

Durchsatz die Druckhöhe H gleichlaufend fällt.

Der Wirkungsgrad η hat ebenfalls die Form einer Parabel, wobei η_{\max} im Bereich von P_{\max} liegt.

In Tafel 2 sind in diesem Zusammenhang die maximalen Leistungen und die maximalen Wirkungsgrade aller untersuchten zweiarmigen Segnerschen Wasserräder festgehalten. Trägt man die einzelnen Leistungsparameter in Abhängigkeit von der Regnerrohrlänge R_2 und der Druckhöhe H in ein dafür vorgesehenes Diagramm ein, so erhält man das im Bild 4 dargestellte Leistungsschaubild. Der Kurvenverlauf ist dabei ebenfalls auf orthogonale Polynome zweiten Grades zurückgeführt.

4. Diskussion

Die bisherigen Ergebnisse können je nach der konkreten Fragestellung in den verschiedenen Richtungen ausgewertet werden. An dieser Stelle sollen stichpunktartig nur einige besonders wesentliche Schlußfolgerungen gezogen werden:

- Der absolut höchste gemessene Wirkungsgrad Segnerscher Wasserräder liegt bei $\eta = 46,6\%$ (Tafel 2). Vergleicht man den Wirkungsgrad des Segnerschen Wasserrades mit den aus der Literatur bekannten Wirkungsgraden von Turbinen ($\eta = 82 \dots 93\%$) [3], so liegt das Segnersche Wasserrad noch deutlich darunter. Die prinzipielle Unterlegenheit des Segnerschen Wasserrades bei der Umwandlung von Strömungsenergie in mechani-

sche Energie begründet Queitsch [1] damit, daß das Antriebswasser selbst in umlaufende Bewegung versetzt wird und damit einen Teil der Antriebsleistung verbraucht. Die geringere Ausnutzung der Antriebsleistung ergibt sich aus der Relativgeschwindigkeit zwischen ausfließendem Wasser und bewegtem Rohr, die nicht Null werden kann.

- Der erzielte Wirkungsgrad von $\eta_{\max} \approx 46\%$ resultiert aber auch daraus, daß das aus dem Segnerschen Wasserrad austretende Wasser noch ein hohes Maß an Strömungsenergie hat. Diese Energie ist für die Verteilung der Beregnungsflüssigkeit nutzbar.
- Durch optimale Anpassung des Segnerschen Wasserrades an strömungsmechanisch günstige Bedingungen ist eine Wirkungsgraderhöhung möglich.
- Alle Messungen zeigen deutlich eine Abhängigkeit des Wasserverbrauchs Segnerscher Wasserräder von der Winkelgeschwindigkeit (Bild 3 und Tafel 1). Dieser Effekt läßt sich aus der Wirkung der Fliehkraft auf die mit den Regnerrohren rotierende Flüssigkeit erklären.
- Der Radius beeinflußt nach Tafel 2 bzw. Bild 4 die Größe der gemessenen Leistung. Ein Optimum liegt - unabhängig von der Druckhöhe H - bei einem Radius $R_2 \approx 3,0$ m. Zum anderen ist zu erkennen, daß im untersuchten Druckbereich die effektive Leistungszunahme mit steigender Druckhöhe wächst.

- Die technische Einfachheit des Segnerschen Wasserrades ist im Vergleich zu anderen Antriebseinrichtungen vorteilhaft.

5. Zusammenfassung

Anhand von Untersuchungen eines hydroreaktiven Antriebs auf der Grundlage des Segnerschen Wasserrades wurden für Beregnungsmaschinen experimentell ermittelte Leistungsparameter mitgeteilt. Sie sind - verglichen beispielsweise mit bekannten Leistungsanforderungen von Kreisberegnungsmaschinen und geradeaus fahrenden Beregnungsmaschinen - von praktischer Bedeutung.

Für fundierte Aussagen zur Anwendbarkeit des Segnerschen Wasserrades als Antriebsprinzip für Beregnungsmaschinen sind allerdings weitere Untersuchungen, vor allem zur Übertragung der mechanischen Leistung des hydroreaktiven Antriebs zum Fahrwerk, sowie Niederschlags- und Verteilmessungen erforderlich.

Literatur

- [1] Queitsch, K.; Lohmann, F.: Theoretische Grundlagen zur Bemessung und Gestaltung des hydroreaktiven Antriebes für Beregnungsmaschinen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Bericht zur Neuerervereinbarung, Dezember 1980 (unveröffentlicht).
- [2] Gumz, G.; Müller, N.: Vorrichtung zum Antrieb und zur Flüssigkeitsverteilung bei Beregnungsmaschinen. Patent WPA 01 G/223613. Anmeldetag: 29. Aug. 1980.
- [3] Pfeleiderer, C.; Petermann, H.: Strömungsmaschinen. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1964. A 3480

Methoden und Rechenprogramm zur Ermittlung der Niederschlagsverteilung bei kontinuierlich geradeausfahrenden Beregnungsmaschinen

Dipl.-Ing. D. Streuber/Dr. R. Winter, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Problematik

Das Streben nach hochproduktiven Verfahren für die Beregnung zog u. a. die Entwicklung einer Reihe von kontinuierlich geradeausfahrenden Maschinen nach sich (z. B. Konsolberegnungsmaschine DDA-100 M und geradeausfahrende Beregnungsmaschine KUBAN [1,2], beide aus der UdSSR, sowie Schlauchberegnungsmaschine PP 67 aus der ČSSR), die mit herkömmlichen Regnern, Düsen oder speziellen Ausbringorganen ausgerüstet sind und kontinuierlich während der Vorwärtsbewegung beregnen.

Die Entwicklung derartiger Beregnungsmaschinen ist noch nicht abgeschlossen. Eine Richtung ihrer weiteren Vervollkommnung ist die Schaffung und Anordnung spezieller Ausbringorgane, wie sie z. B. an der Beregnungsmaschine KUBAN realisiert sind, die es ermöglichen, neben Klarwasser auch andere Medien (z. B. Gülle) bodennah und mit geringer Umweltbelastung auszubringen. Mit den Neuentwicklungen werden eine Herabsetzung des Betriebsdrucks von 0,6 bis 0,8 MPa auf 0,3 bis 0,5 MPa und dadurch eine wesentliche Energieeinsparung beim Beregnungsbetrieb ermöglicht.

Für den effektiven Einsatz der Beregnungsmaschine ist eine möglichst gleichmäßige örtliche Niederschlagsverteilung erforder-

lich. Als Kennzahl dafür hat international der auf der mittleren arithmetischen Abweichung basierende CU-Koeffizient nach Christiansen große Bedeutung erlangt:

$$CU = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \bar{x}} \right) \quad (1)$$

Je nach Pflanzenabstand werden Werte für den CU-Koeffizienten von 65 bis 85 % gefordert [3].

Bereits bei der Konstruktion soll gewährleistet werden, daß die geforderte Gleichmäßigkeit der Niederschlagsverteilung erreicht wird. Dazu wird eine Methode benötigt, mit der die Niederschlagsverteilung der kontinuierlich geradeausfahrenden Beregnungsmaschinen aus der Niederschlagsverteilung einzelner Regner vorausbestimmt werden kann. Das ist besonders bei neuen Organen zur bodennahen Ausbringung erforderlich.

2. Erkenntnisstand

Bei kontinuierlich vorwärts bewegten Kreisregnern kann davon ausgegangen werden, daß die Vorwärtsbewegung je Umdrehung des Regners klein im Verhältnis zu seiner Wurfweite ist. Somit wird von dem Regner ein Streifen von der Breite seiner doppelten

Wurfweite beregnet. Im Idealfall, d. h. ohne zeitliche Veränderungen von

- Senkrechtstellung der Drehachse des Regners

- Winkelgeschwindigkeit
- Geschwindigkeit der Vorwärtsbewegung

- Flüssigkeitsdruck an der Düse
- Die Niederschlagsdichte in mm/h verändert sich auf jeder Parallelen zur Bewegungsbahn des Regners völlig gleichmäßig. Dagegen ist die Verteilung quer zur Bewegungsbahn zwar symmetrisch, aber ungleichmäßig. Die Niederschlagsdichte in mm/h verändert sich zwischen 0 an den Grenzlinien des berechneten Streifens und einem Maximum in der Spur der Regnerachse.

In [4, 5, 6] werden Verfahren beschrieben, mit denen aus der radialen Niederschlagsverteilung von kontinuierlich vorwärts bewegten Drehstrahlregnern die Niederschlagsverteilung quer zu ihrer Bewegungsbahn berechnet werden kann, die sich einstellt, wenn der momentane Niederschlagskreis um den Regner eine Strecke von der Länge seines Durchmessers voll überstrichen hat. Diese Berechnungsverfahren erstrecken sich aber nur auf einfache Spezialfälle, bei denen die Radialverteilung

- konstant ist (Rechteckverteilung)
- entsprechend der Beziehung $(b/a) \sqrt{a^2 - r^2}$

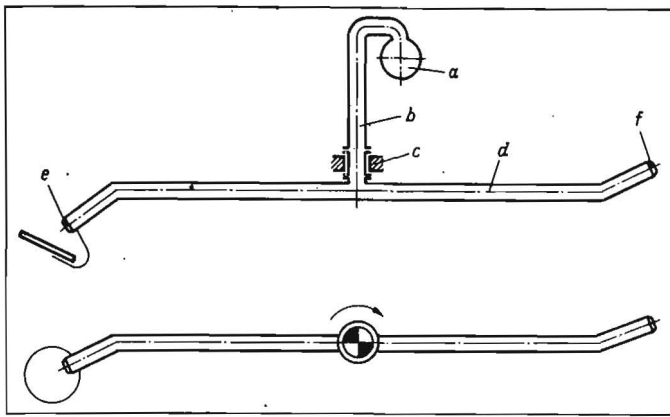
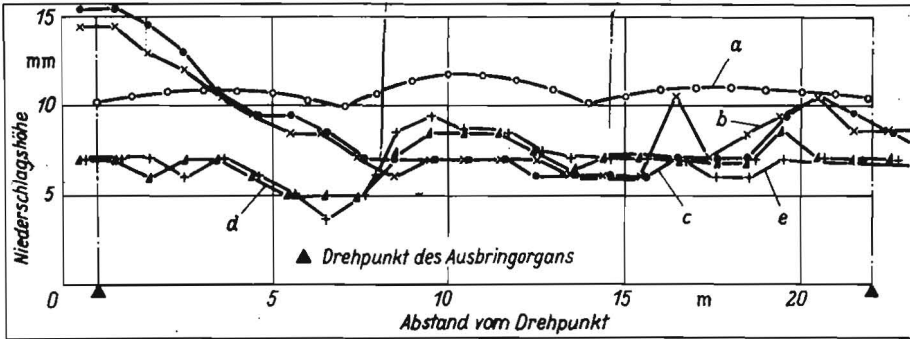


Bild 1
Prinzipieller Aufbau des rotierenden bodennahen Ausbringorgans; a Rohrleitung der Beregnungsmaschine, b Zuführungsleitung, c Drehgelenk, d Verteilerleitung, e Nahberegnungsdüse d₁ mit Prallteller, f Weitstrahldüse d₂



nach außen geringer wird, also elliptische Verteilung vorliegt (a, b Konstanten, r Abstand vom Regner)
- linear von innen nach außen abnimmt (Dreieckverteilung).

Hauptsächlich für die bodennahe Gülleausbringung wurden rotierende ein- und zwei-düsige Ausbringorgane entwickelt, deren radiale Niederschlagsverteilung sich erheblich von den vorgenannten Grundformen unterscheidet. Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen bodennahen Ausbringorgans mit einer Nahbereichsdüse d₁ (Pos. e) und einer Weitstrahldüse d₂ (Pos. f). Im Bild 2 sind einige Beispiele experimentell bestimmter Radialverteilungen dargestellt, die mit solchen Ausbringorganen erzielt werden. Deshalb wurde es notwendig, nach einer Lösung zu suchen, die es ermöglicht, aus einer Radialverteilung beliebiger Charakteristik die zugehörige Querverteilung zu berechnen, um daraus optimale Regnerabstände und zugeordnete CU-Koeffizienten zu bestimmen.

3. Rechnungsweg

Für die experimentell punktweise bestimmte Verteilung der radialen Niederschlagsdichte p_i werden durch polynomiale Regression die Koeffizienten a_i eines Polynoms berechnet:

$$p_i = a_0 + \sum_{l=1}^n a_l r^l \quad (2)$$

Das für diese Berechnungen vorhandene EDV-Programm LIRE ermöglichte die Berechnung von Polynomen 5. Grades. Damit konnten die experimentell bestimmten Radialverteilungen zufriedenstellend abgebildet werden.

Mit Gl. (2) liegt ein analytischer Ausdruck für die Niederschlagsdichte im Abstand r (r ≤ w, w Wurfweite) von der Drehachse des Ausbringorgans, d. h. in Polarkoordinaten, vor. Dieser Ausdruck wird nach Gl. (3)

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

in kartesische Koordinaten umgerechnet (y Richtung der Bewegung des Ausbringor-

gans, x Richtung senkrecht dazu) und für feingestufte x_i-Werte (x_i ≤ w) in den Grenzen

$$-\sqrt{w^2 - x_i^2} \leq y \leq +\sqrt{w^2 - x_i^2}$$

integriert und durch die Geschwindigkeit v der Vorwärtsbewegung des Ausbringorgans dividiert. Das Ergebnis ist die gesuchte Niederschlagshöhe p_x in mm, die auf ein Flächenelement im Abstand x_i von der Bewegungsbahn des Regnerdrehpunkts gefallen ist, nachdem der Niederschlagskreis dieses Flächenelement vollständig überstrichen hat. Für diese Berechnungen wurde das FORTRAN-Programm KRUN [7] erarbeitet. Mit diesem Programm werden aus den einzugebenden Polynomkoeffizienten a_i der Radialverteilung die Wurfweite w des Ausbringorgans und 31 Niederschlagswerte p_{x_i} für linear gestufte Abstände x_i von x₁ = 0 bis x₃₁ = w berechnet und ausgegeben. Anschließend werden die Niederschlagsverteilungen zweier benachbarter Regner überlagert, wobei deren Abstand s in Schritten von der Länge w/30 im Bereich w ≤ s ≤ 2 w variiert wird.

Für jeden der 31 Regnerabstände werden der CU-Koeffizient und andere Kennzahlen zur Charakterisierung der Gleichmäßigkeit der Niederschlagsverteilung berechnet und ausgegeben. Das läßt mühelos denjenigen Regnerabstand erkennen, der die beste Gleichmäßigkeit der Verteilung ergibt. Außerdem ist eine Einschätzung möglich, wie die Gleichmäßigkeit der Niederschlagsverteilung bei Abweichung der Regnerabstände von den Optimalwerten beeinflusst wird. Beispielsweise ist es dadurch auch möglich, den größtmöglichen (materialökonomisch günstigsten) Regnerabstand zu erkennen, mit dem bei Einhaltung der im Abschn. 2 aufgeführten Idealbedingungen ein geforderter CU-Mindestwert gerade noch erreicht wird. Es wird unterstellt, daß die im Abschn. 2 dargelegte Konstanz von Bedingungen erfüllt und kein Windeinfluß wirksam ist.

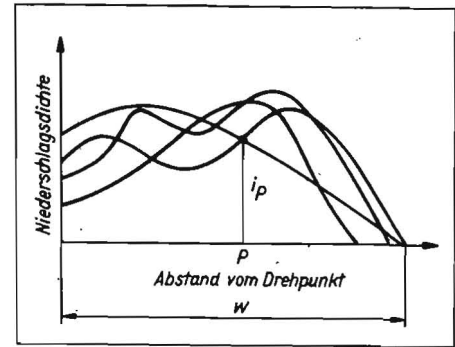


Bild 2. Radiale Niederschlagsverteilung bei ortsfestem Regner; w Wurfweite

Bild 3. Niederschlagsverteilung der kontinuierlich geradeausfahrenden Beregnungsmaschine;

- a theoretisch ermittelte Niederschlagsverteilung bei den Parametern: d₁ = d₂ = 12 mm, v = 10 m/min, CU = 97 %, p ≈ 0,20 MPa, v_w = 0
- b, c gemessene Niederschlagsverteilung bei den Parametern: d₁ = d₂ = 12 mm, v = 12 m/min, CU = 77 %, p ≈ 0,25 MPa, v_w = 1,0 m/s
- d, e gemessene Niederschlagsverteilung bei den Parametern wie für die Kurven b, c außer CU = 88 %, p ≈ 0,15 MPa

4. Beurteilung der Ergebnisse

Eine völlige Konstanz der vorher erwähnten Bedingungen ist im praktischen Einsatz nicht zu erreichen. Deshalb wurden berechnete Kurven für die Querverteilung des Niederschlags mit experimentellen Verteilungskurven verglichen, die unter ähnlichen Bedingungen gemessen worden sind. Bild 3 zeigt zwischen den aufgemessenen Kurven d und e und der berechneten Kurve a in der Tendenz (unterschiedliche Absolutwerte resultieren aus verschiedenen Drücken und Geschwindigkeiten) gute Übereinstimmung. Die ausgeprägte Unsymmetrie der Meßkurven b und c muß auf Windeinfluß zurückgeführt werden. Um einen Eindruck von der Wirkung der bei den Rechnungen ausgeklammerten Fehlereinflüsse zu bekommen, sollte auf die experimentelle Ermittlung von Querverteilungen nicht gänzlich verzichtet werden.

Literatur

- [1] Für eine breite Einführung neuer Beregnungsmaschinen. Hydrotechnik und Melioration, Moskau (1981) 9, S. 40-47.
- [2] Nikulin, S. V.; Smirnov, D. B.: Die Beregnungsmaschine „KUBAN“. Hydrotechnik und Melioration, Moskau (1981) 7, S. 38-41.
- [3] Pillsburg, A. F.: Beregnungsanlagen. FAO, Agricultural Development, Paper Nr. 88, Selbstverlag FAO, Rom 1977.
- [4] Bittinger, M. W.; Longenbaugh, R. A.: Theoretische Verteilung von Wasser aus einer beweglichen Beregnungsanlage. Transaction of ASAE, St. Joseph, Mich. 5 (1962) 1, S. 26-30.
- [5] Hummel, H.-G.: Niederschlagsverteilung von Regnern mit geradliniger oder kreisförmiger Vorwärtsbewegung. agrartechnik, Berlin 25 (1975) 10, S. 502-504.
- [6] Rajkov, R.: Bestimmung der Querverteilung der Regner bei Beregnung, vereint mit geradliniger, gleichmäßiger Bewegung, Sel'skostopanska tehnika, Sofia 9 (1972) 5, S. 85-91.
- [7] Winter, R.: Rechenprogramm KRUN (kontinuierlich bewegte Regner-Uniformität der Niederschlagsverteilung). Berechnung der Uniformitätskennzahlen für die Niederschlagsverteilung von geradlinig und kontinuierlich vorwärtsbewegten Kreisregnern bei variierten Regnerabständen. FZM Schlieben/Bornim 1981. A 3556