

Zur inhalativen und dermalen Anwenderexposition bei Arbeiten zum Pflanzenschutz

Von Wilhelm Batel, Braunschweig-Völkenrode*)

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

DK 632.934.1:331.43

Zur Abschätzung des Gesundheitsrisikos für den Anwender von Pflanzenbehandlungsmitteln sind Kenntnisse über die Wirkstoffströme notwendig, die die Systemgrenze Mensch unter Berücksichtigung der respiratorischen und dermalen Aufnahmewege erreichen. Es ist daher Ziel der Untersuchungen, die sich aus der Arbeitsplatzbelastung ergebende respiratorische und dermale Exposition des Anwenders zu ermitteln. Dazu wird der Inhalations- und Auftreffgrad definiert und meßtechnisch bestimmt. Mit diesen Kennwerten, der Arbeitsplatzbelastung und weiteren Daten lassen sich die gewünschten Expositionsarten im voraus errechnen. Es zeigt sich, daß die dermale Exposition stark von den Luftbewegungen am Arbeitsplatz abhängt und meist ein Vielfaches der respiratorischen beträgt. Dies beinhaltet unter anderem die Notwendigkeit, ungeschützte Hautflächen durch entsprechende Arbeitskleidung auf ein Minimum zu begrenzen. Die Bemühungen der Hersteller, Mittel mit einer möglichst geringen Hautabsorption zu entwickeln, werden durch die Ergebnisse unterstrichen.

1. Einleitung

Zur toxikologischen Bewertung von Fremdstoffen in der Luft am Arbeitsplatz ist für den gewerblichen Bereich der MAK-Wert eingeführt worden [1]. Auch zur Beurteilung der Anwenderexposition beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln läßt sich dieser Wert heranziehen, wenn die bei dieser Tätigkeit auftretenden Besonderheiten der Exposition ergänzend Beachtung finden. Dies beinhaltet die Frage nach Expositionsarten, nämlich nach der inhalativen und dermalen Anwenderexposition, d.h. nach der Wirkstoffmenge, die in einer bestimmten Zeiteinheit in die Atemwege und auf die Haut gelangt. Die Größe der Exposition hängt vor allem von Menge und Zustand der Wirkstoffe am Arbeitsplatz, also der Arbeitsplatzbelastung, und den Luftbewegungen in der Umgebung des Akzeptors ab.

Die Exposition beinhaltet die erste Phase im toxikologischen Bereich. Sie endet an der Systemgrenze Mensch. Daran schließen sich die toxikokinetische und die toxikodynamische Phase an, die den Übergang der Wirkstoffe in den Körper, den Transport in den Organismus und die dort ausgelösten Wirkungen umfassen.

Im Rahmen unserer Bemühungen, Unterlagen für Prognosen zur Anwenderexposition während der Applikation zu erarbeiten, wird daher auch die Exposition als letztes Glied in der Kausalkette von der Quelle bis zum Akzeptor behandelt, um so das Bindeglied zur Toxikologie zu liefern.

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

Über die inhalative (respiratorische) und dermale Anwenderexposition findet man im Schrifttum statistische Zahlenwerte [2]. Kaum behandelt wird aber der Vorgang, der zur Exposition führt, nämlich der Transport der Wirkstoffe in und mit der Luft in Richtung und bis zur Systemgrenze Mensch. Es gibt Arbeiten zu einem solchen Vorgang in anderem Zusammenhang. So führen *Armbruster et al.* [3] Untersuchungen über die Inhalationswahrscheinlichkeit von Staubteilchen in Anlehnung an Arbeitsplätze im Bergbau durch. Und auch die Entwicklung und der Einsatz von Probenahmegeräten für teilchenförmige Fremdstoffe in der Luft erfolgt oft unter der Rahmenbedingung, daß der Eintritt der Teilchen in das Meßgerät quantitativ dem in die Respirationswege entspricht [4].

Über die Abscheidung von Teilchen an umströmten Körpern, also einen Vorgang, der die dermale Exposition bestimmt, findet man Grundlagen in der Lehre für die Entstaubungstechnik. Für Filtrations- und Waschentstauber existieren Theorien, Untersuchungen und Messungen über die Abscheidung an umströmten festen Elementen und Tropfen [5, 6]. Die Übertragung dieser Erkenntnisse auf das anstehende Problem muß folgende Unterschiede beachten:

1. Die beim Spritzen und Sprühen am Arbeitsplatz vorkommenden flüssigen Teilchen können ein breiteres Größenspektrum aufweisen und ihre Größe durch Verdunstung ändern,
2. die Haftwahrscheinlichkeit von Tropfen an Körpern ist größer als die von festen Teilchen,
3. die umströmten Körperteile mit ungeschützten Hautflächen sind sehr viel größer als die untersuchten Elemente für die Abscheidung fester Teilchen,
4. die Verteilung der Wirkstoffkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz ist nicht homogen.

Diese Unterschiede sind der Grund, die inhalative und dermale Exposition in einem Windkanal unter Bedingungen zu messen, wie sie bei Arbeiten zum Pflanzenschutz durch Spritzen und Sprühen vorzunehmen. Zur Kontrolle sind Messungen auch am realen Arbeitsplatz vorzunehmen. Dieser Bericht beschränkt sich auf den ersten Teil dieses Meßprogramms, auf die Ermittlung der Exposition beim Spritzen während der Applikation. Bei diesem Verfahren werden Tropfen (für 50 Massen % ist $d > 250 \mu\text{m}$) mit dem Wirkstoff vorwiegend durch den Anfangsimpuls zu den Pflanzen transportiert.

2. Beschreibung der inhalativen und dermalen Exposition

Für die stündliche inhalative Exposition β_{resp} als Folge des atembaren Wirkstoffgehalts am Arbeitsplatz ξ_F^a läßt sich ansetzen:

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

Der Inhalations- oder Respirationsfaktor η_{resp} ist das Verhältnis von Wirkstoffgehalt in der Luft nach Eintritt in den Atemtrakt zu dem atembaren Gehalt am Arbeitsplatz. Der Wert η_{resp} ist abhängig u.a. von der relativen Anströmgeschwindigkeit v_{rw} , der Anströmrichtung, der Tropfengrößenverteilung, der Art der Atmung (Mund- oder Nasenatmung, Atemfrequenz usw.) und der Kopfform.

Für das stündlich eingeatmete Volumen wird allgemein der Wert für leichte Arbeit, nämlich $Q_{\text{resp}} = 1,75 \text{ m}^3/\text{h}$, angenommen.

Für die stündliche dermale Exposition eines Körperteils durch luftgetragene Teilchen läßt sich ansetzen:

$$\beta_{\text{derm}} = \zeta_{\text{F}}^{\text{g}} \cdot \epsilon \cdot v_{\text{rw}} \cdot A_{\text{q}} \cdot \frac{A_{\text{H}}}{A} \cdot \eta_{\text{derm}} \quad [\mu\text{g}/\text{h}] \quad (2).$$

- $\zeta_{\text{F}}^{\text{g}}$ gesamter Wirkstoffgehalt in der Luft am Arbeitsplatz [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- ϵ Anteil des Wirkstoffs in partikelförmigem Zustand oder in einem partikelförmigen Träger am Gesamtgehalt
- v_{rw} Anströmgeschwindigkeit auf den Körperteil mit ungeschützten Hautflächen [m/h]
- 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].

Nach diesem Ansatz gibt der Auftreffgrad η_{derm} den Anteil der partikelgebundenen Wirkstoffe im Transmissionsstrom mit dem Querschnitt A_{q} an, der auf den angeströmten Körper auftrifft und dort festgehalten wird. Dieser Auftreffgrad ist abhängig u.a. von der Größe der Tropfen, der Anströmgeschwindigkeit, der Größe und Form der Körperteile mit den dargebotenen Hautflächen sowie Größe und Verteilung der Hautflächen. Die gesamte dermale Exposition ergibt sich dann aus der Summe von β_{derm} für die Körperteile mit ungeschützten Hautflächen. Im ungünstigsten Fall sind dies Gesicht, Hals, Hände und Teile der Unterarme mit einer Gesamtfläche von maximal $0,3 \text{ m}^2$.

Die Gln. (1) und (2) umreißen zugleich Aufgabe und Umfang der durchzuführenden Messungen. Es sind der Inhalationsfaktor η_{resp} und der Auftreffgrad η_{derm} in Abhängigkeit von den wichtigsten Einflußgrößen zu ermitteln.

3. Zur Meßtechnik

Die Versuche wurden in einem Windkanal unter Bedingungen durchgeführt, wie sie beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln durch Spritzen vorliegen. Die Versuchsanordnung zur Bestimmung der inhalativen Exposition zeigt **Bild 1**. Im Modellkopf, der in der Größe dem zur Prüfung von Atemschutzgeräten entspricht, ist ein Filtrationsabscheider zur Erfassung der eingeatmeten, partikelgebundenen Wirkstoffe eingebaut. Die Atemströmungen besorgt ein Simulator, Bauart Dräger. Wenn nicht anders angegeben, beträgt der eingeatmete Volumenstrom $1,75 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 18 Atemhüben/min. Auch andere Atemmuster sind möglich. Damit sind die Voraussetzungen zur Bestimmung des Wirkstoffgehaltes in der eingeatmeten Luft ζ_{resp} geschaffen.

Der Kopf ist im Atembereich am Arbeitsplatz oder an einem bestimmten Ort im Windkanal angeordnet. Für diese Stelle (Nasenöffnung) wird in einem Parallelversuch mit einem gleichen Filtra-

tionsabscheider und kontinuierlichem Probenluftstrom die am Arbeitsplatz oder im Windkanal ohne Kopf vorliegende Wirkstoffkonzentration $\zeta_{\text{F}}^{\text{a}}$ bzw. $\zeta_{\text{K1,3}}$ isokinetisch gemessen, und dies bei einem Probenluftstrom von $1,75 \text{ m}^3/\text{h}$.

Damit gilt mit dem Wirkstoffgehalt in der eingeatmeten Luft ζ_{resp}

$$\eta_{\text{resp}} = \frac{\zeta_{\text{resp}}}{\zeta_{\text{K1,3}}} \quad (3).$$

Die Wirkstoffkonzentration wird durch Tracertechnik simuliert. Als Referenzstoff in der Spritzflüssigkeit dient der Farbstoff Brillantsulfonflavin (BSF). Die abgeschiedenen Mengen lassen sich dann einfach fluorimetrisch ermitteln. Als Filtermedium wurde, Empfehlungen im Schrifttum folgend, α -Cellulose verwendet. In Vorversuchen waren die Abscheidegüte des Filtersystems und die Wiederfindungsrate für den Farbstoff zu prüfen. Es ergab sich, daß für kontinuierliche und diskontinuierliche Strömung unterschiedliche Filterflächen zu verwenden sind, um eine gleiche Anströmgeschwindigkeit zu erhalten. Als Filter haben sich 5 Lagen α -Cellulose, Nr. 0989 der Fa. Schleicher & Schüll als notwendig erwiesen. Die α -Cellulose ist vor den Versuchen in gesättigter Luft zu konditionieren. Die Versuche im Windkanal wurden bei einer Luftfeuchtigkeit $> 90 \%$ und Temperaturen $< 10 \text{ }^\circ\text{C}$ durchgeführt, damit der Einfluß der Verdunstung zu vernachlässigen ist. Nur unter diesen Versuchsbedingungen liegen Teilchengrößen vor, für die mit dem verwendeten Filtermaterial eine hinreichende Abscheidegüte erreicht wird. Andere Filterstoffe mit einer allgemein besseren Abscheidegüte bedingen meist eine geringere Wiederfindungsrate für den Farbstoff. Daher wurden sie nicht eingesetzt.

Zur Bestimmung der dermalen Exposition nach Gl. (2) dienen ein Modellkopf und eine Modellhand aus Glas. Die abgeschiedene Farbstoffmenge wird durch mehrmaliges Abspülen erfaßt. Die Meßgenauigkeit und Reproduzierbarkeit ist recht hoch. Der Wert $\zeta_{\text{F}}^{\text{g}}$ wird wie oben beschrieben ermittelt, weil beim Spritzen $\zeta_{\text{F}}^{\text{a}} = \zeta_{\text{F}}^{\text{g}}$ gilt.

Für die gewählten Luftzustände ist eine Tropfenverdunstung zu vernachlässigen, so daß näherungsweise $\epsilon = 1$ gesetzt werden kann. Die Anströmquerschnitte betragen für Kopf mit Hals bei einem Anströmwinkel $\alpha = 0^\circ$ und 180° (Wind axial von vorn bzw. hinten): $A_{\text{q}} = 0,033 \text{ m}^2$ und bei $\alpha = 90^\circ$ (Wind rechtwinklig von der Seite): $A_{\text{q}} = 0,039 \text{ m}^2$.

Für die quer angeströmte Hand beträgt die größte Projektionsfläche ($\alpha = 90^\circ$) $A_{\text{q}} = 0,0122 \text{ m}^2$ und die kleinste Fläche ($\alpha = 0^\circ$) $A_{\text{q}} = 0,00806 \text{ m}^2$. Die Oberfläche ist identisch mit der ungeschützten Hautfläche, d.h. $A = A_{\text{H}} = 0,0391 \text{ m}^2$.

Der benutzte $1,5 \text{ m}$ breite und $2,6 \text{ m}$ hohe Windkanal ist in einer früheren Arbeit beschrieben [7]. Kopf oder Hand sind zum Spritzbalken so angeordnet, daß die Tropfengröße der am Fahrerplatz im praktischen Einsatz entspricht. Das Messen der Tropfengröße erfolgt mit dem Streulichtanalysator HC 70 der Fa. Polytec, Karlsruhe. Die Teilchengrößenverteilung bei einer Anströmgeschwindigkeit $v_{\text{rw}} = 2,2 \text{ m/s}$ zeigt **Bild 2**.

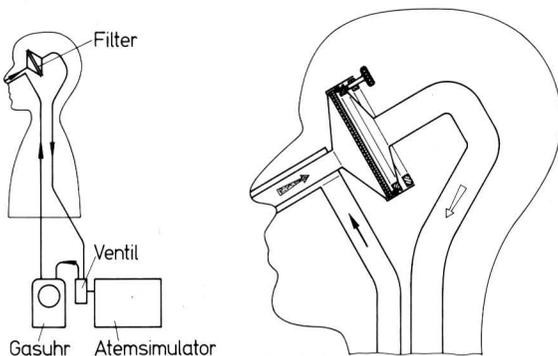


Bild 1. Versuchsanordnung zur Messung der inhalativen Exposition.

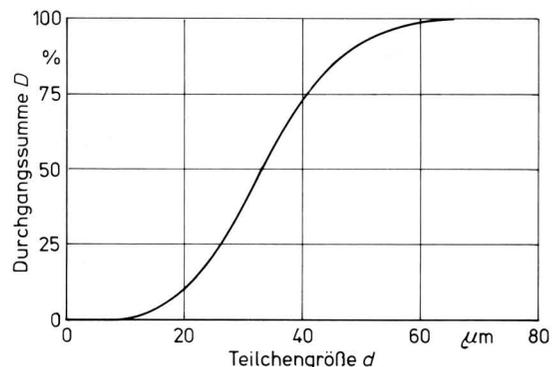


Bild 2. Tropfengrößenverteilung (Massenverteilung) im Atembereich bei $v_{\text{rw}} = 2,2 \text{ m/s}$.

4. Meßergebnisse

4.1 Zur inhalativen Exposition

Für den Inhalationsfaktor nach Gl. (3) ist die Wirkstoffkonzentration am Referenzpunkt (im Windkanal mit $\zeta_{K1,3}$ bezeichnet) und die im eingeatmeten Luftstrom ζ_{resp} zu ermitteln. Die entsprechenden Kurven in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit sind in Bild 3 für verschiedene α dargestellt. Den aus diesen Kurven errechneten Inhalationsfaktor η_{resp} zeigt Bild 4.

Danach steigt der Inhalationsfaktor mit der Anströmgeschwindigkeit zunächst an, um nach einem Maximum unter den Wert 1 abzufallen. Dieser Verlauf weist auf unterschiedliche Einflüsse hin. Insbesondere wirkt sich die Zunahme der Tropfenkonzentration in der wandnahen Schicht bei der Umströmung von Körpern aus. Hierin liegt auch der Grund dafür, daß der Inhalationsfaktor zunächst größer als 1 ist, denn die Atemluft wird über diese Schicht entnommen. Mit zunehmender Anströmgeschwindigkeit wirken sich weitere Effekte aus, wie die Abscheidung von Teilchen am Kopf und die hohe kinetische Energie der Teilchen derart, daß die in den Respirationstrakt eintretende Luftströmung nicht mehr in der Lage ist, die Teilchenrichtung so umzulenken, daß auch größere, bei ruhender Luft atembare Teilchen in den Trakt gelangen. Diese Effekte, die eine Abnahme des Inhalationsfaktors verursachen, wirken sich mit der Anströmgeschwindigkeit zunehmend aus.

Der Verlauf der Kurven stimmt mit den Ergebnissen von *Armbruster* nur teilweise überein. Das ist verständlich, weil die zum Vergleich herangezogenen Ergebnisse von *Armbruster* die Mundatmung ohne Ausatmung betreffen. Der Vergleich beider Untersuchungen läßt den Schluß zu, daß die Exposition bei Nasenatmung im Mittel größer ist als bei Mundatmung.

Führt man eine Bewertung des Inhalationsfaktors für die Nasenatmung mit der Annahme durch, daß bei der praktischen Arbeit alle Anströmgeschwindigkeiten bis etwa 3,5 m/s und auch alle Kopfstellungen zur Windrichtung gleich häufig vorkommen, dann liegt der Inhalationsfaktor näherungsweise bei 1, so daß die allgemein übliche Berechnung der respiratorischen Exposition nach der Formel

$$\beta_{resp} = \zeta_F^2 Q_{resp} \quad (4)$$

als zulässig anzusehen ist.

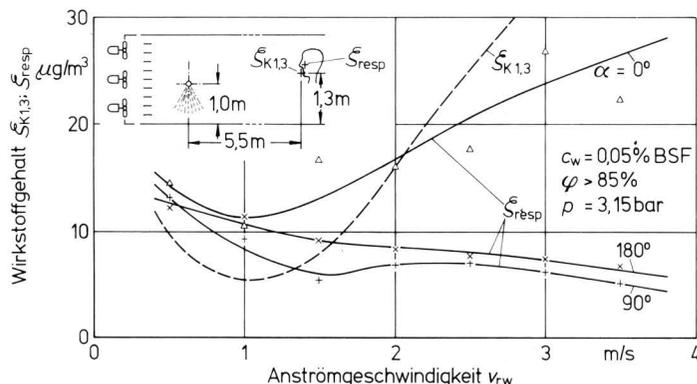


Bild 3. Wirkstoffkonzentration an der Meßstelle ohne Kopf $\zeta_{K1,3}$ und im Respirationstrakt ζ_{resp} in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit. Parameter ist der Anströmwinkel α . Wirkstoffstrom an der Quelle $\dot{E}_{W1} = 0,104$ kg/m h; c_w = Wirkstoffkonzentration; φ = Luftfeuchtigkeit; p = Spritzdruck.

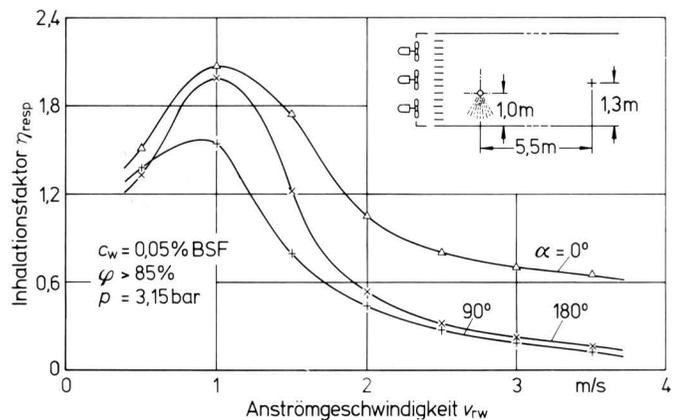


Bild 4. Inhalationsfaktor η_{resp} beim Spritzen in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit v_{rw} bei verschiedenen Anströmwindeln α . Andere Bedingungen wie in Bild 3.

4.2 Zur dermalen Exposition

4.2.1 Auftreffgrad für Kopf und Hals

Die dermale Exposition läßt sich, wie die Streuung der Meßwerte in Bild 5 zeigt, mit hoher Genauigkeit ermitteln. Für den Kopf gilt, daß die Belastung nur wenig abhängig ist von der Anströmrichtung. Von großem Einfluß ist aber die Anströmgeschwindigkeit.

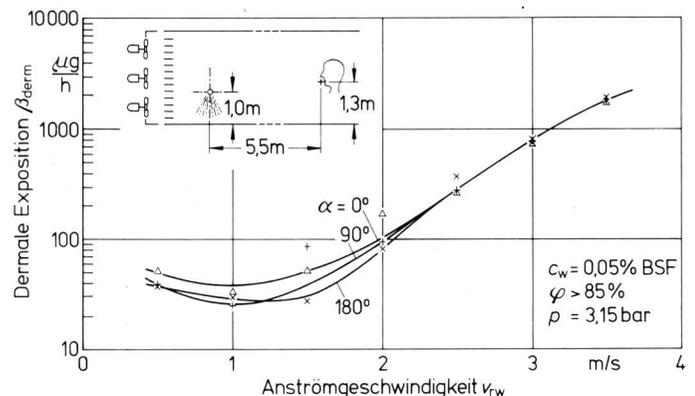


Bild 5. Auf Kopf und Hals mit $A = 0,14$ m² stündlich abgeschiedene Wirkstoffmengen bei verschiedenen Anströmwindeln α . Modellkopf aus Glas. $\dot{E}_{W1} = 0,104$ kg/m h.

Der mit diesen Ergebnissen über Gl. (2) errechnete Auftreffgrad ist in Bild 6 dargestellt. Der Verlauf der Kurve weist auf gegenläufige Effekte hin. Mit der Anströmgeschwindigkeit steigen die abscheidenden Trägheitskräfte. Dies erklärt den Bereich der Kurven, der durch einen Anstieg bei wachsender Anströmgeschwindigkeit gekennzeichnet ist. Die Abnahme für $0 < v_{rw} < 1,5$ m/s ist auf die Sedimentation von Tropfen zurückzuführen. Dieser Vorgang bewirkt, daß auch Teilchen oberhalb des Transmissionsstromes mit dem Querschnitt A_q auf den Kopf auftreffen. Von der Theorie wird dieser Einfluß, der sich vor allem bei niedriger Anströmgeschwindigkeit auswirkt, nicht erfaßt.

Nach Bild 6 liegt der Auftreffgrad beim Spritzen zwischen etwa 0,03 und 0,1, d.h. 3 bis 10 % der Teilchenmasse in dem Transmissionsstrom mit dem Querschnitt A_q treffen auf den Kopf auf und bleiben dort haften.

Die nicht dargestellten Meßergebnisse für η_{derm} und den gleichen Kopf, als ungeschützte Hautfläche aber nur Gesicht und Hals mit $A_H = 0,07 \text{ m}^2$, ergeben bis $v_{\text{rw}} \approx 3 \text{ m/s}$ ähnliche Kurvenformen und in der Größenordnung vergleichbare Werte.

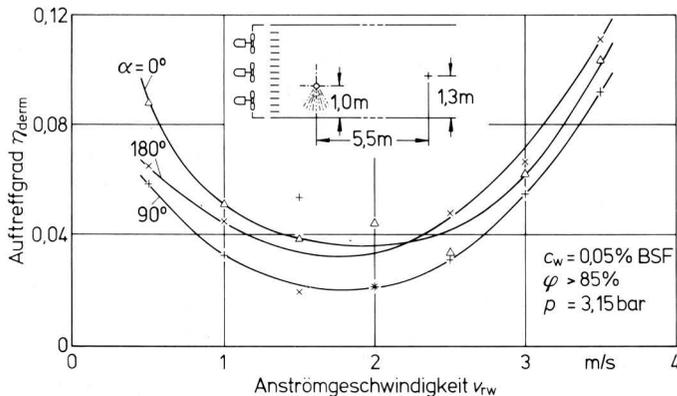


Bild 6. Auftreffgrad η_{derm} beim Spritzen in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit bei verschiedenen Anströmwinkeln α . Kopf und Hals mit $A = 0,14 \text{ m}^2$.

4.2.2 Auftreffgrad für die Hand

Nach dem Kopf sind meist die Hände ungeschützt und damit dermal exponiert. So interessiert auch der Auftreffgrad für diesen Körperteil. Die Meßwerte für die Belastung zeigt **Bild 7**. Daraus ergibt sich mit dem Wirkstoffgehalt an der Meßstelle (Bild 3) ein Auftreffgrad nach **Bild 8**. Nach diesen Ergebnissen liegt der Auftreffgrad für die Hand, wie nach der Theorie auch zu erwarten ist, wesentlich höher als beim Kopf, wie ein Vergleich mit Bild 6 zeigt. Abhängig von der Handstellung ergeben sich sogar Werte > 1 . Dies bedeutet, daß auch Tropfen außerhalb des Transmissionsstromes mit dem Anströmquerschnitt abgeschieden werden. Ursächlich hierfür ist die Sedimentation.

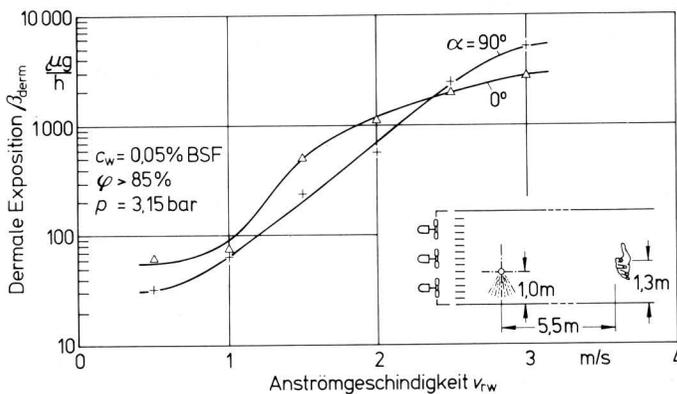


Bild 7. Dermale Exposition einer in und senkrecht zur eben gedachten Handflächenebene angeströmten Hand ($\alpha = 0^\circ$ u. 90°) in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit. Weitere Bedingungen wie bei Bild 5.

4.2.3 Gültigkeitsbereich der ermittelten Inhalationsfaktoren und Auftreffgrade

Mit den Ergebnissen nach Bild 4 für den Inhalationsfaktor η_{resp} und aus den Bildern 6 und 8 für den Auftreffgrad η_{derm} läßt sich die inhalative und dermale Exposition für Kopf, Hals und Hand

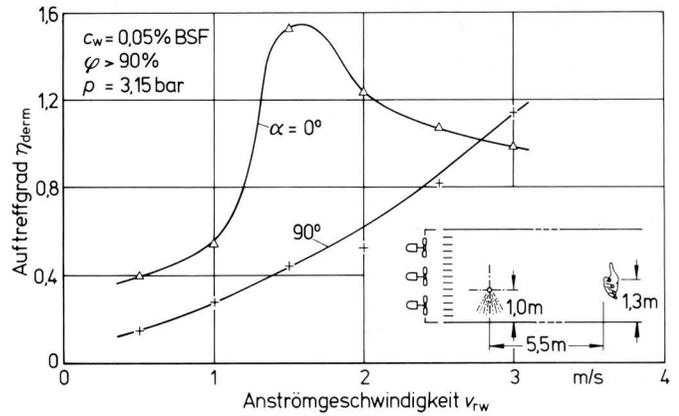


Bild 8. Auftreffgrad bei einer Hand in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit. Weitere Bedingungen wie bei Bild 7.

vorausberechnen. Der so erfaßte Expositionsbereich in Abhängigkeit von verschiedenen äußeren Bedingungen ergibt sich aus dem Gültigkeitsbereich der gemessenen Inhalationsfaktoren und Auftreffgrade. Dieser Bereich wird vor allem durch die Tropfengrößenverteilung am Arbeitsplatz festgelegt, Bild 2.

Aus der Art der Abdriftbildung beim Spritzen läßt sich abschätzen, daß die Tropfengrößen am Arbeitsplatz auch bei veränderten Gerätebedingungen von der genannten Größenverteilung nicht sehr stark abweichen, außer es werden sehr feintropfige Verfahren eingesetzt. So kann man davon ausgehen, daß die gemessenen Kennwerte für die derzeit üblichen Ausbringungsverfahren als hinreichend repräsentativ anzusehen sind. Dennoch ist zu fragen, wie sich die Kennwerte mit der Tropfengröße verändern können. In diesem Fall wird sich die Kurvenform für den Inhalationsfaktor nach Bild 4 deutlich ändern, ohne daß sich der Mittelwert für den Bereich der vorkommenden Tropfengrößen so weit von 1 entfernt, daß man nicht mehr mit diesem Wert für Abschätzungen rechnen kann. Stärker abhängig von der Tropfengröße ist aber der Auftreffgrad. Dieser Wert sinkt deutlich mit abnehmender Tropfengröße. In dieser Hinsicht sind noch weitere Messungen erforderlich, um die Größenordnung kennenzulernen.

Für das Sprühen läßt sich sagen, daß man hinsichtlich des Inhalationsfaktors mit den Ergebnissen nach Bild 4 arbeiten kann. Dagegen wird der Auftreffgrad wegen der am Arbeitsplatz vorkommenden auch nicht inhalierbaren Tropfengrößen bedeutend höher als beim Spritzen liegen. Die entsprechenden Messungen sind noch nicht abgeschlossen.

4.3 Vergleich von dermaler und inhalativer Exposition

Abweichend von der Situation in der gewerblichen Produktion ist beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln der dermale Exposition besondere Beachtung zu schenken. Daher ist ein Vergleich von dermaler und inhalativer Exposition von Interesse. Dies ist beispielsweise dadurch möglich, daß man die Gln. (1) und (2) ins Verhältnis setzt.

Für eine Hautfläche von Kopf und Hals, $A_H = A = 0,14 \text{ m}^2$, $\xi_F^a = \xi_F^g = \xi_{K1,3}$ sowie η_{resp} und η_{derm} nach Bild 4 und 6 ergeben sich Werte, die in **Bild 9** dargestellt sind. Für niedrige Anströmgeschwindigkeiten unterscheiden sich die beiden Expositionen nur wenig. Bei einer Anströmgeschwindigkeit von etwa 3 m/s erreicht die dermale Exposition bereits das 50fache der respiratorischen.

Sind auch die Hände ungeschützt, dann gilt **Bild 10**. Die Form der Kurve ist nicht grundsätzlich verschieden von der in Bild 9. Jedoch zeigt sich die schon angesprochene wesentlich höhere dermale Exposition. Bei 3 m/s Anströmgeschwindigkeit erreicht die mittlere dermale Exposition das 800fache der respiratorischen.

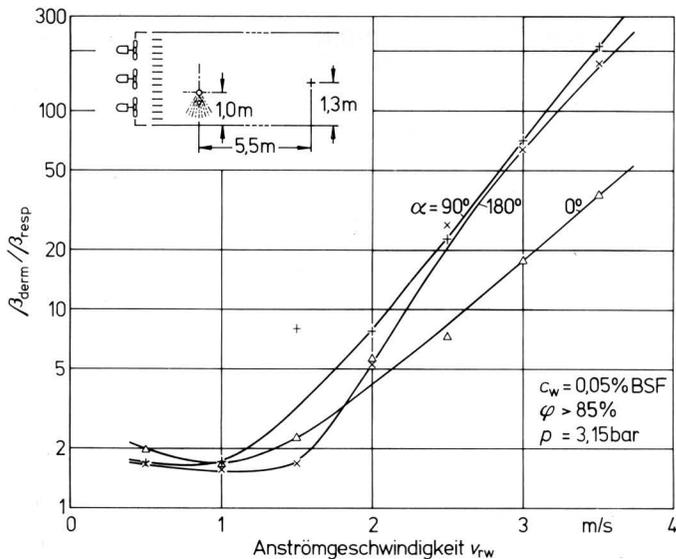


Bild 9. Verhältnis von dermaler zu inhalativer Exposition ($\beta_{\text{derm}}/\beta_{\text{resp}}$) in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit. Ungeschützte Hautfläche: Gesamter Kopf und Hals mit $A = 0,14 \text{ m}^2$. Weitere Bedingungen wie bei Bild 5.

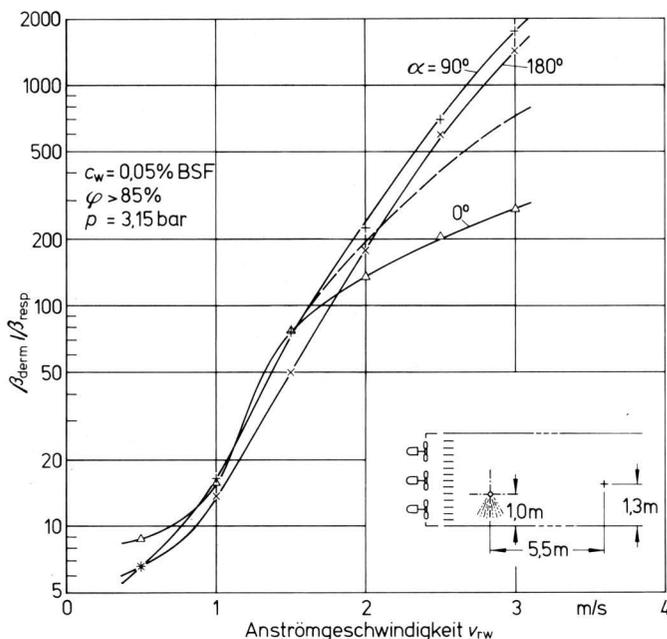


Bild 10. Verhältnis von dermaler zu inhalativer Exposition ($\beta_{\text{derm}}/\beta_{\text{resp}}$) beim Spritzen in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit. Ungeschützte Hautfläche: Gesamter Kopf und Hals ($0,14 \text{ m}^2$) und zwei Hände ($0,0782 \text{ m}^2$). Die gestrichelt gezeichnete Kurve ist ein Mittelwert für alle Anströmrichtungen. Weitere Bedingungen wie in Bild 5.

Für das Sprühen lassen sich Bild 9 und 10 nicht heranziehen, weil wesentlich größere Tropfen am Arbeitsplatz vorliegen und daher $\zeta_F^a \neq \zeta_F^g$ gilt. Es läßt sich aber abschätzen, daß hier das Verhältnis von dermaler zu inhalativer Exposition ($\beta_{\text{derm}}/\beta_{\text{resp}}$) deutlich höher liegt, nämlich bis zum 10fachen und mehr.

Abschließend ist noch zu prüfen, inwieweit die mit BSF ermittelten Ergebnisse für Pflanzenbehandlungsmittel repräsentativ sind. Aus früheren Versuchen folgt, daß bei Emulsionen eine Konzentrationsverteilung in den Tropfen der Spritzflüssigkeit derart vorliegt,

daß der Wirkstoffgehalt in den feinen Tropfen über und in den großen Tropfen unter dem Mittelwert liegt. Hieraus folgt, daß die dermale Exposition bei emulgierten Pflanzenbehandlungsmitteln etwas niedriger liegt als bei BSF.

5. Einige Folgerungen

Zur Abschätzung der inhalativen Exposition kann man für die untersuchten Bedingungen von einem Wert $\eta_{\text{resp}} \approx 1$ ausgehen.

Für die dermale Exposition während der Applikation beim Spritzen läßt sich aussagen, daß etwa 3 bis 10 % der Tropfenmasse im Transmissionsstrom mit dem Anströmquerschnitt A_d z.B. auf Kopf und Hals auftreffen und dort haften bleiben. Bei der Hand ist dieser Anteil wesentlich höher.

Am offenen Arbeitsplatz ist die dermale Exposition stets größer als die inhalative. Das Verhältnis von $\beta_{\text{derm}}/\beta_{\text{resp}}$ steigt mit der Anströmgeschwindigkeit auf ein Vielfaches. Zur toxikologischen Bewertung ist aber zu bedenken, daß die Resorption (Absorption) durch die Haut, die den Übergang der auf der Haut abgeschiedenen Wirkstoffe in den Organismus bestimmt, bei den Präparaten mit meist deutlich weniger als 10 % vergleichsweise gering ist. Ferner lassen sich die Hände, der Hals und Teile des Kopfes gegen eine dermale Exposition leicht schützen.

Ein Watterschutzverdeck für den Fahrerplatz bringt beim Spritzen von niedrigen Kulturen keine nennenswerte Entlastung für den Beschäftigten. Es senkt aber beim Sprühen mit einem Trägerluftstrom in Raumkulturen wegen der Schirmwirkung gegen sedimentierende Teilchen den Gesamtgehalt an Wirkstoffen. Dies beinhaltet eine beachtliche Minderung der dermalen Exposition.

Bei einer geschlossenen Modulkabine wird wegen der Dichtheit und des Zuluftfilters ein Eintreten von Tropfen in die Kabine nahezu verhindert. Die Exposition wird auf unbedenkliche Werte begrenzt, wobei noch anzumerken ist, daß die dermale Exposition in dieser Arbeitsumgebung niedriger liegt als die inhalative. Für Bedingungen in der Kabine lassen sich daher die MAK-Werte ohne ergänzende Wertungen hinsichtlich der Expositionsarten uneingeschränkt heranziehen.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] DFG: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen. Mitteilungen der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Boppard: Verlag H. Boldt.
- [2] ● Lee, R.E. jr. (Hrsg.): Air pollution from pesticides and agricultural processes. Boca Raton, Florida: CRC Press INC., 1976.
- [3] Armbruster, L., H. Breuer, E. Ios u. G. Neulinger: Aufnahme von Staub in den Atemtrakt, dessen Ablagerung in der Lunge und die Problematik der Messung des einatembaren Gesamtstaubes und des lungengängigen Feinstaubes. Teil II: Die Ansaugfunktion. Silikosebericht Nordrhein-Westfalen Bd. 12, S. 237/44. Essen: Verlag Glückauf 1979.
- [4] Coenen, W.: Beschreibung der Erfassungs- und Durchgangsfunktion von Partikeln bei der Atmung – meßtechnische Realisierung. Staub-Reinhalt.-Luft Bd. 41 (1981) Nr. 12, S. 472/79.
- [5] Löffler, F.: Partikelabscheidung an Tropfen und Fasern. Chem.-Ing.-Techn. Bd. 55 (1983) Nr. 3, S. 171/78.
- [6] ● Batel, W.: Entstaubungstechnik. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1972.
- [7] Batel, W.: Belastung des Arbeitsplatzes durch Wirkstoffe beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 3, S. 94/108.