

Bild 14. Subjektive Behaglichkeit in Abhängigkeit vom Wärmestromverhältnis $\dot{Q}_{\text{Kühlung}}/\dot{Q}_{\text{Ein}}$ (Kühlleistung der Zuluft/Wärmestrom durch Sonnenstrahlung und von Motor und Getriebe) bei verschiedenen Arten der Zuluftzuführung.

- serienmäßig, gerade
- + serienmäßig, seitlich
- Schlitz, vierfach,
- x Schlitz, zweifach
- △ Lochdecke

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Handbook, 1977 Fundamentals.
- [2] Rohles, F.H.: Psychological aspects of thermal comfort. ASHRAE Journal Bd. 13 (1971) Nr. 1, S. 86/90.
- [3] Nevins, R.G. u. F.H. Rohles: Thermal comfort and variable air volume systems. Austr. Refrig. Air. Cond. Bd. 28 (1974) Nr. 8, S. 40/45.
- [4] ● Fanger, P.O.: Thermal Comfort. New York: McGraw-Hill Book Co., 1973.
- [5] Graef, M., G. Jahns, J. Janssen, G.-J. Mejer, R. Möller, H. Speckmann u. E. Witte: Arbeitsplatzbelastungssimulator. Bericht aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung HdA 78/1 (1978).
- [6] Janssen, J. u. R. Möller: Versuchseinrichtung zum Messen des Temperaturfeldes und der Luftgeschwindigkeit in Fahrererkabinen. Bericht aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung, Jn 03 (1982).
- [7] Janssen, J.: Luftführung in Fahrererkabinen unter dem Gesichtspunkt der thermischen Behaglichkeit. Grundl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 5, S. 198/205.
- [8] Dubois, D. u. E.F. Dubois: A formula to estimate approximate surface area, if height and weight are known. Arch. of Internal Med. Bd. 19 (1916) S. 863. Zitiert in [12].
- [9] McNall, P.E., J. Jaax, F.H. Rohles, R.G. Nevins u. W. Springer: Thermal comfort (thermally, neutral) conditions for three levels of activity. ASHRAE Trans. Bd. 73 (1967) Tl. 1, S. I.3.1/I.3.14.
- [10] McNall, P.E., P.W. Ryan, F.H. Rohles u. R.G. Nevins: Metabolic rates at four activity levels and their relationship to thermal comfort. ASHRAE Trans. Bd. 74 (1968) Tl. 1, S. IV.3.1/IV.3.14.
- [11] Jahns, G. u. F.J. Thome: Beanspruchung des Menschen durch verschiedene Klimafaktoren – Versuche im Arbeitsplatzbelastungssimulator. Bericht aus den Instituten für Betriebstechnik und landtechnische Grundlagenforschung Nr. 50/1979.
- [12] Eriksson, H.A.: Värme och ventilation i traktorhytter. Specialmeddelande S. 25, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala (1975).
- [13] Kaufman, K.R., P.K. Turnquist u. R.N. Swanson: Physiological responses and thermal comfort of subjects in a tractor cab. ASAE paper No. 76-1577, ASAE, St. Joseph, Michigan 1976.
- [14] Rohles, F.H., J.E. Woods u. R.G. Nevins: The effects of air movement and temperature on the thermal sensation of sedentary man. ASHRAE Trans. Bd. 80 (1974) Nr. 1, S. 101/19.
- [15] Sprague, C.H., R.B. Jai, R.G. Nevins u. N.Z. Azer: The prediction of thermal sensation for man in moderate thermal environments via a simple thermoregulatory model. ASHRAE Trans. Bd. 80 (1974) Nr. 1, S. 130/46.
- [16] Azer, N.Z. u. R.G. Nevins: Physiological effects of locally cooling the head in a 95 F and 75 % RH environment. ASHRAE Trans. Bd. 80 (1974) Nr. 1, S. 93/100.
- [17] Janssen, J.: Der Effekt verschiedener Zuluftbedingungen auf das subjektive Befinden in Fahrererkabinen. Bericht aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung, Jn 05 (1984).

Stichprobenverfahren bei der Untersuchung von Drall-, Flachstrahl- und Rotationsdüsen

Von Andrzej Gajtkowski, Posen*)

DK 631.348.45:519.243

Die Verteilung von Pflanzenschutzmitteln muß bezüglich der ausgebrachten Menge und der Tropfengröße den gestellten Anforderungen genügen. Während die Ermittlung der ausgebrachten Menge auf verschiedenen Wegen mit einfachen Mitteln geschehen kann, erfordert die Ermitt-

lung der Tropfengrößenverteilung – oder einer Kenngröße für den mittleren Tropfendurchmesser – einen beträchtlichen Meßaufwand.

Der Beitrag untersucht, wie sich bei Düsen unterschiedlicher Bauart verschiedene Verfahren der Probennahme auf die Genauigkeit der ermittelten Kenngröße für den Tropfendurchmesser auswirken, und leitet ab, wie groß die Zahl der gemessenen Einzeltropfen jeweils sein muß, wenn eine vorgegebene Fehlergrenze bei der Schätzung der Kenngröße nicht überschritten werden soll.

*) Dr. inz. A. Gajtkowski ist wissenschaftlicher Oberassistent im Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft der Landwirtschaftlichen Akademie in Posen.

1. Einleitung

Die Entwicklung einer Düsenkonstruktion hängt auch von der Qualität der Laboruntersuchungen ab. Gegenwärtig gibt es keine Untersuchungsmethode für Düsen, die von allen Versuchszentren in Europa angewendet wird. Die Anwendung verschiedener Untersuchungsmethoden gestattet es aber nicht, Untersuchungsergebnisse verschiedener Versuchszentren miteinander zu vergleichen.

Die Erarbeitung einer einheitlichen Untersuchungsmethode für Düsen verlangt die Lösung einiger Probleme. Die wichtigsten sind:

- Erarbeitung von Verfahren der Stichprobenentnahme,
- Berechnung entsprechender Kennwerte für die Güte der Flüssigkeitszerstäubung,
- einheitliche Bearbeitung der Untersuchungsergebnisse.

Das Verfahren der Stichprobenentnahme entscheidet in hohem Grad über die Größe des auftretenden Fehlers und hat so Einfluß auf die Genauigkeit der errechneten Kennwerte. Bei der Untersuchung von Düsen sind daher solche Stichprobenverfahren anzuwenden, daß die berechneten Parameter der untersuchten Tropfenpopulation den kleinsten Fehler aufweisen.

Bei Anwendung einer nur teilweisen Untersuchung, eines Stichprobenverfahrens, was bei den Düsenuntersuchungen allein möglich ist, ist eine Grundvoraussetzung, um die Objektivität der erhaltenen Ergebnisse zu gewährleisten und eine brauchbare Schätzung von Parametern zu gestatten, eine repräsentative Probenahme [1, 2, 3].

Die genaue Art und Weise der Stichprobennahme ist aber bisher in internationalen Normen für die Untersuchung von Pflanzenschutzmaschinen nicht festgelegt [4, 5].

2. Meßmethoden für die Tropfengröße und Verfahren der Stichprobenentnahme

Bei der Messung der Tropfengröße werden Kontakt- und kontaktlose Methoden unterschieden. Eine der am häufigsten verwendeten Kontaktmethoden ist die Tropfenauffangmethode mit Hilfe von Immersionsflüssigkeit (verschiedene Öle) [6 bis 13]. Von den kontaktlosen Methoden werden die Schattenriß-Mikrofotografie [14 bis 17], die Fluoreszenzmethode [11, 18, 19], die optisch-elektronische Methode [20] und die Streulichtmethode mit Hilfe von Laserstrahlen [21] am meisten verwendet.

Unabhängig von der verwendeten Methode der Tropfengrößenmessung muß die zur Untersuchung entnommene Stichprobe für die ganze Tropfenpopulation repräsentativ sein. Bei vielen Untersuchungen werden zwar zuverlässige neuzeitliche Methoden der Tropfenmessung verwendet; die Bedingung, daß die Stichprobe repräsentativ ist, bleibt jedoch unbeachtet. Zum Beispiel kann der Wert des mittleren Tropfendurchmessers bei Anwendung eines angemessenen Stichprobenverfahrens einen Fehler von ca. 5 % enthalten, bei Anwendung eines zwar richtigen aber weniger effizienten Verfahrens aber ca. 20 %. Der Fehler kann bei freier Stichprobenentnahme noch viel größer sein, oft sogar nicht schätzbar.

Die Stichprobenverfahren können in 4 Gruppen unterteilt werden:

1. Die zahlreichste Gruppe bilden die Verfahren, bei denen die Stichprobenentnahme mehr oder weniger wie die systematische zufällige Auswahl verläuft. Bei diesen Verfahren werden die Ölschälchen in einer Reihe, in verschiedenen Abständen, auf der ganzen Breite des Flüssigkeitsstroms aufgestellt, das Verfahren für die Stichprobenentnahme selbst ist nicht präzisiert [4, 5, 22, 23, 24].
2. Zur zweiten Gruppe gehören die Verfahren, bei denen die Tropfenproben von einem Kreisdurchmesser in der zur Flüssigkeitsstromachse senkrechten Ebene entnommen werden [25, 26]. Dieses Probenahmeverfahren ist nicht repräsentativ, da nicht alle entstandenen Tropfen die Möglichkeit haben, sich innerhalb der Stichprobe einzufinden.

3. Zur dritten Gruppe zählen die Verfahren der proportionalen Stichprobennahme. Es wird angenommen, daß die Anzahl der gemessenen Tropfen proportional zum Flüssigkeitsvolumen in den entsprechend gewählten Stromzonen der zerstäubten Flüssigkeit ist [27, 28]. Die Voruntersuchungen des Verfassers haben diese Annahme nicht bestätigt. Die Verteilung des Flüssigkeitsvolumens in den einzelnen Stromzonen der Flüssigkeit ist mit der Anzahl der dort enthaltenen Tropfen nicht korreliert.

4. Zur letzten Gruppe werden weitere Verfahren gezählt, die im Einklang mit den Prinzipien einer repräsentativen Probenahme erarbeitet wurden [29, 30].

Nur die Untersuchung mit einem repräsentativen Verfahren gewährleistet eine hinreichende Genauigkeit der Ergebnisse. Und nur bei Anwendung eines entsprechenden Verfahrens der Stichprobenentnahme und bei Wahl der richtigen Tropfenanzahl in der Stichprobe können die interessierenden Parameter (z.B. MVD) geschätzt werden und die mit der Schätzung verbundenen Fehler angegeben werden.

In der Praxis können verschiedene Verfahren der Stichprobennahme angewendet werden, nicht immer ist aber vorauszusehen, welches das effizienteste, d.h. das beste und das billigste Verfahren sein wird.

In dieser Arbeit wurden folgende Stichprobenverfahren angewendet:

- systematische,
- zweistufige,
- geschichtete Stichprobe.

3. Untersuchungsmethodik

3.1 Allgemeine Annahmen

Für die Messung der Tropfengröße wurde eine der sichersten Meßmethoden angewendet; die Tropfenauffangmethode mit Hilfe von Immersionsflüssigkeit und die nachfolgende Aufnahme der Tropfen mit dem Mikroskop. Es wurde Wasser mit einer Temperatur von 20 °C zerstäubt. Als Immersionsflüssigkeit diente das Öl Hydrol 30 mit einer Temperatur von 20 °C (Viskosität 30,5 mm²/s, Oberflächenspannung 52 mN/m). Die Expositionszeit der mit Öl gefüllten Petrischälchen wurde versuchsweise so gewählt, daß sich im Sichtfeld des Mikroskops (2 x 3,5 mm) ca. 70 Tropfen befinden. In jeder Stichprobe wurden 70 Aufnahmen gemacht (insgesamt also ca. 4900 Tropfen erfaßt). Die gemessenen Tropfendurchmesser wurden in Klassen mit einer Klassenbreite von 20 µm aufgeteilt.

3.2 Berechnung der Mittelwerte und der Varianz bei den verwendeten Stichprobenverfahren

3.2.1 Systematische Stichprobe

Die systematische Stichprobe beruht darauf, daß nach Anordnung der Stichprobeneinheiten in einer Reihe eine Einheit aus den ersten k Einheiten (k Stichprobenintervall) zufällig ausgewählt wird. Zur Stichprobe gehören alle die Stichprobeneinheiten, die von der ersten Stichprobeneinheit um ein Vielfaches von k entfernt sind. Es wird angenommen, daß k gleich der größten ganzen Zahl ist, die den Wert des Bruchs N/n nicht überschreitet. Dabei ist N der Umfang der Grundgesamtheit und n der Umfang der Stichprobe.

Die aus der Grundgesamtheit ausgewählten Stichprobeneinheiten wurden in Gruppen mit dem Umfang k gruppiert. Die Stichprobeneinheit wird mit dem Symbol x_{jl} bezeichnet. In jeder Stichprobe sind j Spalten ($j = 1, 2, \dots, k$) und l Zeilen ($l = 1, 2, \dots, n$).

Der Mittelwert des Tropfendurchmessers der j -ten Spalte wird mit \bar{x}_j bezeichnet:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n x_{jl} \quad \text{für } j = 1, 2, \dots, k \quad (1)$$

Der Mittelwert des Tropfendurchmessers der ganzen Stichprobe wird berechnet mit der Beziehung:

$$\bar{x} = \frac{1}{kn} \sum_{j=1}^k \sum_{l=1}^n x_{jl} \quad (2)$$

Wird die Zahl, bei der die Stichprobennahme beginnt, aus den ersten k natürlichen Zahlen zufällig gewählt, so bedeutet das, daß jede der möglichen systematischen Stichproben gleich wahrscheinlich ist. Es ist dann

$$E(\bar{x}) = \bar{X} \quad (3)$$

d.h. der Mittelwert aus der Stichprobe \bar{x} ist ein ungewogener Schätzwert für den Mittelwert der Grundgesamtheit \bar{X} .

Bei der Berechnung der Varianz der systematischen Stichprobe kann auch geprüft werden, ob eventuell eine reine Zufallsstichprobe effizienter als die durchgeführte systematische Stichprobe sein könnte. Dazu ist die Varianz zwischen den Gruppen (S_b^2), die Varianz innerhalb der Gruppen (S_w^2) sowie die Varianz der reinen Zufallsstichprobe (S^2) zu berechnen.

Die einzelnen Varianzen werden nach folgenden Beziehungen berechnet:

Varianz zwischen den Gruppen

$$S_b^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (\bar{x}_j - \bar{x})^2 \quad (4)$$

innere Varianz der Gruppen

$$S_w^2 = \frac{1}{k(n-1)} \sum_{j=1}^k \sum_{l=1}^n (x_{jl} - \bar{x}_j)^2 \quad (5)$$

Varianz der reinen Zufallsstichprobe

$$S^2 = \frac{k(n-1)S_w^2 + (k-1)S_b^2}{k(n-1)} \quad (6)$$

Die systematische Stichprobe ist effizienter als die reine Zufallsstichprobe, wenn $S_w^2 > S^2$ ist. Ist $S_w^2 = S^2$, dann sind die beiden Stichprobenverfahren gleich effizient. Dagegen ist für $S_w^2 < S^2$ die reine Zufallsstichprobe effizienter als die systematische Stichprobe.

Die Varianz des Mittelwertes der systematischen Stichprobe wird mit Hilfe folgender Formel berechnet:

$$D_{\text{sys}}^2(\bar{x}) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (\bar{x}_j - \bar{x})^2 \quad (7)$$

Es gibt keine allgemeine Formel für den Varianz-Schätzwert der systematischen Stichprobe $\text{Est } D_{\text{sys}}^2(\bar{x})$, die sich auf die Ergebnisse der endgültigen Stichprobe stützt, d.h. die die Schätzung der Varianz ex post gestattet. Die Schätzung der Varianz für die systematische Stichprobe ist jedoch durch systematische Probenahme nicht nur einer Stichprobe, sondern einiger Stichunterproben möglich, die die eigentliche Stichprobe bilden. Der Vergleich der Mittelwerte aus den Stichunterproben mit dem Mittelwert aus der ganzen Stichprobe gestattet die Schätzung der Varianz $D_{\text{sys}}^2(\bar{x})$. Dazu werden g Stichunterproben aus k zu losenden Stichproben ausgelost.

Die Mittelwerte der g Stichunterproben werden mit $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_g$ bezeichnet, wo $g < k$. Der Mittelwert \bar{x}' aus der ganzen Stichprobe mit g Stichunterproben wird berechnet zu:

$$\bar{x}' = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g \bar{x}_i \quad (8)$$

Der ungewogene Schätzwert der Varianz $D_{\text{sys}}^2(x)$ ist:

$$\text{Est } D_{\text{sys}}^2(\bar{x}) = \frac{1 - (g/k)}{g(g-1)} \sum_{i=1}^g (\bar{x}_i - \bar{x}')^2 \quad (9)$$

3.2.2 Zweistufige Stichprobe

Die zweistufige Stichprobennahme erfolgt so, daß zuerst aus den M Gruppen der ganzen Tropfenpopulation ein Teil m dieser Gruppen zufällig ausgewählt wird; das sind die Stichprobeneinheiten der ersten Stufe. Danach wird aus jeder für die Stichprobe ausgewählten Einheit erster Stufe (mit N Elementen) wieder nur ein Teil, d.h. n Elemente, gelost. Die Elemente sind Einheiten der zweiten Stufe. Die Elemente der Grundgesamtheit wurden in M Gruppen gruppiert. Jede Gruppe hat ihre Nummer k ($k = 1, 2, \dots, M$). Die Anzahl der Elemente in der k -ten Gruppe beträgt N (die Anzahl der möglichen Mikroskopaufnahmen im Ölschälchen). Die ausgelosten Elemente sind geordnet und werden in der Stichprobe für den Mittelwert des Tropfendurchmessers mit x_{kl} ($k = 1, 2, \dots, m$; $l = 1, 2, \dots, n$) bezeichnet. In der Grundgesamtheit ist der Wert der Kennziffer X für das l -te Element in der k -ten Gruppe mit X_{kl} ($k = 1, 2, \dots, M$; $l = 1, 2, \dots, N$) bezeichnet.

Der Mittelwert der Einheiten der II. Stufe (der Mittelwert der ganzen Stichprobe) ist:

$$\mu = \frac{1}{mn} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n x_{kl} \quad (10)$$

Der Mittelwert der k -ten Gruppe wird berechnet mit:

$$\bar{\mu}_k = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n x_{kl} \quad (11)$$

die Varianz zwischen den Einheiten der I. Stufe:

$$d_z^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (\bar{\mu}_k - \bar{\mu})^2 \quad (12)$$

Die innere Varianz der Einheiten der I. Stufe wird berechnet über

$$d_w^2 = \frac{1}{m(n-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n (x_{kl} - \bar{\mu}_k)^2 \quad (13)$$

die geschätzte Varianz des Mittelwertes $\bar{\mu}$ in der zweistufigen Stichprobe ergibt sich aus der Beziehung

$$\text{Est } D^2(\bar{\mu}) = \frac{d_z^2}{m} \frac{M-m}{M} + \frac{d_w^2}{mn} \frac{N-n}{N} \quad (14)$$

3.2.3 Geschichtete Stichprobe

Für die geschichtete Stichprobe ist die zu untersuchende Grundgesamtheit in Schichten aufzuteilen, dann wird aus jeder Schicht eine entsprechende Anzahl von Elementen entnommen. Bei den Untersuchungen wurde für diese Entnahme die proportionale Stichprobe angewendet.

Die Grundgesamtheit (die mit Tropfen bedeckte Fläche) umfaßt N Stichprobeneinheiten und wird in L Schichten ($h = 1, 2, \dots, L$) aufgeteilt. Aus jeder Schicht werden Elemente als reine Zufallsstichprobe entnommen. N_h bedeutet die Anzahl der Elemente in der h -ten Schicht, w_h den Anteil dieser Elemente an der Gesamtheit, n_h die Anzahl der aus der h -ten Schicht entnommenen Elemente.

Der Mittelwert der Elemente (mittlerer Tropfendurchmesser) der h -ten Schicht ist

$$\bar{x}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{k=1}^{n_h} x_{hk} \quad (15)$$

darin ist:

- x_{hk} Wert der Stichprobeneinheit (mittlerer arithmetischer Tropfendurchmesser aus einer Mikroskopaufnahme)
- h Schichtnummer
- k Elementnummer in der h -ten Schicht.

Die Varianz der Stichprobeneinheiten in der h -ten Schicht wird berechnet mit:

$$S_h^2 = \frac{1}{n_h - 1} \sum_{k=1}^{n_h} (x_{hk} - \bar{x}_h)^2 \quad (16)$$

Der Anteil der gegebenen Schicht beträgt:

$$w_h = \frac{N_h}{N} \quad (17)$$

Die Anzahl der in der gegebenen Schicht ausgelosten Einheiten ergibt sich aus

$$n_h = n w_h \quad (18)$$

Der Mittelwert des mittleren Tropfendurchmessers in der Grundgesamtheit wird als gewogener Mittelwert der Schichten geschätzt:

$$\bar{x}_w = \frac{\sum_{h=1}^L w_h \bar{x}_h}{\sum_{h=1}^L w_h} \quad (19)$$

Die geschätzte Varianz des Mittelwertes \bar{x}_w in der geschichteten Stichprobe beträgt:

$$\text{Est } D^2(\bar{x}_w) = \frac{\sum_{h=1}^L w_h \frac{S_h^2}{n} (1 - \frac{n}{N})}{\sum_{h=1}^L w_h} \quad (20)$$

3.3 Beschreibung der Versuchsstände und der Stichprobenpläne

In Bild 1 ist der Versuchsstand für Drall- und Flachstrahldüsen und in Bild 2 der Versuchsstand für Rotationsdüsen schematisch dargestellt.

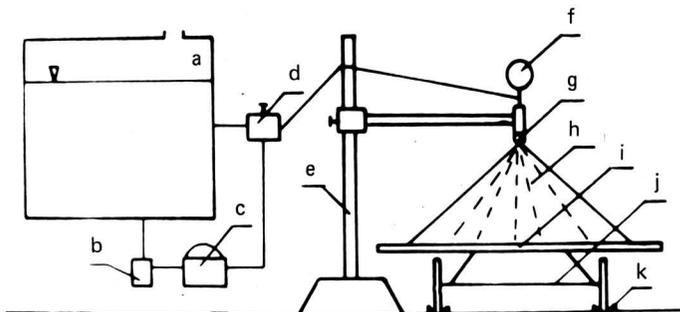


Bild 1. Versuchsstand für die Untersuchung von Drall- und Flachstrahldüsen (schematisch).

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------|
| a Behälter | f Manometer |
| b Filter | g Düse |
| c Pumpe mit Druckausgleichsbehälter | h Spritzschleier |
| d Regelventil | i Träger für Ölschälchen |
| e Stativ | j Wagen |
| | k Führungsschienen |

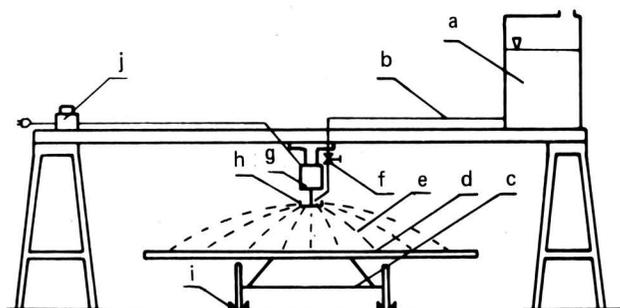


Bild 2. Versuchsstand für die Untersuchung von Rotationsdüsen (schematisch).

- | | |
|--------------------------|-------------------|
| a Behälter | f Regelventil |
| b Leitung | g Elektromotor |
| c Wagen | h Rotationsdüse |
| d Träger für Ölschälchen | i Führungsschiene |
| e Spritzschleier | j Transformator |

Das Grundprinzip bei der Erarbeitung der Stichprobenpläne war, daß alle aus der Düse stammenden Tropfen sich in der entnommenen Stichprobe einfinden können.

Die mit systematischen Stichprobenverfahren erhaltenen Stichproben sind mit A, zweistufige Stichproben mit B und geschichtete Stichproben mit C bezeichnet. Betrifft die Stichprobe die Dralldüse, so wird der Index w, bei der Flachstrahldüse der Index s und bei der Rotationsdüse der Index r bzw. r' angefügt.

Die Düsen waren auf einem Stativ fest montiert; die Ölschälchen waren entweder auf der bespritzten Fläche angeordnet (zusätzlicher Index 1) oder auf einem unter der Düse vorbeifahrenden Wagen angebracht (zusätzlicher Index 2). Damit bedeutet zum Beispiel das Symbol A_{S2} : systematische Stichprobe (a) bei Anwendung einer Flachstrahldüse (s) und bei Ölschälchen auf fahrendem Wagen (2).

Es wurden folgende Düsen untersucht:

- Dralldüse polnischer Herstellung, bestehend aus einem Drallkörper (zweikanalig) und einem Düsenplättchen mit 1,4 mm Bohrung,
- Flachstrahldüse französischer Herstellung (Albuz), bestehend aus einem Düsenmundstück APG 110 "o" und einem Siebfilter mit Rückschlagventil,
- Rotationsdüse G, Flachscheibe ϕ 160 mm,
- Rotationsdüse H, Scheibe ϕ 160 mm mit Siebrand und Bohrungen ϕ 1,2 mm.

Die bei der Untersuchung der Spritzdüsen (Drall- und Flachstrahldüsen) verwendeten Pläne für die Stichprobenentnahme sind für das Beispiel der Flachstrahldüse in Bild 3 bis 5 dargestellt. Die bei der Untersuchung der Rotationsdüsen G und H verwendeten Pläne der Stichprobenentnahme sind in Bild 6 bis 10 dargestellt.

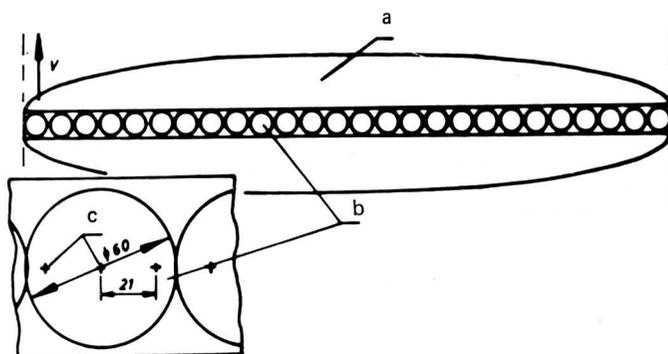


Bild 3. Plan für die Entnahme der systematischen Stichprobe A_{S2} (system. Stichprobe, Flachstrahldüse, Schälchen auf Wagen).

- | | |
|------------------------------|---|
| a bespritzte Fläche | v Bewegungsrichtung von Wagen und Schälchen |
| b Ölschälchen | |
| c Orte der Mikroskopaufnahme | |

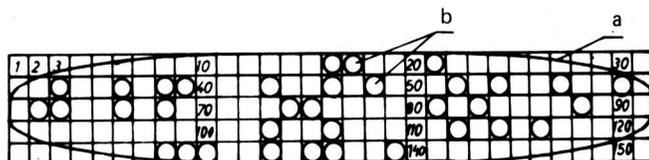


Bild 4. Plan für die zweistufige Stichprobe B_{S1} (zweist. Stichprobe, Flachstrahldüse, Schälchen fest auf bespritzter Fläche).

- | |
|----------------------------|
| a bespritzte Fläche |
| b Schälchen der Stichprobe |

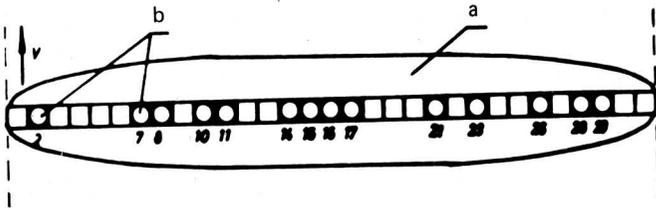


Bild 5. Plan für die zweistufige Stichprobe B_{S2} (zweist. Stichprobe, Flachstrahldüse, Schälchen auf Wagen).

- a bespritzte Fläche
- b Schälchen der Stichprobe
- v Bewegungsrichtung

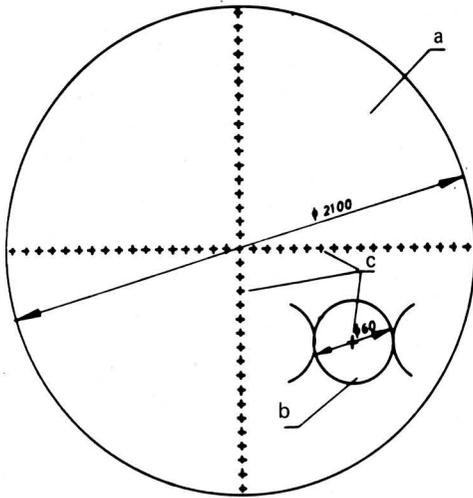


Bild 6. Plan für die systematischen Stichproben A_{r1} und A_{r1} (system. Stichproben, Rotationsdüsen G bzw. H, Schälchen fest auf bespritzter Fläche).

- a bespritzte Fläche
- b Schälchen
- c Ort der Mikroskopaufnahme

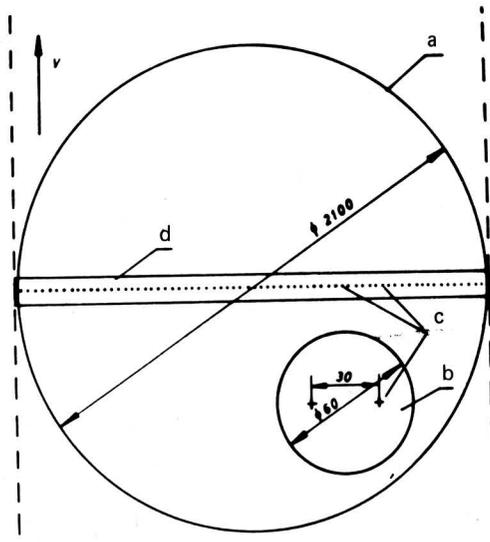


Bild 7. Plan für die systematischen Stichproben A_{r2} und A_{r2} (system. Stichproben, Rotationsdüsen G bzw. H, Schälchen auf Wagen).

- a bespritzte Fläche
- b Schälchen mit Orten der Mikroskopaufnahme
- c Orte der Mikroskopaufnahme
- d Träger der Ölschälchen
- v Bewegungsrichtung

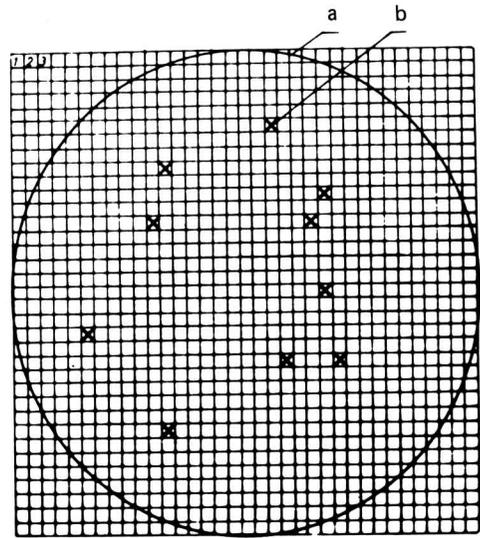


Bild 8. Plan für die zweistufigen Stichproben B_{r1} und B_{r1} (zweist. Stichproben, Rotationsdüsen G bzw. H, Schälchen fest auf bespritzter Fläche).

- a bespritzte Fläche
- b zufällig ausgewählte Orte für die Aufstellung der Schälchen

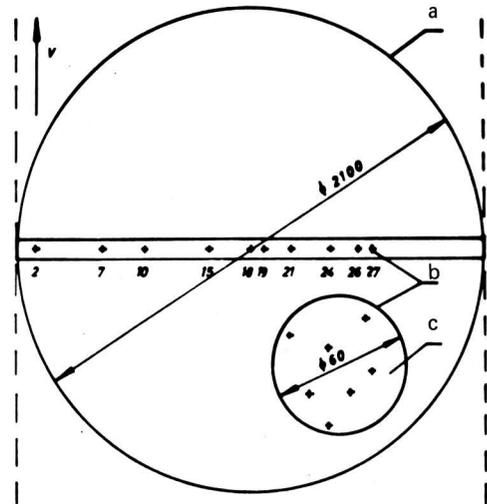


Bild 9. Plan für die zweistufigen Stichproben B_{r2} und B_{r2} (zweist. Stichproben, Rotationsdüsen G bzw. H, Schälchen auf Wagen).

- a bespritzte Fläche
- b zufällig ausgewählte Schälchen
- c zufällig gewählte Orte der Mikroskopaufnahmen
- v Bewegungsrichtung

4. Untersuchungsergebnisse

Die Stichprobeneinheit (Mikroskopaufnahme) beinhaltete durchschnittlich 70 Tropfen. Bei der Messung wurden die Tropfen in Klassen mit einer Breite von $20 \mu\text{m}$ gruppiert und danach wurde für jede Stichprobeneinheit der mittlere arithmetische Tropfendurchmesser D berechnet. Die Häufigkeitsverteilungen der mittleren Tropfendurchmesser D in den systematischen Stichproben für die verschiedenen Düsenarten zeigen Bild 11 bis 13.

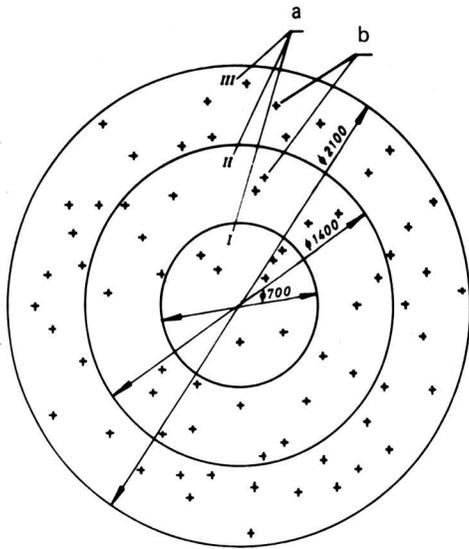


Bild 10. Plan für die geschichteten Stichproben C_{r1} und C_{r1} (gesch. Stichproben, Rotationsdüsen G bzw. H, Schälchen fest auf bespritzter Fläche).

- a Schichten der bespritzten Fläche
- b zufällig in den einzelnen Schichten gewählte Orte der Mikroskopaufnahme

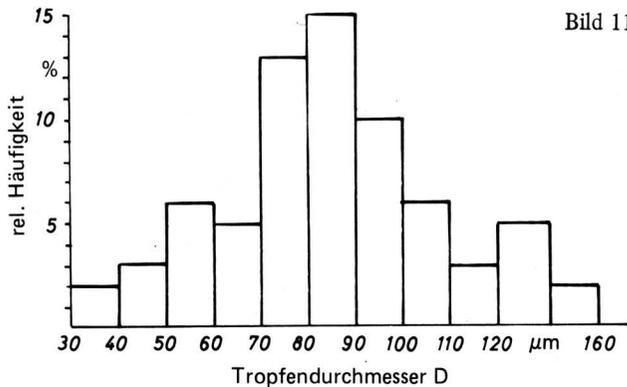


Bild 11

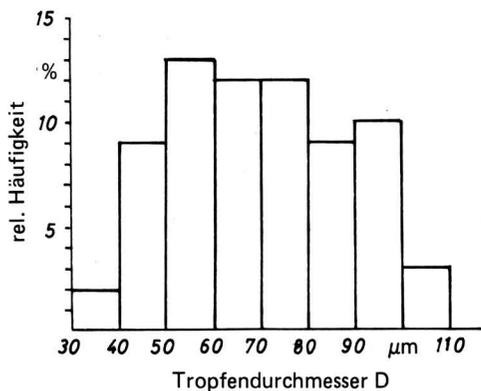


Bild 12

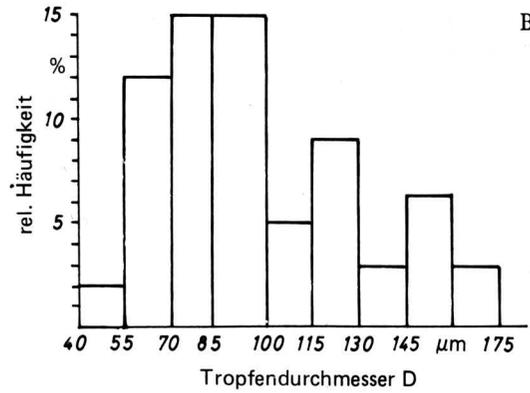


Bild 13

Vor den statistischen Berechnungen wurde nachgeprüft, ob die Verteilungen der mittleren Durchmesser D durch eine Normalverteilung approximiert werden können. Zu diesem Zweck wurde der Übereinstimmungstest λ von *Kolmogorov* angewendet. Nach Verifizierung der Hypothese H_0 über die Übereinstimmung der empirischen mit der hypothetischen (normalen) Verteilung in den einzelnen Stichproben wurde festgestellt, daß kein Grund besteht, die Hypothese H_0 abzulehnen. Das bedeutet, daß die Verteilungen der Werte für die mittleren Tropfendurchmesser D einer normalen Verteilung sehr nahe kommen.

Wegen des begrenzten Umfangs der Arbeit sind die Werte der Stichprobeneinheiten (mittlere Durchmesser D) der einzelnen Stichprobenverfahren nur beispielsweise für die Rotationsdüse G und lediglich für zwei Stichprobenverfahren, nämlich für die systematische Stichprobe A_{r2} (Bild 7) in Tafel 1 und für die geschichtete Stichprobe C_{r1} (Bild 10) in Tafel 2 angegeben.

Lösung A_{r2}	j = 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l = 1, 2, \dots, n$	187	167	194	192	136	157	149	147	117	117
	108	133	107	103	90	95	86	94	82	91
	84	95	79	72	81	73	78	79	71	78
	72	68	65	71	69	67	72	69	56	54
	68	51	67	57	64	68	80	75	84	71
	80	79	68	71	70	86	68	82	91	83
	87	118	147	128	150	144	179	147	147	187

Tafel 1. Mittlerer Durchmesser der Stichprobeneinheiten x_{ji} bei der systematischen Stichprobe A_{r2} .

Schicht I $h = 1$ $k = 1, 2, \dots, n_h$ ($n_1 = 7$)	63	68	54	58	52	59	42
Schicht II $h = 2$ $k = 1, 2, \dots, n_h$ ($n_2 = 21$)	77	73	62	69	75	64	88
	75	84	71	59	78	71	66
	80	46	75	81	78	89	90
Schicht III $h = 3$ $k = 1, 2, \dots, n_h$ ($n_3 = 42$)	153	145	161	139	114	157	159
	145	114	128	116	106	139	135
	134	118	129	100	105	100	118
	111	104	130	98	111	87	109
	106	125	109	106	103	127	120
	91	107	118	120	87	90	101

Bild 11 bis 13. Tropfengrößenverteilung in systematischen Stichproben.

- Bild 11: systematische Stichprobe A_{w2} für die Dralldüse $\phi 1,4$
- Bild 12: systematische Stichprobe A_{s2} für die Flachstrahldüse APG 110 "o"
- Bild 13: systematische Stichprobe A_{r1} für die Rotationsdüse G

Tafel 2. Mittlerer Durchmesser der Stichprobeneinheit x_{hk} bei der geschichteten Stichprobe C_{r1} .

5. Analyse der Untersuchungsergebnisse

5.1 Drall- und Flachstrahldüsen

Bei den Untersuchungen zur Güte der Flüssigkeitszerstäubung durch Drall- und Flachstrahldüsen können unter Berücksichtigung einer repräsentativen Probenahme die systematische Stichprobe z.B. A_{w2} sowie zweistufige Stichproben B_{w1} und B_{w2} angewendet werden. Man kann auch die reine Zufallsstichprobe anwenden, die hier aber nicht durchgeführt wurde, da die Effizienz dieser Probenahme während der Varianzberechnungen der systematischen Stichprobe bestimmt werden kann. Es kann a priori nicht beantwortet werden, welches der möglichen Stichprobenverfahren das beste und effizienteste ist, da die entsprechenden Parameterwerte der zu untersuchenden Tropfenmenge unbekannt sind. Diese Parameter werden aufgrund der entnommenen Stichprobe mit Hilfe der eng mit dem Stichprobenverfahren verbundenen Schätzfunktion bestimmt. Bei allen Stichprobenverfahren wird die gleiche Anzahl von Einheiten verwendet. Welches Verfahren das effizienteste ist, entscheiden die berechneten Varianzwerte. Das beste wird das Verfahren sein, das den niedrigsten Varianzwert ergibt.

In Tafel 3 sind Varianzwerte für die systematische Stichprobe A_{w2} und die zweistufigen Stichproben B_{w1} und B_{w2} bei der Untersuchung der Dralldüse ϕ 1,4 zusammengestellt. Aus der Analyse der Werte für die innere Varianz der Gruppen S_w^2 und für die Varianz der reinen Zufallsstichprobe S^2 , die auch durchgeführt werden kann, können Folgerungen hinsichtlich der Effizienz dieser beiden Stichprobenverfahren gezogen werden. Der Wert der Varianz S_w^2 beträgt 614,4, der der Varianz S^2 565,0, d.h. es ist $S_w^2 > S^2$, was bedeutet, daß die systematische Stichprobe effizienter als die reine Zufallsstichprobe ist. Es kann hieraus der Schluß gezogen werden, daß die Anordnung der Tropfengrößen in der ganzen Population, die bei der Flüssigkeitszerstäubung entsteht, zufällig ist.

Beim Vergleich des Wertes der Varianz $Est D_{syst}^2(\bar{x})$ mit den bei zweistufigen Stichproben erhaltenen Varianzen $Est D^2(\bar{\mu})$, ist festzustellen, daß das hier verwendete Schema der systematischen Stichprobe auch effizienter als die zweistufigen Stichproben ist.

Geschätzte Werte	Bezeichnungen	Stichprobe		
		A_{w2}	B_{w1}	B_{w2}
Mittelwert der Kenngröße	$\bar{x}, \bar{\mu}$	84,8 \mp 2,8	83,7 \mp 7,7	81,7 \mp 12,6
Innere Varianz der Gruppen	S_w^2	614,4	—	—
Varianz der reinen Zufallsstichprobe	S^2	565,0	—	—
Varianz des Mittelwertes der systematischen Stichprobe	$D_{syst}^2(\bar{x})$	30,3	—	—
Geschätzte Varianz der systematischen Stichprobe	$Est D_{syst}^2(\bar{x})$	2,1	—	—
Varianz zwischen den Einheiten der I. Stufe	d_z^2	—	529,2	515,2
Innere Varianz der Einheiten der I. Stufe	d_w^2	—	85,0	145,7
Geschätzte Varianz der zweistufigen Stichprobe	$Est D^2(\bar{\mu})$	—	15,5	41,3

Tafel 3. Varianzwerte bei der systematischen Stichprobe und bei der zweistufigen Stichprobe; Dralldüse ϕ 1,4.

In Tafel 4 sind Werte der Varianzen zusammengestellt, die man für die systematische Stichprobe A_{s2} und die zweistufigen Stichproben B_{s1} und B_{s2} bei der Untersuchung der Flachstrahldüse Albuz erhält. Ähnlich, wie im Falle der Dralldüse ist der Wert der inneren Varianz der Gruppen S_w^2 größer als die Varianz der reinen Zufallsstichprobe S^2 , d.h. die systematische Stichprobe ist effizienter.

Aus dem Vergleich der Varianz der systematischen Stichprobe $Est D_{syst}^2(\bar{x})$ mit den Varianzen der zweistufigen Stichprobe $Est D^2(\bar{\mu})$ ergibt sich auch hier, daß die systematische Stichprobe effizienter als die zweistufigen Stichproben ist.

Geschätzte Werte	Bezeichnungen	Stichprobe		
		A_{s2}	B_{s1}	B_{s2}
Mittelwert der Kenngröße	$\bar{x}, \bar{\mu}$	70,0 \mp 1,9	72,7 \mp 8,5	71,4 \mp 4,6
Innere Varianz der Gruppen	S_w^2	334,3	—	—
Varianz der reinen Zufallsstichprobe	S^2	312,5	—	—
Varianz des Mittelwertes der systematischen Stichprobe	$D_{syst}^2(\bar{x})$	21,5	—	—
Geschätzte Varianz der systematischen Stichprobe	$Est D_{syst}^2(\bar{x})$	0,9	—	—
Varianz zwischen den Einheiten der I. Stufe	d_z^2	—	815,8	41,3
Innere Varianz der Einheiten der I. Stufe	d_w^2	—	124,0	280,5
Geschätzte Varianz der zweistufigen Stichprobe	$Est D^2(\bar{\mu})$	—	18,8	5,6

Tafel 4. Varianzwerte bei der systematischen Stichprobe und bei der zweistufigen Stichprobe; Flachstrahldüse APG 110 "o".

5.2 Rotationsdüsen

Bei den Untersuchungen zur Güte der Flüssigkeitszerstäubung mit Rotationsdüsen können die Verfahren der systematischen Stichprobe nach Bild 6 und 7, der zweistufigen Stichprobe nach Bild 8 und 9 und der geschichteten Stichprobe nach Bild 10 angewendet werden. Auch die reine Zufallsstichprobe kann durchgeführt werden, die aber aus denselben Gründen, wie bei der Untersuchung von Drall-, Flachstrahl- und Rotationsdüsen nicht angewendet wurde.

In Tafel 5 sind Werte für die systematischen Stichproben A_{r1} und A_{r2} , für die zweistufigen Stichproben B_{r1} und B_{r2} sowie für die geschichtete Stichprobe C_{r1} bei der Untersuchung der Rotationsdüse G zusammengestellt. Aus dem Vergleich der Werte der inneren Varianz der Gruppen S_w^2 und der Varianz der reinen Zufallsstichprobe S^2 für die systematischen Stichproben A_{r1} und A_{r2} ergibt sich, daß in beiden Fällen S_w^2 größer als S^2 ist, d.h. daß die systematische Stichprobe auch hier effizienter als die reine Zufallsstichprobe ist.

Aus der Analyse der Varianzwerte für alle Stichprobenverfahren ist zu entnehmen, daß die systematischen Stichproben A_{r1} und A_{r2} am effizientesten, die geschichtete Stichprobe C_{r1} etwas weniger effizient und die zweistufigen Stichproben B_{r1} und B_{r2} wenig effizient sind. Die letztgenannten Stichproben sind durch wesentlich höhere Varianzwerte gekennzeichnet.

Da die Varianzen der systematischen Stichproben und der geschichteten Stichprobe annähernd gleiche Werte haben, wurde zwecks Verifizierung der Hypothese der Varianzgleichheit für diese Stichproben der Cochran'sche Test angewendet. Mit dem Test wurde jedoch festgestellt, daß die Varianz der geschichteten Stichprobe von den Varianzen der systematischen Stichproben wesentlich verschieden ist, wogegen die Varianzen der systematischen Stichproben A_{r1} und A_{r2} sich voneinander nur unwesentlich unterscheiden.

Geschätzte Werte	Bezeichnungen	Stichprobe				
		A_{r1}	A_{r2}	B_{r1}	B_{r2}	C_{r1}
Mittelwert der Kenngröße	$\bar{x}, \bar{\mu}, \bar{x}_w$	98,1	98,6	113,4	108,1	98,9
Innere Varianz der Gruppen	S_w^2	1139,3	1624,3	—	—	—
Varianz der reinen Zufallsstichprobe	S^2	997,5	1422,9	—	—	—
Varianz des Mittelwertes der systematischen Stichprobe	$D_{syst}^2(\bar{x})$	6,8	10,4	—	—	—
Geschätzte Varianz der systematischen Stichprobe	Est $D_{syst}^2(\bar{x})$	0,3	0,4	—	—	—
Varianz zwischen den Einheiten der I. Stufe	d_z^2	—	—	1181,7	1047,7	—
Innere Varianz der Einheiten der I. Stufe	d_w^2	—	—	45,6	57,5	—
Geschätzte Varianz der zweistufigen Stichprobe	Est $D^2(\bar{\mu})$	—	—	117,9	80,6	—
Innere Varianz der I. Schicht	S_1^2	—	—	—	—	70,0
Innere Varianz der II. Schicht	S_2^2	—	—	—	—	107,0
Innere Varianz der III. Schicht	S_3^2	—	—	—	—	380,3
Geschätzte Varianz der geschichteten Stichprobe	Est $D^2(\bar{x}_w)$	—	—	—	—	3,8

Tafel 5. Varianzwerte bei den systematischen, zweistufigen und geschichteten Stichproben; Rotationsdüse G.

In Tafel 6 sind die Werte der Varianzen für die systematischen Stichproben A_{r1} und A_{r2} , die zweistufigen Stichproben B_{r1} und B_{r2} sowie für die geschichtete Stichprobe C_{r1} bei der Untersuchung der Rotationsdüse H zusammengestellt.

Geschätzte Werte	Bezeichnungen	Stichprobe				
		A_{r1}	A_{r2}	B_{r1}	B_{r2}	C_{r1}
Mittelwert der Kenngröße	\bar{x}, μ, \bar{x}_w	87,5	86,4	96,7	91,8	86,2
Innere Varianz der Gruppen	S_w^2	450,1	231,2	—	—	—
Varianz der reinen Zufallsstichprobe	S^2	395,0	206,3	—	—	—
Varianz des Mittelwertes der systematischen Stichprobe	$D_{syst}^2(x)$	3,5	5,2	—	—	—
Geschätzte Varianz der systematischen Stichprobe	Est $D_{syst}^2(x)$	0,2	0,4	—	—	—
Varianz zwischen den Einheiten der I. Stufe	d_z^2	—	—	104,8	30,1	—
Innere Varianz der Einheiten der I. Stufe	d_w^2	—	—	52,4	43,0	—
Geschätzte Varianz der zweistufigen Stichprobe	Est $D^2(\mu)$	—	—	11,1	2,9	—
Innere Varianz der I. Schicht	S_1^2	—	—	—	—	90,3
Innere Varianz der II. Schicht	S_2^2	—	—	—	—	28,3
Innere Varianz der III. Schicht	S_3^2	—	—	—	—	115,1
Geschätzte Varianz der geschichteten Stichprobe	Est $D^2(x_w)$	—	—	—	—	1,2

Tafel 6. Varianzwerte bei den systematischen, zweistufigen und geschichteten Stichproben; Rotationsdüse H.

Aus dem Vergleich der Werte der inneren Varianz der Gruppen S_w^2 und der Varianz der reinen Zufallsstichprobe S^2 geht hervor, daß auch hier für die beiden systematischen Stichproben A_{r1} und A_{r2} die Varianz S_w^2 größer ist als die Varianz S^2 , was eine höhere Effizienz der systematischen Stichprobe gegenüber der reinen Zufallsstichprobe bedeutet.

Anhand der Analyse der Werte der für die verschiedenen Stichprobenverfahren erhaltenen Varianzen ist zu bemerken, daß die systematischen Stichproben am effizientesten, die geschichtete Stichprobe weniger effizient und die zweistufigen Stichproben wenig effizient sind.

Ähnlich, wie im Falle der Rotationsdüse G wurde zur Verifizierung der Hypothese der Varianzgleichheit für die Stichproben A_{r1} , A_{r2} und C_{r1} der Cochran'sche Test angewendet, da für diese Stichproben Varianzen mit annähernd gleichen Werten erhalten wurden. Nach den Berechnungen hat sich herausgestellt, daß die Varianzen der systematischen Stichproben und der geschichteten Stichprobe sich wesentlich voneinander unterscheiden.

5.3 Zusammenfassung

Den Untersuchungen wurden Düsen unterzogen, die sich in der Zerstäubungsart der Flüssigkeit, in der Größe der bespritzten Fläche und im Charakter der Tropfenverteilung auf der bespritzten Fläche voneinander unterscheiden. Trotz dieser Unterschiede war für alle untersuchten Düsen die systematische Stichprobe das effizienteste Stichprobenverfahren.

Im Falle der Rotationsdüsen wurden zwei Arten der systematischen Stichprobennahme angewendet, wobei die Arten A_{r1} (Rotationsdüse G) und A_{r1} (Rotationsdüse H) nicht ganz mit den Annahmen für die repräsentative Probenahme übereinstimmen, da nicht alle Tropfen die Chance haben, sich in der Stichprobe einzufinden. Die Rotationsdüsen sind jedoch dadurch gekennzeichnet, daß die Zerstäubungsverhältnisse auf dem ganzen Düsenumfang gleich sind und bei optimalem spezifischem Düsenausstoß der Flüssigkeit die Verteilung der Tropfengröße (bei feststehender Düse) auf allen Radien der bespritzten Fläche gleich sein sollte.

Bei der Untersuchung von Rotationsdüsen ist für die systematische Stichprobe ein Stichprobenplan entsprechend A_{r1} (Bild 6) anzuwenden, wobei sich für andere Düsenarten der genannten Typen die Größe der bespritzten Fläche und der Abstand zwischen den Stichprobeneinheiten ändern kann.

Bei Untersuchungen zur Güte der Flüssigkeitszerstäubung in Drall-, Flachstrahl- und Rotationsdüsen sollten für das Tropfenauffangen solche Stände Anwendung finden, in denen die Düsen fixiert sind. Das Auffangen der Tropfen in Schälchen auf einem Wagen ist richtig. Gegen das Auffangen von Tropfen in Schälchen, die in einer Reihe auf der bespritzten Fläche unter der an einem Pendel arbeitenden Spritzdüse aufgestellt sind, bestehen Bedenken, weil die Bewegungsgeschwindigkeit der Spritzdüse Einfluß auf die Größe der erzeugten Tropfen ausübt. Es ist bekannt, daß bei der Untersuchung einer gegebenen Spritzdüse mit der Erhöhung des Düsenausstoßes auch die Bewegungsgeschwindigkeit der Spritzdüse zu erhöhen ist, um zu vermeiden, daß eine zu große Anzahl von Tropfen in das Ölschälchen gelangt. Dabei ist aber nicht bekannt, in welchem Maß sich der erhöhte Flüssigkeitsausstoß (Druck) und die Bewegungsgeschwindigkeit der Spritzdüse auf die Zerteilung der Flüssigkeit auswirken.

6. Empirische Tropfengrößenspektren der zerstäubten Flüssigkeit

Bei den Untersuchungen zur Effizienz der verschiedenen Stichprobenverfahren waren die Stichprobenmerkmale die mittleren arithmetischen Tropfendurchmesser D , die für jede Einheit (jede Mikroskopaufnahme) berechnet werden. Die weiteren Kennwerte der Güte der Flüssigkeitszerstäubung (D_A , D_V , MND, MVD u.a.) werden aber aufgrund der Verteilungsfunktion der Tropfendurchmesser und nicht aufgrund der mittleren Durchmesser D berechnet.

Nach der Messung der Tropfendurchmesser in der Stichprobe werden Diagramme für die Verteilung der relativen Häufigkeit und der Summenhäufigkeit von Tropfenanzahl und Tropfenvolumen über dem Tropfendurchmesser erstellt. Beispiele der Häufigkeitsverteilungen von Tropfenanzahl und Tropfenvolumen für die verschiedenen Düsenarten zeigen Bild 14 bis 16. Die Summenhäufigkeit von Tropfenanzahl und Tropfenvolumen für die Dralldüse (entsprechend Bild 14) zeigt Bild 17.

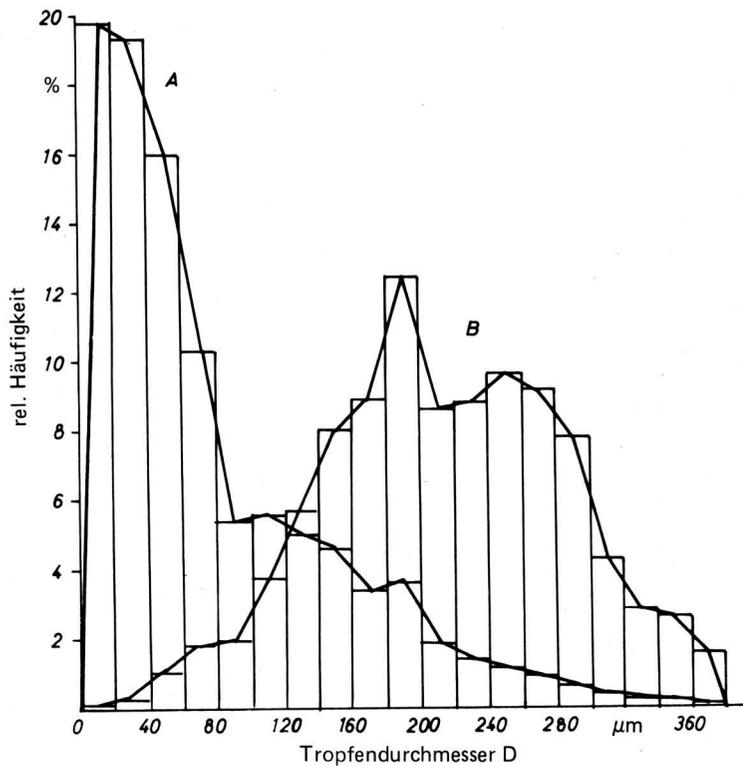


Bild 14. Häufigkeitsverteilungen für die Dralldüse ϕ 1,4 beim Druck $p = 10$ bar.
A Verteilung der Tropfenanzahl, B Verteilung des Tropfenvolumens.

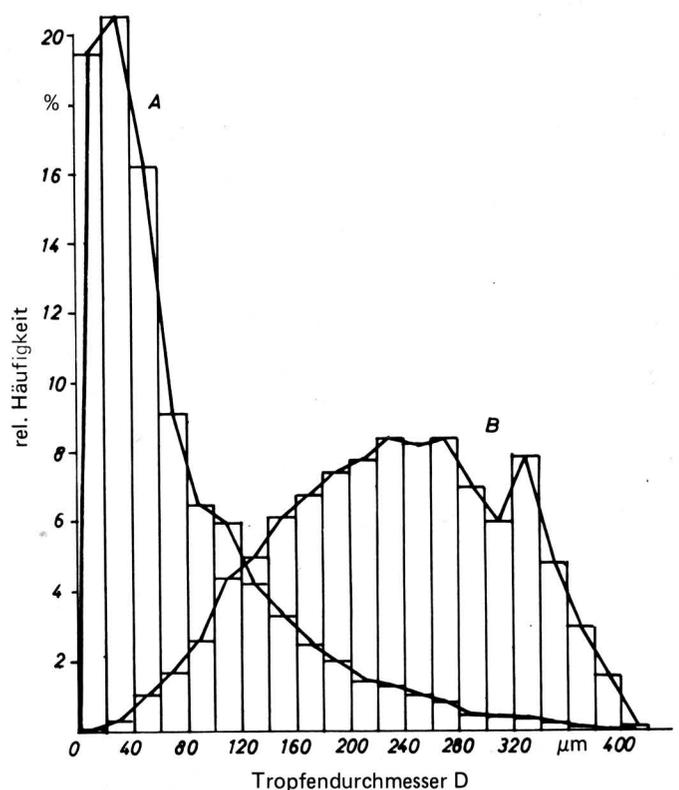


Bild 15. Häufigkeitsverteilungen für die Flachstrahldüse APG 110 "o", $p = 10$ bar.
A Verteilung der Tropfenanzahl, B Verteilung des Tropfenvolumens.

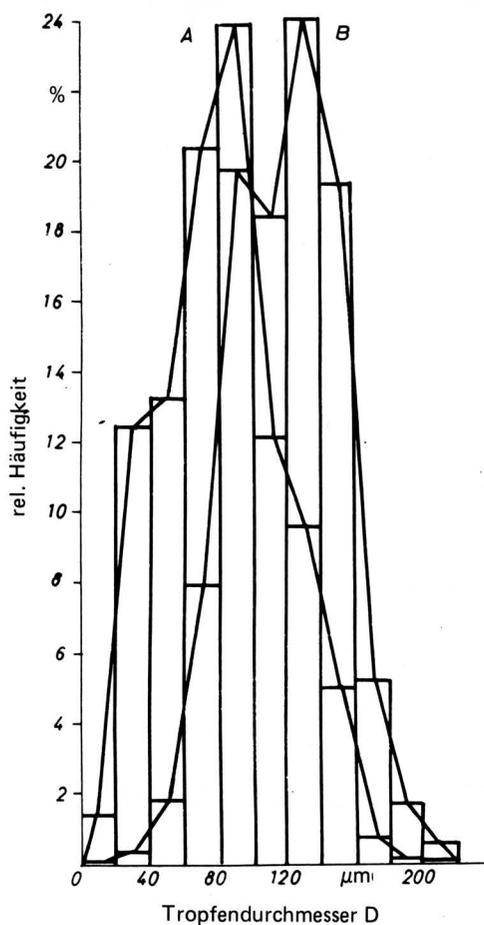


Bild 16. Häufigkeitsverteilungen für die Rotationsdüse H; $n = 5000 \text{ min}^{-1}$; $q = 0,3 \text{ l/min}$.
A Verteilung der Tropfenzahl, B Verteilung des Tropfenvolumens.

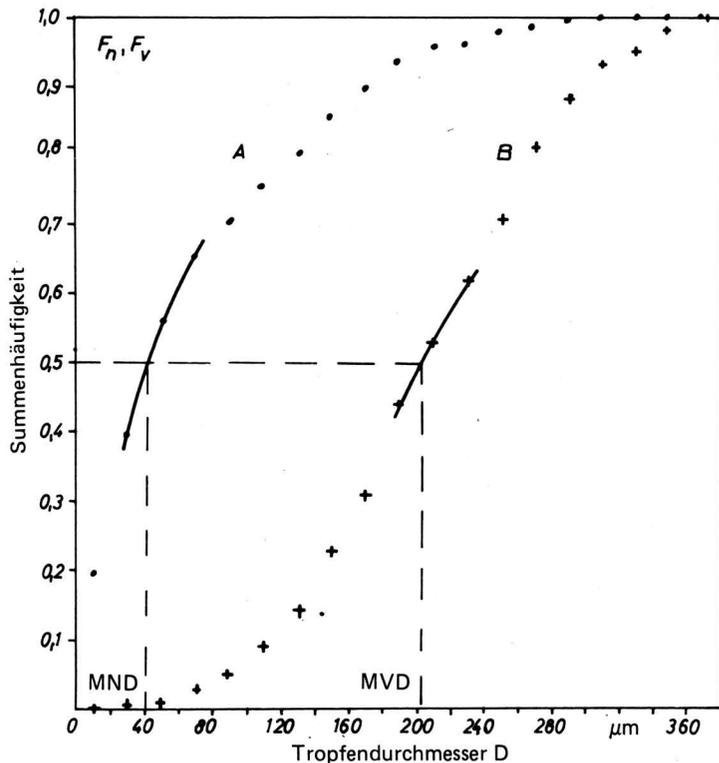


Bild 17. Summenverteilungen für die Dralldüse $\phi 1,4$, $p = 10 \text{ bar}$.
A Häufigkeitssumme der Tropfenzahl, B Häufigkeitssumme des Tropfenvolumens.

7. Umfang der Stichprobe und Genauigkeit der Schätzung

In der Pflanzenschutztechnik werden verschiedene Düsenarten angewendet, die Zerstäubungsspektren mit unterschiedlichen Größenbereichen der Tropfendurchmesser und unterschiedlicher Verteilung der Tropfengröße erzeugen. Bei Erhöhung des Flüssigkeitsdrucks erzeugt ein gegebener Düsentyp ein immer engeres Tropfengrößenspektrum, und gleichzeitig ändert sich die Verteilung der Tropfengröße.

Die für die Berechnung des minimalen Umfangs der Stichprobe in den statistischen Veröffentlichungen angegebenen Formeln beziehen sich auf Grundgesamtheiten mit normaler bzw. angenähert normaler Verteilung. Da diese Bedingung bei der Flüssigkeitszerstäubung mit den in der Pflanzenschutztechnik angewendeten Düsen nicht erfüllt ist, können sie nicht angewendet werden.

Der minimale Umfang der Stichprobe ist abhängig von:

- dem Stichprobenverfahren
- der Tropfenverteilung in der Grundgesamtheit
- dem Umfang der Grundgesamtheit
- der Art der geschätzten Tropfenkenngröße
- dem zulässigen Fehler bei der Schätzung der Tropfenkenngröße
- der Streuung der Tropfengröße bezüglich der geschätzten Kenngröße.

Der Umfang der Grundgesamtheit der Tropfen ist praktisch nur durch die Spritzzeit und durch die technischen Bedingungen bei den Untersuchungen begrenzt. Wie Untersuchungen des Verfassers zeigten, verursacht sogar eine dreifache Erhöhung des Umfangs der Grundgesamtheit bei unveränderlichem Umfang der Stichprobe nur eine geringe Änderung des Fehlers bei der Schätzung für den mittleren Tropfendurchmesser (Fehlerreihe 0,001).

Der Umfang der Stichprobe hängt auch von der Art der geschätzten Tropfenkenngröße ab. Diese Abhängigkeit zeigt Bild 18, das für die verschieden definierten mittleren Tropfendurchmesser D_A , MND , D_V , $D_{V/F}$ und MVD die notwendige Anzahl gemessener Tropfen über dem Beurteilungsfehler darstellt. Zum Beispiel sind bei der Untersuchung der Dralldüse $\phi 1,4$ für einen angenommenen Fehler nicht über 0,05 (5 %) für die Größe MVD ca. 1 500 Tropfen zu messen, bei Schätzung des mittleren arithmetischen Durchmessers D_A mit derselben Genauigkeit ca. 2 700 Tropfen. Für MND müßte die Anzahl der gemessenen Tropfen ca. 9 500 betragen. So große Differenzen in der Anzahl der gemessenen Tropfen sind das Ergebnis der Streuung der Tropfengröße gegenüber dem berechneten mittleren Tropfendurchmesser. Die Streuung der Tropfengröße gegenüber dem MVD ist wesentlich höher als gegenüber MND .

Da in den USA, in Westeuropa und in der letzten Zeit auch in Polen die Größe MVD (mittlerer volumetrischer Durchmesser) sehr oft verwendet wird, ist für diesen Durchmesser die Abhängigkeit zwischen dem relativen Fehler und der Anzahl der in der Stichprobe gemessenen Tropfen für optimale Verhältnisse bei der Flüssigkeitszerstäubung mit den verschiedenen Düsenarten ermittelt worden, Bild 19. Die im Bild 19 angegebenen Beziehungen können als Orientierung dienen, wie groß der minimale Umfang der Stichprobe bei der Untersuchung von Düsen ähnlichen Typs sein sollte.

Nach Beendigung der Untersuchungen kann der Wert des Beurteilungsfehlers des mittleren volumetrischen Durchmessers MVD genau berechnet werden:

$$\delta = \sqrt{\frac{9(N-n)\gamma^2}{Nn}} \quad (21)$$

und der Variationskoeffizient nach folgender Formel:

$$\gamma = \frac{1}{MVD} \sqrt{\frac{\sum n_i(x_i - MVD)^2}{n-1}} \quad (22)$$

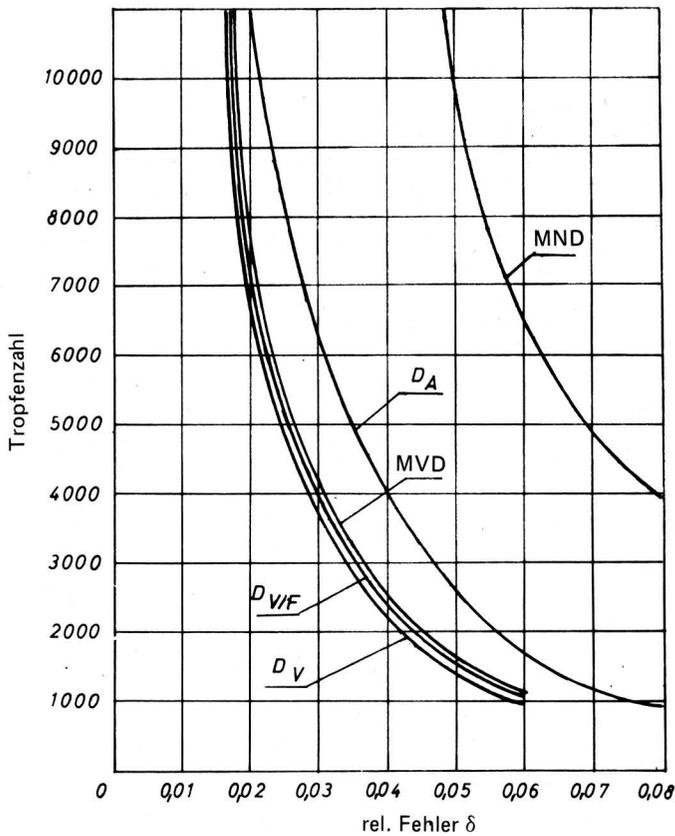


Bild 18. Anzahl zu messender Tropfen in Abhängigkeit vom relativen Fehler bei Ermittlung verschiedener Kenngrößen für den Tropfendurchmesser.

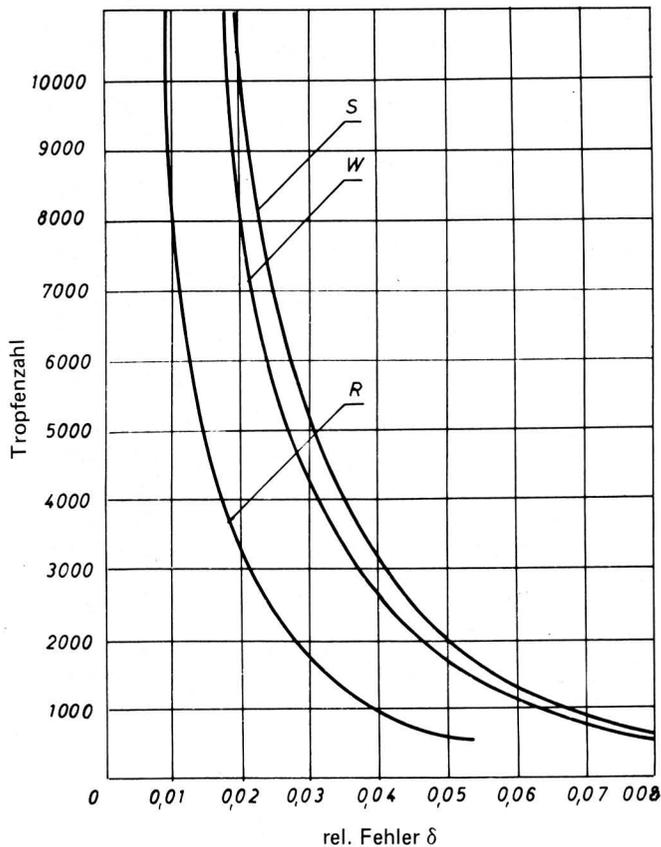


Bild 19. Anzahl zu messender Tropfen in Abhängigkeit vom relativen Fehler bei der Ermittlung des mittleren volumetrischen Durchmessers für die Rotationsdüse (R), die Flachstrahldüse (S) und die Dralldüse (W).

mit:

- δ Beurteilungsfehler des MVD
- N Anzahl der Tropfen in der Grundgesamtheit
- n Anzahl der Tropfen in der Stichprobe
- γ Variationskoeffizient
- n_j Anzahl der Tropfen in der Klasse
- x_j Klassenmitte (μm).

Für die Bestimmung des richtigen Umfangs der Stichprobe bei der systematischen Stichprobe ist zuerst mit Hilfe des Diagramms (Bild 19) die insgesamt notwendige Tropfenzahl zu bestimmen, dann wird nach experimenteller Ermittlung der mittleren Tropfenanzahl in der Stichprobeneinheit die Anzahl der Stichprobeneinheiten berechnet. Die so berechnete Anzahl darf nicht kleiner als die minimale Anzahl der Stichprobeneinheiten für die systematische Stichprobe sein, die über die Beziehung

$$n_j = N_j / \left(1 + \frac{N_j \delta_j^2}{9 \gamma_j^2}\right) \quad (23)$$

errechnet werden kann, darin ist:

- n_j minimale Anzahl der Stichprobeneinheiten
- N_j Anzahl der Stichprobeneinheiten in der Grundgesamtheit
- δ_j angenommener relativer Fehler des Mittelwertes für die systematische Stichprobe
- γ_j Variationskoeffizient des Mittelwertes D der systematischen Stichprobe.

Der Wert des Variationskoeffizienten γ_j kann in Anlehnung an vorherige Untersuchungen einer Düse ähnlichen Typs angenommen bzw. aus einer Vorstichprobe errechnet werden.

Aus den Meßergebnissen der Tropfengröße wird eine Verteilungsfunktion gebildet, die Grundlage für die Berechnung der mittleren Tropfendurchmesser, der Tropfenhomogenitätskoeffizienten und der agrotechnischen Koeffizienten APR_{60-160} , $APR_{160-260}$, F und P [31] sind. Die Klassenbreite sollte nicht größer als $20 \mu\text{m}$ sein, weil eine Vergrößerung der Klassenbreite eine Verringerung des errechneten Wertes für den mittleren volumetrischen Durchmesser gegenüber dem wirklichen Wert verursacht. In Tafel 7 sind Berechnungsergebnisse des MVD für eine Tropfenpopulation (Bild 14) bei Annahme verschiedener Klassenbreiten von 20 , 40 und $60 \mu\text{m}$ dargestellt. Es wird deutlich, daß bei Annahme einer Klassenbreite von 40 bzw. $60 \mu\text{m}$ kleinere Werte für den volumetrischen Durchmesser errechnet werden und die Größe des entstandenen Fehlers schwer einzuschätzen ist.

Klassenbreite μm	Varianz μm^2	Standardabweichung μm	Variationskoeffizient	Relativer Fehler	Mittl. volumetr. Durchmesser (MVD) μm
20	20858	144,4	0,71	0,018	$204 \pm 3,7$
40	18707	136,8	0,70	0,018	$196 \pm 3,5$
60	16823	130,0	0,68	0,017	$190 \pm 3,2$

Tafel 7. Werte des mittleren volumetrischen Durchmessers (MVD) für verschiedene Klassenbreiten der Tropfenklassierung; Dralldüse $\phi 1,4$.

8. Schlußfolgerungen

1. Repräsentative Ergebnisse sind bei der Untersuchung der Tropfenspektren von Spritzdüsen nur zu erreichen, wenn die Stichproben nach dem Zufallsprinzip entnommen werden und dabei die Grundsätze der repräsentativen Probenahme beachtet werden.
2. Aufgrund der Ergebnisse ist festzustellen, daß bei der Untersuchung verschiedener Düsenarten die systematische Stichprobe das effizienteste Verfahren der Stichprobenahme ist.

3. Der minimale Umfang der Stichprobe ist nicht nur von dem angestrebten maximalen Beurteilungsfehler des mittleren Tropfendurchmessers in der Grundgesamtheit abhängig, sondern auch vom Verfahren der Stichprobenentnahme, der Verteilung der Tropfengröße, der Art der berechneten Kenngröße für den Tropfendurchmesser sowie der Streuung der Tropfengröße in bezug auf die geschätzte Kenngröße.
4. Bei der Bildung der Verteilungsfunktion sollte die Klassenbreite nicht größer als 20 μm sein, weil deren Vergrößerung die Verringerung des errechneten Wertes für den mittleren volumetrischen Durchmesser verursacht.

Schrifttum

Bücher sind mit ● gekennzeichnet

- [1] ●Pawłowski, Z.: Wstęp do statystycznej metody reprezentacyjnej. Warszawa: PWN 1972.
- [2] ●Zaspa, R.: Metoda reprezentacyjna. Warszawa: PWE 1972.
- [3] ●Schwarz, H.: Stichprobenverfahren. Ein Leitfaden zur Anwendung statistischer Schätzverfahren. Berlin: Verlag die Wirtschaft 1975.
- [4] ●Metodyka badań maszyn do ochrony roślin. Potsdam-Bornim 1961.
- [5] Equipment for crop protection — Sprayer nozzles — Test methods. ISO/DIS 1977.
- [6] Zaske, J.: Bestimmung und Bewertung von Tröpfchengrößenspektren bei Pflanzenschutzdüsen. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes Bd. 22 (1970) Nr. 2, S. 17/24.
- [7] Konjoumdjiev, Ch. u. M. Vassileva: Note sur la détermination de la finesse de pulvérisation des buses a pressions de liquide. Etudes du CNEEMA Nr. 248 (1978).
- [8] Nawaby, A.S.: A method of direct measurement of spray droplets in an oil bath. J. Agr. Eng. Res. Bd. 15 (1970) Nr. 2, S. 182/84.
- [9] Schmidt, K.: Ein kostengünstiges Verfahren zur Tropfengrößenbestimmung im Chemischen Pflanzenschutz. 7. Pflanzenschutztechnisches Seminar — Meßtechnik in der Applikation. TU Berlin 1984.
- [10] Rietz, S.: Die Tropfengrößenanalyse mit dem IBAS. 7. Pflanzenschutztechnisches Seminar — Meßtechnik in der Applikation. TU Berlin 1984.
- [11] Bode, L.E.: The effects of flow rate on the distribution pattern and drop-size spectrum of a spinning atomiser. Trans. ASAE Bd. 15 (1972) Nr. 1, S. 86/90.
- [12] Knott, L. u. H. Göhlich: Das Eindringen von Spritzstrahlen und Sprühstrahlen und die Tropfenablagerung in Flächenkulturen und Raumkulturen. Teil I und II. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes Bd. 26 (1974) H. 1, S. 8/14 u. H. 5, S. 72/80.
- [13] Merritt, C.R. u. W.A. Taylor: Effects of volume rate and drop size on the retention of an aqueous solution by avena fatua L. Monograph British Crop Protection Nr. 22, 1978.
- [14] Amberg, A.A. u. B.J. Butler: High-speed photography as a tool for spray droplet analysis. Trans. ASAE Bd. 13 (1970) Nr. 5, S. 541/46.
- [15] Zaske, J.: Tropfengrößenanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Zerstäubung im chemischen Pflanzenschutz. Diss. TU Berlin 1973.
- [16] Bouse, L.F.: Cyclic disturbance of jets to control spray drop size. Trans. ASAE Bd. 17 (1974) Nr. 2, S. 235/39.
- [17] Boize, L.M. u. N. Dombrowski: The atomization characteristics of a spinning disc ultra-low volume applicator. J. Agr. Eng. Res. Bd. 21 (1976) S. 87/99.
- [18] Spelman, L.: A fluorescent tracer technique for determination of the liquid distribution of field crop sprayers. J. Agr. Eng. Res. Bd. 16 (1971) Nr. 3, S. 301/306.
- [19] Carman, G.E. u. L.R. Jeppson: Low volume application to citrus trees: method evaluation of spray droplet distributions. Journal of Economic Entomology Bd. 67 (1974) Nr. 3.
- [20] ●Kamiński, S. u. J. Moskal: Aparatura do pomiaru mikroobjektów. Instytut Lotnictwa. Warszawa 1980.
- [21] Bals, E.J.: The reasons for CDA. 1978 British Crop Protection Conference — Weeds.
- [22] ●Hebblethwaite, P. u. P. Richardson: Procedure of sprayer testing. Journal of Agricultural Engineering. London 1961.
- [23] Heidt, H.: Automatische Tropfengrößen- und Belagsanalyse im chemischen Pflanzenschutz. Diss. TU Berlin 1976.
- [24] Schmidt, H.: Einfluß physikalischer Flüssigkeitseigenschaften auf die Zerstäubung im Pflanzenschutz. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 4, S. 126/34.
- [25] Gabir, J. u. C. Sawicki: The parameters of agricultural sprayer nozzles. Roczniki Nauk Rolniczych. Seria C Bd. 73 (1978) Nr. 2.
- [26] Kamiński, S. u. P. Kreglicki: Bezpośrednia metoda analizy ilościowo-wymiarowej widma kropeł rozpylonego strumienia cieczy. Praca doktorska. Akademia Rolnicza Lublin 1973.
- [27] Tate, R.W. u. W.R. Marschal: Atomization by centrifugal pressure nozzles. Part I. Chemical Engineering Progress Vol. 49 (1953) Nr. 4.
- [28] Miller, F.: Wpływ wielkości otworów dopływowego i wypływowego hydrodynamicznych rozpylaczy wirowych na wielkość kropli. Praca doktorska. Politechnika Poznańska 1977.
- [29] Otmianowski, T.: Dokładność oceny drobnokroplistości oprysku. Roczniki Nauk Rolniczych. Seria C Bd. 68 (1971) Nr. 4.
- [30] Gajtkowski, A.: Badania jakości rozpylenia cieczy w technice ochrony roślin metoda reprezentacyjna (Investigation on the quality of the pulverization of fluid in the technique of plant protection by means of the representative method). Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Rozprawy naukowe Nr. 125 (1982).
- [31] Gajtkowski, A.: Tests of swirl nozzles AMT and estimation of their usability for the field spraying machines. Roczniki Nauk Rolniczych. Seria E Bd. 14 (1984) Nr. 1—2.