeschwindigkeit vom Strahl druck nachweisen (Bild 5). Obwohl sich die Düsen A 7 (großer Volumenstrom) und A 11

Bild 4
 Experimentell ermittelter Strahl druck für verschiedene Ausgangsdrücke in Abhängigkeit von der Strahlänge für die Düse D 12



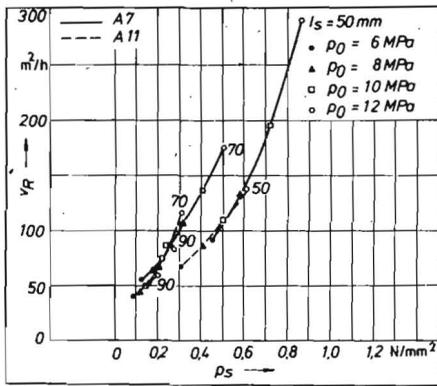


Bild 5. Reinreinigungsgeschwindigkeit der Düsen A11 und A7 als Funktion des Strahlendrucks

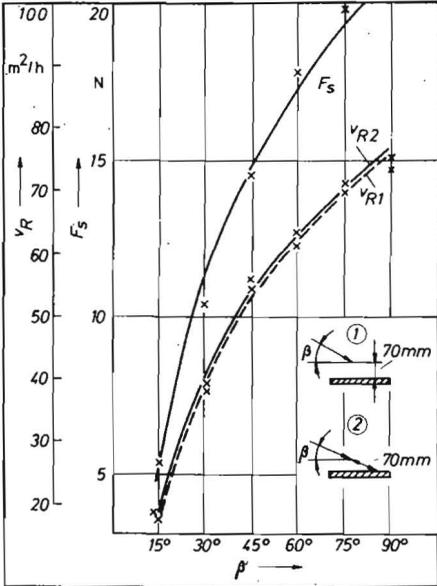


Bild 6. Reinreinigungsgeschwindigkeit und Strahlkraft in Abhängigkeit vom Strahlneigungswinkel β für die Düse A11 ($p_0 = 8 \text{ MPa}$);
 $F_s = -19,37 + 8,96 \ln \beta$
 $(B = 0,9955)$
 $v_{R1} = -71,03 + 32,59 \ln \beta$
 $(B = 0,9944)$
 $v_{R2} = -71,64 + 32,84 \ln \beta$
 $(B = 0,9941)$

(kleiner Volumenstrom) in der Strahlkraft und im Strahlendruck je nach Ausgangsdruck erheblich unterscheiden, wird sichtbar, daß bei gleichem Strahlendruck der Düsen annähernd gleiche Reinigungsgeschwindigkeiten erreicht werden.

5.3. Einfluß des Strahlneigungswinkels auf die Reinigungsgeschwindigkeit

Der Strahlneigungswinkel bestimmt ebenso wie der Ausgangsdruck und der Volumenstrom die Strahlkraft und damit die Reinigungsgeschwindigkeit. Strahlkraft und Reinigungsgeschwindigkeit erreichen bei $\beta = 90^\circ$ ihr Maximum (Bild 6). Die größte Zunahme der Reinigungsgeschwindigkeit ist im Bereich von 30° bis 60° für den Strahlwinkel zu erkennen. Demzufolge ist für die Praxis der Bereich von 30° bis 60° relevant.

6. Ökonomische Wertung der Ergebnisse

Wird der spezifische Wasserverbrauch in l/m^2 für alle untersuchten Düsen als Funktion des Ausgangsdrucks bei verschiedenen Strahlängen betrachtet, so wird deutlich, daß eine Senkung mit steigendem Druck er-

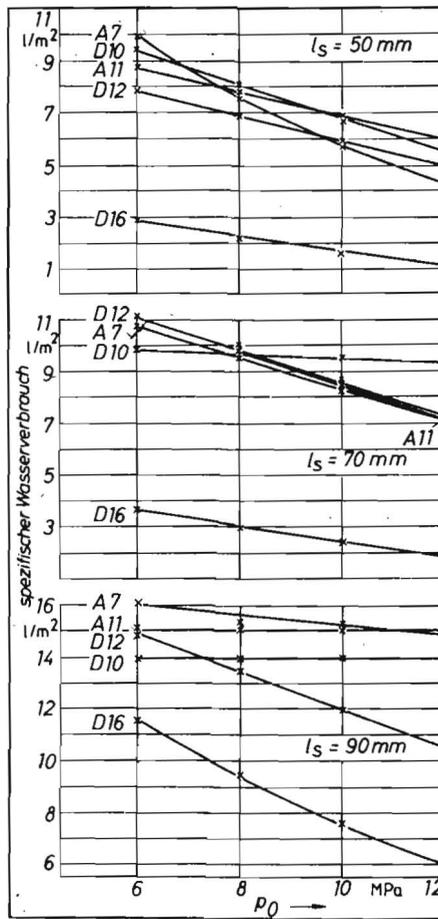


Bild 7. Spezifischer Wasserverbrauch als Funktion des Ausgangsdrucks bei verschiedenen Strahlängen

reicht werden kann. Je geringer die Strahlänge ist, desto weniger Wasser muß zur Reinigung verwendet werden (Bild 7). Große Volumenströme sind nicht mit einem hohen Wasserverbrauch gleichzusetzen. Hinsichtlich der Senkung des spezifischen Elektroenergieverbrauchs ergibt sich ebenfalls ein Vorteil bei Verwendung einer dem Druck angepaßten Düse mit hohem Volumenstrom. Wird zum Beispiel der Schnittpunkt beider Kurven bei $l_s = 70 \text{ mm}$ betrachtet, so ergeben sich für beide Düsen unterschiedliche erforderliche Pumpenleistungen zur Erzielung der gleichen Reinigungsgeschwindigkeit:

$$- \text{D12: } P_p = \frac{100 \cdot 707}{600} = 1,96 \text{ kW}$$

$$- \text{A7: } P_p = \frac{60 \cdot 909}{600} = 1,51 \text{ kW.}$$

Eine Erhöhung des Volumenstroms um 22% bringt praktisch das gleiche Reinigungsergebnis wie eine Druckerhöhung um 40%, aber mit 23% geringerem spezifischem energetischem Aufwand (Bild 8).

7. Zusammenfassung

Das Ziel der hydromechanischen Reinigung in der Tierproduktion ist die Senkung der flächenspezifischen Aufwendungen für Energie, Wasser und Arbeitszeit. Mit Hilfe neuentwickelter Versuchsmethoden erfolgte die Bestimmung von Strahlkraft und Strahlendruck der Freistrahlen sowie die labormäßige Ermittlung der Reinigungsgeschwindigkeit von Flachstrahldüsen in Abhängigkeit von Druck

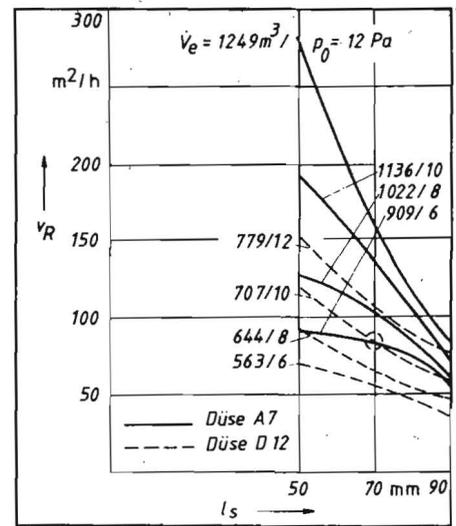


Bild 8. Reinreinigungsgeschwindigkeit der Düsen D12 und A7 als Funktion der Strahlänge bei verschiedenen Ausgangsdrücken

und Volumenstrom und anderen Einflußfaktoren, wie Strahlänge, Strahlneigungswinkel und Strahlwinkel.

Im Ergebnis der Untersuchungen konnten die hydromechanischen Einflußgrößen geordnet und die funktionellen Zusammenhänge dargestellt werden. Die Reinigungsgeschwindigkeit steht im direkten funktionellen Zusammenhang zum Strahlendruck des ebenen Flüssigkeitsstrahls.

Aus den quantitativen Verhältnissen wurden Hinweise für die praktische Gestaltung des Reinigungsprozesses abgeleitet.

Literatur

- [1] Sobzig, J.; Wirsching, G.; Hörnig, G.: Untersuchungen zum Einfluß von Druck und Volumenstrom auf das Ablösen von Schmutzschichten. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 11, S. 508-510.
- [2] Sobzig, J.: Beitrag zur Charakterisierung der dynamischen Einflußfaktoren bei der hydromechanischen Reinigung mit Kaltwasserhochdruckstrahlen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation A 1987.
- [3] Reinhard, M.: Hochdruckreiniger in der Landwirtschaft. Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft Kiel, Kartell für Rationalisierung, Sonderdruck 1978.
- [4] Wirsching, G.; Sobzig, J.: Einfluß von Druck und Volumenstrom auf die Reinigung mit Kaltwasserhochdruckstrahlen. Tagungsberichte der AdL der DDR, Berlin (1986) 251, S. 139-145.

A 4987

Berichtigung

Im Heft 8/1987 unserer Zeitschrift ist auf Seite 356 die Gleichung (2) falsch wiedergegeben worden.

Sie muß lauten:

$$N_k = \prod_{i=1}^k Q_{\text{opt}} \cdot 100 \%$$

Wir bitten um Entschuldigung.

Die Redaktion