

Zur inhalativen und dermalen Anwenderexposition beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln durch Gebläsemaschinen

Von Wilhelm Batel, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft,
Braunschweig-Völkenrode

DK 632.934.1:331.43

Das Gesundheitsrisiko des Anwenders von Pflanzenbehandlungsmitteln ergibt sich aus der Toxizität der Mittel sowie der Intensität und Dauer der Exposition. Hinsichtlich der Exposition ist nach dermalen und inhalativer Art zu unterscheiden.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit einer Methode zur Vorausberechnung der Exposition aus Daten der Arbeitsplatzbelastung während der Applikation durch Sprühen. Eine Arbeit mit gleichem Ziel für das Spritzen ist bereits veröffentlicht.

Über die Definition eines Inhalations- und Auftreffgrades und deren meßtechnische Bestimmung lassen sich Grundlagen schaffen, mit denen die inhalative und dermale Exposition mit guter Genauigkeit zu berechnen ist. Dies ermöglicht nicht nur Expositionsprognosen, sondern gibt dem Anwender weitere Hinweise auf die Abhängigkeiten des Gesundheitsrisikos und die ihm möglichen Wege einer Begrenzung.

1. Einleitung

In einer früheren Arbeit wurde gezeigt, daß sich die für die Risikoabschätzung notwendigen Werte der dermalen und inhalativen Exposition mit guter Näherung aus der Arbeitsplatzbelastung ermitteln lassen. Dies ermöglicht nicht nur Prognosen, sondern die dargelegten Abhängigkeiten zeigen auch Wege und Ausmaß einer Expositions-minderung auf [1, 2].

Wegen der unterschiedlichen Abläufe bei der Ausbreitung der Wirkstoffe beim Spritzen und Sprühen sind Art und Umfang der Exposition verschieden. Daher sind die als Kenngrößen definierten Inhalations- und Auftreffgrade verfahrensspezifisch zu bestimmen. Dies ist in der ersten Phase für das Spritzen geschehen. Die nachfolgende Arbeit hat zum Ziel, die entsprechenden Kenndaten für das Sprühen, also bei einem Transport der Tropfen durch einen Trägerluftstrom, zu bestimmen.

*) Prof. Dr.-Ing. W. Batel ist Leiter des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

2. Beschreibung der inhalativen und dermalen Exposition [1]

Für die stündliche inhalative Exposition β_{resp} als Folge des atembaren Wirkstoffgehaltes am Arbeitsplatz ζ_F^a und der eingeatmeten Luftmenge Q_{resp} läßt sich ansetzen:

$$\beta_{\text{resp}} = \zeta_F^a Q_{\text{resp}} \eta_{\text{resp}} \quad [\mu\text{g}/\text{h}] \quad (1.)$$

Der Inhalations- oder Respirationsfaktor η_{resp} ist das Verhältnis aus dem Wirkstoffgehalt in der Luft nach Eintritt in den Atemtrakt und dem atembaren Gehalt am Arbeitsplatz.

Für die stündliche dermale Exposition eines Körperteils β_{derm} durch luftgetragene Teilchen wurde folgende Beziehung entwickelt:

$$\beta_{\text{derm}} = \zeta_F^g \epsilon v_a A_q \frac{A_H}{A} \eta_{\text{derm}} \quad [\mu\text{g}/\text{h}] \quad (2.)$$

Darin bedeutet:

- ζ_F^g gesamter Wirkstoffgehalt in der Luft am Arbeitsplatz ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Die Indizes F (Fahrerplatz), K (Windkanal) und VF (Versuchsstand) kennzeichnen die Versuchsanstellung und den Ort der Messung.
- ϵ Anteil des Wirkstoffs in partikelförmigem Zustand oder in einem partikelförmigen Träger am Gesamtgehalt
- v_a Anströmgeschwindigkeit auf den Körperteil mit ungeschützten Hautflächen (m/h). Im Windkanal ist $v_a = v_{\text{rw}}$
- A Oberfläche des angeströmten Körperteils (m^2)
- A_H ungeschützte Hautfläche des angeströmten Körperteils (m^2)
- A_q Querschnittsfläche (Projektionsfläche) des angeströmten Körperteils mit ungeschützter Hautfläche (m^2)
- η_{derm} Auftreffgrad.

Die nach diesen Definitionen zur Bestimmung des Inhalations- und Auftreffgrades erforderlichen Messungen sind in der zitierten, früheren Arbeit im Grundsatz beschrieben.

3. Zur Meß- und Versuchstechnik

Als Referenzmittel für den Wirkstoff wird der Farbstoff Brillant-sulfoflavin (BSF) eingesetzt.

Zur Bestimmung der inhalativen Exposition sind der atembare Wirkstoffgehalt ζ^a im Atembereich und der in der eingeatmeten Luft ζ_{resp} zu ermitteln. Das Bild 1 möge an die entsprechende Versuchsanordnung zur Messung des Wirkstoffstromes über die eingeatmete Luft erinnern.

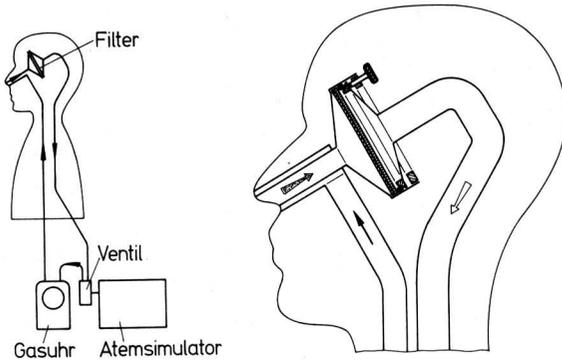


Bild 1. Versuchsanordnung zur Messung der inhalativen Exposition.

Zur Bestimmung der dermalen Exposition dienen ein Modellkopf und eine Modellhand aus Glas. Die abgeschiedene Wirkstoffmenge wird durch mehrmaliges Abspülen erfaßt. Besteht die Gefahr des Abtropfens, wird die Oberfläche mit Gazestoff belegt. Des weiteren ist der am Referenzpunkt vorhandene gesamte Wirkstoffgehalt ζ^g zu bestimmen. Da der Inhalations- und Auftreffgrad stark von der Tropfengrößenverteilung abhängen, ist diese ebenfalls zu ermitteln.

Die mit den Gln. (1) und (2) definierten Abhängigkeiten lassen sich meßtechnisch unter produktionstechnischen Bedingungen nicht bestimmen. Für die Versuche bietet sich der Windkanal an, wenn sich dort die grundsätzlichen Abläufe hinreichend nachbilden lassen. Dies bereitet für das Spritzen im Feldbau, auf das sich die bisher mitgeteilten Ergebnisse beziehen, keine Schwierigkeiten. Ein Grund liegt darin, daß fast alle am Arbeitsplatz vorkommenden Tropfen atembar sind.

Beim Sprühen insbesondere mit Gebläsemaschinen, also dem Applizieren von Pflanzenbehandlungsmitteln in Raumkulturen wie im Wein-, Obst- und Hopfenbau sowie der Forstwirtschaft, liegen insofern andere Bedingungen vor, als am Arbeitsplatz nicht nur atembare, sondern auch wesentlich größere Tropfen auftreten. Nur die atembaren Teilchen folgen nahezu den Strombahnen, während die größeren Teilchen durch die Schwerkraft eine abweichende Bewegungsrichtung aufweisen. Dies hat weitreichende Konsequenzen.

Die bei dieser Pflanzenbehandlung auftretenden Strom- und Teilchenbahnen lassen sich in einem Windkanal nur begrenzt nachbilden, wenn man auf sehr aufwendige Baugrößen verzichten will. Um dennoch zu übertragbaren Ergebnissen zu kommen, ist die Versuchsanstellung so zu wählen, daß die Wirkungen der entsprechenden Einflußfaktoren den praktischen Bedingungen möglichst nahekommen.

Auf die inhalative und dermale Exposition üben, abgesehen von den Stoffgrößen, die Anströmgeschwindigkeit und die Teilchengrößenverteilung einen maßgebenden Einfluß aus. Daher müssen diese Werte mit denen am Arbeitsplatz unter realen Bedingungen möglichst gut übereinstimmen, bzw. die Unterschiede müssen bekannt sein. Der Einfluß des Wirkstoffgehaltes ist gut zu beherrschen, weil die Exposition bei sonst gleichen Bedingungen nahezu proportional hiervon abhängt. Hinsichtlich der Stoffeigenschaften besteht zwischen den Bedingungen im Windkanal und in der Praxis kein Unterschied.

Aufgrund dieser Überlegungen läßt sich der schon früher beschriebene Windkanal [1, 2] verwenden. In den horizontal geführten Luftstrom wird von unten ein luftgetragener Wirkstoffstrom eingeleitet. Dieser und die Austrittsgeschwindigkeit der Luft entsprechen den Daten handelsüblicher Gebläsemaschinen. Verschieden ist der Volumenanteil des Gebläseluftstroms im Vergleich mit praktischen Bedingungen. Hierdurch ergibt sich ein höherer Tropfenanteil im Meßquerschnitt, der sich in 5,5 m Abstand von der Sprühhvorrichtung befindet. Dies beinhaltet hinsichtlich der Genauigkeit der zu ermittelnden Inhalations- und Auftreffgrade keinen gravierenden Fehler.

Die Schwierigkeiten liegen wegen der unterschiedlichen Strom- und Teilchenbahnen in einer repräsentativen Probenahme für den gesamten und den atembaren Wirkstoffgehalt und in der Messung der sehr breiten Tropfengrößenverteilung. Daher waren in Vorversuchen zunächst diese Fragen zu klären.

3.1 Messen des Gesamtwirkstoffgehaltes

Zur Messung des Gesamtwirkstoffgehaltes wird der Probenehmer, Bild 2, eingesetzt. Gegenüber einer horizontalen Ebene ist die Sonde um etwa 10° angestellt, damit an den Innenwandungen abgeschiedene Tropfen nicht nach außen abfließen können. Der Eintrittsquerschnitt ist vertikal. Die Teilstromentnahme erfolgt isokinetisch.

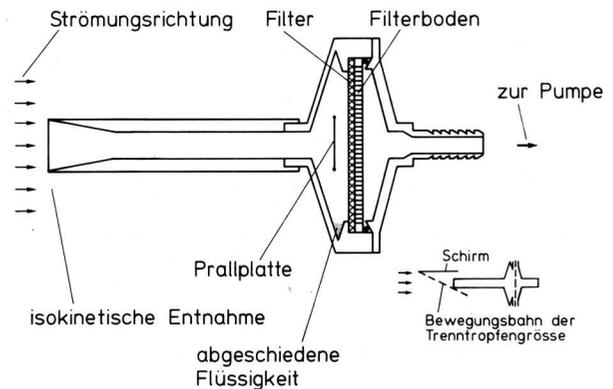


Bild 2. Probenehmer zur Bestimmung des Wirkstoffgehaltes in der Luft; die Mittellinie ist um 10° gegenüber der Strömungsrichtung nach oben angestellt. Zur Bestimmung des atembaren Wirkstoffgehaltes wird eine Trennfläche (Schirm) derart angeordnet, daß nur entsprechende Tropfen in den Probenehmer gelangen.

3.2 Messen des atembaren Wirkstoffgehaltes

In ruhender Luft werden Teilchen mit einer Größe kleiner als $60 \mu\text{m}$ (Dichte $\approx 1 \text{ kg/dm}^3$) als atembar angesehen. Bei Anströmung des Kopfes kann diese Grenze auch höher liegen. Da man bei Pflanzenschutzarbeiten von einer Anströmgeschwindigkeit $1 < v_{rw} < 2,5 \text{ m/s}$ ausgehen muß, wurde eine Grenze von etwa $80 \mu\text{m}$ gewählt.

Die entsprechende Trennung wird dadurch erreicht, daß ein ebener Schirm oberhalb des zu entnehmenden Teilstromes angeordnet wird, Bild 2 rechte Bildhälfte. Länge des Schirms und lotrechter Abstand vom Sondeneintritt sind der jeweiligen Anströmgeschwindigkeit anzupassen.

3.3 Messen der Teilchengrößenverteilung

Derzeit steht keine Analysenmethode zur Verfügung, um die Größe luftgetragener Tropfen im gesamten Bereich $1 < d < 500 \mu\text{m}$ hinreichend genau zu messen. Daher wurden 2 Methoden eingesetzt, für den atembaren Bereich eine lichtoptische und für den nicht atembaren Bereich die Auffangmethode in Silikonöl [3].

Für das lichtoptische Verfahren wird ein Teilluftstrom wie beim Messen des atembaren Wirkstoffgehaltes in den Meßbereich geführt.

Bei der Auffangmethode ist daran zu denken, daß wegen der horizontalen Überströmung, abhängig von der Tropfengröße, nur ein Anteil der Tropfen aufgefangen wird. Daher wird die nach der Bildauswertung erhaltene Verteilung der Abscheidewahrscheinlichkeit entsprechend korrigiert.

4. Meßergebnisse

Zur Bestimmung des Inhalations- und Auftreffgrades sind der atembare und der gesamte Wirkstoffgehalt in der Meßebe zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigen Bild 3 und 4.

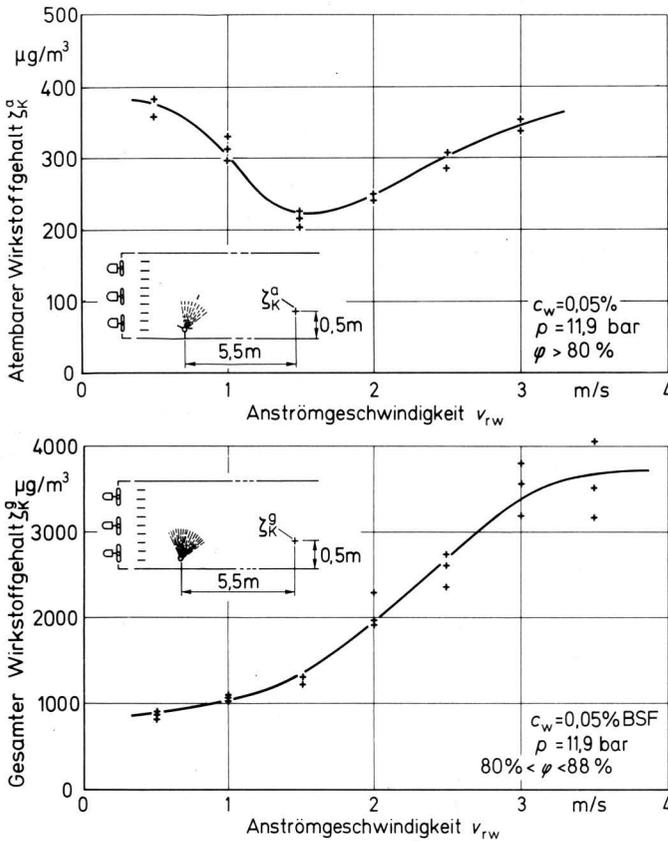


Bild 3 und 4. Atembarer Wirkstoffgehalt ζ_K^a (Bild 3) und gesamter Wirkstoffgehalt ζ_K^g (Bild 4) am Referenzpunkt in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit im Windkanal; Düse mit 2 mm ϕ im Gebläseluftstrom, c_w Wirkstoffkonzentration in der Sprühflüssigkeit, p Flüssigkeitsdruck vor der Düse, φ rel. Luftfeuchte.

4.1 Bestimmung des Inhalationsgrades

Mit der Messung des Wirkstoffgehaltes in der eingeatmeten Luft, Bild 5, sind die nach Gl. (1) erforderlichen Daten zur Berechnung des Inhalationsgrades vorhanden. Das Ergebnis der Rechnung zeigt Bild 6. Danach liegt der Inhalationsgrad bei Anströmgeschwindigkeiten $v_{rw} < 1,2 \text{ m/s}$ erwartungsgemäß bei etwa 1. Für größere Anströmgeschwindigkeiten steigt der Wert, wie von festen Partikeln her bekannt, deutlich an.

Man kann davon ausgehen, daß sich in Abhängigkeit von der Düsengeometrie und dem Flüssigkeitsdruck p der atembare Gehalt deutlich ändert. Dies gilt weit weniger für die Tropfengrößenverteilung des atembaren Anteils. Daher kann der ermittelte Inhalationsfaktor für das Sprühen als in weiten Bereichen gültig angesehen werden.

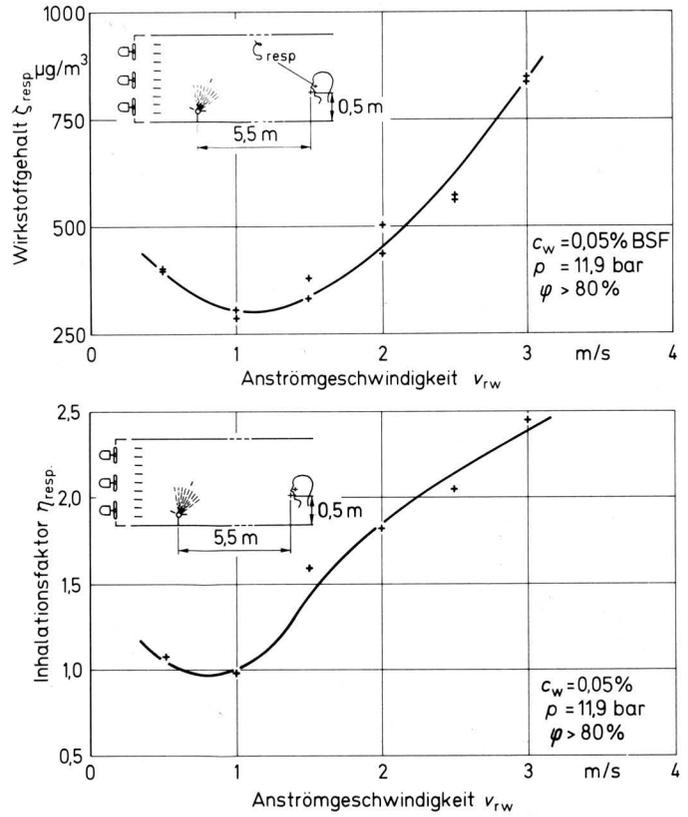


Bild 5 und 6. Wirkstoffgehalt in der eingeatmeten Luft ζ_{resp} (Bild 5) und Inhalationsfaktor η_{resp} (Bild 6) in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit im Windkanal; Windeinfallswinkel $\alpha = 0$ (axialer Gegenwind), Atemluftstrom $Q_{resp} = 1,75 \text{ m}^3/\text{h}$, 18 Atemhübe je Minute.

4.2 Bestimmung des Auftreffgrades

Der Auftreffgrad ist abhängig von Stoffgrößen, der Anströmung, der Tropfengrößenverteilung und Größe der angeströmten Körperteile. Da im allgemeinen Kopf und Hände ungeschützt sein können, beziehen sich die Messungen auf diese Körperteile.

Die bei den gewählten Bedingungen auf einem Kopf abgeschiedenen Wirkstoffmengen sind in Bild 7 und der sich damit nach Gl. (2) ergebende Auftreffgrad ist in Bild 8 dargestellt. Es ergibt sich, daß, auf den im Strömungsquerschnitt A_q enthaltenen Wirkstoff bezogen, 50 bis 75 % auf dem Kopf abgeschieden werden.

Die für die Hand ermittelten Ergebnisse für die abgeschiedene Wirkstoffmenge und den Auftreffgrad zeigen Bild 9 und 10. Danach hat die Handstellung einen beachtlichen Einfluß.

Nach dem theoretischen Ansatz gibt der Auftreffgrad den Anteil an, der von dem im Anströmquerschnitt enthaltenen Wirkstoffstrom auf dem Körperteil abgeschieden wird. Danach dürfte ein Auftreffgrad $\eta_{dem} > 1$ nicht vorkommen. Es wurde aber schon dargelegt, daß wegen der Bewegungskomponente der größeren Tropfen infolge der Schwere, Strom- und Tropfenbahnen nicht übereinstimmen. Dadurch gelangen auch Teilchen aus dem Bereich oberhalb des Stromröhrenquerschnitts A_q auf den jeweiligen Körperteil. Durch diesen Effekt bedarf die Theorie einer Ergänzung, falls man diese sich überlagernden Einflüsse trennen möchte. Dies ist aber für die Verwendung der Auftreffgrade ohne Belang.

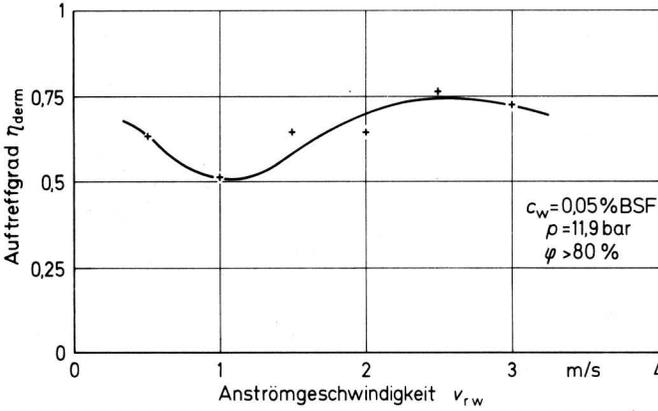
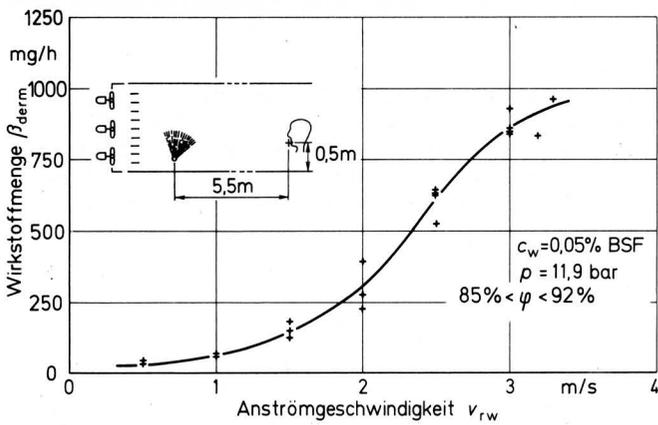


Bild 7 und 8. Auf einem Modellkopf stündlich abgeschiedene Wirkstoffmenge (dermale Exposition) β_{derm} (Bild 7) und Auftreffgrad η_{derm} für den Kopf (Bild 8); $\alpha = 0^\circ$, $A_q = 0,033 \text{ m}^2$, $A = 0,14 \text{ m}^2$

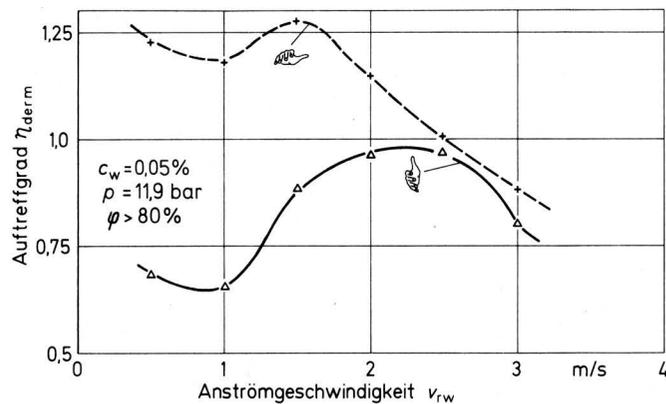
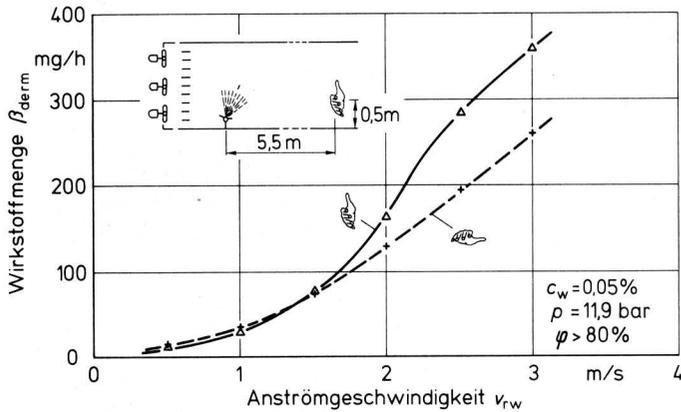


Bild 9 und 10. Auf einer Modellhand stündlich abgeschiedene Wirkstoffmenge (dermale Exposition) β_{derm} (Bild 9) und Auftreffgrad η_{derm} für eine Modellhand (Bild 10) bei horizontaler und senkrechter Stellung in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit; $A_q = 0,008 \text{ m}^2$ (horiz. Stellung), $A_q = 0,012 \text{ m}^2$ (vertik. Stellung), $A = 0,04 \text{ m}^2$.

5. Messen der dermalen Exposition im Feldversuch

Die im Windkanal unter definierten Modellbedingungen ermittelten Expositionsdaten bedürfen einer Überprüfung hinsichtlich der Übertragbarkeit auf die Bedingungen im praktischen Pflanzenschutz. Aus Gründen des Umfangs bezieht sich die folgende Untersuchung nur auf die dermale Exposition. Über die Aussagegenauigkeit einer berechneten inhalativen Exposition wird später berichtet.

5.1 Zur Meßtechnik

Eine Überprüfung in Feldversuchen ist nur unter weitestgehend definierten Bedingungen möglich. Da die Arbeitsplatzbelastung und damit die Exposition des Fahrers dem Bezugssystem "Fahrzeug" zugeordnet ist, ist die Fahrgeschwindigkeit dann ohne Belang, wenn man die aus natürlichem Wind und Fahrtwind resultierende Luftströmung nach Größe und Richtung (als relativen Wind) auf die mit dem Fahrzeug verbundene Quelle bezieht. Daher lassen sich die Versuche bei entsprechendem natürlichem Wind im stationären Zustand durchführen. Für diesen Zweck steht eine schon früher beschriebene Drehtischanordnung zur Verfügung [2]. Es wird ein handelsübliches Sprühgebläse mit einem Luftdurchsatz von $38000 \text{ m}^3/\text{h}$ eingesetzt. Um die beachtlichen schlepperabhängigen Einflüsse wie Bauform, Baugröße und Kühlluftführung auszuschalten, erfolgt der Antrieb über einen Elektromotor, s. Skizze in Bild 12. Am Ort des Fahrerplatzes liegt dann eine nahezu freie Ausbreitung vor. Die sonstigen Einrichtungen sind identisch mit den im Windkanal eingesetzten Geräten und Modellen.

Die Strömungsbedingungen am Fahrerplatz ergeben sich aus der Überlagerung der relativen Windströmung und des Gebläseluftstromes. Daher ist im ersten Schritt der Zusammenhang zwischen relativer Windgeschwindigkeit v_{rw} und Anströmgeschwindigkeit v_a am Fahrerplatz zu ermitteln, Bild 11. Mit Hilfe des Drehtisches wird für alle Versuche eine relative Windrichtung $\alpha = 180^\circ$, d.h. axialer Rückenwind, eingestellt. Dies bedeutet wegen des vom Sprühgebläsestrom induzierten Wirbels eine Anströmrichtung um etwa 0° , d.h. für den Fahrer einen scheinbaren Gegenwind. Damit sind die Bedingungen für eine isokinetiche Probenahme bekannt.

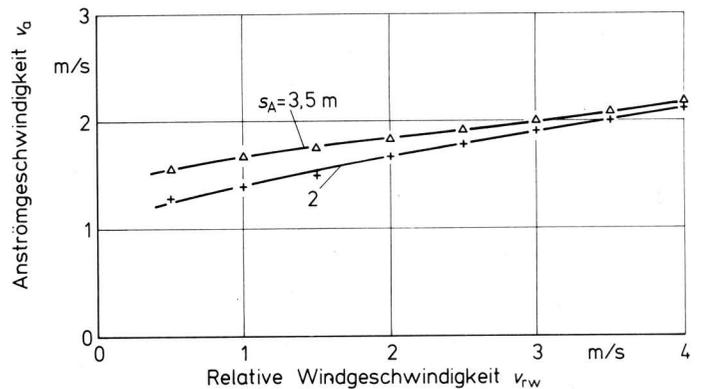
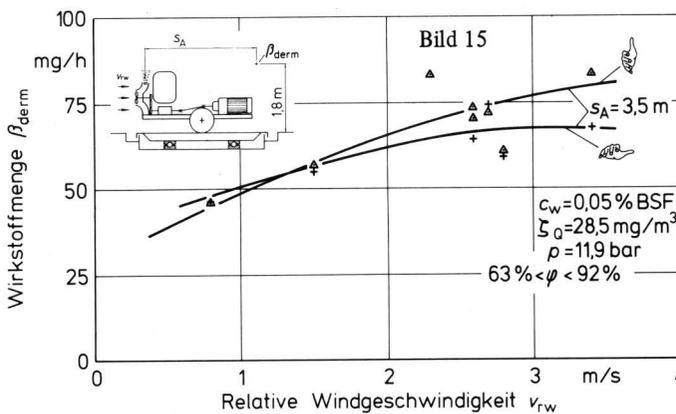
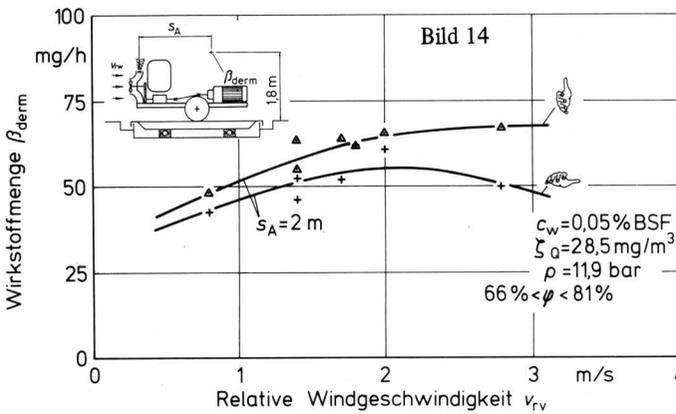
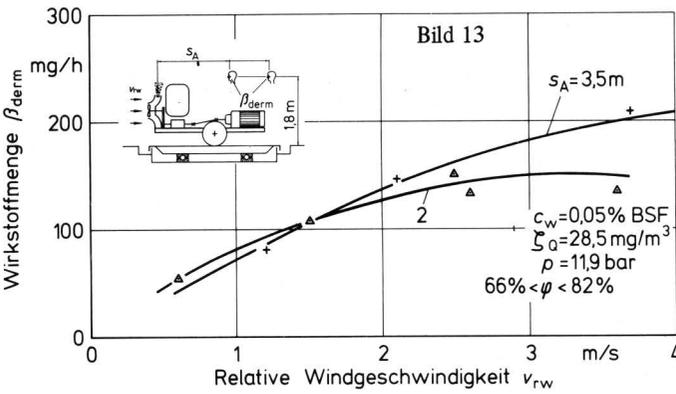
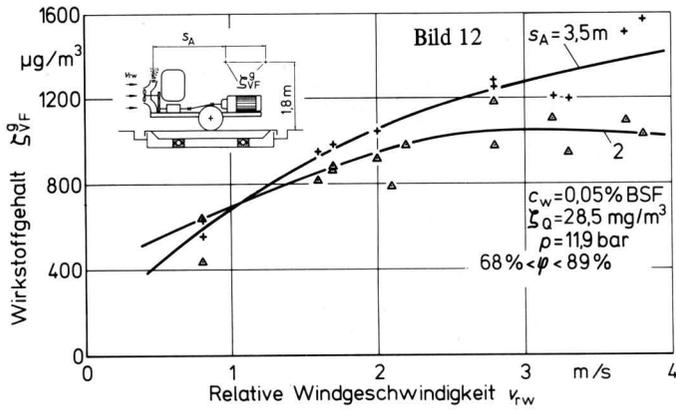


Bild 11. Zusammenhang zwischen relativer Windgeschwindigkeit v_{rw} und Anströmgeschwindigkeit v_a bei einem Sprühgebläse mit $38000 \text{ m}^3/\text{h}$ und axialem Rückenwind ($\alpha = 180^\circ$); im Windkanal gilt $v_a = v_{\text{rw}}$.

5.2 Meßergebnisse

Die den Windkanaluntersuchungen äquivalenten Meßergebnisse über den gesamten Wirkstoffgehalt sowie die Exposition von Kopf und Hand sind in Bild 12 bis 15 dargestellt.



Nun wird über Gl. (2) mit den im Windkanal ermittelten Auftreffgraden, dem jeweils am Fahrerplatz gemessenen gesamten Wirkstoffgehalt und der ermittelten Anströmgeschwindigkeit eine dermale Exposition errechnet und mit den Meßergebnissen verglichen. Die Ergebnisse sind in Bild 16 bis 18 dargestellt. Für den Kopf (Bild 16) zeigt sich eine gute Übereinstimmung. Die Unterschiede sind kleiner als 20 %. Demgegenüber ist bei der Handexposition (Bild 17 und 18) eine stärkere, systematische Abweichung festzustellen. Für geringe Anströmgeschwindigkeiten liegen die errechneten Werte niedriger, bei größeren Geschwindigkeiten deutlich höher. Dazwischen existiert eine gute Übereinstimmung. Ursächlich für die systematischen Unterschiede ist vorwiegend der Einfluß der Anströmrichtung. Diese ist im Windkanal, wie auch mit der Theorie vorausgesetzt, nahezu horizontal. Auf dem Versuchsstand sind

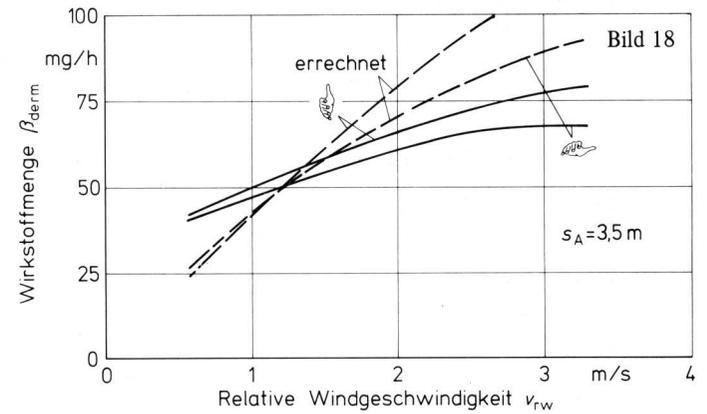
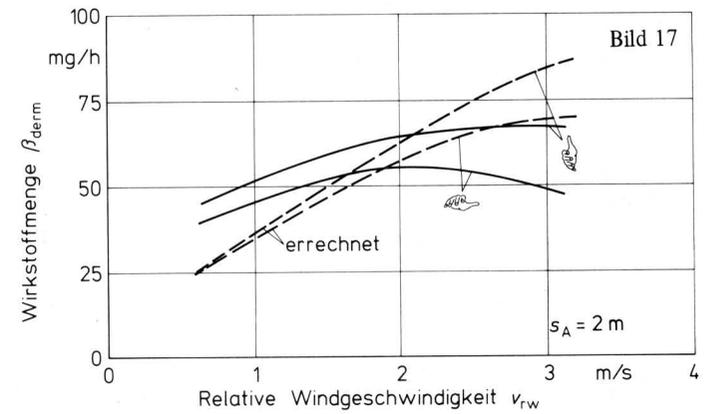
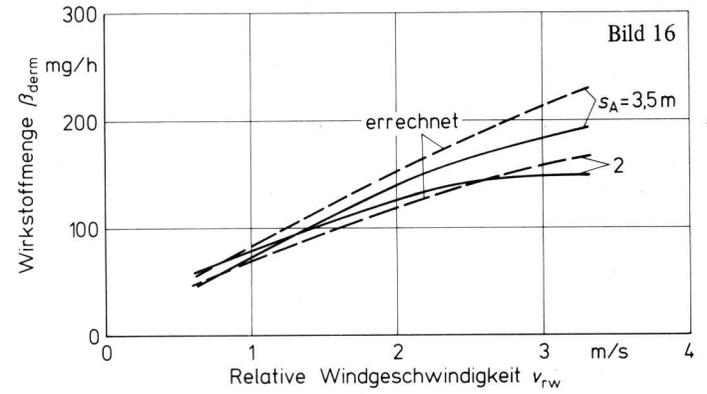


Bild 12 bis 15. Gesamter Wirkstoffgehalt ζ_{VF}^g am Referenzpunkt (Bild 12), auf dem Modellkopf stündlich abgeschiedene Wirkstoffmenge (dermale Exposition) β_{derm} (Bild 13) und bei den Abständen $s_A = 2$ m (Bild 14) und $s_A = 3,5$ m (Bild 15) auf der Modellhand stündlich abgeschiedene Wirkstoffmengen in Abhängigkeit von der relativen Windgeschwindigkeit; Sprühblase auf dem Versuchsstand, Luftdurchsatz $38000 \text{ m}^3/\text{h}$, Düsen $2 \text{ mm } \phi$, Antrieb durch Elektromotor, $\alpha = 180^\circ$, ζ_Q Wirkstoffgehalt im Trägerluftstrom an der Quelle.

Bild 16 bis 18. Auf dem Versuchsstand gemessene Werte der dermalen Exposition im Vergleich mit errechneten Werten; Bild 16: für den Modellkopf gemessene Werte (Bild 13) im Vergleich mit nach Gl. (2) und Daten aus Bild 8, 11 und 12 errechneten Werten; Bild 17: für die Modellhand ($s_A = 2$ m) gemessene Werte (Bild 14) im Vergleich mit Werten nach Gl. (2) für Bild 10, 11 und 12; Bild 18: für die Modellhand ($s_A = 3,5$ m) gemessene Werte (Bild 15) im Vergleich mit Werten nach Gl. (2) für Bild 10, 11 und 12.

abhängig von der relativen Windgeschwindigkeit und dem Abstand s_A (horizontaler Abstand von den Düsen) auch vertikale Komponenten vorhanden, in Nähe des Sprühgebläsestromes nach oben, in größerem Abstand davon nach unten.

Man könnte diesen Einfluß durch eine verfeinerte Theorie erfassen. Es ist aber zu fragen, ob ein solches Vorgehen für Prognosen genauere Ergebnisse liefert. Geht man davon aus, daß alle in der Praxis vorkommenden relativen Windgeschwindigkeiten < 3 m/s etwa gleichhäufig auftreten, dann verschwindet für eine mittlere Exposition der quantitative Unterschied zwischen Berechnung und Messung fast vollständig, zumindest liegt dieser innerhalb der Meßgenauigkeit.

Zu fragen ist noch nach dem Einfluß der Tropfengröße. Das Bild 19 zeigt die 50 %-Werte der Massensummenverteilung der Tropfengrößen an den Referenzpunkten. Bei der Bewertung ist daran zu denken, daß für den Versuchsstand die Anströmgeschwindigkeit aus Bild 11 zu entnehmen ist. Es folgt, daß sich für $1 < v_{rw} < 2$ m/s die Tropfengrößen im Windkanal und auf dem Versuchsstand nicht wesentlich unterscheiden. Eine deutlich erkennbare Auswirkung auf die Exposition ist daher nicht zu erwarten. Dennoch ist beabsichtigt, den Einfluß dieses Faktors auf die dermale Exposition und damit auch auf den Auftreffgrad systematisch zu untersuchen.

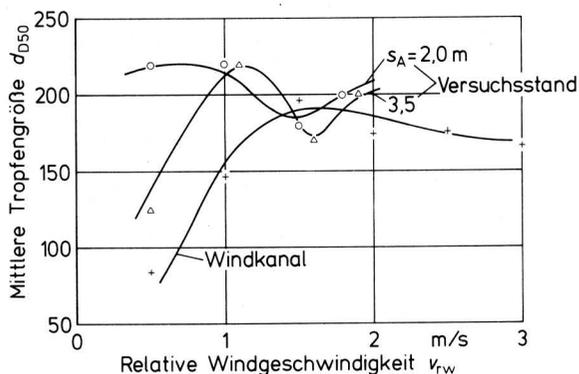


Bild 19. 50 %-Wert der Tropfengrößenverteilung (Massenverteilung) am Referenzpunkt in Abhängigkeit von der relativen Windgeschwindigkeit für den Windkanal und den Versuchsstand.

5.3 Folgerungen

Es läßt sich festhalten, daß man über Gl. (2) mit den im Windkanal bestimmten Auftreffgraden und der Arbeitsplatzbelastung die dermale Exposition des Anwenders auch beim Sprühen mit hinreichender Genauigkeit ermitteln kann. Insbesondere zeigt diese Methode die Einflußfaktoren der Exposition und damit auch Möglichkeiten der Beeinflussung durch den Anwender oder einer Abschätzung der Exposition bei sich ändernden Bedingungen auf.

Die Umsetzung der vorgestellten Ergebnisse auf produktionstechnische Verhältnisse bereitet keine Schwierigkeiten, wenn die Arbeitsplatzbelastung ζ_F^E für die jeweiligen Bedingungen bekannt ist [2]. Dann ist dieser Wert in Gl. (2) einzusetzen.

Zusätzlich sind noch Werte über die Anströmgeschwindigkeit erforderlich. Für den vollkommen offenen Fahrerplatz kann man für die Windrichtungen, bei denen eine Exposition auftritt ($80^\circ < \alpha < 280^\circ$), $1 < v_a < 2$ m/s ansetzen. Da aber eine Windschutzscheibe den Normalfall darstellt, ist von $v_a \approx 1$ m/s auszugehen. Dies kann nur ein Richtwert sein, weil die Strömungszustände am Fahrerplatz in sehr vielschichtiger Weise von der Bauart abhängen. Insgesamt zeigt sich, in welchem Umfang man die dermale Exposition über die Anströmgeschwindigkeit, eine Kopfbedeckung und Handschuhe senken kann.

6. Zusammenfassung

Über die Definition eines Inhalations- und Auftreffgrades lassen sich Grundlagen erarbeiten, die eine Vorausberechnung der inhalativen und dermalen Exposition aus der Arbeitsplatzbelastung mit hinreichender Genauigkeit gestatten. Dies ermöglicht nicht nur Prognosen, sondern zeigt dem Anwender von Pflanzenbehandlungsmitteln auch seine Möglichkeiten zur Expositionsminderung.

Schrifttum

- [1] Batel, W.: Zur inhalativen und dermalen Anwenderexposition bei Arbeiten zum Pflanzenschutz. Grndl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 2, S. 77/81.
- [2] Batel, W.: Zur Anwenderexposition beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln durch Spritzen und Sprühen – eine Zusammenfassung der seitherigen Ergebnisse. Grndl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 2, S. 33/53.
- [3] Hinz, T.: Messen der Tropfengrößenverteilungen am Arbeitsplatz. Grndl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 2, S. 65/71.