

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Abteilung für Pflanzenschutzmittel und Anwendungstechnik, Fachgruppe für Anwendungstechnik, Braunschweig

## Die dimensionslose Darstellung der Deponierungsbilanz bei der Applikation von Flüssigkeiten in Getreidebeständen\*)

The non-dimensional representation of the deposition balance of application of fluid in cereals

Von H. Rohlfing und H. Kohsiek

### Zusammenfassung

Es wurden Versuche durchgeführt, die die Abhängigkeit der Retentionsrate von Bestandsabmessungen sowie von Prozeßparametern aufzeigen sollten.

Die Versuchsergebnisse wurden über ein Potenzprodukt korreliert. Die einzelnen dimensionslosen Faktoren wurden aus den Einflußgrößen mit Hilfe der Dimensionsanalyse gebildet. Eine Gegenüberstellung der gemessenen und der berechneten Werte zeigt eine gute Übereinstimmung, die Einzelwerte streuten nicht mehr als  $\pm 15\%$ .

### Abstract

Trials were made to work out the relationship between the rate of deposition, cereal characteristics and processing parameters. The results of the experiments were correlated with a power function. The non-dimensional factors of the function were formed out of the limiting quantities by dimension-analysis. Differences between measured and calculated values of deposition do not increase more than  $\pm 15\%$ .

Bei der Applikation von Pflanzenbehandlungsmitteln in Pflanzenbeständen wirken die Pflanzen als Filter. In letzter Zeit erschienene Arbeiten berichten deshalb mehrfach über Untersuchungen, die sich mit einer Verbesserung der Durchdringung sowie auch des Anlagerungsverhaltens durch Änderung bestimmter Applikationsparameter befaßten [1], [2], [3], [4]. Ziel der dieser Arbeit zugrundeliegenden Untersuchungen sollte es sein, die Filterwirkung von ausgesuchten Getreidebeständen gesetzmäßig zu erfassen und wenn möglich eine Deponierungsbilanz zu erstellen.

### 1. Versuchsdurchführung und verwendete Meßverfahren

#### 1.1. Versuchseinrichtungen

Sämtliche Versuche wurden auf einer Applikationsmeßstrecke im Labor durchgeführt, s. Abb. 1, so daß die bei Freilandversuchen auftretenden Umwelteinflüsse, z. B. durch schwankende relative Luftfeuchte und Seitenwind, ausgeschlossen waren. Die Umgebungstemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Labors konnten in bestimmten Grenzen gehalten werden, so daß annähernd konstante Versuchsbedingungen (20 °C Raumtemperatur und ca. 80% rel. Luftfeuchte) herrschten.

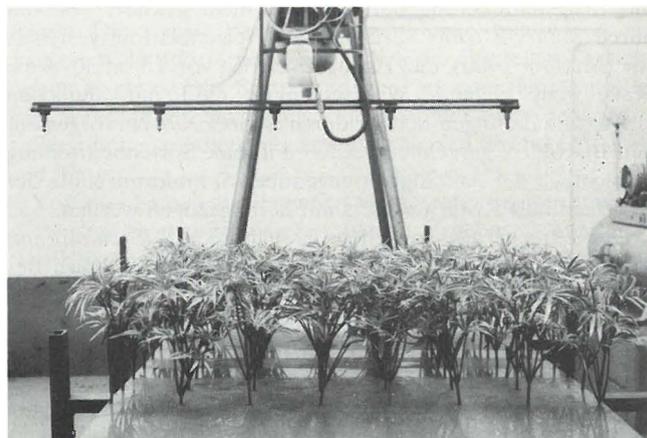
\*) Diese Arbeit entstand im Rahmen eines Forschungsauftrages der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der an dieser Stelle für ihre Unterstützung gedankt sei.

Der vorhandene Antrieb des Spritzgestänges und die Abmessungen der Applikationsstrecke erlauben eine Einstellung der Fahrgeschwindigkeit im Bereich von 0 bis ca. 10 km/h. Mittels elektronischer Stoppuhr, die über 2 Reed-Kontakte – in definiertem Abstand am Meßstand angebracht – gestartet und gestoppt wird, ist eine genaue Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit während des Versuchs möglich. Der erforderliche Spritzdruck wird über einen Feindruckminderer eingestellt, die Kontrolle ist über ein induktives Meßsystem möglich, der Druckaufnehmer befindet sich unmittelbar am Spritzgestänge. Sowohl der Druck als auch die Beschleunigung, die der Spritzbalken erfährt, können aufgezeichnet werden, so daß ein Erkennen von Fehlversuchen auch im Nachhinein möglich ist.

#### 1.2. Meßverfahren

Der Nachweis der vom Bestand zurückgehaltenen Spritzflüssigkeit wurde mittels Fluorometrie und über die Auswertung von Tropfenphotographien geführt. Dazu wurde die Flüssigkeit mit dem fluoreszierenden Farbstoff BSF angefärbt. Für die quantitativen Auswertungen am Fluorometer wurde die Spritzflüssigkeit auf vor und im Bestand verteilten Objektträgern bzw. in rechteckigen Kunststoffbehältern (3 cm  $\times$  1,8 cm  $\times$  1,5 cm) aufgefangen, mit jeweils einer bestimmten Menge Flüssigkeit abgewaschen und auf die für das Fluorometer erforderlichen Konzentrationen verdünnt. Für die Bestimmung der Tropfengrößenverteilung sowie des Bedeckungsgra-

Abb. 1. Stationäre Applikationsmeßstrecke.



des mit Hilfe des Bildanalysators Quantimet 720 wurden die Spritztropfen in mit Silikonöl gefüllten Kunststoffbehältern – Abmessungen wie oben – aufgefangen und mit einem UV-Blitz im Auflichtverfahren photographiert. Beide Meßverfahren sind bei HEIDT [5] näher beschrieben.

Das Füllen der Behälter mit den beiden Silikonölen unterschiedlicher Viskosität erfolgte über eine Pumpe mit zwei Kolben-Dosierköpfen, s. Abb. 2, die von einem gemeinsamen Motor angetrieben werden. Bei jedem Dosierkopf ist das pro Hub geförderte Volumen stufenlos einstellbar, über eine automatische Hubzählung ist somit ein reproduzierbares Dosieren möglich, was auch die nachfolgende Photographierarbeit insofern erleichtert, als daß sich die Trennschicht zwischen dem hochviskosen und dem niedrigviskosen Öl immer in derselben Ebene befindet und damit das Scharfstellen der Aufnahmeinrichtung auf die sich dort befindenden Tropfen schneller möglich ist.

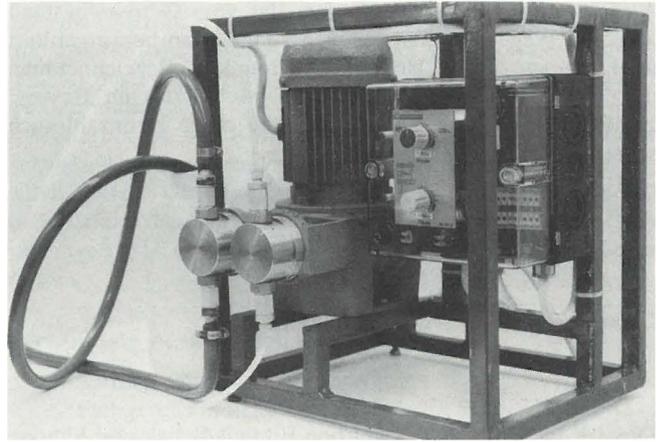


Abb. 2. Vorrichtung zum gleichzeitigen Dosieren von Silikonölen unterschiedlicher Viskosität.

1.3. Versuchsparemeter

Die vorliegenden Untersuchungen sollten die Abhängigkeit der Retentionsrate vom Bestand, vom Meßpunkt innerhalb des Bestandes, vom Spritzdruck und von der Fahrgeschwindigkeit aufzeigen. Klimaeinflüsse, physikalische Eigenschaften der Spritzflüssigkeit sowie unterschiedliche Düsensysteme wurden nicht berücksichtigt. Der Spritzbalken des Applikationsmeßstandes wurde mit Flachstrahldüsen (Lechler 487 – 11,5/120° –) ausgerüstet, der Spritzdruck  $p$  wurde jeweils auf die Werte 2, 3 und 4 bar eingestellt, die Fahrgeschwindigkeit wurde zwischen 2,9 und 7,5 km/h variiert. Für die einzelnen Versuche wurde im Freien gewachsenes Getreide (Hafer und Weizen) verschiedener Wachstumsstadien verwendet.

Als charakteristische Daten des Bestandes wurden jeweils die Höhe  $H$ , der Hohlraumanteil  $\epsilon$  sowie der Blattflächenindex LAI bestimmt. Die Meßpunkte wurden zwischen sowie innerhalb der einzelnen Pflanzenreihen in verschiedenen Meßhöhen  $h$  angeordnet.

Abb. 3. Die Abhängigkeit der Retentionsrate von der Fahrgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Drücken.

Abb. 4. Vergleich gemessener und nach Gl. 1 berechneter Aufwandmengen in [l/ha].

2. Versuchsergebnisse

Eine Auftragung der Retentionsrate, d. h. der im Bestand zurückgebliebenen Spritzflüssigkeit, über der Fahrgeschwindigkeit oder über dem Arbeitsdruck zeigte im doppelt-logarithmischen Maßstab eine lineare Abhängigkeit, s. Abb. 3, so daß versucht wurde, die erhaltenen Daten über ein Potenzprodukt zu korrelieren.

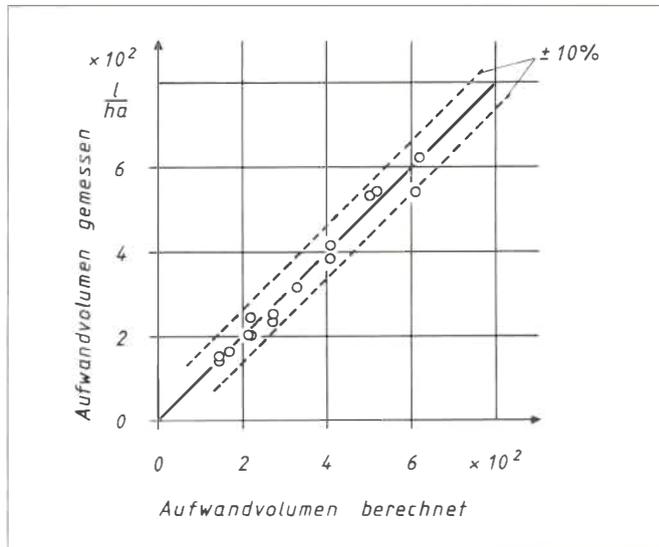
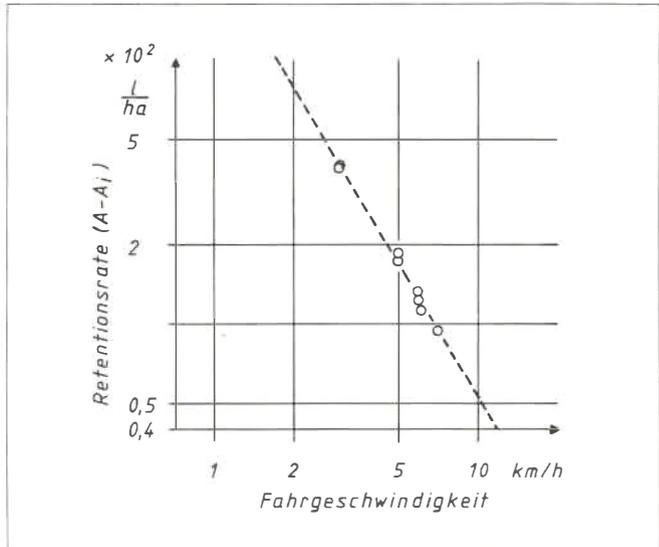
Mit Hilfe der Dimensionsanalyse wurden aus den folgenden Einflußgrößen dimensionslose Kennzahlen gebildet. Die Einflußgrößen lassen sich in drei Gruppen zusammenfassen:

- a) geometrische Parameter: Hierzu zählen die Bestandshöhe  $H$ , die Meßhöhe  $h$  sowie der mittlere volumetrische Durchmesser  $MVD$  der jeweiligen Tropfengrößenverteilung.
- b) stoffliche Parameter: Es wurden die Dichte  $\rho$  und die dynamische Viskosität  $\eta$  der Spritzflüssigkeit (Index  $L$ ) sowie der Umgebungsluft (Index  $G$ ) berücksichtigt.
- c) Prozeßparameter: Dazu gehören der Spritzdruck  $p$ , die Fahrgeschwindigkeit  $v$  sowie die Retentionsrate  $\Delta m$ .

Aus diesen Größen lassen sich die folgenden Kennzahlen bilden:

1. dimensionslose Retentionsrate

$$\frac{\Delta m}{\rho_L \cdot (H - h)}$$



$\Delta m/q_L$  entspricht dem Volumen, das vom Getreidebestand auf dem Weg vom Pflanzendach zum Boden herausgefiltert wird, bezogen auf die Höhe des Meßpunktes. Bezeichnet man mit  $A$  das Aufwandvolumen und mit  $A_i$  das im Bestand gemessene Volumen, so läßt sich die obige Kennzahl auch schreiben als:

$$\frac{A - A_i}{(H - h)}$$

2. dimensionsloses Aufwandvolumen

$$\frac{p}{q_L \cdot v^2}$$

Diese Kennzahl gibt an, welchen Einfluß Druck und Fahrgeschwindigkeit auf das Aufwandvolumen haben. Um zu überprüfen, ob diese Kennzahl für das Problem relevant ist, wurde das jeweils gemessene Aufwandvolumen vor dem Bestand mit der obigen Kennzahl in Form eines Potenzproduktes korreliert. Für die verwendete Düse – und nur für sie gelten die folgenden Korrelationskoeffizienten – ergibt sich folgende Zahlenwertgleichung; das Aufwandvolumen ist auf 1 m Arbeitsbreite bezogen:

$$A = 14,165 \cdot \left( \frac{1,296 \cdot 10^6 \cdot p}{q_L \cdot v^2} \right)^{0,60} \tag{Gl. 1}$$

$p$  ist in bar,  $v$  in km/h und  $q_L$  in  $kg/m^3$  einzusetzen,  $A$  hat dann die Einheit  $l/(ha \cdot m)$ . In Abb. 4 ist das gemessene Aufwandvolumen über dem nach Gl. 1 berechneten aufgetragen. Für alle untersuchten Kombinationen von Druck und Fahrgeschwindigkeit sind die Abweichungen nicht größer als  $\pm 10\%$ .

3. Reynoldszahl

$$Re = \frac{q_G \cdot w_s \cdot MVD}{\eta_G}$$

Mit der Reynoldszahl, gebildet mit dem mittleren auf das Volumen bezogenen Durchmesser, läßt sich der Einfluß der Tropfengrößenverteilung auf die Filterwirkung wiedergeben. Um die Korrelationsgleichung nicht unübersichtlich werden zu lassen, wurde nur der MVD benutzt, obwohl eine Tropfengrößenverteilung allein durch den MVD nicht beschreibbar ist. Untersuchungen von VÖLKER et al. [6] und eigene Messungen zeigten aber, daß die Tropfengrößenverteilung der Form nach erhalten bleibt, sie sich im Bestand jedoch zu kleineren Durchmessern verschiebt, was durch den MVD erfaßt wird.

4. Bestandskennzahl

$$\frac{\epsilon \cdot H}{LAI \cdot (H - h)}$$

Diese Kennzahl enthält nur Bestandsdaten bzw. geometrische Parameter, wobei die Annahme gemacht wurde, daß sowohl der Hohlraumanteil  $\epsilon$  als auch der Blattflächenindex LAI in erster Näherung linear mit der Bestandshöhe abnehmen, d. h. am Pflanzendach ist  $\epsilon = 0$  und  $LAI = 0$ , am Boden erreichen sie jeweils ihre Maximalwerte.

Das Problem der Deponierung von Pflanzenbehandlungsmitteln in Getreidebeständen ist somit in der allgemeinen Form durch folgendes Potenzprodukt beschreibbar:

$$\frac{A - A_i}{(H - h)} = a_0 \cdot \left( \frac{p}{q_L \cdot v^2} \right)^{a_1} \cdot (Re)^{a_2} \cdot \left( \frac{\epsilon \cdot H}{LAI \cdot (H - h)} \right)^{a_3} \tag{Gl. 2}$$

Die Korrelation der Meßwerte ergab dann folgende Koeffizienten:

$$\frac{A - A_i}{H - h} = 16,666 \cdot \left( \frac{1,296 \cdot 10^6 \cdot p}{q_L \cdot v^2} \right)^{0,60} \cdot (Re)^{-0,16} \cdot \left( \frac{\epsilon \cdot H}{LAI \cdot (H - h)} \right)^{-0,20} \tag{Gl. 3}$$

Diese Zahlenwertgleichung gilt wiederum nur für Flachstrahldüsen Lechler 487 ( $11,5/120^\circ$ ).  $p$  ist in bar,  $v$  in km/h,  $q_L$  in  $kg/m^3$  und die Höhen sind in m einzusetzen, die Retentionsrate  $A - A_i$  ergibt sich dann in  $l/ha$ . Der mittlere Fehler der Regression betrug ca.  $\pm 15\%$ ; aus diesem Grunde wurden die einzelnen Koeffizienten auf die oben angegebenen Werte gerundet. In Abb. 5 sind die gemessenen Retentionsraten über den berechneten aufgetragen, die Einzelwerte liegen ebenfalls innerhalb  $\pm 15\%$  Abweichung.

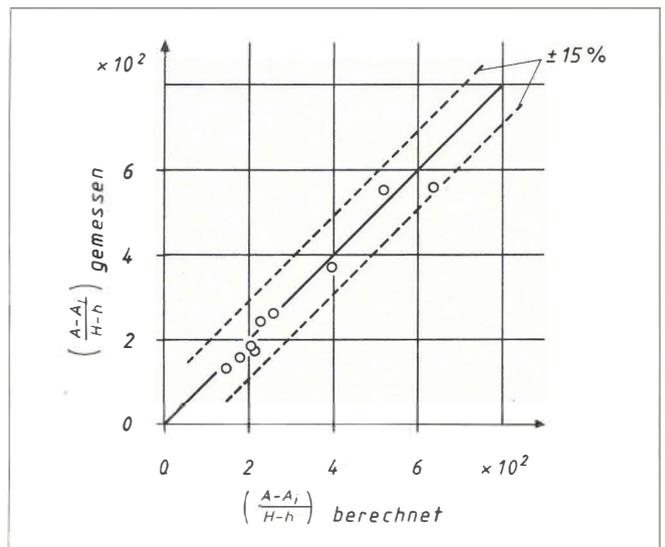
3. Schlußbemerkungen

Wie oben schon erwähnt, berücksichtigt Gl. 3 weder unterschiedliche Düsensysteme, Umwelteinflüsse noch die physikalischen Eigenschaften der Spritzflüssigkeit.

Die Verwendung anderer Düsen würde sich einmal in der Reynoldszahl durch eine veränderte Tropfengrößenverteilung bemerkbar machen, zum anderen würde sich der Exponent der ersten Kennzahl, d. h. des dimensionslosen Aufwandvolumens, ändern. Weitergehende Untersuchungen mit unterschiedlichen Düsen müßten zeigen, ob diese Kennzahl oder aber auch der konstante Faktor des Potenzproduktes mit bestimmten charakteristischen Düsenparametern erweitert werden könnte, so daß die Gleichung für alle Düsenarten gültig ist.

Die Umwelteinflüsse würden sich in der obigen Gleichung in der Reynoldszahl bemerkbar machen, da als charakteristische Geschwindigkeit z. B. bei Seitenwind nicht mehr die

Abb. 5. Vergleich gemessener und nach Gl. 3 berechneter Retentionsraten.



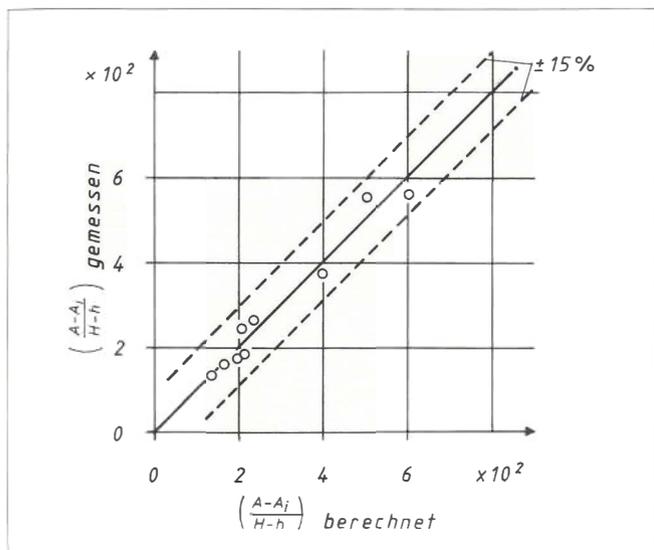


Abb. 6. Vergleich gemessener und nach Gl. 4 berechneter Retentionsraten, ohne Berücksichtigung der Tropfengröße.

Sinkgeschwindigkeit, sondern eine Relativgeschwindigkeit zwischen Tropfen und Luft eingesetzt werden müßte. Bei geringerer relativer Luftfeuchtigkeit z. B. wäre sicherlich die Verdunstungsrate höher, so daß sich der MVD ändern würde. Da die Tropfengröße einer Messung nicht ohne weiteres zugänglich ist, wurden die vorliegenden Ergebnisse auch mit einem Potenzprodukt korreliert, das die Reynoldszahl und damit die Tropfengröße nicht mehr enthält.

$$\frac{A - A_i}{H - h} = 8,24 \cdot \left( \frac{1296 \cdot 10^6 \cdot p}{\rho_L \cdot v^2} \right)^{0,62} \cdot \left( \frac{\varepsilon \cdot H}{LAI \cdot (H - h)} \right)^{-0,21} \quad \text{Gl. 4}$$

Die Gegenüberstellung von gemessenen und berechneten Werten ist in Abb. 6 dargestellt. Auch hier streuen die Werte nicht mehr als ± 15%. Es müßte jedoch an Stelle der Reynoldszahl in dieses Potenzprodukt eine Kennzahl eingefügt werden, die Umgebungseinflüsse berücksichtigt.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde nur mit Farbstoff angefärbtes Wasser verwendet. Aus diesem Grunde gibt in Gl. 3 keine Kennzahl den Einfluß der Stoffdaten der verwendeten Spritzflüssigkeit wieder. Sicherlich haben aber die physikalischen Eigenschaften, z. B. die dynamische Viskosität

oder die Oberflächenspannung einen nicht unerheblichen Einfluß auf die Retentionsrate, so daß bei Variation der Stoffparameter das Potenzprodukt um einen weiteren Faktor ergänzt werden müßte.

Weiterhin ist die Bestimmung der Bestandskennzahl mit Schwierigkeiten verbunden. Auch hier sollte versucht werden, durch weitere Untersuchungen andere Größen (z. B. Wachstumsstadium, bestimmte Abmessungen) zur Beschreibung des jeweiligen Bestandes hinsichtlich seiner Filterwirkung zu benutzen.

**Verwendete Formelzeichen**

p	Spritzdruck	[bar]
v	Fahrgeschwindigkeit	[km/h]
MVD	mittlerer volumenbezogener Durchmesser	[µm]
w <sub>s</sub>	Sinkgeschwindigkeit der Spritztropfen	[m/s]
ρ	Dichte	[kg/m <sup>3</sup> ]
η	dynamische Viskosität	[kg/m · s]
h	Meßhöhe	[m]
H	Bestandshöhe	[m]
ε	volumenbezogener Hohlraumanteil	
LAI	Blattflächenindex	
A	Aufwandvolumen	[l/ha]
A-A <sub>i</sub>	volumenbezogene Retentionsrate	[l/ha]
Δm	massebezogene Retentionsrate	[kg/ha]

**Indizes**

G	Umgebungsluft
L	Spritzflüssigkeit
i	innerhalb des Bestandes

**Literatur**

- [1] VON OHEIMB, R.: Erhöhte Wirkstoffanlagerung im Weinbau durch verbesserte Strömungstechnik bei Sprühgeräten. Landtechnik (1979) 7/8, 330-332.
- [2] GÖHLICH, H., M. HOSSEINIPOUR und R. VON OHEIMB: Einfluß klimatischer und gerätetechnischer Faktoren auf die Drift im Pflanzenschutz. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig), 31, (1979) 1, 1-9.
- [3] MOSER, E. und CHAN PHAM CONG: Bestandsdurchdringung und Anlagerung von Tropfen bei der Applikation in höheren Maisbeständen. Grundl. Landtechn. 29 (1979) 4, 108-112.
- [4] GÖHLICH, H., P. JEGATHEESWARAN und H. HEIDT: Zur Ablagerung von Pflanzenschutzmitteln in höheren Beständen. Landtechn. (1976) 4, 148-150.
- [5] HEIDT, H.: Automatische Tropfengrößen- und Belagsanalyse im chemischen Pflanzenschutz. Dissertation TU Berlin (1976).
- [6] VÖLKER, K. und H. KOHSIEK: Untersuchung der Filterwirkung von Getreidebeständen. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig), 30 (1978) 2, 24-28.