

# Auswertung von Meßergebnissen zur Verteilung von Pflanzenschutzmitteln unter Düsen mit Hilfe der Korrelationsrechnung

Dr.-Ing. P. Kaul, KDT/Dipl.-Math. E. Moll/Ing.-Sabine Gebauer  
Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow der AdL der DDR

## Verwendete Formelzeichen

$A_m$	ml/min	Mittelwert der Düsendurchflußmenge (entspricht der mittleren Fläche der gemessenen Verteilungskurven, Bild 2)
$A_k$	ml/min	entspricht der mittleren Fläche unter einem Teilstück der Autokorrelationsfunktion (Bild 3)
$b$	m	Arbeitsbreite
$f$	1/m	Frequenz
$i, k$	-	1, 2, 3, 4, ...
$N$	St.	halbe Anzahl von Meßwerten je Periode
$n$	St.	Anzahl
$p$	MPa	Druck an der Düse
$q$	$\frac{ml}{m \cdot min}$	Funktionswert der Verteilung unter einer Düse
$r$	-	Korrelationskoeffizient
$s$	m	Koordinate der Arbeitsbreite
$\Delta s$	m	Verschiebungsschritt
$S$	$\frac{ml}{m \cdot min}$	Standardabweichung
$S_{yy}$	$\frac{ml}{m \cdot min}$	Summe der Abweichungsprodukte
$ZT$	m	Länge der Meßwertaufzeichnung
$\bar{x}$	$\frac{ml}{m \cdot min}$	Mittelwert
$y(s)$	$\frac{ml}{m} \cdot \frac{ml}{m \cdot min}$	Verteilungs-Funktionswert des Ortes
$y_i$	$\frac{ml}{m \cdot min}$	Meßwert $i$
$y_m$	$\frac{ml}{m \cdot min}$	Mittelwert der Meßwerte
$\delta$	%	zulässiger Fehler
$\Delta$	m	Abstand der Meßwerte
$\varphi$	rad	Phasenwinkel
$\omega$	rad/m	Winkelgeschwindigkeit
$\rho_{yy}$	-	Autokorrelationsfunktion
$\tau$	m	Ortsverschiebung

Erzielung einer guten biologischen Wirkung und für die sichere Vermeidung phytotoxischer Schäden. Besondere Bedeutung für die Bodentechnik haben dabei die Qualitätsparameter des Spritzdüsenverbands und damit der Einzeldüse. Sie werden im allgemeinen durch die Ermittlung des Variationskoeffizienten der Verteilung von Pflanzenschutzmitteln unter dem Düsenverband beschrieben, der durch den Abstand der Einzeldüsen zueinander beeinflusst werden kann. Der Variationskoeffizient wird darüber hinaus zur Beurteilung des Wirkprinzips der Zerstäubung bzw. der Fertigungsqualität von Düsen verwendet. Dieses Kriterium ist jedoch mit einigen Nachteilen verknüpft, die vor allem darin bestehen, daß eine Ermittlung der Verteilungsfunktion in Abhängigkeit von der Arbeitsbreite ohne den Einfluß stochastischer Störungen nicht möglich ist. Anliegen dieses Beitrags ist es, unter Nutzung der Korrelationsrechnung eine Methode zur besseren Beurteilung von eindimensionalen Verteilungen von Pflanzenschutzmitteln unter Einzeldüsen auf der Basis von Messungen an der Querverteilungsmeßrinne zu erarbeiten und ihre Anwendung am Beispiel zu veranschaulichen. Es sollen Kriterien für die erreichte Verteilungsqualität durch Darstellung der prinzipiellen Verteilungskurve ohne stochastische Einflüsse sowie der Angabe der Standardabweichung der Meßwerte gegenüber der prinzipiellen Verteilungskurve geschaffen werden.

## Gegenwärtiger Stand

Gegenwärtig wird zur Beurteilung der zu erreichenden Verteilungsqualität eines Düsenverbands die Grundverteilung von Einzeldüsen meßtechnisch erfaßt, und es wird die Verteilung unter dem Düsenverband durch Summenbildung der Einzelkurven bei Variation des Düsenabstands ermittelt [1]. Für die Sum-

menkurven werden die Variationskoeffizienten bestimmt. Im Bild 1 ist ein solcher prinzipieller Verlauf dargestellt, der zeigt, daß die Funktion des Variationskoeffizienten Minima hat. Der dafür ermittelte Düsenabstand ist als Rastermaß für eine günstige Verteilung anzusehen. Für praktische Belange wird dabei die Einhaltung eines Variationskoeffizienten von weniger als 25 % gefordert. Diese Festlegung ist als Erfahrungswert anzusehen. Diese Vorgehensweise ist mit dem Nachteil verknüpft, daß Einzelmessungen immer von zufälligen Einflüssen überlagert sind und auf ihnen beruhende Aussagen deshalb stets Unsicherheiten enthalten. Darüber hinaus unterliegt die Darstellung des Variationskoeffizienten als Funktion des Düsenabstands ebenfalls stochastischen Störungen, so daß die Bestimmung der Minima und damit die Ermittlung des günstigsten Düsenabstands nicht eindeutig möglich ist.

Ausgehend von willkürlich zugrunde gelegten Verteilungskurven für die Pflanzenschutzmittelablage unter Einzeldüsen kann der optimale Abstand zwischen den Düsen eines Düsenverbands ermittelt werden. Dazu können Dreieck-, Trapez-, harmonische oder Gaußfunktionen angenommen werden [2, 3]. Für die Auswertung praktischer Messungen ist es jedoch erforderlich, die anzunehmende Verteilungskurve der Einzeldüse erst einmal zu finden und ihren Verlauf einschließlich der Standardabweichung der Meßwerte um diese Kurve zu charakterisieren. Dabei kann die Größe der Standardabweichung gleichzeitig als Qualitätskriterium für die Düsenfertigung aufgefaßt werden.

Aus der Regelungstechnik sind mathematische Methoden bekannt, mit denen aus einer gegebenen harmonischen Funktion, die zufällige Störungen enthält, der rein harmonische Anteil bestimmt werden kann [4]. Bei der Messung

Die Erreichung einer hohen Verteilungsqualität von Pflanzenschutzmitteln stellt eines der wichtigsten Probleme bei der Lösung applikationstechnischer und -technologischer Fragen dar. Die Gleichmäßigkeit der Verteilung ist grundlegende Voraussetzung für den sparsamen Einsatz der Pflanzenschutzmittel, für die

Fortsetzung von Seite 406

messung und die Kontrolle der Pumpenleistung.

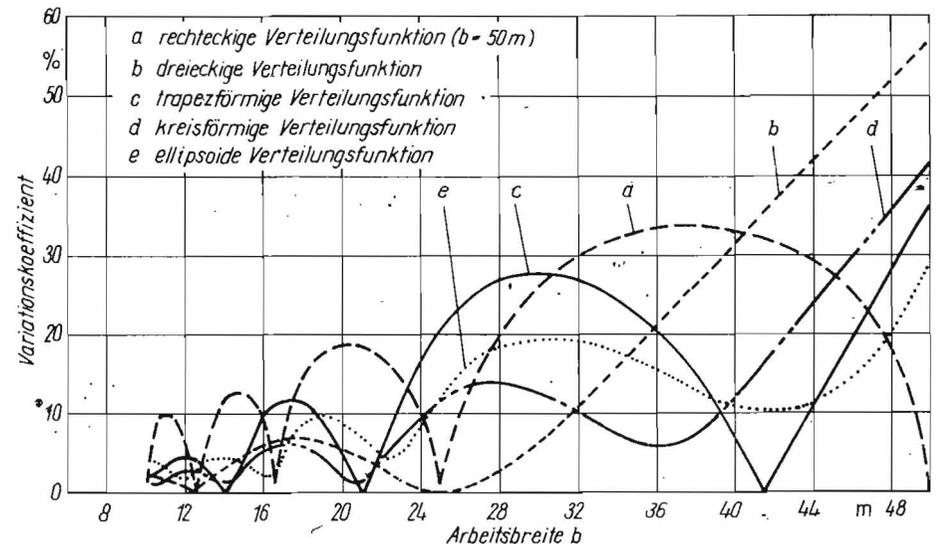
Die Überprüfung und Auswertung der Parameter für die Anzeigegenauigkeit von Manometern, der Druckverluste im Leitungssystem, Spritzwinkel und Verschleißzustand an Düsen, der Gebläsekennlinie und die Begutachtung aller Baugruppen auf Ribbildung, Dichtigkeit, Korrosion erfolgt jeweils direkt in den einzelnen Takten der Grund- bzw. Baugruppeninstandsetzung.

## Literatur

- [1] Wichmann, S.: Prüfmethoden und Prüfeinrichtungen für die Grundinstandsetzung von Pflanzenschutzmaschinen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Belegarbeit 1981 (unveröffentlicht).

A 3183

Bild 1. Abhängigkeit des Variationskoeffizienten von der Arbeitsbreite (nach [2])



von Verteilungen handelt es sich um derartige durch Zufälligkeiten überlagerte periodische Verläufe. Im Unterschied zur Anwendung dieser Methoden in der Korrelationselektronik tritt dabei jedoch an die Stelle der Zeit bzw. der Zeitverschiebung der Weg bzw. die Wegverschiebung. Die prinzipielle Anwendbarkeit auf Funktionen des Ortes wurde durch die Analyse von Klimaunterschieden in einem Raum nachgewiesen [5].

### Versuchsanlage und Meßergebnisse

Die Messungen zur Verteilung von Pflanzenschutzmitteln als Funktion der Arbeitsbreite erfolgen auf einer Querverteilungsmeßrinne an neun einzelnen Düsen. Die Meßergebnisse von sechs dieser Düsen sind im Bild 2 dargestellt. Die Messung wurde bei einem vierfach höheren Druck wiederholt, wobei auf eine Darstellung dieser Resultate verzichtet wird. Die Breite der einzelnen Auffangrinnen beträgt 10 cm.

An den im Bild 2 dargestellten Meßergebnissen wird deutlich, daß jede Verteilungsmessung in gewissem Maß zufälligen Einflüssen unterliegt, die verschiedene Ursachen haben können. Diese bestehen vor allen Dingen in Fertigungsungenauigkeiten bzw. Materialrauhigkeiten der Düsen. Daneben gibt es eine Vielzahl versuchsbedingter Störgrößen, wie z. B. Druckschwankungen, die im Komplex nicht erfaßt werden können. Für die mathematische Behandlung der Meßergebnisse werden die diskreten Werte der Verteilungsfunktionen der Einzeldüsen (Perioden) aneinandergesetzt, wobei eine einheitliche Periodenlänge zu gewährleisten ist.

### Auswertung der Meßergebnisse

Für die Wahl der Anzahl der auszuwertenden Perioden (Anzahl der zu messenden Düsen) sowie für die Festlegung der Meßwertabstände (Rinnenbreite der Querverteilungsmeßrinne) wird empfohlen [6]:

$$2T \geq 100\% / (\delta f_{\min}); \quad (1)$$

$$2T = 2N \Delta; \quad (2)$$

$$\Delta = 1/(20f_{\max}). \quad (3)$$

Setzt man die vorhandenen Meßbedingungen in die Gln. (1) und (3) ein, so erhält man für den zulässigen Fehler  $\delta = 10\%$  und unter Berücksichtigung der vierten Oberschwingung folgende Werte:

- Arbeitsbreite einer Düse ( $\triangleq$  Periodenlänge)  $b = 4 \text{ m}$
- notwendige Länge der Meßwertaufzeichnung  $2T = n b = 40 \text{ m}$
- Anzahl der auszuwertenden Perioden  $n = 10 \text{ St.}$
- Abstand der Meßwerte  $\Delta = 0,2 \text{ m}$ .

Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, daß die vorhandene Querverteilungsmeßrinne den gestellten Anforderungen entspricht, da mit ihr ein kleinerer als der geforderte Meßwertabstand erreicht werden kann. Die Festlegungen für die Meßwerterfassung stimmen mit den oben aufgeführten Werten überein. In [7] ist jedoch an einem Beispiel veranschaulicht, daß auch grobe Abweichungen von diesen Schätzwerten noch zu guten Ergebnissen führen können.

### Ermittlung der Autokorrelationsfunktionen

Zur Trennung der zufälligen Einflüsse von den periodischen Verläufen wird die Bestimmung der Autokorrelationsfunktion genutzt:

$$\rho_{yy} = \frac{\lim_{T \rightarrow \infty} \left[ \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} y(s)y(s-\tau) ds \right]}{\lim_{T \rightarrow \infty} \left[ \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} y(s)y(s) ds \right]} \quad (4)$$

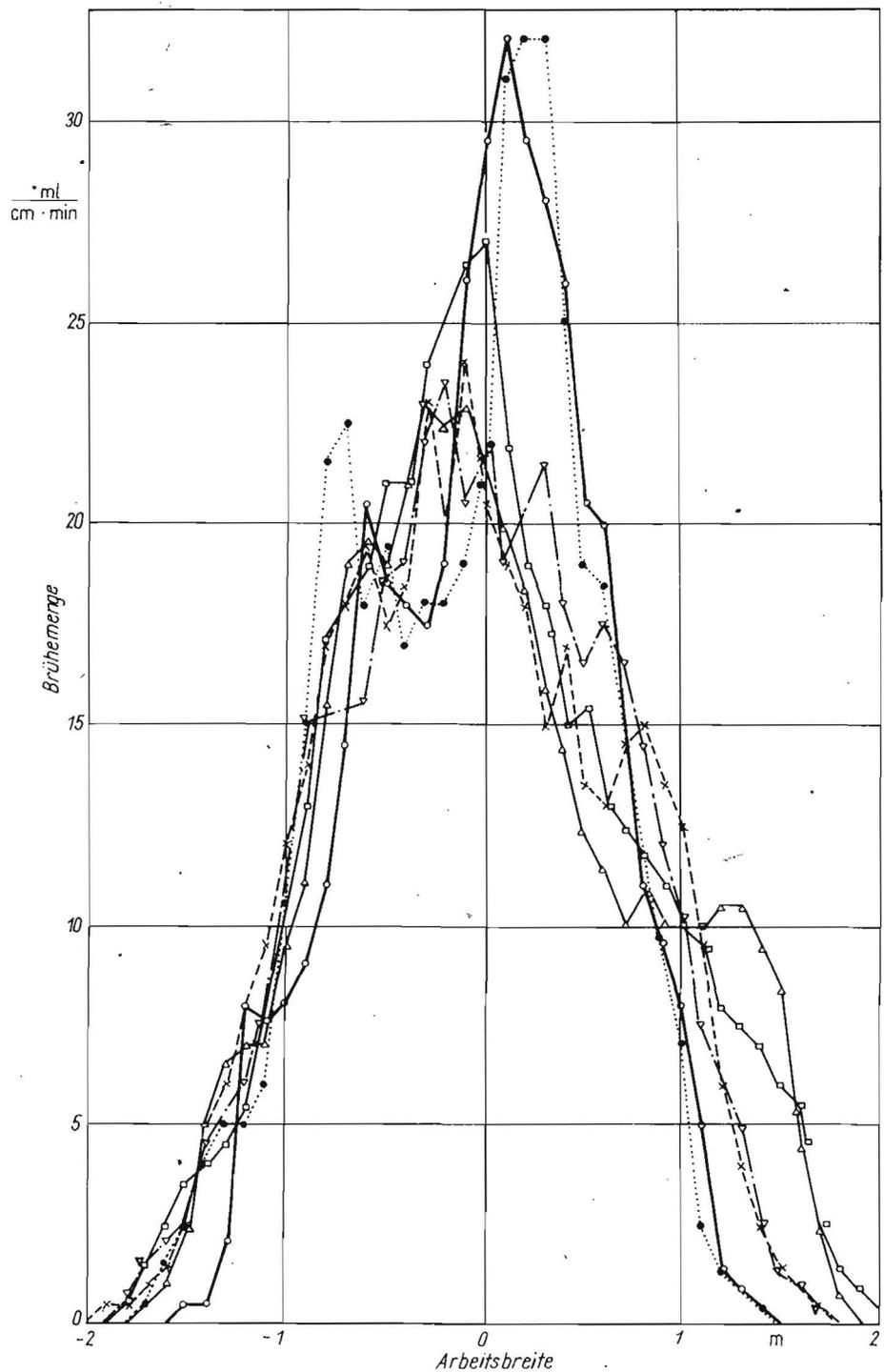


Bild 2. Gemessener Verlauf der Verteilung von Pflanzenschutzmitteln unter Einzeldüsen

Für praktische Berechnungen müssen anstelle von Gl. (4) die Integration und der Grenzübergang gegen Unendlich durch die Summation im endlichen Bereich ersetzt werden. Dabei wird angenommen, daß der betrachtete Streckenabschnitt im wesentlichen die Informationen über die wirklichen Verhältnisse genügend genau enthält. Mit

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2 \quad (5)$$

erhält man die diskreten Werte der Autokorrelation

$$r(k \Delta s) = \frac{S_{yy}(k \Delta s)}{S_{yy}} \quad (6)$$

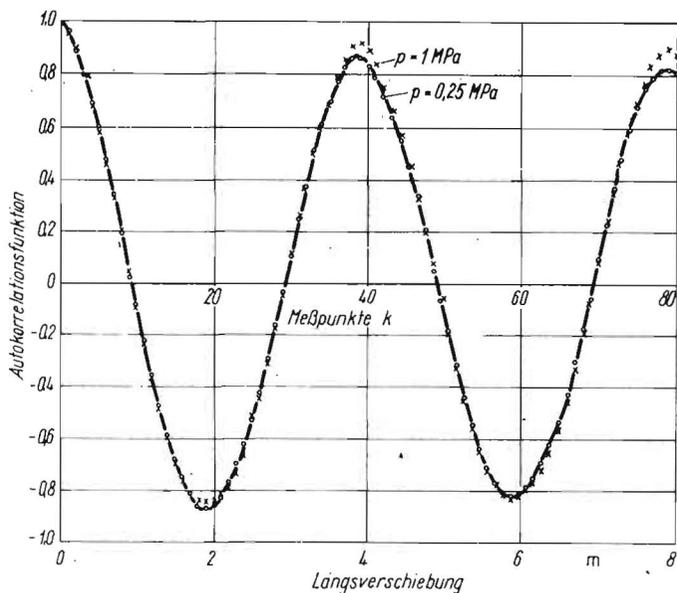
Die Autokorrelationsfunktion charakterisiert in ihrem Verlauf die Verteilungsfunktion. Sie hat

einige wichtige prinzipielle Eigenschaften [4], die zusammenfassend genannt werden sollen:

- Periodizitäten der Meßergebnisse als Funktion des Ortes kehren in der Autokorrelationsfunktion als gleichfalls harmonische Periodizitäten im Ortsverschiebungsbereich wieder.
- Klingt die Autokorrelationsfunktion auf ein harmonisches Signal ab, so besteht die Ursprungsfunktion aus einem harmonischen Signal, das durch zufällige Störungen überlagert ist.
- Die Phasenlage im Ortsbereich hat keinen Einfluß auf die Phasenlage im Ortsverschiebungsbereich. Die Funktion im Ortsbereich mit der Phasenlage

$$y(s) = A_m (\omega s + \varphi) \quad (7)$$

führt ebenso wie die entsprechende  $\cos$ -



**Bild 3**  
Normierte Autokorrelationsfunktion der an der Querverteilungsmessrinne erzielten Meßwerte zur Bestimmung der Pflanzenschutzmittelverteilung unter Einzeldüsen

reiche der Ortsverschiebung eine gegenläufige Tendenz zum Ausdruck. Die Rechenergebnisse aus den an der Querverteilungsmessrinne gewonnenen Meßwerten entsprechend Gl. (6) sind im Bild 3 dargestellt. Aus diesen Ergebnissen sind einige Schlussfolgerungen zu ziehen:

- Es handelt sich bei den Meßwerten um ein harmonisches Signal, das durch Störungen überlagert ist.
- Es ergeben sich keine nennenswerten Unterschiede in der Verteilung bei einem Druck von 0,25 MPa und 1 MPa.
- Nach einer Periodenlänge klingt das Kurvenmaximum von 1,0 auf rd. 0,8 ab. Daraus ergibt sich, daß der periodische Anteil des Ursprungsignals dominierend gegenüber den zufälligen Abweichungen ist.

### Auswertung der Verteilungsmessungen unter Einzeldüsen

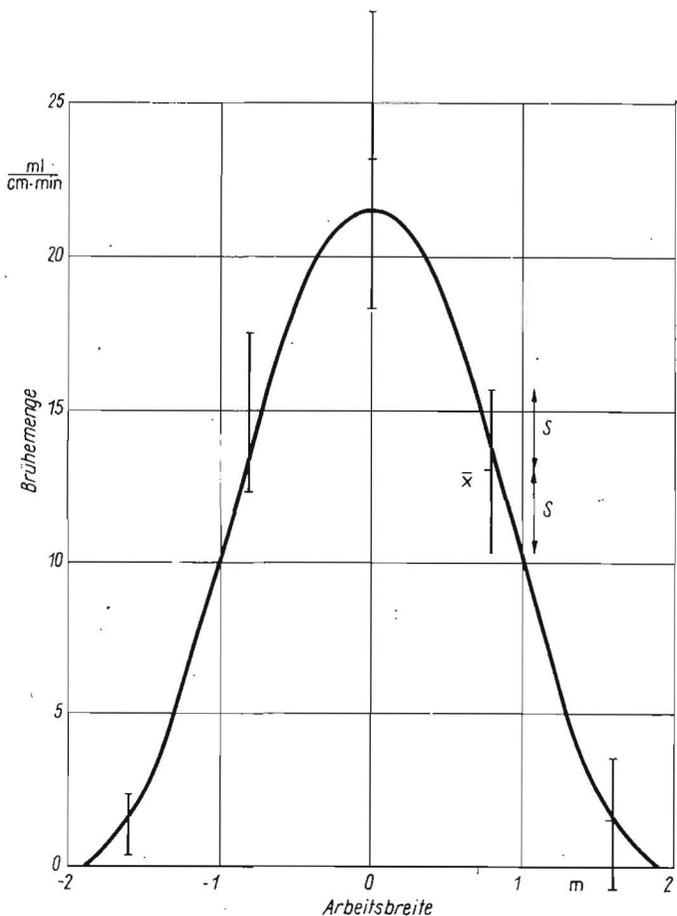
Aus der Korrelationsfunktion (Bild 3) wird der prinzipielle Verlauf der Verteilung unter den Düsen entnommen, und es wird die Fläche dieser Kurve über einer Parallelen zur Abszissenachse durch den kleinsten Wert der Funktion bestimmt. Mit Hilfe der gemittelten Fläche der im Bild 2 dargestellten Verteilungskurven ist der Faktor für die Entnormierung der Autokorrelationsfunktion zu ermitteln. Diese Vorgehensweise ist möglich, da angenommen werden kann, daß die Verteilungsfunktion der Einzeldüse als gerade Funktion zu betrachten ist und die Phasenlage der Oberschwingungen deshalb bekannt ist. Die Berechnung erfolgt auf der Grundlage einer halben Periodenlänge vom Minimum zum Maximum (vgl. Bild 3) mit  $k = 58 \dots 79$ :

$$\hat{q}(b) = \frac{A_m}{A_K} r(k \Delta s)_{k=58 \dots 79} \quad (12)$$

$$A_m = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n_{\text{Düsen}}} \quad (13)$$

$$A_K = 2 \sum_{k=58}^{79} r(k \Delta s) \quad (14)$$

Der sich daraus ergebende prinzipielle Verlauf der Verteilung des Pflanzenschutzmittels unter einer Düse über der Arbeitsbreite ist im Bild 4 dargestellt. Er veranschaulicht und bestätigt die in der Literatur enthaltene Feststellung, daß es sich um eine Normalverteilung handeln kann [2]. Er gibt den in den Meßergebnissen enthaltenen reproduzierbaren Anteil der Verteilungsfunktion an und vernachlässigt die rein zufälligen Abweichungen vom prinzipiellen Verlauf. Zur umfassenden Beschreibung sind jedoch neben der Kenntnis dieser Verteilungsfunktion auch die während der Messungen aufgetretenen Abweichungen in ihrer Größenordnung von Interesse. Deshalb wird die im Bild 4 dargestellte Kurve mit den Meßergebnissen nach Bild 2 verglichen, indem die Differenzen zu den Meßwerten und ihre Standardabweichung errechnet werden. Die Verteilungskurve (Bild 4) wird dazu in 5 Abschnitte unterteilt. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind ebenfalls im Bild 4 eingezeichnet. Man erhält so eine Darstellung, die neben der zu dieser Spritzdüse gehörenden reproduzierbaren Verteilung die Wirkung stochastischer Einflußfaktoren und ihre Größenordnung enthält. Es ist zu erkennen, daß die zufälligen Abweichungen im Verteilungsbild in der Mitte am größten sind.



**Bild 4**  
Prinzipieller Verlauf der Verteilung der Pflanzenschutzmittel unter einer Einzeldüse

Funktion zur gleichen Autokorrelationsfunktion

$$\rho_{yy}(\tau) = \frac{A^2}{2} \cos \omega \tau \quad (8)$$

Die Phaseninformation  $\varphi$  ist bei der Transformation verlorengegangen.

— Die Autokorrelationsfunktion ist symmetrisch, es gilt:

$$\rho_{yy}(\tau) = \rho_{yy}(-\tau) \quad (9)$$

— Der Maximalwert der Autokorrelationsfunktion tritt stets bei  $\tau = 0$  auf. Für die normierte Funktion nach Gl. (4) gilt:

$$\rho_{yy}(0) = 1 \quad (10)$$

$$\rho_{yy}(\tau) \leq 1 \quad (11)$$

wobei sich nur bei rein periodischen Funktionen der Maximalwert nach jeder Periodenlänge wiederholt.

— Hat die Autokorrelationsfunktion die Form einer abklingenden Kosinusschwingung, so umfaßt die Funktion im Ortsbereich ein kontinuierliches „Frequenzband“, dessen Breite um so größer ist, je stärker die Autokorrelationsfunktion abklingt.

— Klingt im Extremfall die Autokorrelationsfunktion in Form eines Dirac-Impulses ab, so besteht die Ursprungsfunktion aus einem unendlich breiten „Frequenzband“ gleicher Leistungsdichte (weißes Rauschen).

— Das Absinken der Autokorrelationsfunktion auf Null bedeutet, daß kein statistischer Zusammenhang zwischen jeweils zwei Messungen vorhanden ist, die den betrachteten Abstand voneinander haben. In der Tatsache, daß auch negative Werte erreicht werden, kommt für bestimmte Be-

## Zusammenfassung

Ausgehend von Meßergebnissen zur eindimensionalen Verteilung von Pflanzenschutzmitteln bei der Applikation mit Spritzdüsen wird mit Hilfe der Korrelationsrechnung der rein periodische Anteil der Verteilungsfunktion von der Wirkung stochastischer Einflußfaktoren getrennt. Die prinzipielle Anwendbarkeit der Methode wird an Beispielen durch die Darstellung der Autokorrelationsfunktion und anhand ihrer Eigenschaften nachgewiesen. Es wird die prinzipielle Funktion sowie die Größe der zufälligen Abweichungen bestimmt. Die Methode ist für die Bestimmung der Arbeitsbreite bei Einhaltung eines minimalen bzw.

festgelegten reproduzierbaren Variationskoeffizienten und zur Beurteilung der Fertigungsqualität von Spritzdüsen anwendbar.

## Literatur

- [1] Rechenprogramm zur Auswertung von Verteilungsmessungen bei der Applikation von Düngen und Pflanzenschutzmitteln. Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim 1980.
- [2] Koron, J.; Olszowka, R.: Technika Lotnicza i Astronautyczna, Warszawa 35 (1980) H. 12, S. 11—12.
- [3] El-Awady, M. N.: Spray and Dust Stagnant Patterns, Treated as Gaussian Functions. Transactions of the ASAE 19 (1976) H. 4, S. 654—656.

- [4] Lange, F. H.: Korrelationselektronik, Berlin: VEB Verlag Technik 1962.
- [5] Effmann, B.: Rechnerische Verfahren zur Beschreibung des thermischen Verhaltens von Produktionsbauten. TU Dresden, Sektion Architektur, Diplomarbeit 1973 (unveröffentlicht).
- [6] Franković, B.; Petras, S.; Skakala, J.; Vykouk, B.: Automatisierung und selbsttätige Steuerung. Berlin: VEB Verlag Technik 1970.
- [7] Kaul, P.: Temperaturverhalten von Tierproduktionsanlagen. TU Dresden, Dissertation 1976.

A 3164

# Einfluß der Arbeitsbreite von Pflanzenschutzmaschinen im Feldbau auf die Ökonomie des Verfahrens

Dr.-Ing. P. Kaul, KDT, Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow der AdL der DDR

## Verwendete Formelzeichen

$A_i$	m	Auslenkung der Düse i
a	m	halber Düsenabstand
B	mm	Differenz in der Höhe zwischen rechter und linker Fahrspur
b	m	Arbeitsbreite
$b_{sp}$	m	Spritzbreite einer Düse
D	l/h	mittlerer Kraftstoffverbrauch
E	l/ha, kg/ha	durch Auslegerschwan- kung bedingter Mittelmehraufwand
F	l/ha, kg/ha	gegenüber Wirkungsschwelle bedingter Mehraufwand durch Ver- teilungsungenauigkeit ohne Aus- legerschwan- kung
$h_0$	m	mittlere Arbeitshöhe
$K_D$	M/ha	Kraftstoffkosten
$K_L$	M/ha	Lohnkosten
$K_{PSM}$	M/ha	Pflanzenschutzmittelkosten
n	St.	Düsenanzahl
$P_D$	M/l	Kraftstoffpreis
$P_{PSM}$	M/l, M/kg	Pflanzenschutzmittelpreis
$P_v$	M/h	Stundenlohn
$Q_m$	l/ha, kg/ha	mittlere Soll-Aufwandmenge mit Auslegerschwan- kung
$Q_m'$	l/ha, kg/ha	mittlere Soll-Aufwandmenge ohne Auslegerschwan- kung
S	m	Spurweite
s	m/h	zur Behandlung durchfahrene Strecke in $T_{07}$
ü	m	Überdeckung der Spritzbreiten zweier Düsen
V	—	Übertragungsfaktor der Ausle- gerschwankung gegenüber Bo- denunebenheiten

## Problem

Die Entwicklung der Pflanzenschutztechnik wurde während der letzten Jahre durch Forderungen nach Erhöhung der Arbeitsproduktivität gekennzeichnet. Das führte u. a. dazu, daß die in der DDR zum Einsatz kommenden Pflanzenschutzmaschinen für den Feldbau mit relativ breiten Spritzbalken bis zu 18 m bei einem Systemmaß von 4,5 m ausgerüstet wer-

den. Daneben konnte die Arbeitsgeschwindigkeit durch Einsatz von Applikationseinrichtungen auf LKW bis maximal 18 km/h erhöht werden.

Neuere Forschungsarbeiten in der DDR und auch in anderen Ländern mit intensiver Landwirtschaft sind auf die Entwicklung und Einführung eines von der Aussaat über die Pflege bis zur Ernte reichenden einheitlichen Fahrspurprinzips gerichtet. Diese Bemühungen würden die maximal mögliche Arbeitsbreite im Pflanzenschutz ohne Sondermaßnahmen auf rd. 18 m begrenzen bzw. die Forderung nach 36 m entstehen lassen. Für Pflanzenschutzmaschinen mit derart großer Arbeitsbreite gibt es international bereits Lösungen, z. B. von der französischen Firma Evrad.

Unter den gegenwärtigen wirtschaftlichen Bedingungen kann jedoch die Beachtung nur eines oder einiger weniger Parameter, wie z. B. der Arbeitsbreite von Pflanzenschutzmaschinen bzw. deren Arbeitsproduktivität, zu falschen Ergebnissen bei der Bewertung dieses Arbeitsprozesses führen. Werden Ergebnisse angestrebt, die den volkswirtschaftlichen Effekt und seine positive Beeinflussung berücksichtigen sollen, so sind alle Parameter in die Betrachtung einzubeziehen, die volkswirtschaftlich relevant sind. In dem zu untersuchenden Problem führt die Vergrößerung der Arbeitsbreite zur Erhöhung der Arbeitsproduktivität und zur Einsparung von Dieseldieselkraftstoff und Lohnkosten. Andererseits sind damit infolge der mit den vergrößerten horizontalen und vertikalen Auslegerschwan-  
kungen verbundenen Ungleichmäßigkeiten in der Mittelverteilung bei jeder Behandlung höhere Aufwendungen an Pflanzenschutzmitteln je Flächeneinheit zur Sicherung des Bekämpfungserfolgs erforderlich. So gesehen, ist das

Verhältnis von Arbeitsbreite, DK-Verbrauch, Einsatz von Arbeitskräften und wirksamer Nutzung der eingesetzten Pflanzenschutzmittel als Optimierungsproblem anzusehen und zu behandeln. Anliegen dieses Beitrages ist es, unter Beachtung der genannten Faktoren die ökonomischen Auswirkungen von Arbeitsbreitenänderungen zu kennzeichnen und Richtwerte für den Einsatz von Pflanzenschutzmaschinen mit kostengünstiger Arbeitsbreite anzugeben.

## Auslegerschwan- kungen und Querverteilung

Die bei Pflanzenschutzmaschinen auftretenden Auslegerschwan-  
kungen und ihre Auswirkung auf die Verteilung der Pflanzenschutzmittel werden von Schmidt-Ott [1] ausführlich diskutiert. Danach werden Verteilungsfehler vor allem durch vertikale und horizontale Auslegerschwan-  
kungen hervorgerufen.

Ursache der vertikalen Bewegung sind die durch Bodenunebenheiten bedingten rotatorischen Bewegungen des Fahrgestells um die Längsachse. Auf Verteilungsfehler dieser Art wird auch in mehreren anderen Literaturquellen (z. B. [2]) hingewiesen. Diese Verteilungsfehler führen zu vertikalen Abstandsänderungen zwischen Düsen und Zielfläche und damit zu nicht mehr akzeptablen Verteilungsschwankungen in Form einer „Streifigkeit“ des Verteilungsbildes.

Ursache der horizontalen Bewegungen sind rotatorische Bewegungen des Fahrgestells um die senkrechte Achse, die sich mit der Fahrgeschwindigkeit überlagern. Diese Bewegungen werden bei selbstfahrenden Maschinen vor allem durch die Lenkausschläge zur Einhaltung einer Fahrtrichtung und bei gezogenen Maschinen durch Bodenunebenheiten hervorgerufen.