

Einfluß der Betriebs- und Stoffparameter auf das Tropfengrößenspektrum von Pflanzenschutz-Düsen

Von Zülfü Selcan und Horst Göhlich, Berlin*)

DK 631.348:632.981.1

Die Art der Zerstäubung und die dabei entstehenden Tropfengrößen haben für die biologische Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln eine ganz wesentliche Bedeutung. Neben den Konstruktionsdaten der Düse üben die Betriebsdaten und die Stoffeigenschaften der Spritzflüssigkeit Einfluß auf das Tropfengrößenspektrum aus.

Es wird gezeigt, wie durch Rechenansätze die Tropfenbildung und das entstehende Tropfengrößenspektrum von Flachstrahldüsen unter Berücksichtigung der Spritzparameter vorausbestimmt werden kann und welche Übereinstimmungen zwischen Rechenergebnissen und Meßwerten erzielbar sind.

Die Berechnungsmethode erlaubt unter Berücksichtigung der gegebenen Voraussetzungen eine genügend genaue Vorherbestimmung des Tropfenspektrums von Flachstrahldüsen.

1. Einleitung

Die Tropfenbildung und die Tropfengrößenzusammensetzung beim Spritzvorgang ist von den Düsen- und Betriebsdaten einerseits und den Stoffdaten der Flüssigkeit andererseits abhängig. Die Kenntnis des Tropfengrößenspektrums ist für alle Pflanzenschutzmaßnahmen zur Beurteilung der Anlagerung an den Zielflächen und des biologischen Erfolges unerlässlich. Eine experimentelle Ermittlung ist allgemein aufwendig und verlangt eine Reihe von Hilfsmitteln. Die folgenden Untersuchungen sollen die Möglichkeit einer rechnerischen Ermittlung des Tropfengrößenspektrums erläutern und aufzeigen, unter welchen Voraussetzungen eine Vorausberechnung des gesamten Spektrums möglich wird.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Bestimmung der Tropfengröße

Zur Berechnung der Tropfengröße beim Lamellenzerfall eignet sich besonders die von *Dombrowski u. Johns* aufgrund zahlreicher experimenteller Untersuchungen und mit Hilfe dimensionsloser Kennzahlen aufgestellte Gleichung [1, 2]. Sie enthält alle Einflußparameter, die zur rechnerischen Bestimmung notwendig sind

$$d_y = 1,75 d_F [1 + 3 \eta / (\sigma \rho d_F)^{1/2}]^{1/6} \quad (1)$$

Hierin bedeuten d_F den Fadendurchmesser kurz vor der Tropfenbildung, σ die Oberflächenspannung, ρ die Dichte der Flüssigkeit und η die dynamische Viskosität. Bekanntlich reißt die Lamelle beim Zerfall zuerst in ein Fadennetz und anschließend in Tropfen auf, **Bild 1**. In diesem Zusammenhang haben *Dombrowski u. Johns* sinnvollerweise zunächst den Zusammenhang zwischen dem Fadendurchmesser d_F und den Einflußgrößen hergeleitet:

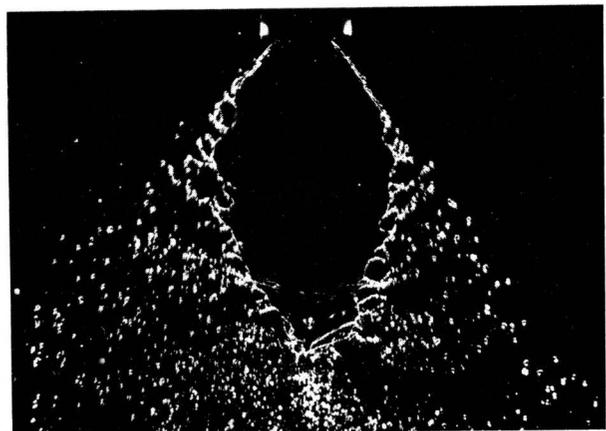


Bild 1. Tropfenbildung beim Lamellenzerfall; Flachstrahldüse Teejet 11002, Düsendruck: 0,5 bar.

*) Dipl.-Ing. Z. Selcan ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Maschinenkonstruktion – Bereich Landtechnik und Baumaschinen – der TU Berlin, Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich ist Leiter dieses Instituts.

$$d_F = 0,9614 \left(\frac{K \sigma}{w^2 \rho} \right)^{1/3} \left(\frac{\rho}{\rho_L} \right)^{1/6} \left\{ 1 + 0,625 \left[\frac{K \eta^3 \rho_L^4 w^7}{\sigma^5 \rho^2} \right]^{1/3} \right\}^{1/5} \quad (2).$$

Es bedeuten K eine Düsengröße, ρ_L die Dichte der Luft, w die Lamellengeschwindigkeit bzw. die Flüssigkeitsgeschwindigkeit am Düsenaustritt:

$$w = \xi \sqrt{2 \Delta p / \rho} \quad (3).$$

Die Düsenkonstante ξ läßt sich bei bekanntem Düsenaustrittsquerschnitt A aus der Volumenstromgleichung

$$\dot{V}(\Delta p) = A w = A \xi \sqrt{2 \Delta p / \rho} \quad (4)$$

ermitteln:

$$\xi = \dot{V}(\Delta p) / (A \sqrt{2 \Delta p / \rho}) \quad (4.1).$$

Eigene Untersuchungen haben ergeben, daß die in Gl. (2) angegebene Größe K mit 0,1 A anzusetzen ist. Damit kann der Düsenaustrittsquerschnitt A direkt in Gl. (2) eingesetzt werden, ohne zunächst wie bisher üblich, K experimentell bestimmen zu müssen [1, 2, 3].

Da im chemischen Pflanzenschutz der Düsendruck eine besonders kennzeichnende Größe darstellt, ist es sinnvoll, die Lamellengeschwindigkeit als Funktion von Δp in die Gl. (2) einzusetzen. Setzt man $K = 0,1 A$ und Gl. (3) in Gl. (2) ein, so führt das nach einer Vereinfachung zu der Beziehung:

$$d_F = 0,3542 \left(\frac{A \sigma \rho^{1/2}}{\xi^2 \rho_L^{1/2}} \right)^{1/3} \left\{ 1 + 0,65125 \left[\frac{A \xi^7 \eta^3 \rho_L^4}{\sigma^5 \rho^{11/2}} \right]^{1/3} \Delta p^{7/6} \right\} \frac{1}{\Delta p^{1/3}} \quad (5).$$

Nach Einsetzen von Gl. (5) in Gl. (1) erhält man schließlich einen Wert für den Tropfendurchmesser. Ein Vergleich zeigt aber, daß die nach Gl. (1) errechneten Werte nicht unmittelbar mit entsprechenden gemessenen Werten des im chemischen Pflanzenschutz gebräuchlichen mittleren volumetrischen Tropfendurchmessers d_{50} (MVD) übereinstimmen.

In weiteren Untersuchungen konnte allerdings nachgewiesen werden, daß zwischen dem nach Gl. (1) gerechneten Tropfendurchmesser d_y und den häufig angegebenen charakteristischen volumetrischen Tropfendurchmessern d_{10} , d_{50} und d_{90} (10-, 50-, 90 Perzentilwert) eine Korrelation in linearer Form besteht:

$$d_{10} = a_{10} + b_{10} d_y \quad (6.1)$$

$$d_{50} = a_{50} + b_{50} d_y \quad (6.2)$$

$$d_{90} = a_{90} + b_{90} d_y \quad (6.3).$$

Die Konstanten a und b für d_{10} , d_{50} und d_{90} sind in **Tafel 1** zusammen mit dem zugehörigen Korrelationskoeffizienten r aufgeführt.

Mit Hilfe dieser Beziehungen ist es möglich, nicht nur den mittleren Tropfendurchmesser, sondern auch die Durchmesser d_{10} und d_{90} mit guter Genauigkeit zu berechnen.

Volumetr. Tropfendurchmesser	a	b	r
	μm		
d_{10}	40,782	0,624	0,843
d_{50}	38,623	1,392	0,941
d_{90}	27,746	2,437	0,940

Tafel 1. Konstanten a und b für die Gleichung (6) und Korrelationskoeffizient r.

2.2 Tropfengrößenspektrum

Nach anderen Erkenntnissen ist es möglich, die Tropfengrößenverteilung zu berechnen, wenn der maximale Tropfendurchmesser d_{\max} bekannt ist [2, 4, 5, 6].

Mugele u. Evans gelang es durch eine logarithmische Transformierung, die Tropfengrößenzusammensetzung auf eine Normalverteilung zurückzuführen [4]:

$$f(x(d)) = dF/dx = (1/\sigma \sqrt{2\pi}) \exp(-x^2/2\sigma^2) \quad (7).$$

Mit $\delta = 1/\sigma \sqrt{2}$ läßt sich Gl. (7) zu

$$dF/dx = (\delta/\sqrt{\pi}) \exp(-\delta^2 x^2) \quad (7.1)$$

vereinfachen. In diesen Gleichungen steht σ für die Standardabweichung. Für den transformierten Tropfendurchmesser gilt

$$x(d) = \ln \left[\frac{(d_{\max}/d_{50}) - 1}{(d_{\max}/d) - 1} \right] \quad (8).$$

Da Gl. (7.1) einer Normalverteilung entspricht, liegt 80 % von der Fläche unterhalb der Kurve $f = dF/dx$ zwischen dem unteren Wert $-1,282 = \sqrt{2} \delta x_{10}$ und dem oberen Wert $+1,282 = \sqrt{2} \delta x_{90}$, **Bild 2** [7]. Daraus ergeben sich folgende Zusammenhänge:

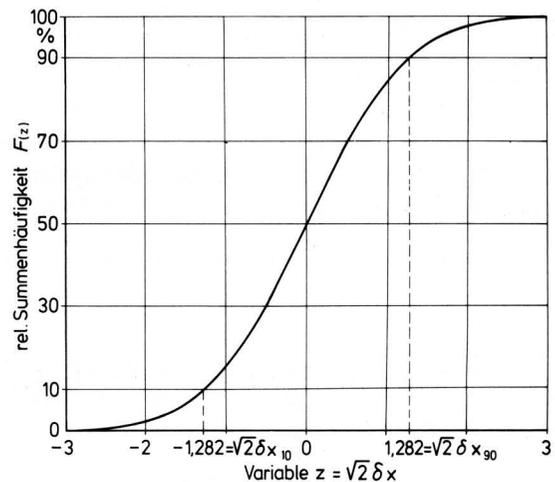
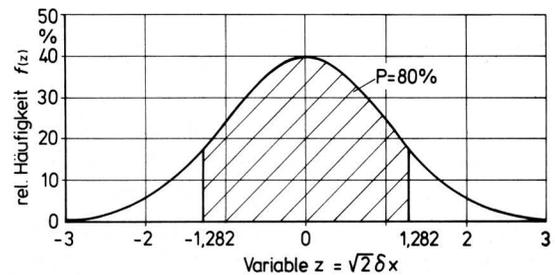


Bild 2. Darstellung der relativen Häufigkeit und Summenhäufigkeit einer Normalverteilung.

$$-x_{10} = x_{90} \quad (9)$$

$$x_{10} = x(d_{10}); x_{90} = x(d_{90})$$

$$\delta = -1,282/(\sqrt{2} x_{10}) = 1,282/(\sqrt{2} x_{90}) \quad (10).$$

Aus den Gln. (8) und (9) läßt sich der maximale Tropfendurchmesser d_{\max} wie folgt gewinnen

$$-\ln \left[\frac{(d_{\max}/d_{50}) - 1}{(d_{\max}/d_{10}) - 1} \right] = \ln \left[\frac{(d_{\max}/d_{50}) - 1}{(d_{\max}/d_{90}) - 1} \right] \quad (11)$$

$$d_{\max} = \left(\frac{1}{d_{10}} - \frac{2}{d_{50}} + \frac{1}{d_{90}} \right) / \left(\frac{1}{d_{10} d_{90}} - \frac{1}{d_{50}^2} \right) \quad (11.1).$$

Unter Berücksichtigung von Gl. (8) wird Gl. (10) zu:

$$\delta = 1,282 / (\sqrt{2} \ln \left[\frac{(d_{\max}/d_{50}) - 1}{(d_{\max}/d_{90}) - 1} \right]) \quad (12).$$

Nach Bestimmen der Größen d_{\max} , δ und $x = f(d)$ ist man in der Lage, die Verteilung des volumetrischen Tropfendurchmessers gemäß Gl. (7.1) zu berechnen. Die oft verwendete Summenhäufigkeitsverteilung

$$F(x(d)) = (\delta/\sqrt{\pi}) \int_{-\infty}^{\delta x} \exp(-\delta^2 x^2) dx \quad (13)$$

läßt sich auf elementare Weise nicht berechnen. Dies wird erst durch eine Reihenentwicklung mit anschließender Integration möglich:

$$F(x(d)) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left[\frac{\delta x}{0! 1} - \frac{(\delta x)^3}{1! 3} + \frac{(\delta x)^5}{2! 5} - \dots \right] \quad (13.1)$$

oder

$$F(x(d)) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(\delta x)^{2n+1}}{n! (2n+1)} \quad (13.2).$$

Düse		Druck	Stoff			Symbol	
Typ	A mm ²	P bar	σ 10 ⁻³ N/m	η 10 ⁻³ Pas	ρ 10 ³ kg/m ³	Art	
Teejet 110 02	0,650	2	61,50	1,072	0,999	H ₂ O+BSF ¹⁾	●
		3,5	"	"	"		
		4	"	"	"		
Teejet 110 03	0,950	2,5	61,50	1,072	0,999	H ₂ O+BSF	+ ²⁾
		4	"	"	"		
		6	"	"	"		
Teejet 110 03	0,950	2,5	58,25	1,372	1,02	H ₂ O+10 % Glycerin + BSF	x ²⁾
		4	"	"	"		
		6	"	"	"		
Teejet 110 03	0,950	2,5	32,30	1,117	0,998	H ₂ O+1 % Betanal + BSF	⊙ ²⁾
		4	"	"	"		
		6	"	"	"		
Albuz 110-V	1,453	2	61,50	1,072	0,999	H ₂ O+BSF	△
		3,5	"	"	"		
		5	"	"	"		
Teejet 110 03 LP	1,539	1,08	61,50	1,072	0,999	H ₂ O+BSF	□
		1,54	"	"	"		
		2,50	"	"	"		
		3,46	"	"	"		
		4,39	"	"	"		
Teejet 110 06	2,011	2	61,50	1,072	0,999	H ₂ O+BSF	○
		3,5	"	"	"		
		4	"	"	"		
Albuz 110-B	2,061	2	61,50	1,072	0,999	H ₂ O+BSF	▲
		3,5	"	"	"		
		5	"	"	"		
Albuz 110-G	2,865	2	61,50	1,072	0,999	H ₂ O+BSF	■
		3,5	"	"	"		
		5	"	"	"		

1) BSF: Brillantsulfolavin, 2) Die Ergebnisse dieser Versuche stammen von Schmidt [3]

Tafel 2. Düsen-, Druck- und Stoffwerte der Versuche.

3. Experimentelle Untersuchungsergebnisse

3.1 Versuchsdaten

Unter Berücksichtigung sämtlicher Einflußparameter sind entsprechende Versuche durchgeführt worden. Tafel 2 zeigt die Düsen- und Stoffdaten der durchgeführten Versuche sowie die Symbole, die in den graphischen Darstellungen verwendet werden. Die Düsendaten sind aus den Unterlagen des Herstellers entnommen [8, 9]. Die Versuche wurden auf der Spritzbahn des Institutes durchgeführt, wobei das Auffangen der Tropfen mittels Siliconöl erfolgte [10].

3.2 Korrelation der gemessenen und der gerechneten Tropfenwerte

Die durch Messung bestimmten Werte der Tropfengrößenverteilung sind mit den nach den Gln. (1), (5) und (6.1), (6.2), (6.3) gerechneten Werten für d_{10} , d_{50} und d_{90} verglichen worden, wie es aus Bild 3, 4 und 5 hervorgeht. Danach ist die Korrelation durchaus zufriedenstellend. Die Standardabweichung der prozentualen Abweichung zwischen dem gemessenen und dem gerechneten Wert beträgt bei

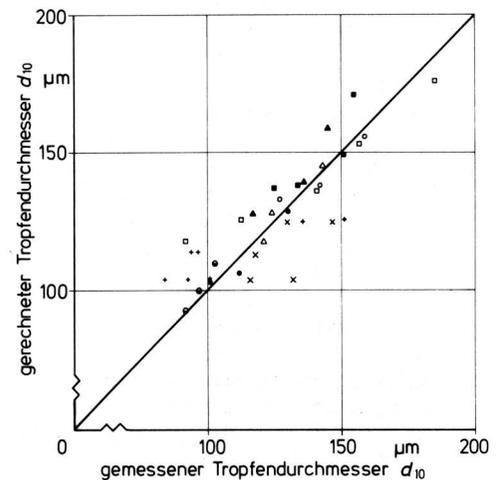


Bild 3. Korrelation der gemessenen und gerechneten Tropfendurchmesser d_{10} .

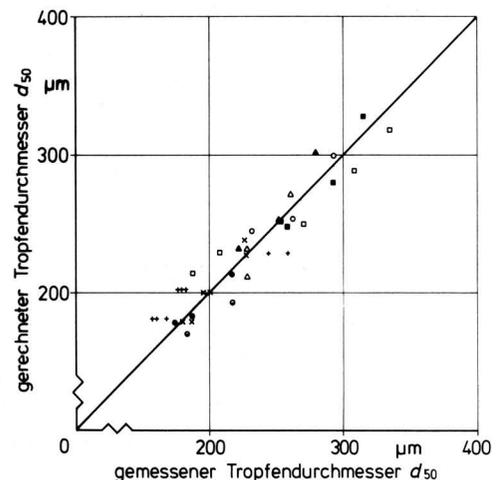


Bild 4. Korrelation der gemessenen und gerechneten Tropfendurchmesser d_{50} .

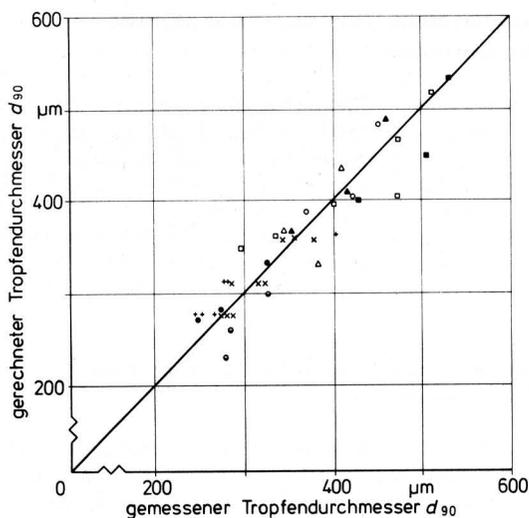


Bild 5. Korrelation der gemessenen und gerechneten Tropfendurchmesser d_{90} .

$$d_{10}: s = \pm 12,48 \%$$

$$d_{50}: s = \pm 7,49 \%$$

$$d_{90}: s = \pm 7,88 \%$$

Die Meßwerte sind aus verschiedenen, zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführten Tropfengrößenbestimmungen entnommen worden. Bei der Bewertung der angegebenen Abweichungen muß daher berücksichtigt werden, daß die Versuchsbedingungen gewissen Schwankungen unterlagen und sich dadurch größere Abweichungen als bei einheitlicher Versuchsanstellung ergeben haben.

3.3 Tropfengrößenspektrum

Mit Hilfe der gewonnenen Tropfenwerte d_{10} , d_{50} und d_{90} kann man gemäß Gl. (7.1) die Häufigkeitsverteilung bzw. nach der Gl. (13.1) die Summenhäufigkeitsverteilung des volumetrischen Tropfendurchmessers berechnen.

Im **Bild 6** sind drei gerechnete Kurven für die Summenhäufigkeit mit entsprechenden gemessenen Kurven zusammen dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, daß die Übereinstimmung im ganzen als recht gut bezeichnet werden kann und damit die entwickelte Rechenmethode bestätigt wird. Somit ist eine Grundlage geschaffen, die Tropfengrößenzusammensetzung mit genügender Genauigkeit analytisch vorherzubestimmen.

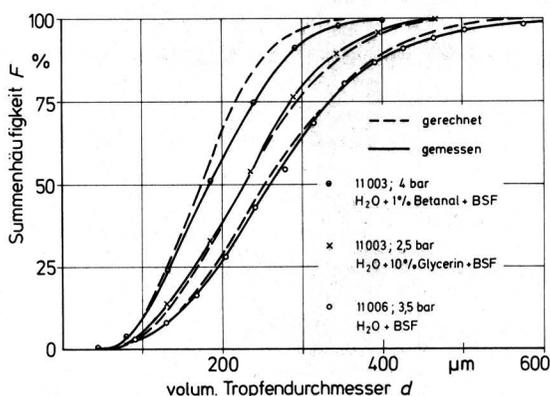


Bild 6. Vergleich von rechnerisch und experimentell ermittelten Tropfengrößenspektren bei unterschiedlichen Stoff- und Betriebsparametern.

4. Einfluß der Stoffdaten

Für den Tropfenbildungsprozeß stellen neben den Betriebsdaten auch die Stoffdaten der Flüssigkeit wichtige Einflußparameter dar. Die Stoffdaten der im chemischen Pflanzenschutz häufig eingesetzten Spritzflüssigkeiten bewegen sich innerhalb folgender Grenzen [3]:

$$\text{Oberflächenspannung: } (30-60) \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$\text{dynamische Viskosität: } (1,06-1,12) \cdot 10^{-3} \text{ Pas}$$

$$\text{Dichte: } \approx 1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3.$$

Die dynamische Viskosität und die Dichte der Spritzflüssigkeiten weichen in der Regel nur bis zu 1,5 % von der des Wassers ab [3]. Man kann daher Dichte und Viskosität als nahezu konstant betrachten. Es bleibt dann nur die Oberflächenspannung als relevante Einflußgröße zu berücksichtigen.

Eine Ausnahme bilden in dieser Hinsicht die Flüssigdünger, bei denen insbesondere die Viskosität stark abweicht [11]:

$$\text{Oberflächenspannung: } \text{ca. } 70 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$\text{dynamische Viskosität: } \text{bis } 50 \cdot 10^{-3} \text{ Pas}$$

$$\text{Dichte: } \text{bis } 1,4 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3.$$

Untersuchungen haben gezeigt, daß Ammonnitrat-Harnstoff-Lösungen bei verschiedenen Konzentrationen im Wasser eine erhebliche Streuung der Oberflächenspannung aufweisen [9]. Inwieweit die hier aufgeführte Berechnungsmethode auch für nichtnewtonsche Flüssigkeiten gilt, ist nicht untersucht worden.

4.1 Oberflächenspannung

Bild 7 zeigt den Zusammenhang zwischen der Oberflächenspannung der Flüssigkeit und der mittleren Tropfengröße für verschiedene Zerstäubungsdrücke. Die einzelnen Kurven haben einen leicht degressiven Verlauf. Bei geringen Drücken wirken sich Änderungen der Oberflächenspannung deutlich stärker auf den Tropfendurchmesser aus als bei höheren Drücken. Da sich die Oberflächenspannung mit unterschiedlichen Formulierungen der Pflanzenschutzmittel und mit unterschiedlich hoher Konzentration erheblich ändern kann, ist der dadurch bedingten unterschiedlichen Tropfengrößenzusammensetzung besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

4.2 Viskosität

Mit zunehmender Viskosität wächst der mittlere Tropfendurchmesser an, **Bild 8**. Das Bild stellt einen recht großen Bereich der Viskosität dar und umfaßt damit auch die Flüssigdünger. Wie zuvor angedeutet wurde, ändert sich aber die Viskosität der meist gebrauchten Spritzflüssigkeiten ($\eta \approx 1,1 \cdot 10^{-3}$ Pas) so wenig, daß die daraus folgende Änderung der Tropfenzusammensetzung vernachlässigt werden kann, solange mit den heute üblichen niedrigen Konzentrationen gearbeitet wird [3].

4.3 Dichte

Auch der Einfluß der Dichte auf die Tropfengröße ist vernachlässigbar gering, **Bild 9**. Bei einer Erhöhung der Dichte von $1,0 \cdot 10^3$ auf $1,4 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ nimmt der mittlere Tropfendurchmesser durchschnittlich um 4,5 % zu. Die Dichte der meisten Pflanzenschutzmittel-Spritzflüssigkeiten weicht aber aufgrund der geringen Konzentration nur wenig vom Wert $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ab, und nur die Flüssigdünger haben eine Dichte von etwa $\rho = 1,4 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

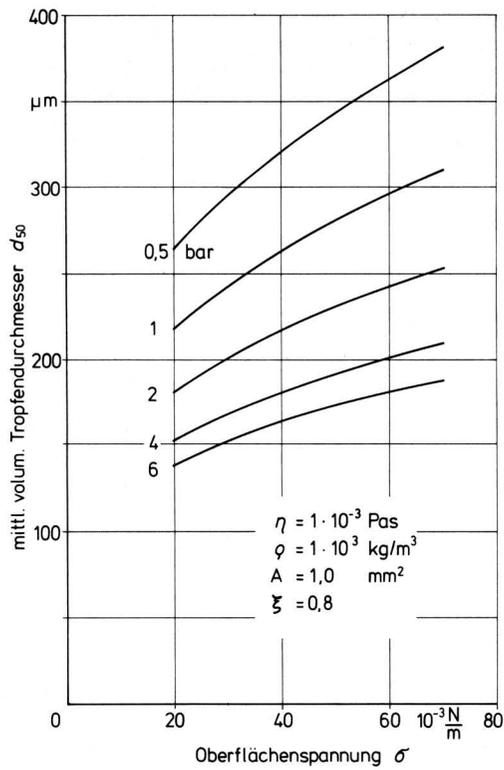


Bild 7. Mittlerer volumetrischer Tropfendurchmesser in Abhängigkeit von der Oberflächenspannung der Spritzflüssigkeit, Düsendruck als Parameter.

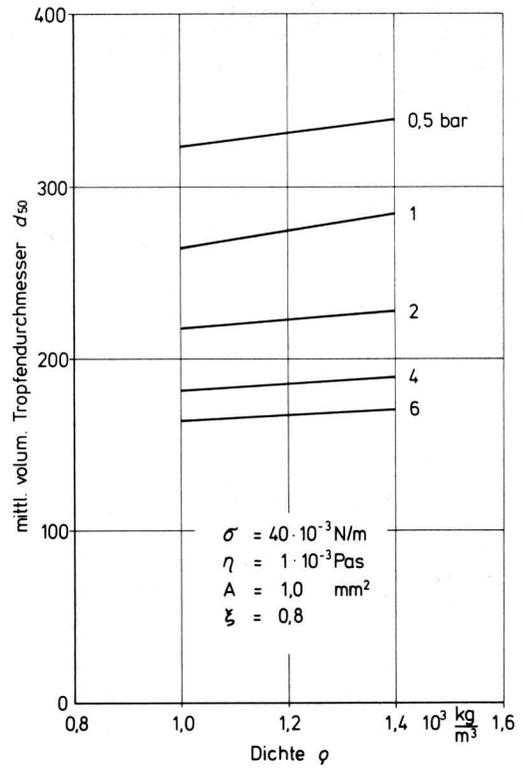


Bild 9. Mittlerer volumetrischer Tropfendurchmesser in Abhängigkeit von der Dichte, Düsendruck als Parameter.

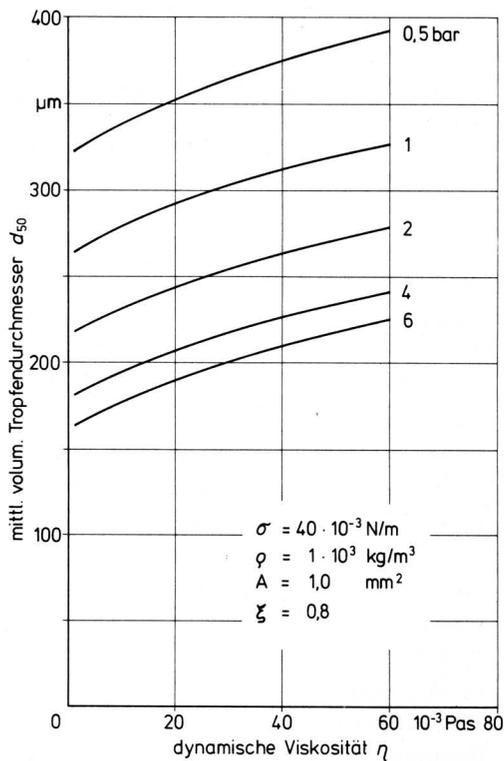


Bild 8. Mittlerer volumetrischer Tropfendurchmesser in Abhängigkeit von der dynamischen Viskosität, Düsendruck als Parameter.

5. Einfluß des Düsendruckes

Der Zusammenhang zwischen dem Düsendruck und dem mittleren Tropfendurchmesser ist in Bild 10 bis 12 mit dem Düsenquerschnitt als Parameter und jeweils für eine andere Oberflächenspannung dargestellt. Der Kurvenverlauf ist in allen drei Diagrammen ähnlich. Mit wachsender Oberflächenspannung entstehen größere Tropfendurchmesser und die Kurven für die verschiedenen Düsenquerschnitte rücken weiter auseinander.

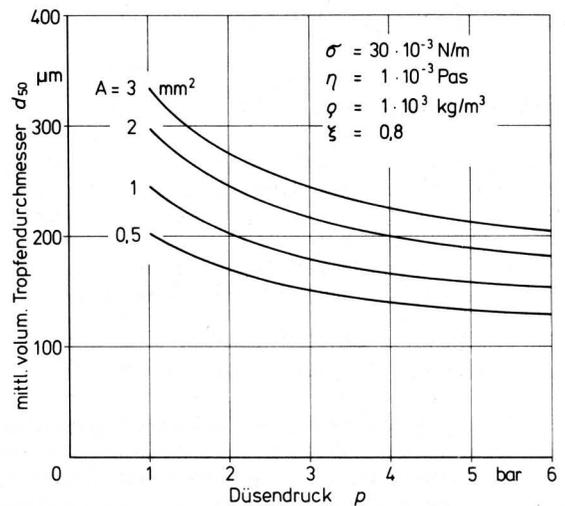


Bild 10. Mittlerer volumetrischer Tropfendurchmesser in Abhängigkeit vom Düsendruck, Düsenaustrittsquerschnitt als Parameter.

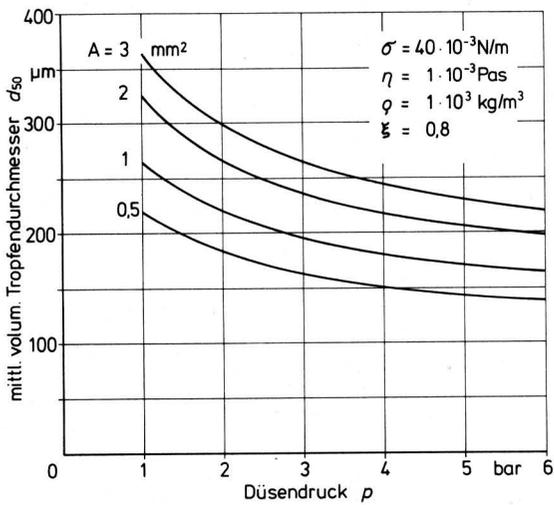


Bild 11. Mittlerer volumetrischer Tropfendurchmesser in Abhängigkeit vom Düsendruck, Düsenaustrittsquerschnitt als Parameter.

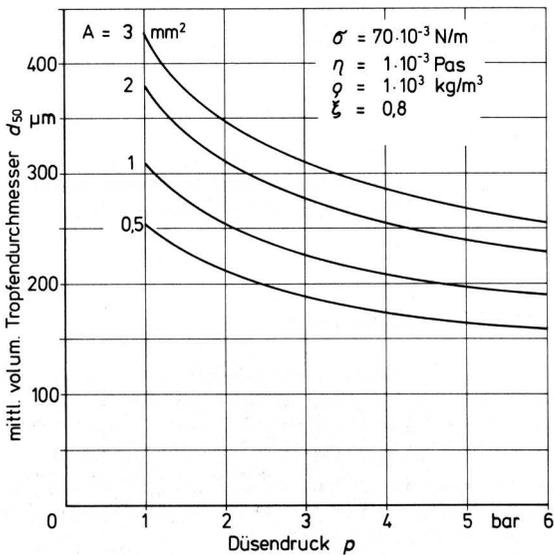


Bild 12. Mittlerer volumetrischer Tropfendurchmesser in Abhängigkeit vom Düsendruck, Düsenaustrittsquerschnitt als Parameter.

6. Einfluß der Düsengröße

Der Einfluß der Düsenquerschnittsfläche ist für die verschiedenen Oberflächenspannungen schon aus Bild 10 bis 12 zu entnehmen. Deutlicher aber wird die Beziehung zwischen Düsenquerschnitt und mittlerer Tropfengröße mit Bild 13, in dem der Düsendruck als Parameter auftritt. Düsen mit größerem Querschnitt weisen bei gleichem Druck einen merklich größeren Tropfendurchmesser auf.

7. Zusammenfassung

Das mit dem Zerstäubungsvorgang im chemischen Pflanzenschutz erzeugte Tropfengrößenspektrum ist von den Betriebsdaten, der Geometrie der Düse und den Stoffdaten der Spritzflüssigkeit abhängig. Die experimentelle Ermittlung der Tropfengrößenzusammensetzung erfordert relativ großen meßtechnischen Aufwand. Von Vorteil wäre es daher, wenn über eine Beziehung für die Abhängigkeit zwischen der Tropfengrößenzusammensetzung und den für die Tropfenbildung maßgeblichen Einflußgrößen das jeweilige

Tropfengrößenspektrum berechnet werden könnte. Ausgehend von bekannten theoretischen Ansätzen einerseits und Versuchsergebnissen andererseits wird eine Möglichkeit der rechnerischen Bestimmung des Tropfengrößenspektrums aufgezeigt.

Mit dem Vergleich gemessener und gerechneter Werte der Tropfengrößenverteilung konnte nachgewiesen werden, daß bei Berücksichtigung sämtlicher Einflußparameter der mittlere volumetrische Tropfendurchmesser d_{50} (MVD) mit einem mittl. prozentualen Fehler von $\pm 7,5\%$ vorausberechnet werden kann.

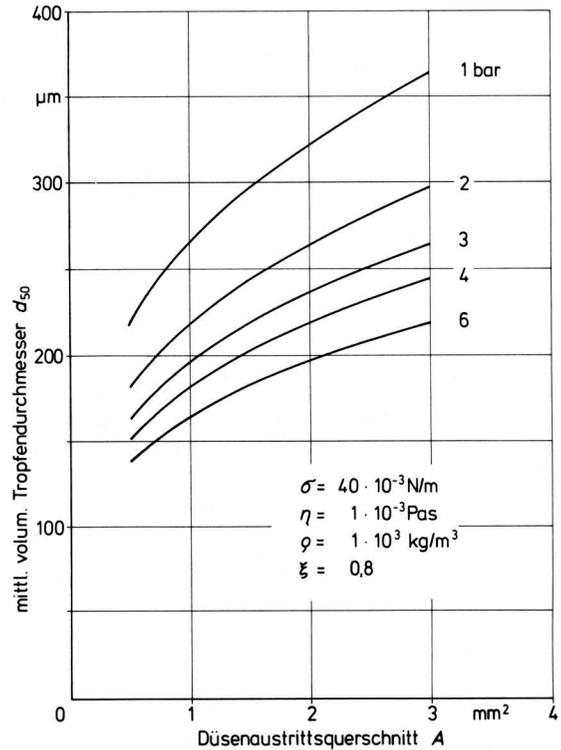


Bild 13. Mittlerer volumetrischer Tropfendurchmesser in Abhängigkeit vom Düsenaustrittsquerschnitt, Düsendruck als Parameter.

Verwendete Formelzeichen

Bezeichnung

A	Düsenaustrittsquerschnitt
a	Konstante
b	Konstante
d	Tropfendurchmesser
d_F	Fadendurchmesser
d_y	Tropfendurchmesser nach <i>Dombrowski u. Johns</i>
d_{10}	volum. Tropfendurchmesser für 10 % des Volumens
d_{50}	volum. Tropfendurchmesser für 50 % des Volumens
d_{90}	volum. Tropfendurchmesser für 90 % des Volumens
d_{max}	maximaler Tropfendurchmesser
K	Düsengröße $K = 0,1 \cdot A$
p, Δp	Düsendruck
r	Korrelationskoeffizient
s	Standardabweichung
x	transformierter Tropfendurchmesser
x_{10}	transformierte Tropfendurchmesser für d_{10}
x_{50}	transformierte Tropfendurchmesser für d_{50}
x_{90}	transformierte Tropfendurchmesser für d_{90}

\dot{V}	Volumenstrom der Düse
w	Austrittsgeschwindigkeit der Flüssigkeit
δ	entspricht der Standardabweichung in Normalverteilung
η	dynamische Viskosität der Flüssigkeit
ξ	Düsenkonstante
ρ	Dichte der Flüssigkeit
ρ_L	Dichte der Luft
σ	Oberflächenspannung der Flüssigkeit (stat. Größe in Gl. (7))

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] *Dombrowski, N. u. W.R. Johns*: The aerodynamic instability and disintegration of viscous liquid sheets. Chemical Engineering Science (London) Bd. 18 (1963) S. 203/14.
- [2] • *Brauer, H.*: Grundlagen der Einphasen- und Mehrphasenströmungen. Aarau und Frankfurt/M.: Sauerländer 1971.
- [3] *Schmidt, M.*: Einfluß physikalischer Flüssigkeitseigenschaften auf die Zerstäubung im Pflanzenschutz. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 4, S. 126/34.
- [4] *Mugele, R.A. u. H.D. Evans*: Droplet size distribution in sprays. Industrial and Engineering Chemistry Bd. 43 (1951) Nr. 6, S. 1317/24.
- [5] *Mugele, R.A.*: Maximum stable droplets in dispersoids. AIChE Journal Bd. 6 (1960) Nr. 1, S. 3/8.
- [6] *Goering, C.E. u. D.B. Smith*: Equations for the droplet size distributions in sprays. Trans. ASAE Bd. 21 (1978) Nr. 2, S. 209/16.
- [7] • *Kreyszig, E.*: Statistische Methoden und ihre Anwendungen. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht 1975, S. 425.
- [8] Mündliche Mitteilung der Fa. Desmarquest.
- [9] Düsenkatalog der Fa. Spraying Systems Co.
- [10] *Heidt, H.*: Automatisierte Tropfengrößen- und Belagsanalyse im chemischen Pflanzenschutz. Diss. TU Berlin, 1976.
- [11] *Selcan, Z.*: Tropfengrößenspektren und Stoffwerte der flüssigen Düngemittel. (Unveröffentlichter Institutsbericht).

Neuere Untersuchungen zur Strohverbrennung

Von Hans Wilhelm Orth, Dieter Wilkens und Fritz Meyer-Bothling, Braunschweig*

DK 662.636:633.004.12:662.91

Im Hinblick auf die Kostensenkung und eine mögliche Sicherung der Energieversorgung in der Landwirtschaft ist die Strohverbrennung in den letzten Jahren zunehmend Gegenstand neuerer Forschungsarbeiten geworden. Das Interesse der Forschung und der Industrie an der Strohverbrennung ist umso mehr begreiflich, als gerade das Stroh eine der wichtigsten regenerativen Energiequellen im landwirtschaftlichen Bereich darstellt [1].

In einer Reihe von grundlegenden Untersuchungen wurde auf die feuerungstechnischen Eigenschaften des Brennstoffes Stroh eingegangen [2, 3, 4]. Das Ziel weiterer Untersuchungen und Neuentwicklungen war im wesentlichen die Verbesserung des Wirkungsgrades der Feuerung bei Verringerung der Emissionswerte und die Steigerung des Bedienungskomforts. Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchungen sind Leistungsmessungen an einer Versuchsanlage mit vorwiegend unterem Abbrand bei Variation des Füllungsgrades. Dabei sollen insbesondere die Auswirkungen auf den Wirkungsgrad, die Brenndauer und die Abgasverluste ermittelt werden.

*) Prof. Dr.-Ing. H.W. Orth war Wiss. Oberrat am Institut für Technologie (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig-Völkenrode und ist jetzt Professor an der Fachhochschule Braunschweig-Wolfenbüttel; Dipl.-Ing. D. Wilkens ist wiss. Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H.J. Matthies) der TU Braunschweig; Dipl.-Ing. F. Meyer-Bothling war Student an diesem Institut.

1. Einleitung

Die stärkere Nutzung des Getreidestrohes könnte auf lange Sicht zu einer wesentlichen Senkung der Energiekosten in der Landwirtschaft beitragen. So könnte beispielsweise das in der Landwirtschaft benötigte Heizöl weitgehend durch den Brennstoff Stroh ersetzt werden [5]. Bei dieser Kalkulation wird keineswegs von einer vollständigen Nutzung des gesamten Strohanfalles in der Bundesrepublik ausgegangen, es werden lediglich 20 % der jährlich anfallenden Strohmenge zugrunde gelegt.

Bei weiterer Einschränkung des Strohverbrauchs in der landwirtschaftlichen Produktion (z.B. zur Einstreu oder Fütterung) würde überdies noch ein erheblicher zusätzlicher Anteil für Heizzwecke außerhalb der Landwirtschaft zur Verfügung stehen. Die Beheizung von Gewächshäusern in Gartenbaubetrieben, von Schwimmbädern, von gewerblichen Trocknungsanlagen oder gegebenenfalls Gemeinschaftsheizanlagen kleinerer Siedlungen mit Stroh vorzugsweise im ländlichen Bereich wäre denkbar.

Der stärkeren Verbreitung der Strohverbrennung in den beispielhaft genannten Bereichen stehen allerdings bisher einige negative Eigenschaften dieses Verfahrens wie

- großes Brennstoffvolumen bei sperriger Struktur,
- hoher Bedienungsaufwand der Verbrennungsanlagen und
- häufige Überschreitung der gesetzlich zugelassenen Emissionswerte

entgegen. Vor allem bei den absätzig betriebenen Anlagen der unteren bis mittleren Leistungsklasse bereitet die Einhaltung der zulässigen Emissionswerte besondere Schwierigkeiten, da bei diesen Anlagen im Gegensatz zu den technisch sehr aufwendigen Feuerungsautomaten kein stationärer Verbrennungsvorgang stattfindet. So durchläuft hier die Verbrennung während des Abbrandes einer Befüllung verschiedene Phasen mit teilweise unterschiedlichen Anforderungen an die Verbrennungsanlage.