

Untersuchungen des Tropfengrößenspektrums von Flachstrahldüsen zur Applikation reduzierter Mittel- und/oder Trägerstoffaufwandmengen¹

Investigations on the distribution of droplet size of flat-fan nozzles for low volume application

Von Karl-Heinz Kieft² und Heinrich Kohsiek

Eine umweltfreundliche Applikation notwendiger Pflanzenschutzmaßnahmen setzt optimale Wirkstoff- und Trägerstoffaufwandmengen voraus.

Wieviel Wirkstoff überschüssig infolge ungünstiger Anwendungsverfahren ausgebracht wird, läßt sich allgemein nicht angeben (GÖHLICH 1971).

Die Applikation verringerter Wirkstoffmengen und auch verringerter Trägerstoffmengen erfordert eine genaue Kenntnis und Beachtung der für die Pflanzenschutzmaßnahmen wichtigen Kriterien. Beim Herbizideinsatz im Ackerbau sind dies von der Anwendungstechnik her die physikalisch-technischen Applikationsfaktoren, bestimmt durch Düsenart, -durchsatz, erzeugte Tropfengrößen und Verteilverhalten bei der Flüssigkeitszerstäubung sowie vom Umweltschutz her die Abtriftgefahr.

Gleichwertig neben technischen Faktoren bestimmen biologische Gegebenheiten von seiten der Pflanzen den Erfolg der Applikation. Die Anlagerung des Wirkstoffs muß in erforderlicher Verteilung an der Zielfläche erfolgen. Diese Zielfläche (z. B. bei Herbizideinsatz das Unkraut) kann im Kulturpflanzenbestand, der als Filter wirkt, integriert sein. Trägerstoff- und Wirkstoffmengen haben diesen Filter zu durchdringen.

Tropfen verschiedener Größenordnungen verhalten sich unterschiedlich in ihrem Durchdringungs- und Anlagerungsvermögen (KNOTT 1973).

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Tropfengrößenanalyse bei im Pflanzenschutz eingesetzten Flachstrahldüsen.

Material und Methodik

Für reproduzierbare Laboruntersuchungen wurde ein stationärer Applikationsmeßplatz entwickelt. Damit können Ausbringorgane für Pflanzenschutzmittel unter gegebenen Geräteeinstellfaktoren bei Fortbewegungsgeschwindigkeiten von 0,9 bis 5,2 m/s untersucht werden (Bild 1).

Die Tropfengrößenuntersuchungen werden nach der von ZASKE (1973) angegebenen Methodik in modifizierter Form durchgeführt. Die mit 1% Nigrosin angefärbten Spritztropfen werden in Wegwerf-Kunststoffpetrischalen, gefüllt mit Wacker-Silikonöl AK 1000, aufgefangen. Die Petrischale steht 0,5 m unter der mittleren Düse eines Gestänges mit 5 Düsen. Das Gestänge ist mit kalibrierten Düsen im Abstand von 0,5 m ausgerüstet.

Die aufgefangenen Tropfen werden mit feinkörnigem Film (15 DIN Agfapan 25) im Durchlicht fotografiert. Um repräsentative Tropfenzahlen zu erreichen, werden mehrere Aufnahmen aus einer Schale gemacht. Die Auswertung der Filme erfolgte im Institut für Landtechnik und Baumaschinen der TU Berlin³ mit dem dort entwickelten Auswerteprogramm auf dem Tropfengrößenanalysator Quantimet.

Untersucht wurden die Flachstrahldüsen 11,0/120°; 11,2/120° und 11,5/120°, Düsenhersteller Lechler KG, Fellbach. Sie spritzten senkrecht nach unten.

³ Herrn Prof. Dr.-Ing. GÖHLICH und Herrn Dipl.-Ing. HEIDT sei an dieser Stelle für die hilfreiche Unterstützung gedankt.



Abb. 1. Stationärer Applikationsmeßplatz, ausgerüstet mit Rotationszerstäuber.

¹ Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

² Neue Anschrift des Verfassers: 2400 Lübeck-Travemünde, Bollbrügg 6 a.

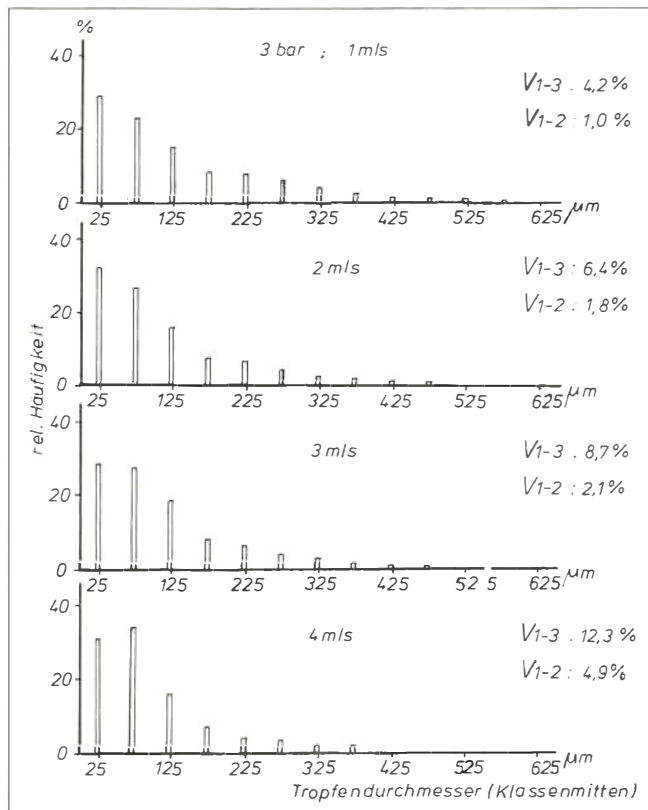


Abb. 2a. Relative Häufigkeit der Tropfengrößen (bezogen auf die bei der Tropfengrößenanalyse zugrunde gelegte Klassenbreite Δ d)

V: Anteil am Gesamtvolumen (%) in Klasse 1-3 (\cong 0-150 μ m Tropfendurchmesser) und Klasse 1-2 (\cong 0-100 μ m Tropfendurchmesser). V₁₋₃ = Klasse 1-3, V₁₋₂ = Klasse 1-2. Düse: 11,0/120° Lechler (Messing).

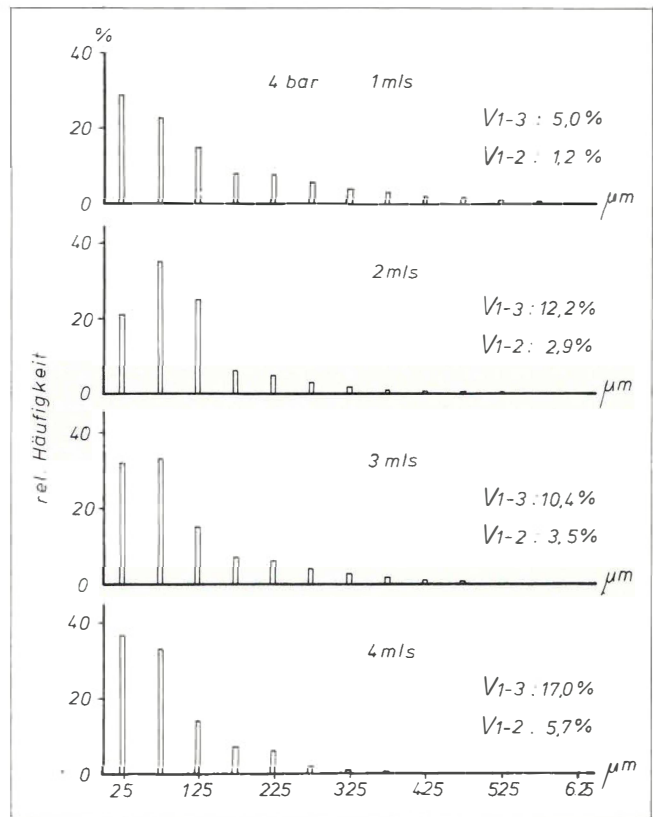
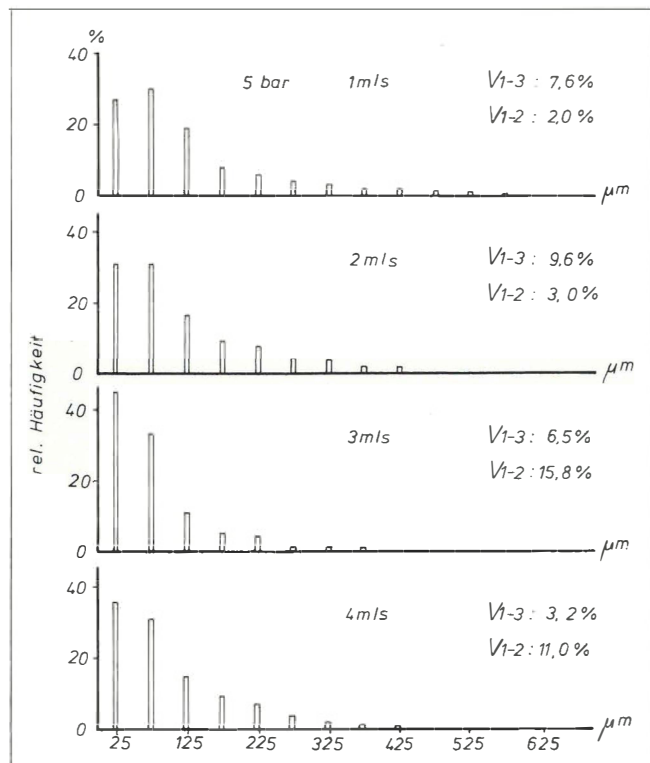


Abb. 2b. Relative Häufigkeit der Tropfengröße (bezogen auf die bei der Tropfengrößenanalyse zugrunde gelegte Klassenbreite Δ d).

V: Anteil am Gesamtvolumen (%) in Klasse 1-3 (\cong 0-150 μ m Tropfendurchmesser) und Klasse 1-2 (\cong 0-100 μ m Tropfendurchmesser). V₁₋₃ = Klasse 1-3, V₁₋₂ = Klasse 1-2. Düse: 11,0/120° Lechler (Messing).



Ergebnisse

Die Zerstäubung einer Flüssigkeitsmenge mit Flachstrahlprühdüsen ergibt einen Spritzfächer mit verschiedenen Tropfengrößen. Die Tropfengrößenspektren können als Volumensummenkurven dargestellt werden, aus denen sich charakteristische Werte entnehmen lassen. Grundlagen der Tropfengrößendarstellung gibt ZASKE (1973, 1971, 1970). Kennwerte dieser Kurven sind der Mittlere Volumendurchmesser (MVD) und die Durchmesserwerte im oberen und unteren Bereich, z. B. die Werte für 10% und 90%.

Aus der Tropfengrößenanalyse läßt sich die relative Häufigkeit der einzelnen Tropfengrößen ermitteln, die sich aber immer auf die bei der Analyse zugrundegelegte Klassenbreite bezieht.

Für die Flachstrahlprühdüsen 11,0/120° zeigen die Bilder 2a bis c die Werte für die Drücke 3, 4, und 5 bar bei den Fahrgeschwindigkeiten von 1 bis 4 m/s.

Der Tropfenanteil vom Gesamtvolumen in den Klassen 1 bis 2 (\cong Tropfendurchmesser 0-100 μ m) und 1

Abb. 2c. Relative Häufigkeit der Tropfengrößen (bezogen auf die bei der Tropfengrößenanalyse zugrunde gelegte Klassenbreite Δ d).

V: Anteil am Gesamtvolumen (%) in Klasse 1-3 (\cong 0-150 μ m Tropfendurchmesser) und Klasse 1-2 (\cong 0-100 μ m Tropfendurchmesser). V₁₋₃ = Klasse 1-3, V₁₋₂ = Klasse 1-2. Düse: 11,0/120° Lechler (Messing).

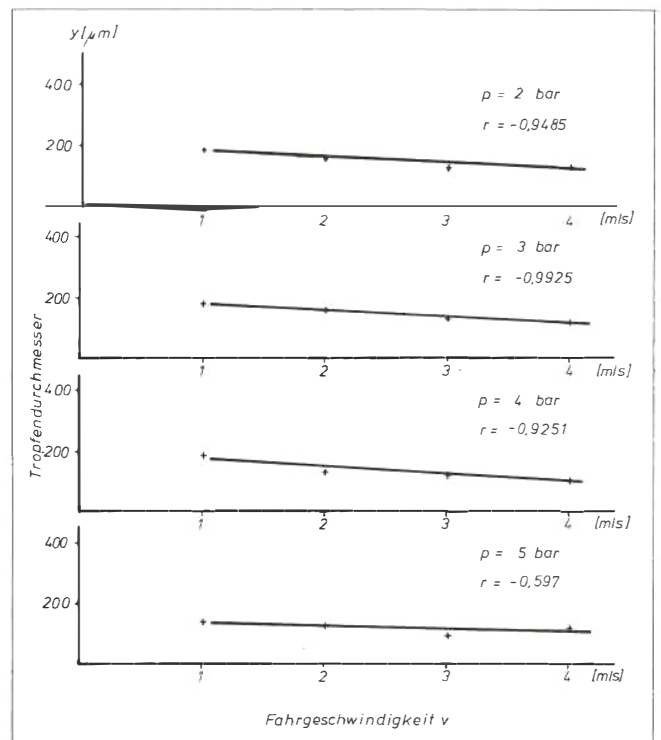
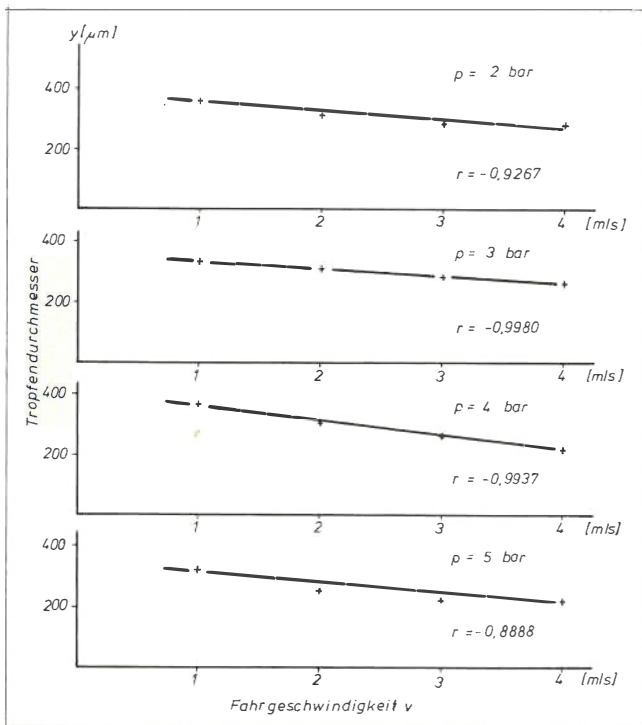
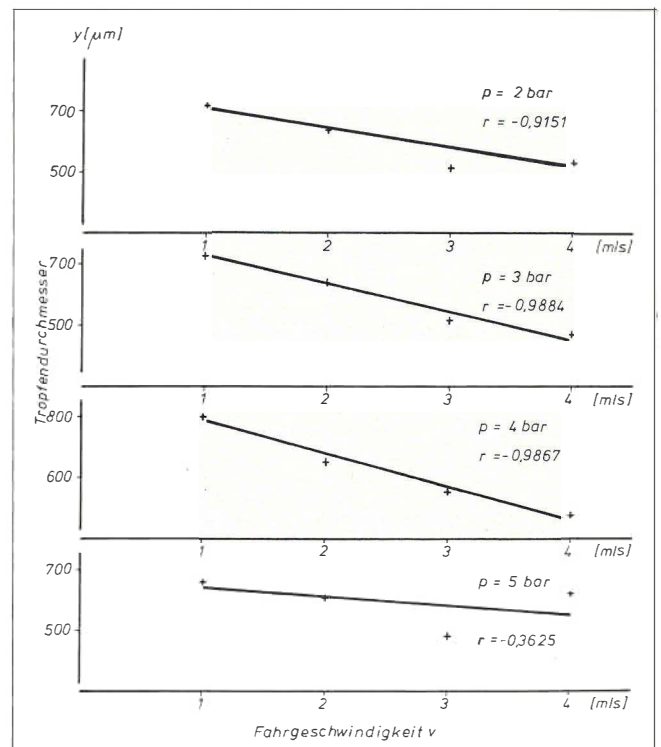
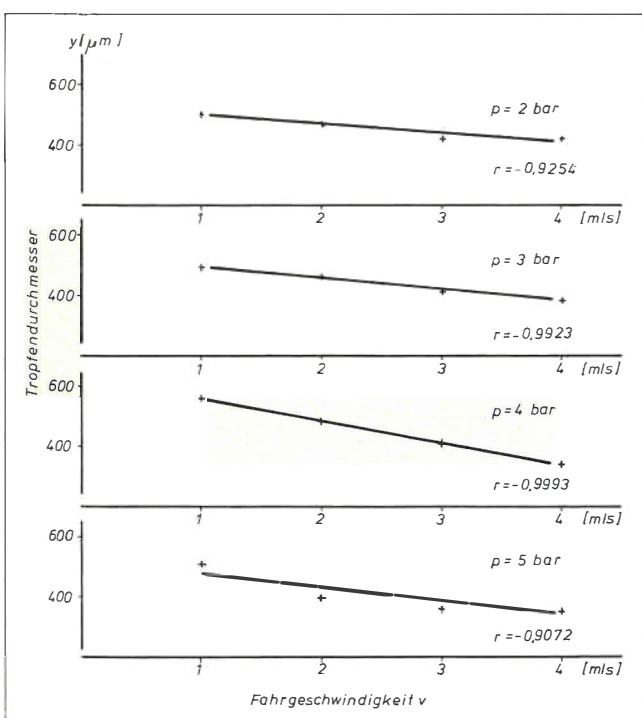


Abb. 3 (oben links). Lineare Regressionsanalyse ($y = a_0 + a_1 v$). Tropfendurchmesser bei 50% der Volumensummenkurve. Düse: 11,0/120° Lechler.

Abb. 4 (oben rechts). Lineare Regressionsanalyse ($y = a_0 + a_1 v$). Tropfendurchmesser bei 10% der Volumensummenkurve. Düse: 11,0/120° Lechler.

Abb. 5 (unten links). Lineare Regressionsanalyse ($y = a_0 + a_1 v$). Tropfendurchmesser bei 90% der Volumensummenkurve. Düse: 11,0/120° Lechler.

Abb. 6 (unten rechts). Lineare Regressionsgerade ($y = a_0 + a_1 v$). Größter gemessener Tropfendurchmesser. Düse: 11,0/120° Lechler.



bis 3 (\cong Tropfendurchmesser 0–150 μm) gibt Tabelle 1 wieder.

Über die aus der Tropfengrößenanalyse gewonnenen Volumensummenkurve ergaben sich die Tropfendurchmesser für 10, 50, 90%.

Durch lineare Regressionsanalyse wurde versucht, das Verhalten dieser Kennwerte für den untersuchten Fahrgeschwindigkeitsbereich von 1 bis 4 m/s zu erfassen. Die Bilder 3 bis 6 geben die Ergebnisse für die Düse 11,0/120°, Bild 7 und 8 für die Düsen 11,2/120° und Bild 9 bis 11 für die Düse 11,5/120° wieder.

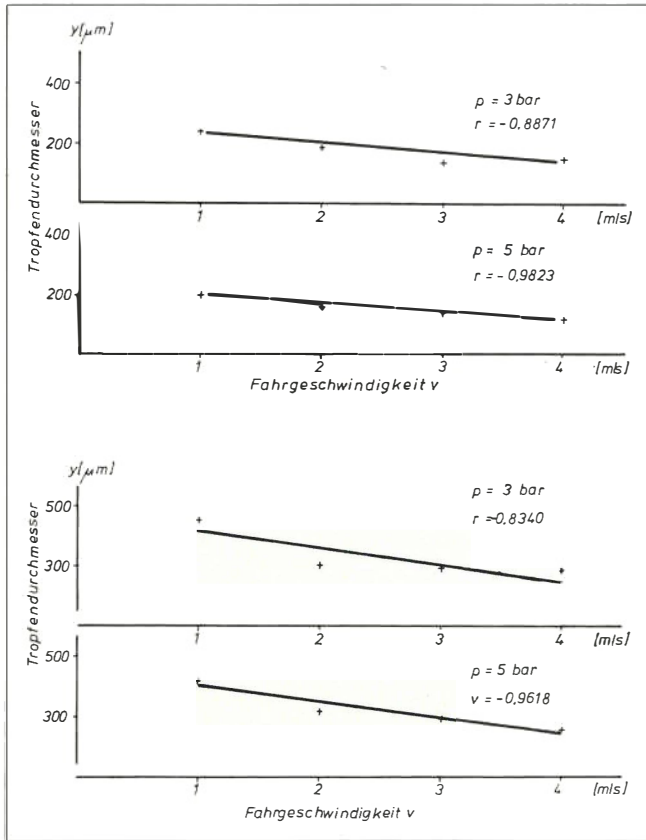


Abb. 7. Lineare Regressionsanalyse ($y = a_0 + a_1 v$). Tropfendurchmesser bei 10% der Volumensummenkurve (oben). Tropfendurchmesser bei 50% der Volumensummenkurve (unten). Düse: 11,2/120° Lechler.

Diskussion

Überlegungen, den Vorgang der Tropfenerzeugung an Flachstrahldüsen mathematisch zu erfassen, sind in der Literatur von YEO (1959), FORD, FURMIDGE (1967) und DOMBROWSKI (1968) angestellt worden.

YEO gibt die Gleichung
$$\frac{D_S \cdot V_A}{(Q \cdot \frac{\sigma}{\rho_F})^{\frac{1}{3}}} = f \left(\frac{V_A}{V_0} \right)$$

an, wobei $f \left(\frac{V_A}{V_0} \right)$ eine nicht näher angegebene Funktion ist, deren Werte experimentell zu bestimmen sind.

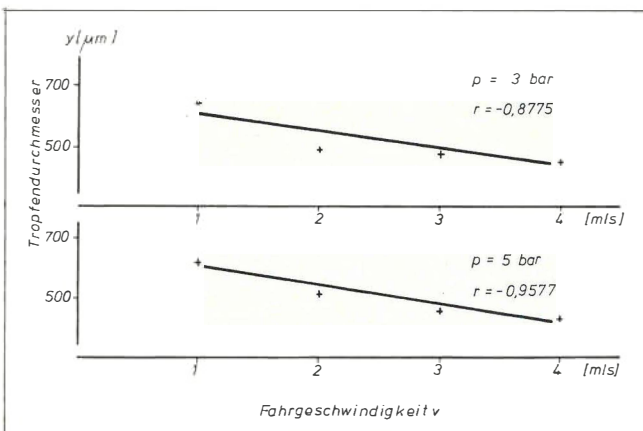


Abb. 8. Lineare Regressionsanalyse ($y = a_0 + a_1 v$). Tropfendurchmesser bei 90% der Volumensummenkurve. Düse: 11,2/120° Lechler.

Tabelle 1. Prozentualer Anteil V am Gesamtvolumen der Klasse 1-2 (\cong Tropfendurchmesser 0-100 μm), der Klasse 1-3 (\cong Tropfendurchmesser 0-150 μm). Düse: Lechler 11,0/120°

p	v [m/s]	V ₁₋₂ [%] (ϕ 0-100 μm)	V ₁₋₃ [%] (ϕ 0-150 μm)
2 bar	1	0,55	3,57
	2	1,66	5,95
	3	2,31	9,83
	4	2,21	9,90
3 bar	1	1,06	4,24
	2	1,78	6,47
	3	2,14	8,69
	4	3,97	12,25
4 bar	1	1,24	5,00
	2	2,89	12,17
	3	3,52	10,38
	4	5,72	17,01
5 bar	1	2,00	7,64
	2	3,08	9,57
	3	6,46	15,84
	4	3,20	11,05

KRUSE, HESS und LUDVIK (1949) fanden empirisch die Beziehung $D \sim \left(\frac{\eta \cdot \sigma}{\rho_F \cdot V_A} \right)^{1,06} \cdot \left(\frac{1}{V_0} \right)^{0,2554}$, die allerdings nur für einen begrenzten Bereich zutreffend ist.

Beide Gleichungen zeigen einen umgekehrt proportionalen Einfluß der Geschwindigkeit, mit der die Flüssigkeit sich zur umgebenden Luft bewegt (V_0), auf die Tropfenbildung.

Kritisch ist allerdings bei dieser Betrachtung die Methodik der Tropfengrößenanalyse zu beurteilen. Horizontale Auffangflächen können methodische Fehler beinhalten, die in der gleichen Richtung wie der vorgefundene Einfluß wirken.

Desgleichen ist der Einfluß von Tropfenagglomeraten bei der Klassifizierung auf den Verlauf der Volumensummenkurve zu berücksichtigen.

Inwieweit die festgestellten Veränderungen der Volumensummenkurven sich auf den biologischen Erfolg einer Applikation auswirken, bedarf weiterer Untersuchungen. MCKINLAY (1972) benötigte zur Erzielung eines vorgegebenen herbiziden Effektes im Vergleich zu 100 μm Tropfen bei 200 μm Tropfen die dreifache, bei 400 μm Tropfen eine sechsfache Steigerung der Wirkstoffmenge.

Zusammenfassung

Ausbringen verringerter Trägerstoff- und Mittelaufwandmengen erfordert exakte Kenntnis und Beachtung der für die Pflanzenschutzmaßnahme wichtigen Kriterien.

Beim Einsatz von Blattherbiziden im Feldbau hat neben Düsenart, -durchsatz und Verteilverhalten bei der Flüssigkeitszerstäubung die Tropfengröße einen entscheidenden Einfluß.

Für drei Flachstrahldüsen wurden Tropfengrößenspektren in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit ermittelt.

Aus Volumensummenkurven von Tropfenverteilungen dieser Düsen bei verschiedenen Drücken sind die MVD und die Werte für 10% und 90% Tropfenanteil

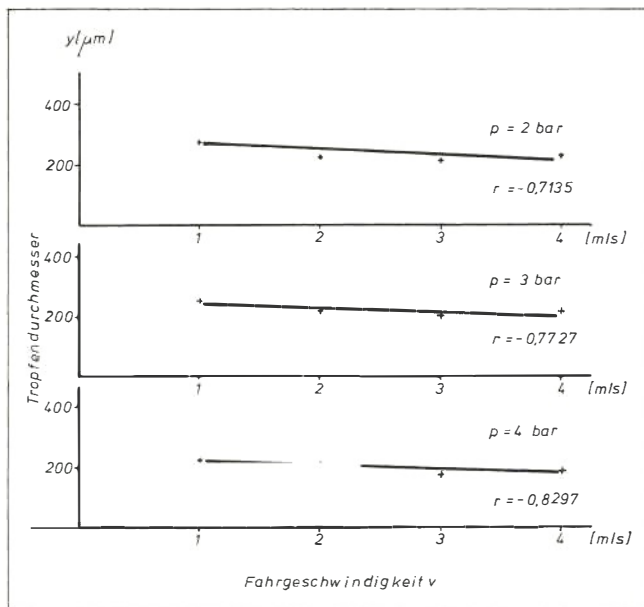


Abb. 9. Lineare Regressionsanalyse ($y = a_0 + a_1 v$). Tropfendurchmesser bei 10% der Volumensummenkurve. Düse: 11,5/120° Lechler.

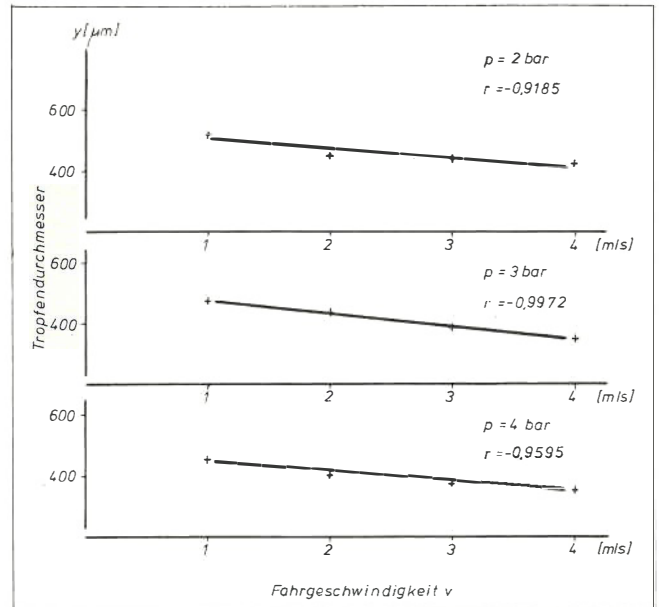


Abb. 10. Lineare Regressionsanalyse ($y = a_0 + a_1 v$). Tropfendurchmesser bei 50% der Volumensummenkurve. Düse: 11,5/120° Lechler.

in linearer Regressionsanalyse ausgewertet worden. Ferner wurden die Anteile der Tropfen in den kleinsten Klassen und bei einer Düse die größten Tropfen betrachtet. Mit steigender Fahrgeschwindigkeit von 1 bis 4 m/s hat sich bei Drücken von 2 bis 5 bar die Tropfengröße verringert.

Auf Probleme bei der Tropfengrößenmessung in Silikonöl wird hingewiesen.

Summary

Low volume application of herbicides requires exact knowledge about the droplets produced by the used nozzle. Droplet size for three flat-fan nozzles was measured. Decrease of droplet diameters for increasing speeds from 1 to 4 m/s under spraying pressure from 2 to 5 bar is shown.

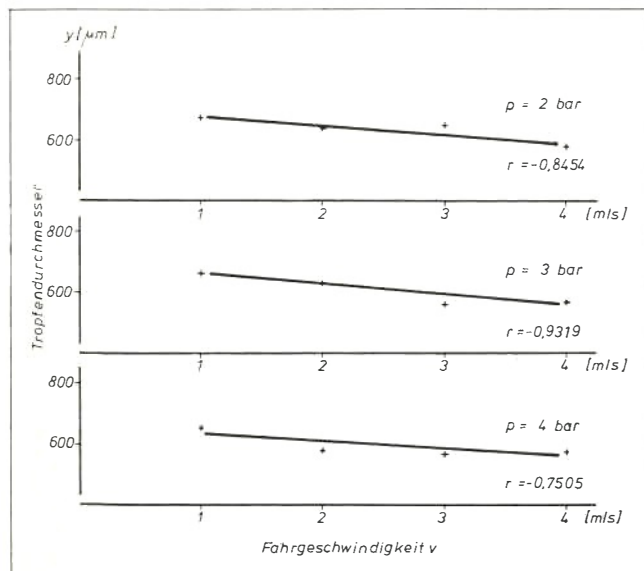


Abb. 11. Lineare Regressionsanalyse ($y = a_0 + a_1 v$). Tropfendurchmesser bei 90% der Volumensummenkurve. Düse: 11,5/120° Lechler.

Literatur

- DOMBROWSKY, N. and MUNDAY, G.: Spray drying. *Biochem. and Biol. Engng. Sci.* 1968, **2**, 209–320.
- FORD, R. E. and FURMIDGE, C. G. L.: The formation of drops from viscous newtonian liquids sprayed through fan-jet nozzles. *Brit. J. Appl. Phys.* 1967, **18**, 335–348.
- GÖHLICH, H.: Differenzierte Anwendungstechnik für Pflanzenschutzmaßnahmen. *Landtechnik*, 1971, Heft 8, S. 206–212.
- KNOTT, L.: Das Eindringen von Spritzstrahlen und Sprühstrahlen und die Tropfenablagerung in Flächenkulturen und Raumkulturen. *Diss. TU Berlin* 1973.
- KRUSE, C. W., HESS, A. D. and LUDVIK, G. F.: zitiert nach FORD, R. E. and FURMIDGE, C. G. L. 1967.
- MCKINLAY, K. S., BRANDT, S. A., MORSE, P. M. and ASHFORD, R.: Droplet size and phytotoxicity of herbicides. *Weed Science*, 1972, **20**, 5, 450–452.
- YEO, D.: zitiert nach FORD, R. E. und FURMIDGE, C. G. L. 1967.
- ZASKE, J.: Bestimmung und Bewertung von Tröpfchengrößenspektren bei Pflanzenschutzdüsen II. *Nachrichtenbl. Deutsch. Pflanzenschutzd. (Braunschwig)* **23**, 1971, 55–59.
- ZASKE, J.: Bestimmung und Bewertung von Tröpfchengrößenspektren bei Pflanzenschutzdüsen I. *Nachrichtenbl. Deutsch. Pflanzenschutzd. (Braunschwig)* **22**, 1970, 17–24.
- ZASKE, J.: Tropfengrößenanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Zerstäubung im chemischen Pflanzenschutz. *Diss. TU Berlin* 1973.

Symbole

- D_s = mittlerer Tropfendurchmesser nach Sauter
 D = mittlerer Volumendurchmesser
 Q = Flüssigkeitsstrom durch die Düse
 σ = Oberflächenspannung
 η = dynamische Viskosität
 V_A = Austrittsgeschwindigkeit der Flüssigkeit aus der Düsenöffnung
 V_o = Geschwindigkeit der Flüssigkeit zur umgebenden Luft
 δ_F = Dichte der Flüssigkeit
 p = Überdruck vor der Düse (Spritzdruck)
 v = Fahrgeschwindigkeit der Düse