

### 3. Anwendungsbeispiele

An einem kurzen theoretischen Beispiel soll der Gang der Rechnung demonstriert werden. Gesucht sind der Variationskoeffizient, die Standardabweichung und der Mittelwert der Niederschlagshöhe bei Aufstellung eines Regners im Rechteckverband 3/3 m.

Gegeben ist die flächenhafte Niederschlagsverteilung in Einzelaufstellung (in Polarkoordinaten, Tafel 1).

Tafel 2 enthält die Lösung des Beispiels. Die mittlere Niederschlagshöhe ergibt sich zu

$$\bar{z} = \frac{\sum z}{n} = \frac{52,7}{16} \approx 3,3,$$

die Standardabweichung zu

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (z - \bar{z})^2}{n - 1}} = \pm 1,52$$

und der Variationskoeffizient zu

$$v = \frac{152}{3,3} = 46 \%$$

Der beschriebene Modellansatz wurde in dem FORTRAN-Programm NIRE realisiert. Das Programm ermöglicht die Eingabe von jeweils maximal 50 Meßwerten von den 16 Meßstrahlen mit einem frei wählbaren Meßstellenabstand.

Art des Regnerverbands, Rohrleitungs- und Regnerabstand können ebenso wie die Windrichtung — bezogen auf die Rohrleitungsrichtung — für einen Datensatz „Niederschlagsverteilung eines Regners“ beliebig oft variiert werden. Eine Reihe Fehlerhinweise sichert den Programmablauf gegen logische Fehler, so z. B., wenn die Wurfweite eines Regners den Regnerabstand überschreitet. Als Ausgaben sind neben Kennwerten über Verband und Windrichtung, Mittelwert des Niederschlags, seine Streuung, Extremwerte, UCH- und Cu-Wert realisiert. Auf dem Kleinrechner KRS 4200 belegt das Programm mit Unterprogramm 8 200 Maschinenworte im Hauptspeicher. Für übliche Verbandsanordnungen mit etwa 350 Rasterpunkten (z. B. 80 m × 68 m

Tafel 2. Lösung des theoretischen Beispiels

P	x	y	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>	φ <sub>1</sub>	φ <sub>2</sub>	φ <sub>3</sub>	φ <sub>4</sub>	z <sub>1</sub>	z <sub>2</sub>	z <sub>3</sub>	z <sub>4</sub>	z	z - z̄	(z - z̄) <sup>2</sup>
1	0	0	0	3,0	4,0	3,0	0	180	225	270	4	0	0	0	4,0	0,7	0,49
2	1	0	1,0	2,0	3,6	3,2	0	180	236,2	288,4	3	0	0	0	3,0	0,3	0,03
3	2	0	2,0	1,0	3,2	3,6	0	180	251,7	303,7	1	4	0	0	5,0	1,7	2,89
4	3	0	3,0	0	3,0	4,2	0	180	270	315,0	1	4	0	0	5,0	1,7	2,89
5	0	1	1,0	3,2	3,6	2,0	90	161,7	213,6	270	1	0	0	0	1,0	2,3	5,30
6	1	1	1,4	2,2	2,8	2,2	45	153,4	225	296,5	1,6	1,0	0,2	0,8	3,6	0,3	0,09
7	2	1	2,2	1,4	2,2	2,8	26,6	135	243,4	315	0,8	2,0	0,3	0,2	3,8	0,5	0,25
8	3	1	3,2	1,0	2,0	3,6	18,3	90	270	326,1	0	1,0	0	0	1,0	2,3	5,30
9	0	2	2,0	3,6	3,7	1,0	90	146,1	198,4	270	0	0	0	1,0	1,0	2,3	5,30
10	1	2	2,2	2,8	2,2	1,4	63,5	135	206,5	315	0,9	0,4	0,8	1,6	3,7	0,4	0,16
11	2	2	2,8	2,2	1,4	2,2	45	116,5	225	333,4	0,2	1,0	1,6	0,8	3,6	0,3	0,09
12	3	2	3,6	2,0	1,0	3,2	33,7	90	270	341,7	0	0	1,0	0	1,0	2,3	5,30
13	0	3	3,0	4,2	3,0	0	90	135	180	270	0	0	0	4,0	4,0	0,7	0,49
14	1	3	3,2	3,6	2,0	1,0	71,6	123,6	180	360	0	0	0	3,0	3,0	0,3	0,09
15	2	3	3,6	3,2	1,0	2,0	50,4	108,4	180	360	0	0	4,0	1,0	5,0	1,7	2,89
16	3	3	4,2	3,0	0	3,0	45	90	180	360	0	0	4,0	1,0	5,0	1,7	2,89
															52,7		34,55

bei 4 m Raster) werden einschließlich der Ausgaben etwa 2 min Rechenzeit benötigt.

Mit Hilfe des beschriebenen Rechenprogramms lassen sich günstige Verbandsaufstellungen unter Berücksichtigung von Hauptwindrichtung und häufigsten Windgeschwindigkeiten der jeweiligen Standorte ermitteln. Weiterhin kann die Niederschlagsverteilung ermittelt bzw. simuliert werden, die im Verlauf einer Vegetationsperiode bei wechselnden Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten während der einzelnen Regengaben zustande kommt.

Unter der Voraussetzung einer Normalverteilung der Niederschlagshöhen bei Verbandsaufstellung ist es außerdem möglich, anhand der Standardabweichung und des Mittelwertes anzugeben, wieviel Prozent der Fläche bei der betreffenden Verbandsaufstellung zwischen einer maximalen und einer minimalen Niederschlagshöhe (z. B.  $\pm \frac{2}{3}$ ) beregnet sind, oder wieviel Prozent der Fläche mit einer minimalen oder maximalen Niederschlagshöhe beregnet sind. Umgekehrt kann berechnet werden, welche Niederschlagshöhen

auf z. B. 50%, 67% oder 90% der Fläche vorhanden sind.

### 4. Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren zur Berechnung der Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung von Regnern in Verbandsaufstellung unter Berücksichtigung des Windeinflusses beschrieben. Das Verfahren ermöglicht, die günstigste Verbandsaufstellung für jeden Regnertyp, jede Düsenweite und jeden Betriebsdruck zu ermitteln. Die Methode ist besonders wichtig für die Projektierung von ortsfesten Beregnungsanlagen, bei denen im praktischen Beregnungsbetrieb keine Korrekturen des Regnerverbands mehr vorgenommen werden können.

### Literatur

- [1] Voigt, D.: Untersuchung der Wasserverteilung von Drehstrahlregnern mit Hilfe elektronischer Rechenautomaten. Dt. Agrartechnik 17(1967) H. 5, S. 212—214.
- [2] Benschkowski, N. F.: Berechnung des Abstandes von Regnern auf elektronischen Rechenmaschinen. Kolonna, 1970 A 2305

## Niederschlagsverteilung von Weitstrahlregnern in ortsfesten Beregnungsanlagen unter Windeinfluß

Dipl.-Landw. G. Wirsching, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

### 1. Einleitung

In den letzten Jahren hat die Beregnung in der Pflanzenproduktion als Intensivierungsmaßnahme an Bedeutung gewonnen. Das zeigt sich in der Zunahme der Beregnungsflächen in der DDR. Die ortsfeste Beregnung mit Automatisierung durch das Regnomat-System als Überkronenberegnung im Havelländischen Obstanbaugebiet erfolgt mit dem Weitstrahlregner W 68/1. Um die geforderte Niederschlagsqualität dieses Regners während der Beregnung zu sichern, ist es notwendig, den Windeinfluß bei der Festlegung des Regnerverbands zu berücksichtigen.

### 2. Problemstellung

Grundlage für die Erhöhung der Effektivität der Beregnung ist eine hohe Gleichmäßigkeit der

Niederschlagsverteilung. Für die Beurteilung der Gleichmäßigkeit der Niederschlagsverteilung mit Drehstrahlregnern stützt man sich gegenwärtig auf die Ergebnisse der Regnerprüfung, die auf einem Prüfstand möglichst bei Windstille gewonnen werden. Weitstrahlregner reagieren durch die relativ große Wurfhöhe hinsichtlich ihrer Niederschlagsverteilung besonders auf den Windeinfluß. Es ist jedoch weitgehend ungeklärt, in welchem Maß der Wind die Niederschlagsverteilung verändert bzw. im Zusammenwirken mit anderen Einflußgrößen die Qualität der Niederschlagsverteilung bestimmt.

Weiterhin ist zu überprüfen, ob die Niederschlagsverteilung im Regnerverband aus Meßergebnissen bei Windstille abgeleitet werden kann.

### 3. Untersuchungsmethode

#### 3.1. Grundlagen

Ausgangspunkt bilden Untersuchungen an Weitstrahlregnern in Einzelaufstellung [1]. Zur Beurteilung der Niederschlagsverteilung wird der „Hawaii Sugar Plant Association“ (HSPA)-Uniformitätskoeffizient (UCH) nach [2] ausgewählt, der wie folgt definiert ist:

$$UCH = 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{s}{\bar{x}}}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \text{ Standardabweichung}$$

$x_i$ : Einzelgröße der Niederschlagshöhe in der überlappten Fläche

Tafel 1. Technische Daten der Weitstrahlregner W 68, W 68/1 und Meteor

Benennung		W 68 <sup>1)</sup> W 68/1	Meteor
Gesamthöhe	mm	500	450
Gesamtbreite	mm	530	495
Erhebungswinkel des Strahlrohres	°	30	30
Druck im Arbeitsbereich	MPa	0,5...0,8	0,5...0,8
Durchmesser des Strahlrohres	mm	48	40
Gleichrichterlänge	mm	170	350
Strahlleit-einrichtung im Knie			ja
Düsen-durchmesser	mm	24...32	20...30
Winkel der Düse	°	35	36
Regneranschluß	Zoll	R 3	R 2,5
Sektorschaltung			ja
Masse	kg	5,4	7,0

1) ohne Gleichrichter

Tafel 2. Wesentliche Parameter des Regner- und Freilandprüfstandes; Angaben zu Versuchseinrichtungen und zur Versuchsdurchführung

Benennung		Regner- prüfstand	Freiland- prüfstand
Höhe der Regnerdüse über Grund	m	2,01	1,93
Höhenunterschied zwischen Oberkante der Auffanggefäße und Regnerdüse	m	1,77	1,77
Anzahl der Regnerstrahlen		1	16
Abstände der Auffanggefäße untereinander vom Regnerzentrum ausgehend	m	3	3
Anzahl der Auffanggefäße auf jedem Radialstrahl		20	20
Art der Auffanggefäße		Regen- messer	Industrie- gläser
Größe der Auffanggefäßöffnung	cm <sup>2</sup>	100	42,6
Tiefe der Auffanggefäße	mm	50	150
Höhe der Auffanggefäße	mm	240	155
Meßzeit je Versuch	min	60	120
Meßhöhe der	m	2	2
Windrichtung und -geschwindigkeit über der Bodenoberfläche			

$\bar{x}$  Durchschnitt dieser Beobachtung.

Mit Hilfe des UCH-Koeffizienten ist es möglich, die Niederschlagsverteilung unterschiedlicher Regnerverbände miteinander zu vergleichen. Ein Vergleich mit anderen Kennzahlen, wie z.B. Variationskoeffizient oder Cu-Koeffizient nach Christiansen, ist möglich [3].

Die Beurteilung der Niederschlagsverteilung im Regnerverband bei Windeinfluß setzt die eindeutige Kennzeichnung der Form des Regnerverbands voraus. Für die Viereck- und Dreieckverbände werden folgende Verbandsformen abgeleitet:

— Quadrat

- Rechteck
- gleichseitiges Dreieck
- gleichschenkliges Dreieck.

Für die Beurteilung der Niederschlagsverteilung im Regnerverband unter Windeinfluß wird als kleinste repräsentative Fläche für alle Regnerverbände die Fläche zwischen vier benachbarten Regnerstandorten angesehen. Dabei gilt die Bedingung, daß die maximale Wurfweite des untersuchten Einzelregners im zu berechnenden Regnerverband den Abstand zu den benachbarten Regnerstandorten nicht überschreiten darf [4].

### 3.2. Versuchsdurchführung

Für die Untersuchungen wurden Weitstrahlregner des Typs W 68 und W 68/1 vom Hersteller VEB LIW Wriezen (DDR) und des Typs Meteor vom Hersteller Agrostroij Ljubljana (SFRJ) mit der Düsenweite 28 mm verwendet (Tafel 1).

Bei Windstille wurden die Versuche auf einem Regnerprüfstand durchgeführt. Zur Ermittlung des Windeinflusses auf die Niederschlagsverteilung wurde auf einem geräumten Getreideschlag ein Freilandprüfstand errichtet. Das Gelände des Freilandprüfstandes war eben und ohne Windhindernis. Zur Erfassung des Windeinflusses diente eine transportable Windmeßanlage M 190.

Wesentliche Parameter der Regnerprüfstände und Angaben zur Versuchseinrichtung und zur Versuchsdurchführung sind in Tafel 2 dargestellt.

### 4. Rechenprogramm

Zur Bestimmung der Niederschlagsverteilung im Regnerverband wurden die experimentellen Ergebnisse durch das Rechenprogramm NIRE (Niederschlagsverteilung Regner) mit Hilfe von EDVA berechnet und statistisch ausgewertet. In das Rechenprogramm werden ohne Verrechnung zum wiederholten Ausdruck eingegeben:

- Regnertyp
- Versuchsnummer
- Düsendurchmesser
- Düsendruck
- Windgeschwindigkeit
- maximale Regnerwurfweite
- Rasterabstand im Regnerverband.

Zur Berechnung sind folgende Daten zusätzlich vorzugeben:

- radiale Niederschlagsverteilung des Einzelregners in Tabellenform
- Bewegungsrichtung des Windes (Windsektor)
- Form des Regnerverbands
- Regnerabstand auf der Rohrleitung
- Rohrleitungsabstand.

Aus der Niederschlagsverteilung des Einzelregners wird nach Überlappung die Niederschlagsverteilung im Regnerverband berechnet. Es werden folgende Daten für jeden Regnerverband ausgedrückt:

- Mittelwert
- Standardabweichung
- Variationskoeffizient
- Maximum der Niederschlagshöhe
- Minimum der Niederschlagshöhe
- UCH- und Cu-Koeffizient
- Anzahl der berechneten Rasterpunkte im Regnerverband.

### 5. Ergebnisse und Schlußfolgerungen

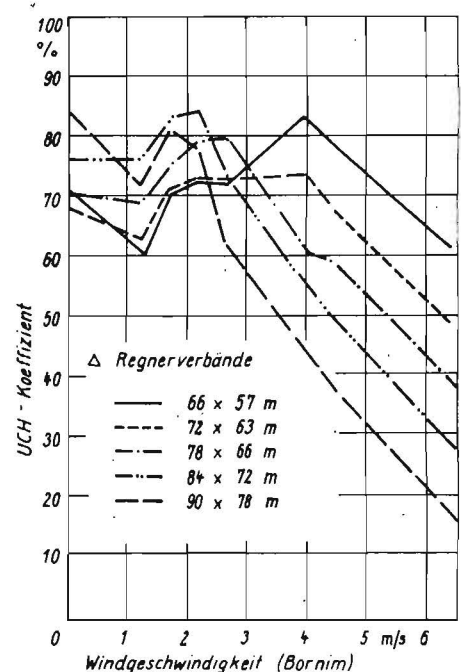
Der Wind wird durch die beiden Größen Richtung und Geschwindigkeit bestimmt. Untersuchungen zum Einfluß der Windrichtung haben gezeigt, daß die einzelnen Formen des

Regnerverbands bei Richtungsänderungen des Windes unterschiedliche Niederschlagsqualität aufweisen.

Während beim gleichseitigen Dreieckverband keine optimale Windrichtung ermittelt werden konnte, zeigte der Quadratverband bei Windrichtungsangriffen um 45° zur Regnerleitung die höchsten UCH-Koeffizienten. Im Rechteckverband und gleichschenkligen Dreieckverband konnte diese Tendenz bei Windrichtungsangriffen von 90° zur Regnerleitung beobachtet werden. Dabei gilt die Bedingung, daß die Windrichtung die Längsachse im Regnerverband bildet. Aus dem unterschiedlichen Verhalten der Regnerverbände resultiert, daß die Niederschlagsqualität bei Windeinfluß nur auf der Basis einer einheitlichen Form des Regnerverbands unter Beachtung der Windrichtung beurteilt werden kann.

Die Bestimmung des Einflusses der Windgeschwindigkeit wurde auf der Grundlage des gleichseitigen Dreieckverbands vorgenommen, weil diese Form des Regnerverbands ermöglicht, den Windrichtungseinfluß zu eliminieren. Die Bilder 1 bis 3 zeigen als Ergebnis der Variantenrechnungen den UCH-Koeffizienten in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Größe des Regnerverbands. Wie zu sehen ist, lassen sich aus diesen Untersuchungen keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen der Höhe des UCH-Koeffizienten und der Größe des Regnerverbands bei Windstille ableiten. Bei den Regnertypen W 68/1 und W 68 ist die allgemeine Tendenz festzustellen, daß relativ große Regnerverbände bei Windstille die höchsten UCH-Koeffizienten aufweisen. Beim Weitstrahlregner Meteor zeigt sich diese Tendenz nicht. Hier tritt deutlich hervor, daß die beste Niederschlagsverteilung (höchster UCH-Koeffizient) bei zunehmender Regnerverbandsgröße in einem Windgeschwindigkeitsbereich von 1,5 bis 3,5 m/s auftritt. Es zeigt sich bei allen Weitstrahlregnertypen, daß Windgeschwindigkeiten im mittleren Bereich einen un stetigen Kurvenverlauf des UCH-Koeffizienten

Bild 1. UCH-Koeffizient in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit und der Größe des Regnerverbands beim gleichseitigen Dreieckverband (W 68/1); Düsendurchmesser 28 mm. Düsendruck 0,7 MPa



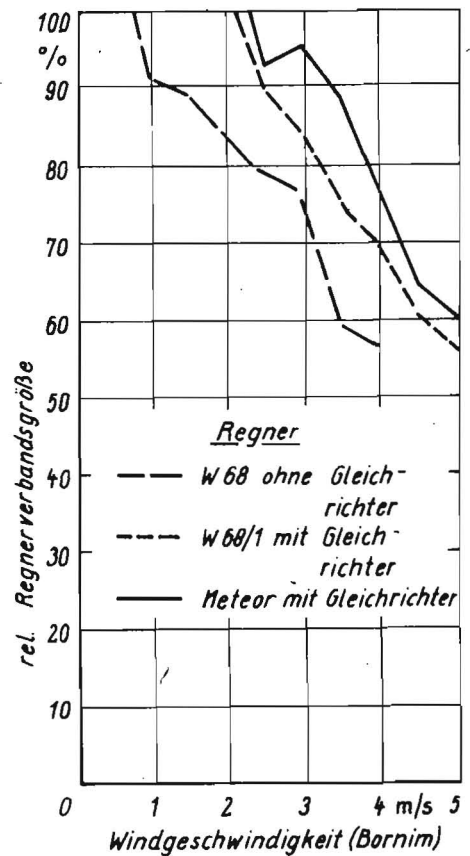
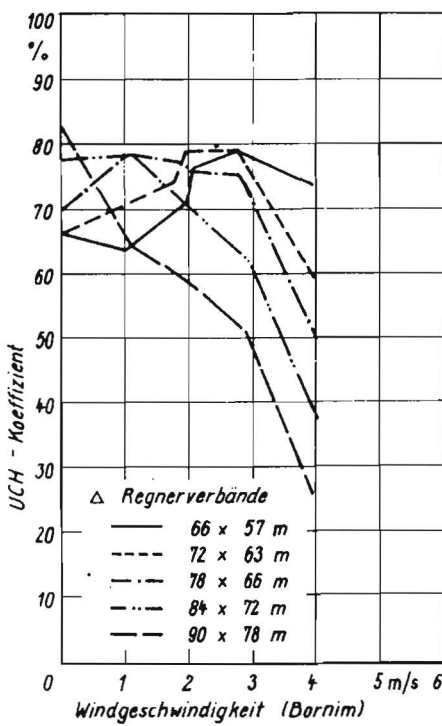
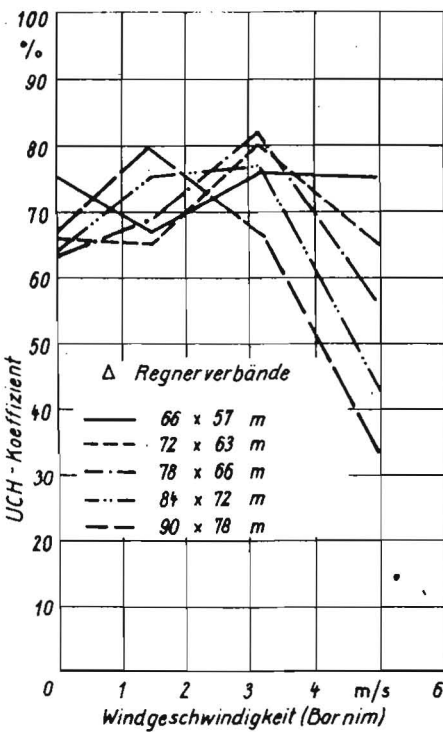


Bild 2. UCH-Koeffizient in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit und der Größe des Regnerverbands beim gleichseitigen Dreieckverband (Meteor); Düsendurchmesser 28 mm, Düsendruck 0,7 MPa

Bild 3. UCH-Koeffizient in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit und der Größe des Regnerverbands beim gleichseitigen Dreieckverband (W 68); Düsendurchmesser 28 mm, Düsendruck 0,7 MPa

Bild 4. Grenzwindgeschwindigkeiten für eine Niederschlagsverteilung mit einem UCH-Koeffizienten  $\geq 70\%$  in Abhängigkeit von der Größe des Regnerverbands beim gleichseitigen Dreieckverband für die Regner W 68, W 68/1 und Meteor; Düsendurchmesser 28 mm, Düsendruck 0,7 MPa

ten verursachen, der nach Überschreiten eines Optimalbereichs bei zunehmender Windgeschwindigkeit fast linear abfällt. Daraus wird abgeleitet, daß es für Weitstrahlregner unzureichend ist, für den gesamten Bereich der Windgeschwindigkeit einen linearen Zusammenhang zwischen UCH-Koeffizient und Größe des Regnerverbands anzunehmen. Vielmehr konnte durch Variantenrechnungen ermittelt werden, daß unberechnete Flächenanteile im Regnerverband einen relativ starken Abfall im UCH-Koeffizienten bewirken. Aus Untersuchungen mit Weitstrahlregnern im gleichseitigen Dreieckverband ergab sich, daß meist bei einem UCH-Koeffizienten  $\leq 70\%$  unberechnete Flächenanteile auftreten. Für die Beurteilung der Niederschlagsverteilung im Regnerverband wird aus diesem Grunde dieser UCH-Koeffizient als untere Qualitätsgrenze angenommen. Damit ist es möglich, auf der Grundlage eines Schwellwertes für die Niederschlagsqualität die Abhängigkeit zwischen Größe des Regnerverbands und Windgeschwindigkeit darzustellen. Für die Regner W 68, W 68/1 und Meteor sind diese Ergebnisse im Bild 4 ausgewiesen. Wie aus der Darstellung zu ersehen ist, ergeben sich deutliche Leistungsunterschiede. Die bessere Niederschlagsqualität beim Weitstrahlregner W 68/1 gegenüber dem W 68 ist ausschließlich auf die Verwendung eines Gleichrichters im Strahlrohr zurückzuführen. Auf die noch vorhandenen Leistungsreserven in der Verbesserung der Niederschlagsqualität beim W 68/1, die vor allem durch eine höhere

Konstruktions- und Fertigungsqualität der strahlformenden Elemente des Regners vorhanden sind, weisen die Ergebnisse vom Weitstrahlregner Meteor hin. Die durchgeführten Untersuchungen mit dem W 68/1 unter Windeinfluß bestätigen, daß für den im Havelländischen Obstanbaugebiet projektierten gleichseitigen Dreieckverband von 72 m x 81 m beim Einsatz von Regnern mit entsprechender Güte eine Niederschlagsqualität von  $UCH \geq 70\%$  bei Betriebsdrücken von 0,6 bis 0,7 MPa und bei durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten bis 2,3 bzw. 3,0 m/s gegeben ist. Diese Windgeschwindigkeit bezieht sich auf eine Meßhöhe von 2 m über der Bodenoberfläche. Wie aus den Darlegungen hervorgeht, ist es gegenwärtig nicht möglich, die Niederschlagsverteilung bei Windeinfluß aus Meßergebnissen bei Windstille abzuleiten. Dazu sind Untersuchungen zur Niederschlagsverteilung unter Windeinfluß erforderlich. Mit der dargestellten Untersuchungsmethode ist es möglich, die Niederschlagsverteilung von Drehstrahlregnern unter Windeinfluß zu bestimmen und den optimalen Regnerverband als Grundlage für die Projektierung von Beregnungsanlagen entsprechend den Windverhältnissen im Beregnungsgebiet festzulegen.

**6. Zusammenfassung**  
Am Beispiel von unterschiedlichen Weitstrahlregnertypen wird der Einfluß des Windes auf die Niederschlagsqualität im Regnerverband aufgezeigt. Dazu dient eine Untersuchungs-

methode, die mit Hilfe eines EDV-Rechenprogramms gestattet, die Niederschlagsverteilung von Drehstrahlregnern im Regnerverband in Abhängigkeit vom Windeinfluß zu erfassen. Erforderlich ist, die Niederschlagsverteilung eines Einzelregners durch ein radiales Auffang-Gefäßsystem bei unterschiedlichem Windeinfluß experimentell zu ermitteln. Die erzielten Ergebnisse geben Hinweise für die zweckmäßige Bemessung des Regnerverbands in ortsfesten Beregnungsanlagen im Havelländischen Obstanbaugebiet bei Windeinfluß unter Verwendung des Weitstrahlregners W 68/1.

**Literatur**

- [1] Voigt, D.; Baganz, K.: Methode zur Berechnung der Niederschlagsverteilung bei der Beregnung im Verband unter Berücksichtigung des Windeinflusses. *agrar-technik* 29 (1979) H. 5, S. 219—221.
- [2] Hart, W. E.: Overhead irrigation pattern parameters. ASAE, Paper Nr. 89, 1961.
- [3] Dabbous, B.: A study of sprinkler uniformity evaluation methods. M. S.-Thesis, Utah State University, Logan, 1962.
- [4] Wirsching, G.: Untersuchung der Niederschlagsverteilung des Weitstrahlregners W 68/1 im Regnerverband in ortsfesten Beregnungsanlagen bei Windeinfluß. FZM Schlieben/Bornim, Forschungsbericht 1977 (unveröffentlicht). A 2306

Folgende Fachzeitschriften des Maschinenbaus erscheinen im VEB Verlag Technik:

agrar-technik; Die Eisenbahntechnik; die Technik; Feingerätetechnik; Fertigungstechnik und Betrieb; Hebezeuge und Fördermittel; Kraftfahrzeugtechnik; Luft- und Kältetechnik; Maschinenbautechnik; Metallverarbeitung; Schmierungstechnik; Schweißtechnik; Seewirtschaft