

# Grundlagen der Landtechnik

Herausgegeben mit Unterstützung durch die  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft  
Braunschweig-Völkenrode (FAL)

Schriftleitung: Dr. F. Schoedder, Institut  
für landtechnische Grundlagenforschung

Grundl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 2, S. 33 bis 116

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

## Zur Anwenderexposition beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln durch Spritzen und Sprühen - eine Zusammenfassung der seitherigen Ergebnisse

Von Wilhelm Batel, Braunschweig-Völkenrode\*)

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

DK 632.934.1:331.43

Kenntnisse über die Exposition des Anwenders von Pflanzenbehandlungsmitteln sind neben toxikologischen Daten notwendige Voraussetzung zur Abschätzung des Gesundheitsrisikos. In diesem Rahmen befaßten sich die seitherigen Arbeiten mit kausalanalytischen Untersuchungen zur Exposition, um die Einflußfaktoren und ihre Abhängigkeiten kennenzulernen, Prognosemodelle zu entwickeln, die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen darzustellen und insgesamt gesehen Daten für die Risikoabschätzung zu liefern. Dieser Bericht gibt eine Zusammenfassung der vorliegenden Ergebnisse für das Spritzen und Sprühen, also eine Applikation der Mittel ohne und mit Hilfe eines Trägerluftstromes.

### Inhalt

1. Einleitung
2. Grundmodelle der Vorgänge, die zur Exposition führen, und Schritte einer Risikoabschätzung
  - 2.1 Wirkungsablauf zur Anwenderexposition und Risikoabschätzung
  - 2.2 Bereich Quelle bis zur Arbeitsplatzbelastung
  - 2.3 Sekundäre Quellen
3. Versuchsaufbau und -durchführung
  - 3.1 Messen des Wirkstoffgehaltes in der Luft am Fahrerplatz bei Arbeiten in der Produktion
  - 3.2 Untersuchungen in einem Windkanal
  - 3.3 Untersuchungen mit Hilfe eines Versuchsstandes
  - 3.4 Feldmessungen mit Versuchseinrichtungen
  - 3.5 Meßtechnik
4. Versuchsergebnisse zur Arbeitsplatzbelastung
  - 4.1 Abhängigkeit der Belastung vom Emissionsstrom
  - 4.2 Abhängigkeit der Arbeitsplatzbelastung von den Luftbewegungen und dem Luftzustand im Bereich zwischen Quelle und Arbeitsplatz - offener Arbeitsplatz
  - 4.3 Einfluß von Geräte- und Pflanzenbedingungen auf die Belastung des Arbeitsplatzes
5. Vorausberechnung der Arbeitsplatzbelastung
  - 5.1 Allgemeine Hinweise zur Vorausberechnung
  - 5.2 Spritzen mit Unimog mit Heck- und Frontanbau sowie mit Standardschleppern
  - 5.3 Ausbringen durch Sprühen
  - 5.4 Belastungsvergleich und erste Abschätzung des Anwenderrisikos
  - 5.5 Vergleich von Prognosewerten mit gemessenen Arbeitsplatzbelastungen
6. Ermittlung der inhalativen und dermalen Exposition aus der Arbeitsplatzbelastung
  - 6.1 Allgemeine Zusammenhänge
  - 6.2 Bestimmung des Inhalationsfaktors und Auftreffgrades
7. Maßnahmen zur Senkung der Exposition
  - 7.1 Über die Auswahl der Mittel
  - 7.2 Ausbringungstechnik
  - 7.3 Ausbringungsgeräte und -fahrzeuge
  - 7.4 Schutzmaßnahmen
8. Abschätzung des Gesundheitsrisikos beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln mit den Möglichkeiten des Anwenders
  - 8.1 Expositionsdaten
  - 8.2 Toxikologische Kenndaten
  - 8.3 Risikoabschätzung
9. Zusammenfassung

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

# 1. Einleitung

Über die Exposition des Beschäftigten beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln, also den Wirkstoffstrom, der in seine Atemwege eintritt und Hautflächen erreicht, findet man Hinweise insbesondere im USA-Schrifttum [1]. Mit diesen statistischen Werten sind jedoch Voraussagen oder Prognosen über die Anwenderexposition recht unsicher, weil die verursachenden Vorgänge und ihre Abhängigkeiten weder qualitativ noch quantitativ bekannt sind. Daher ist es Ziel von Untersuchungen, vor allem über Messungen, Grundlagen für eine Vorausberechnung der Anwenderexposition zu schaffen. Die in diesem Bericht mitgeteilten Ergebnisse sind größtenteils schon an anderer Stelle veröffentlicht [2, 3, 4].

Bei Arbeiten zum Pflanzenschutz sind die möglichen Quellen für eine Exposition des Anwenders in den Arbeitsabschnitten unterschiedlich, **Bild 1**. Während der Hauptarbeit, nämlich der Ausbringung oder Applikation der Mittel, sind die Düsen Ort der primären Quellen. Von hier aus können Wirkstoffe über entsprechende Luftströmungen an den Arbeitsplatz getragen werden und so den Fahrer exponieren.

Arbeitsabschnitte	Ort des Wirkstoffaustritts	Hauptsächlicher Transport des Wirkstoffes zum Anwender	Exposition des Anwenders
Vorbereiten (Transp., Rüsten, Anmischen, Befüllen)	Behältnisse, Gerät	durch Kontakt	
Ausbringen bzw. Applizieren	Düsen	über Luft	
Nachbereiten (Ab-rüsten, Reinigen, Warten, Transp.)	Gerät	durch Kontakt	

**Bild 1.** Quellen für eine Exposition in den verschiedenen Arbeitsabschnitten.

Während der der Applikation vor- und nachgeschalteten Arbeiten ist eine Exposition vor allem beim Abfüllen des Konzentrats, beim Anmischen der Spritzlösung und durch Kontakte mit kontaminierten Flächen möglich. Auch bei der Beseitigung von Störungen können Belastungen auftreten. Die Exposition erfolgt vornehmlich durch Berührung mit den Mitteln, aber auch andere Formen kommen vor.

Im nachfolgenden wird im Schwerpunkt die Exposition über luftgetragene Wirkstoffe während der Applikation behandelt. Diese Exposition ist stoff-, geräte- und verfahrensspezifisch. Demgegenüber hängt die Belastung in den Arbeitsabschnitten außerhalb der Applikation insbesondere von der Sorgfalt des Beschäftigten ab. Sie ist daher im Grundsatz vermeidbar und auch einer systematischen Untersuchung nur begrenzt zugänglich. Ferner ist anzumerken, daß sich die Kontaktexposition im wesentlichen auf die Hände beschränkt, so daß sie sich durch entsprechenden Handschutz vermeiden läßt.

## 2. Grundmodelle der Vorgänge, die zur Exposition führen, und Schritte einer Risikoabschätzung

### 2.1 Wirkungsablauf zur Anwenderexposition und Risikoabschätzung

Der zur Exposition führende Wirkungsablauf und die sich daran anschließende Risikoabschätzung stellen sich wie folgt dar, **Bild 2**.

Ausgangsort oder Quelle der Exposition sind — wie mit **Bild 1** gezeigt — der Düsenaustritt, kontaminierte Flächen und Kontaktorte bei der Handhabung und Anmischung der Mittel.

Der durch die Düsen gegebene Emissionsstrom an Pflanzenbehandlungsmitteln — meistens bezogen auf die Wirkstoffe in diesen Mitteln — geht aufgrund seines Anfangsimpulses und durch Luftströmungen über in einen Transmissionsstrom, der abhängig von der relativen Richtung zum Arbeitsplatz diesen teil- und zeitweise überdecken kann. Hierdurch wird der Arbeitsplatz durch eine bestimmte Wirkstoffmenge belastet, die man in der Einheit  $\text{mg}/\text{m}^3$  oder  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  beschreibt. Die Arbeitsplatzbelastung durch luftgetragene Wirkstoffe ergibt sich aus dem Transmissionsstrom. Eine solche Belastung kann durch primäre Quellen nur während der Applikation auftreten. Auf sekundäre Quellen ist später noch einzugehen. Ein anderer Weg zur Exposition ist der durch Berührung, insbesondere während der Arbeitsabschnitte außerhalb der Applikation.

Die Exposition beinhaltet die Frage nach dem Wirkstoffstrom, der aufgrund der Arbeitsplatzbelastung und der Kontaktvorgänge die Systemgrenze Mensch erreicht. Dabei ist noch örtlich zu differenzieren, nämlich nach inhalativer und dermalen Exposition ( $\beta_{\text{resp}}$  und  $\beta_{\text{derm}}$ ). Die Exposition wird als Mengenstrom ( $\text{mg}/\text{h}$ ) beschrieben.

Die toxikokinetische Phase beschreibt den Übergang der Wirkstoffe von der Systemgrenze Mensch in den Körper hinein. Die jeweilige Menge ergibt sich als Produkt aus Exposition  $\beta$  und Stoffübergangskoeffizient  $\sigma$ , wobei nach der inhalativen und der dermalen Route zu unterscheiden ist. Der jeweilige Stoffübergangskoeffizient hängt von zahlreichen Einflußgrößen ab. So werden die in die Atemwege gelangenden Wirkstoffe, abhängig von der Teilchengröße, auf dem Wege bis in die Alveolen in unterschiedlicher Weise abgeschieden und absorbiert. Ein Teil der Wirkstoffe wird u.U. auch ausgeatmet. Durch den Reinigungsmechanismus der Lunge ergibt sich ferner ein gewisser Teilstrom in den Rachenraum, von wo aus diese Mengen abgeschluckt werden und so in den gastrointestinalen Bereich gelangen. Im ungünstigsten Fall erreicht  $\sigma_{\text{resp}}$  den Wert 1.

Für den dermalen Bereich ist zu bedenken, daß die Haut bestimmungsgemäß eine besondere Barriere darstellt, so daß nur ein geringer Anteil absorbiert wird, z.B. weniger als 10 %, d.h.  $\sigma_{\text{derm}} < 0,1$ . Die Gesamtmenge hängt ferner von der Größe der ungeschützten Hautfläche ab, die in der Regel kleiner als etwa  $0,3 \text{ m}^2$  ist. Da bei anwendungsempfohlener Ausbringung Handschuhe zu tragen sind, liegt die exponierte Fläche deutlich niedriger.

Mit den Wirkungen der Wirkstoffe in den Organen befaßt sich die toxikodynamische Phase. Eine wichtige Beschreibungsmöglichkeit sind Dosis-Wirkung-Beziehungen. Da diese am Menschen nicht ermittelt werden können, werden sie ersatzweise im Tierversuch bestimmt. Die dazu notwendigen Versuche sind recht vielschichtig, weil es unterschiedliche Toxizitätskriterien gibt, wie beispielsweise die akute, subakute, chronische, subchronische, cancerogene, mutagene, teratogene und allergene. Hieraus resultieren entsprechende Applikationszeiten. Des weiteren sind auch noch die Applikationswege (oral, inhalativ, dermal ...) zu variieren, **Bild 3** [5].

Vorherrschend ist die orale Applikation, also der Fütterungsversuch. Bei der akuten Toxizität wird meist einmalig, z.B. während eines Tages, eine entsprechende Dosis verabreicht.

Bei der subakuten Dosis-Wirkung-Beziehung wird eine Beobachtungszeit von z.B. 3 Monaten gewählt, entsprechend ist die Dauer der Applikation. Für die chronische Toxizität gilt eine Beobachtungsdauer von 2 Jahren.

Bei der inhalativen Applikation muß man sehr feine Aerosole verwenden, deren Teilchengrößenverteilung nicht identisch ist mit der bei der Anwenderexposition unter praktischen Bedingungen. Zur Beschreibung der Wirkung gibt es verschiedene Kriterien, beispielsweise die letale Wirkung (z.B.  $\text{LD}_{50}$  und  $\text{LC}_{50}$ ) oder der no-effect-level [5].

Emissions- und Immissionsbereich			Toxikologischer Bereich			Risikoabschätzung
Quelle	Ausbreitung (Transmissionsstrom)	Arbeitsplatzbelastung $\zeta$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Exposition $\beta$ $\text{mg}/\text{h}$	Toxikokinetik (Wirkstoffstrom i.d. Organismus) $\text{mg}/\text{h}$	Toxikodynamik (Dosis-Wirkung aus Tierversuch) z.B. $\text{mg}/\text{kg}$	z.B. Quotient aus Expositions-, toxikokinetischen und -dynam. Daten
Düsenaustritt (Applikation)	Transport über Luft	Wirkstoffgehalt $\zeta$	inhalative $\beta_{\text{resp}}$	$\beta_{\text{resp}} \cdot \sigma_{\text{resp}}$	LC <sub>50</sub> LD <sub>50</sub> NEL ADI MAK : : :	$f = \frac{\sum \beta \cdot \sigma}{\text{Toxizitätsdaten}}$ z.B. LD <sub>50</sub>
Manipulation (Anmischen, Reinigen, Warten, ...)	Kontakt		dermale $\beta_{\text{derm}}$ dermale $\beta_{\text{derm}}$	$\beta_{\text{derm}} \cdot \sigma_{\text{derm}}$		und/oder $f_M = \frac{\zeta}{\text{MAK}}$ und/oder :

Bild 2. Wirkungsablauf zur Exposition und zur Risikoabschätzung beim Ausbringen und Handhaben von Pflanzenbehandlungsmitteln.

Toxizität	Aufnahmefolge des Stoffes	Zeitdauer der Aufnahme	Aufnahme- oder Applikationswege	Kriterien
akute	einmalig	kurzzeitig	respiratorisch dermal oral	- letale Dosis LD - letale Konzentration LC - no-observ. effect level NEL - acceptable daily intake ADI - maximale Arbeitsplatzkonzentration MAK-Wert
subakute	wiederholt	28 Tage		
chronische		> 6 Monate		
subchronische	90 Tage			
cancerogene	wiederholt - auch einmalig -	> z.B. 2 Jahre		
mutagene		z.B. mehrere Generationen		
teratogene				
allergene	unterschiedlich	unterschiedlich		

Bild 3. Für das Anwenderrisiko relevante toxikologische Begriffe.

Der ADI-Wert (acceptable daily intake) ergibt sich aus dem Fütterungsversuch, dem no-effect-level und einem Sicherheitsfaktor.

Der MAK-Wert ist diejenige Konzentration des Mittels am Arbeitsplatz, bei deren Einhaltung keine Gefährdung der Gesundheit zu erwarten ist (Rahmenbedingung für die Arbeitszeit: tägl. 8 h, wöchentlich 48 h).

Der ADI- und der MAK-Wert sind zusammenfassende und damit keine direkten toxikodynamischen Kriterien.

Durch einen Vergleich der toxikokinetischen Daten mit Dosis-Wirkung-Beziehungen aus dem Tierversuch läßt sich das Anwenderrisiko für die verschiedenen Toxizitätsbegriffe (akut, chronisch, ..., oral, ... usw.) abschätzen, und zwar derart, daß man die entsprechenden Werte ins Verhältnis setzt. Ist der Quotient unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors kleiner als 1, so besteht im Grundsatz kein Risiko. Als Beispiel einer solchen Betrachtungsweise sei die Abschätzung des akuten Risikos nach einer Formel von *Durham* und *Wolfe* [1] hingewiesen. Sinngemäße Bewertungen sind auch mit anderen toxikologischen Daten durchzuführen. Hierbei ist daran zu denken, daß die Expositionszeiten in entsprechender Form mit den Applikationszeiten aus den Tierversuchen (Bild 3) einzusetzen bzw. zu modifizieren sind. Ferner sind die Applikationswege zu beachten. (Werden Toxizitätsdaten über eine dermale Applikation ermittelt, entfällt z.B. der Wert  $\sigma$  im Zähler.)

Wird der MAK-Wert herangezogen, so ist zu bedenken, daß sich dieser nicht direkt auf die Exposition, sondern auf die Arbeitsplatzbelastung bezieht.

Die vorstehenden Ausführungen zeigen, daß zur Abschätzung des Anwenderrisikos Expositions- sowie toxikokinetische Daten auf

der einen und toxikodynamische Kenndaten auf der anderen Seite erforderlich sind. Die Vorlage der zuletzt genannten Daten ist Teil der Mittelzulassung.

Wenn man Expositionsprognosen erstellen will, und solche sind anzustreben, um gesundheitliche Schäden nicht zu beseitigen, sondern zu verhüten, dann sind hinreichende Kenntnisse über die Kausalitäten im Wirkungsablauf, ausgehend von der Quelle, erforderlich. Es wird daher angestrebt, solche meßtechnisch abgestützten Modelle zu erstellen.

## 2.2 Bereich Quelle bis zur Arbeitsplatzbelastung

Dazu wird zunächst der Wirkungsablauf von der Quelle bis zum Arbeitsplatz betrachtet, und zwar sowohl für das Spritzen als auch für das Sprühen während der Applikation, Bild 4.

Beim Spritzen ergibt sich der Wirkstoffemissionsstrom aus der Zusammensetzung der Spritzflüssigkeit und dem Ausfluß aus den Düsen, die meistens von einem Spritzbalken getragen werden.

Der nach dieser Quelle entstehende Transmissionsstrom teilt sich durch den relativen Wind in zwei Komponenten. Der größere Anteil, nämlich der Applikationsstrom  $A_p$ , ist nach unten auf die Pflanzen gerichtet. Nur der wesentlich kleinere Strom, der Abdriftstrom  $A_d$ , kann in Abhängigkeit von der relativen Windrichtung den Arbeitsplatz überdecken und belasten. Die Tropfen in diesem Abdriftstrom am Arbeitsplatz sind meist kleiner als  $60 \mu\text{m}$  und daher als atembar anzusehen.

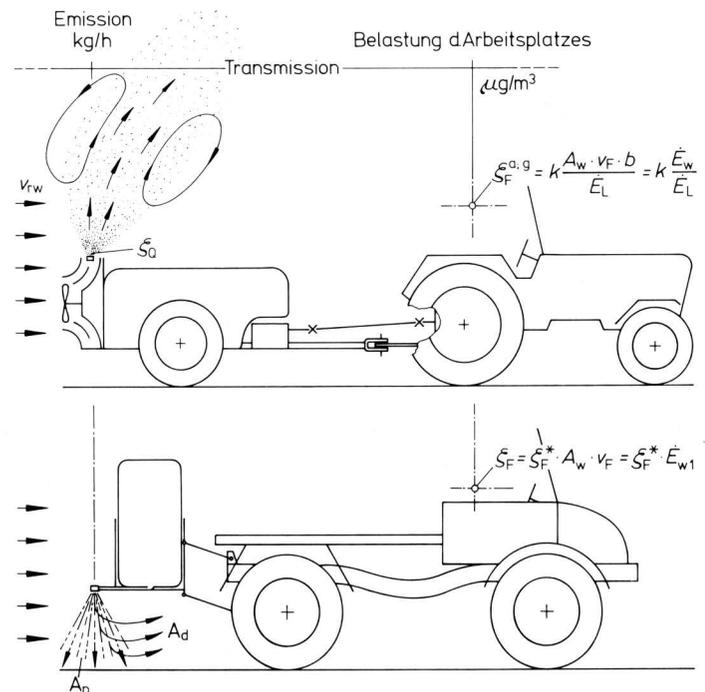


Bild 4. Sprüh- und Spritzverfahren. Prinzipieller Vorgang – Begriffe.

Demgegenüber werden beim Sprühen Flüssigkeitstropfen mit dem Wirkstoff vorwiegend durch einen Trägerluftstrom in den Pflanzenbestand transportiert. Das Sprühgerät wirkt insgesamt als räumliche Quelle, und es erfolgt keine Teilung des Transmissionsstromes. Das bedeutet: Arbeitsplatz und Pflanze befinden sich im gleichen Strom. Unterschiede ergeben sich lediglich aus der örtlichen Differenzierung. Hieraus folgt, daß bei vergleichbarem Emissionsstrom die Belastung des Arbeitsplatzes beim Sprühen deutlich höher liegt als beim Spritzen.

Hinsichtlich der Tropfengrößen kann man im Fall fehlender Verdunstung von der von den Düsen erzeugten Größenverteilung ausgehen. Damit befinden sich im Transmissionsstrom am Arbeitsplatz auch Teilchen, die nicht atembar sind, man muß daher beim Sprühen im Gegensatz zum Spritzen zwischen dem Gesamtgehalt an Wirkstoff  $\zeta^E$  und dem Gehalt in atembare Form  $\zeta^A$  unterscheiden.

Die Größe der Arbeitsplatzbelastung läßt sich mit Hilfe der in Bild 4 angegebenen Gleichungen beschreiben. Auf die Belastung nehmen im wesentlichen drei Gruppen von Faktoren Einfluß. Die an der Quelle notwendigen Wirkstoffströme  $\dot{E}_W$  ergeben sich aus dem Aufwand  $A_W$  in kg/ha in Verbindung mit der Fahrgeschwindigkeit  $v_F$  und der Arbeitsbreite  $b$ . Die beiden anderen Einflußgruppen – Bedingungen der umgebenden Luft und Geräte-, Pflanzen-, Stoffbedingungen – werden jeweils durch die Proportionalitätsfaktoren  $\zeta^*$  und  $k$  zusammengefaßt.

Für eine Quelle errechnet sich der Emissionsstrom zu

$$\dot{E}_W = A_W v_F b = V \rho c_w / t \quad (1).$$

Da sich hiernach der Emissionsstrom auch bei gleicher technischer Beschaffenheit der Quelle ändern kann, beispielsweise über die Konzentration des Wirkstoffes in der Spritzflüssigkeit, empfiehlt es sich beim Spritzen, von einer Belastung  $\zeta^*$  auszugehen, die bei einem normierten Emissionsstrom, nämlich von 1 kg Wirkstoff je m Spritzbreite und Stunde, auftritt. Dann kann man für die Belastung am Arbeitsplatz ansetzen:

$$\zeta_F = \zeta_F^* \dot{E}_{W1} \quad (2).$$

$\dot{E}_{W1}$  ist der reale Wirkstoffemissionsstrom je m Spritzbreite.

Im Gegensatz zum Spritzen ist beim Sprühen aufgrund des Trägerluftstromes  $\dot{E}_L$  der Wirkstoffgehalt im Transmissionsstrom direkt nach der Emission bekannt:

$$\zeta_Q = \dot{E}_W / \dot{E}_L \quad (3),$$

mit  $\dot{E}_W$  nach Gl. (1).

Mit den im Formelverzeichnis erklärten Zeichen und benutzten Einheiten gilt dann

$$\zeta_Q = A_W v_F b / \dot{E}_L \quad (4).$$

Die Veränderung dieser Konzentration im Transmissionsstrom bis zum Arbeitsplatz läßt sich durch einen Konzentrations- oder Verdünnungsfaktor  $k$  erfassen. Es gilt:

$$k = \zeta_F / \zeta_Q \quad (5)$$

und damit beim Sprühen

$$\zeta_F = k \zeta_Q \quad (6).$$

### 2.3 Sekundäre Quellen

Durch den Transmissionsstrom können nicht nur der Arbeitsplatz, sondern auch Schlepper und Gerät beaufschlagt werden. Dies führt zu sekundären Quellen. Die dort abgeschiedenen Wirkstoffe verdunsten oder verdampfen, und dies vor allem an den erwärmten oder heißen Schlepperbauteilen und in der erwärmten Kühlluft.

Der Wirkstoff wird von dieser sekundären Quelle somit in gasförmiger Form emittiert.

Als weitere sekundäre Quellen können u.U. die bereits applizierten Pflanzenbestände wirken.

### 3. Versuchsaufbau und -durchführung

Nach den Ausführungen im vorstehenden Abschnitt ist es Ziel von Messungen, die Abhängigkeit der Arbeitsplatzbelastung in den drei Parametergruppen

- Stoffströme
- Luftbedingungen
- Geräte-, Pflanzenbedingungen

zu ermitteln, Bild 5.

Arbeitsplatzbelastung	Einflußgruppen		
	1 Stoffströme	2 Luftströmungen und -zustand im Wirkungsbereich	3 Geräte- und Pflanzenbedingungen
$\zeta_F = f$	$[\dot{E}_W]$	$\alpha, v_{rw}, \varphi, t,$	$p, \dot{E}_L, h_B, s_A, d_p, \dots, \text{sekundäre Quellen, Pflanzenbestand}]$

Bild 5. Übersicht über die die Arbeitsplatzbelastung bestimmenden wichtigsten Einflußgrößen,  $\zeta_F = f [ \dots ]$ .

Die Untersuchungen zur Beantwortung der anstehenden Fragen erfolgen auf vier Wegen:

1. Messen der Belastung des Arbeitsplatzes beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln in landwirtschaftlichen oder verwandten Betrieben. Ziel ist die Ermittlung von Belastungskollektiven.
2. Ermitteln der Wirkstoffmenge im Ausbreitungsstrom in Abhängigkeit von der Struktur der Quelle und verschiedenen Ausbreitungsbedingungen in einem Windkanal. Diese Versuche dienen dazu, die grundsätzlichen Zusammenhänge zu klären und unterschiedliche Meßmethoden unter definierten Bedingungen zu vergleichen.
3. Messen der Abhängigkeit der Belastung am Fahrerplatz von den wirkenden Einflußfaktoren beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln unter idealisierten und praxisnahen Bedingungen mit Hilfe eines Versuchsstandes. Diese Versuche beinhalten eine Erweiterung der Windkanalmessungen durch Einbeziehen meteorologischer Turbulenzen und den Übergang zu realen Spritz- und Sprühgeräten einschließlich der Fahrzeuge.
4. Messungen mit Spritz- und Sprühgeräten unter praktischen Bedingungen, aber gezielt gewählten Arbeitsabläufen und Umgebungsbedingungen wie z.B. konstanten Windeinfallswinkeln.

#### 3.1 Messen des Wirkstoffgehaltes in der Luft am Fahrerplatz bei Arbeiten in der Produktion

Die Messungen erfolgen bei Spritz- und Sprüharbeiten in Produktionsbetrieben, um die unter realen Bedingungen auftretenden Belastungen zu ermitteln.

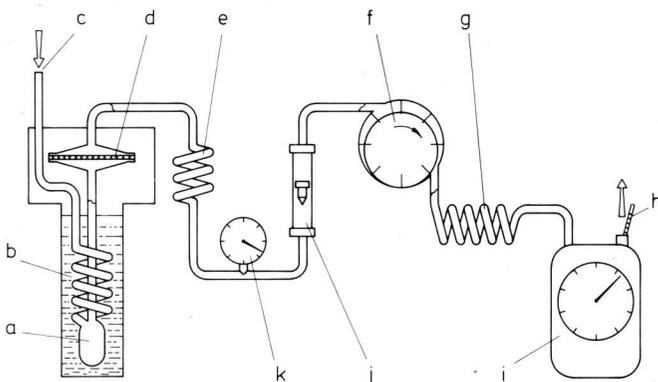
Die hierzu erforderlichen meßtechnischen Methoden sind im Grundsatz identisch mit denen für feste Teilchen, d.h. es wird eine bestimmte Luftmenge im Atembereich entnommen und die in diesem Luftvolumen enthaltene Masse an Pflanzenbehandlungsmitteln (an Wirkstoffen) festgestellt. Die Bestimmung der Masse erfolgt

meist über eine Abscheidung der Pflanzenbehandlungsmittel mit anschließender Analyse. Die für Pflanzenbehandlungsmittel geeigneten Abscheide- und Analysenmethoden und insbesondere die dabei gemachten Erfahrungen sind in dem von R.E. Lee herausgegebenen Buch umfassend beschrieben [1].

Zur Abscheidung werden im wesentlichen zwei Methoden eingesetzt, nämlich die Ab- und die Adsorption. Zur Adsorption wird die Luftprobe durch eine geeignete Flüssigkeit geleitet (Waschflaschen, Impinger), zur Adsorption durch poröse Schichten beispielsweise aus Aktivkohle. Diese Verfahren sind selektiv, d.h. sie müssen auf das verwendete Pflanzenbehandlungsmittel und auch auf die sich anschließende Analyse abgestimmt sein.

Um von diesen stoffspezifischen Bedingungen weniger abhängig zu sein, insbesondere aber im Hinblick auf einen möglichst großen Luftdurchsatz (d.h. kurze Meßdauer), wurde die wegen des erhöhten Aufwandes weniger gebräuchliche Abscheidung mit Hilfe einer Kältefalle verwendet. Die gesamte Probenahmeeinrichtung ist in **Bild 6** dargestellt [2]. Die am Arbeitsplatz entnommene Luftprobe wird durch eine mit flüssigem Sauerstoff gekühlte Falle geleitet. Dadurch werden die entstehenden oder vorhandenen festen Teilchen mit oder aus den Pflanzenbehandlungsmitteln und auch die auskristallisierte Feuchte der Luft in der Kältschlange, spätestens jedoch in dem nachgeschalteten Filter d abgeschieden. Die in der anschließend verschlossenen Falle befindliche Probe wird zur Analyse durch Lösungsmittel in mehreren Spülvorgängen entnommen. Die analytischen Arbeiten wurden von Fachlaboratorien außerhalb des Instituts durchgeführt.

Man kann davon ausgehen, daß die Abscheidegüte der Falle von dem Dampfdruck des verwendeten Wirkstoffes, der Wirkstoffmenge, der Luftfeuchtigkeit, der Lufttemperatur, dem Luftdurchsatz und der Feinheit der Teilchen abhängt. Es wurde daher in Laborversuchen die Abscheidegüte unter Veränderung dieser Parameter untersucht. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse erfolgt die Kalibrierung unter praxisnahen Bedingungen. Mit Hilfe einer Zweistoffdüse wird Spritzflüssigkeit in der für die Anwendung empfohlenen Zusammensetzung im Einströmrohr der Falle so zerstäubt, daß die Tropfengröße der am Arbeitsplatz entspricht. In die Abscheidegüte geht auch die Genauigkeit der Analytik mit ein, so daß beide Größen zusammengefaßt werden. Es ergab sich, daß man im Mittel die von *Ellwardt* [6] ermittelten Wirkstoffanteile wiederfindet, der für die von ihm untersuchten Stoffe eine Abscheidegüte von  $76 \pm 3\%$  angibt. Mit diesem Befund oder bei Abweichung mit der jeweils bestimmten Abscheidegüte wurden die Analyseergebnisse auf 100% korrigiert.



**Bild 6.** Probenahmeeinrichtung zum Messen der Wirkstoffkonzentration im Atembereich am Arbeitsplatz; Luftdurchsatz  $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ .

- |  |                     |
|--|---------------------|
| a Kältefalle   | f Flügelzellenpumpe |
| b flüssiger Sauerstoff                                   | g Wärmeaustauscher  |
| c Probenlufteintritt                                     | h Thermometer       |
| d Filter   | i Gasuhr            |
| e Verbindungsschlauch zur Pumpe und zum Wärmeaustauscher | j Rotameter         |
|  | k Manometer         |

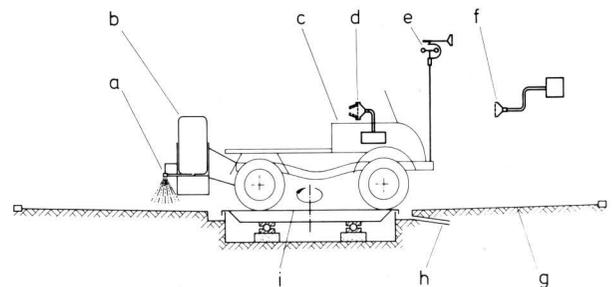
### 3.2 Untersuchungen in einem Windkanal

Da grundlegende Abhängigkeiten mit der erforderlichen hohen Genauigkeit bei Versuchen in der Praxis und in praxisnahen Versuchen nicht oder nur mit beträchtlichem Aufwand zu messen sind, wurde ein Windkanal mit 2,6 m lichter Höhe und für eine Spritzbreite von 1,50 m erstellt. Der Kanal ist als Druckkanal aufgebaut. Auf der Ansaugseite sind 6 Ventilatoren angeordnet, denen im Abstand von etwa 2 m ein Gleichrichter und ein Siebgewebe mit 2 mm Maschenweite nachgeschaltet sind. Hierdurch wird eine für die Versuche ausreichend gleichmäßige Luftgeschwindigkeitsverteilung erreicht. Der Spritzbalken mit 3 Düsen ist 3 m hinter dem Siebgewebe angeordnet und die Meßstelle wiederum in 3,50 m Abstand zum Spritzbalken. Die Luftgeschwindigkeit läßt sich im Bereich von 0,4–5 m/s verändern. Der Turbulenzgrad beträgt bei 2,2 m/s etwa 3,5%. Auch Sprühvorgänge lassen sich mit einem Düsen-Luftstrom-System simulieren.

### 3.3 Untersuchungen mit Hilfe eines Versuchsstandes

Bei dem Versuchsstand, **Bild 7**, handelt es sich um ortsfest aufgestellte handelsübliche Spritz- oder Sprüheinrichtungen in verschiedener geometrischer Gestaltung. Das Bild zeigt einen Unimog Typ G 65, ausgerüstet mit einem Spritzbalken von 7,5 m oder 10 m in Heckanbau (auch Frontanbau ist möglich) und einem 400 l- oder 600 l-Behälter. Mit der Meßeinrichtung e lassen sich der Windeinfallswinkel, die relative Windgeschwindigkeit und der Turbulenzgrad in der Höhe  $h = 4 \text{ m}$  messen. Der Probenehmer ist am Beifahrerplatz angeordnet. Das Fahrzeug, oder eine andere Anordnung mit Spritz- oder Sprüheräten, befindet sich auf einem Drehtisch, so daß man beliebige Windeinfallswinkel einstellen und durch Nachführen konstant halten kann.

Für Messungen in einem ungestörten Ausbreitungsstrom wird das Fahrzeug durch einen Tragrahmen für Spritzbalken oder Sprühgebläse und Probenehmer ersetzt [2]. Die Probenehmer befinden sich ggf. auch seitlich neben dem Rahmen. Behälter und Pumpe können auch etwa 15 m vom Versuchsstand entfernt aufgestellt werden. Die Versuchsbedingungen entsprechen im Prinzip denen im Windkanal, sie lassen sich aber nicht nach Wunsch vorgeben. Abweichend sind das Geschwindigkeitsprofil und der Turbulenzgrad.



**Bild 7.** Versuchsstand zum Messen der Arbeitsplatzbelastung.

- |  |   |
|--|---|
| a Spritzbalken   | f Filter zum Messen der Grundbelastung (in 15 m Abstand)            |
| b Behälter für Spritzflüssigkeit mit Pumpe (verlegbar)                                     | g Auffangfolie (Wanne)  |
| c Spritzfahrzeug oder Sprüherät  | h Kanal mit Pumpe und Filter zum Rückgewinnen der Spritzflüssigkeit |
| d Probenehmer, z.B. Filterkopf mit Glasfaserfilter   | i Drehtisch   |
| e Einrichtung zum Messen von rel. Windrichtung, rel. Windgeschwindigkeit und Turbulenzgrad |   |

### 3.4 Feldmessungen mit Versuchseinrichtungen

Bei den Meßfahrzeugen handelt es sich um handelsübliche Schlepper mit offenem Fahrerplatz (Versuche mit Kabinen sind entsprechend benannt) und Spritz- bzw. Sprüheräte mit Meßeinrichtungen nach Bild 6 und 7. Damit lassen sich die Versuche nach Abschn. 3.1, 3.3 und 3.4 mit den gleichen Einrichtungen durchführen, wodurch die Vergleichbarkeit erleichtert wird.

Für viele Versuche ist das Fahrzeug so zu fahren, daß ein vorgegebener Windeinfallswinkel und eine bestimmte relative Windgeschwindigkeit eingehalten werden. Hierzu werden entsprechende Pflanzenbestände angelegt oder ausgewählt.

### 3.5 Meßtechnik

Soweit es die Methode zuläßt, wird als Spritzflüssigkeit eine 10 %ige Kochsalzlösung verwendet, ohne damit diesen Referenzstoff als den vorteilhaftesten zu erklären. (Für Belags- und Abdriftuntersuchungen haben sich z.B. einige Farbstoffe wie Brillant-Sulfolavin sehr bewährt [1]). Dieser Schritt vereinfacht die Versuche unbeschadet der geringeren Umweltprobleme auch insofern, als eine quantitative Abscheidung des "Wirkstoffes" mit Glasfaserfiltern möglich ist und die Massebestimmung direkt durch Auswiegen erfolgen kann. (Durchgeführt im Klimaraum bei  $\varphi = 50\%$  und  $\vartheta = 20\text{ °C}$ .) Eine Verdunstung dieses Referenzstoffes tritt nicht auf. Notwendig ist bei dieser Methode, die nicht selektiv mißt, die Grundbelastung der Luft bei jeder Messung gleichzeitig zu ermitteln. Aus Gründen der Genauigkeit wird angestrebt, daß die Grundbelastung 10 % der NaCl-Belastung nicht überschreitet.

Die Filterköpfe sind beim Spritzen so ausgebildet, daß eine nahezu isokinetische Probenahme möglich ist. Der Einströmkanal ist mit Filterpapier ausgekleidet, um auch die dort abgeschiedenen Teilchen zu erfassen.

Beim Sprühen liegen wegen des starken Gebläseluftstromes Bedingungen vor, die eine isokinetische Probenahme nicht ermöglichen. Ferner ist zu berücksichtigen, daß beim Sprühen ein Anteil der Tropfen nicht atembar ist, so daß zwischen einem Gesamtwirkstoffgehalt ( $\zeta^B$ ) und einem atembaren Wirkstoffgehalt ( $\zeta^A$ ) zu unterscheiden ist. Diese Differenzierung erfolgt meßtechnisch. Der atembare Anteil wird in Anlehnung an VDI-Richtlinien durch einen Entnahmekopf mit einem zylindrischen Ringspalt in horizontaler Lage ermittelt. Für den Gesamtgehalt wird ein horizontaler Einströmquerschnitt benutzt.

Beim Sprühen werden sowohl Anbau- als auch Anhängegeräte eingesetzt. Ausgehend von den hierbei vorherrschenden Abmessungen, wurden Fahrerplatzbelastungen bei einem horizontalen Abstand zur Quelle von  $s_A = 2\text{ m}$  und  $s_A = 3,5\text{ m}$  ermittelt (offener Platz ohne Verdeck und Windschutzscheibe). Der größere Abstand wird durch einen zusätzlichen Gitterträger zwischen Fahrzeug und Sprüherät eingestellt.

Als Sprühgebläse wurde ein Gerät der Fa. Holder eingesetzt. Der Durchsatz des Gebläses lag, wenn nicht anders erwähnt, bei  $\dot{E}_L = 38000\text{ m}^3/\text{h}$ . Über die Drehzahl ließ sich dieser Wert im Bereich zwischen  $30000\text{ m}^3/\text{h}$  und  $55000\text{ m}^3/\text{h}$  verändern (geänderte Serienausführung). Trägerluftstrom und Düsen im gesamten seitlichen und oberen Halbkreis. Dies bedeutet den ungünstigsten Fall hinsichtlich der Anwenderbelastung.

## 4. Versuchsergebnisse zur Arbeitsplatzbelastung

### 4.1 Abhängigkeit der Belastung vom Emissionsstrom

Die Belastung eines engeren Gebiets, z.B. des Atembereichs, im Transmissionsstrom in Abhängigkeit vom Emissionsstrom zeigt Bild 8. Für die 3 untersuchten Stoffe ergibt sich mit guter Näherung eine lineare Abhängigkeit. Beachtenswert ist der unterschiedliche Anstieg der Kurven. Im Vergleich zum Referenzstoff NaCl und bei gleichem Emissionsstrom liegen die Belastungen bei Lindan und Bayleton deutlich höher, nämlich um etwa 70–80 %.

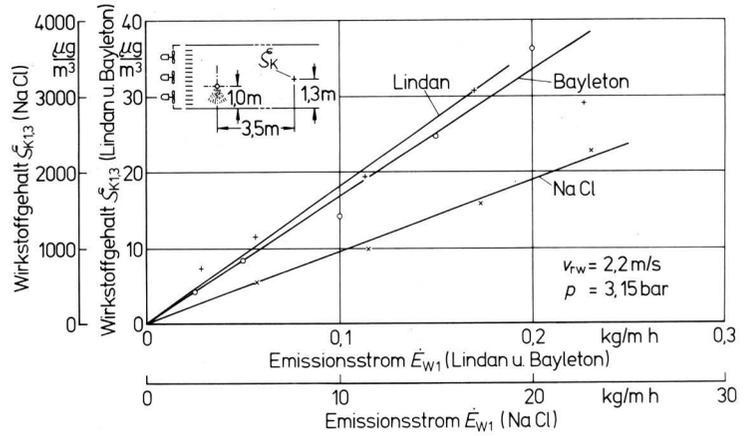


Bild 8. Abhängigkeit der Belastung vom Emissionsstrom,  $\varphi > 85\%$ .

### 4.2 Abhängigkeit der Arbeitsplatzbelastung von den Luftbewegungen und dem Luftzustand im Bereich zwischen Quelle und Arbeitsplatz – offener Arbeitsplatz

#### 4.2.1 Spritzen

Für die Arbeitsplatzbelastung ist das Fahrzeug das Bezugssystem, so daß die Belastungen in Abhängigkeit von der relativen Windrichtung und der relativen Windgeschwindigkeit angegeben werden. Die Bilder 9 bis 14 geben einen Einblick in diese Abhängigkeiten.

Sie zeigen, daß der Fahrerplatz von der Spritzbalkenquelle direkt nur in einem engen Winkelbereich hinsichtlich der relativen Windrichtung belastet wird.

Ein weiterer wichtiger Einfluß ist dem Kühlgebläsestrom zuzuordnen. Bei Heckanbau und achterlichem Wind ist dieser Strom dem relativen Wind entgegengerichtet. Die Folge ist ein Anheben der Strombahnen, wie Bild 15 durch Vergleich der beiden Bildteile veranschaulichen möge.

Dadurch steigt die Belastung um ein Mehrfaches an. Diese Zunahme ist von der Größe des Kühlluftstromes und damit auch von der Schlepperleistung abhängig.

Bei Frontanbau wird durch das Kühlgebläse (Senke) ein umgekehrter Effekt bewirkt.

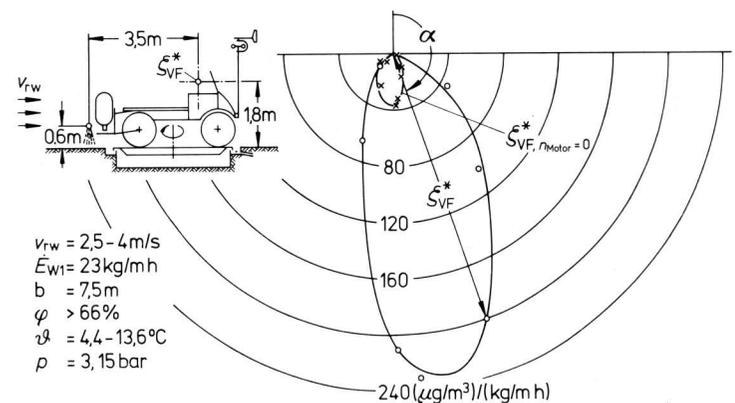
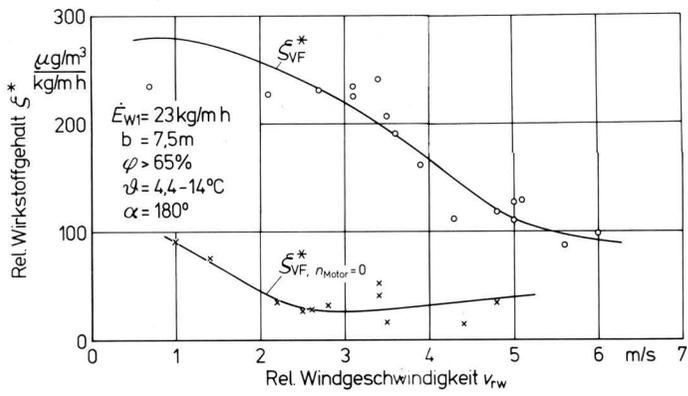
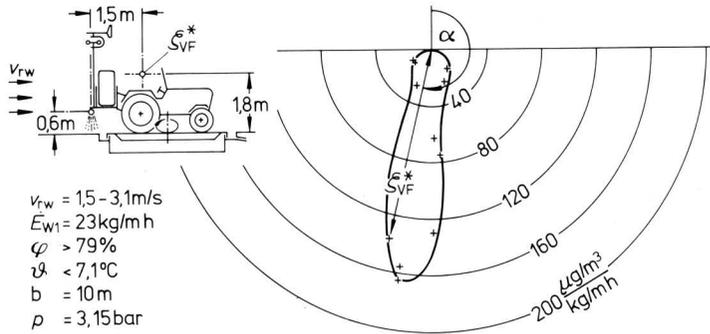


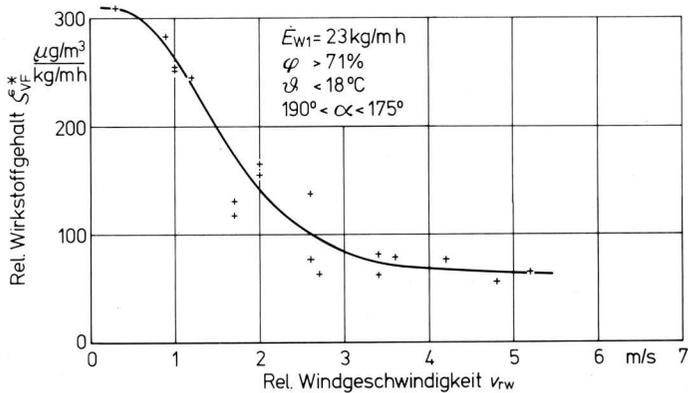
Bild 9. Relativer Wirkstoffgehalt der Luft am Fahrerplatz in Abhängigkeit vom Windeinfallswinkel bei normalem Betrieb (äußere Kurve) und bei Stillstand des Fahrzeugmotors (innere Kurve); Spritzen Unimog 48 kW, Heckanbau, Düsen FU 11,5/120°, Referenzflüssigkeit NaCl-Lösung.



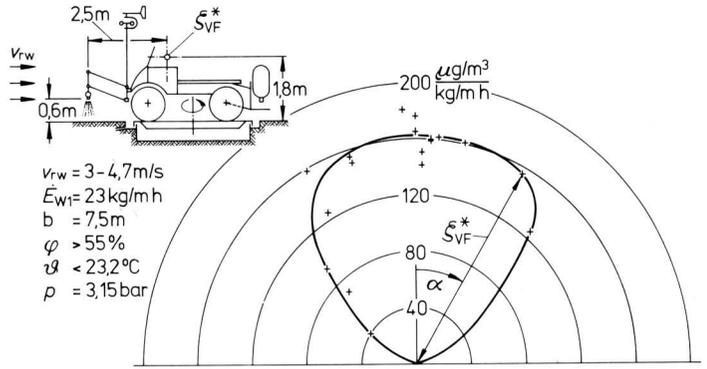
**Bild 10.** Relativer Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit von der relativen Windgeschwindigkeit bei normalem Betrieb (obere Kurve) und bei Stillstand des Fahrzeugmotors (untere Kurve); sonstige Bedingungen wie bei Bild 9.



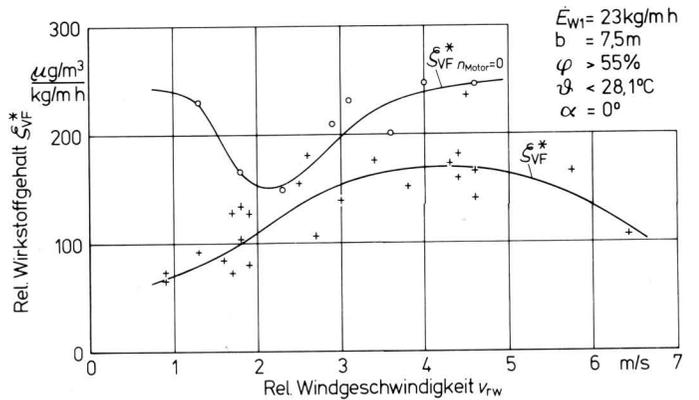
**Bild 11.** Relativer Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit vom Windeinfallswinkel; Standardschlepper 21 kW, Heckanbau, Düsen FU 11,5/1200, Referenzflüssigkeit NaCl-Lösung.



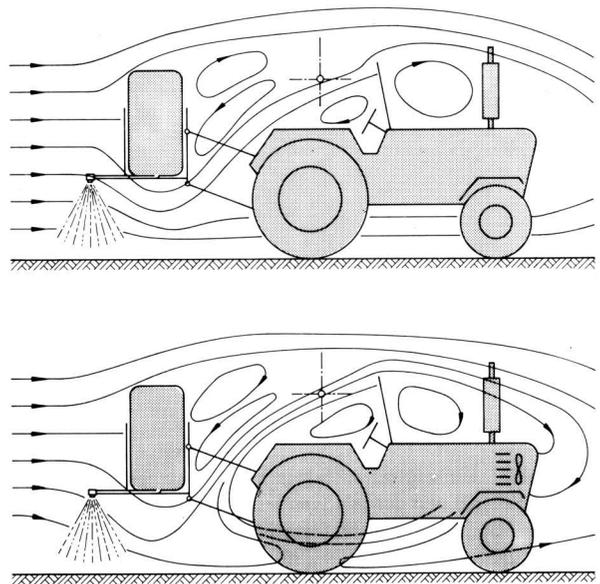
**Bild 12.** Relativer Wirkstoffgehalt als Funktion der relativen Windgeschwindigkeit. Weitere Bedingungen wie bei Bild 11.



**Bild 13.** Relativer Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit vom Windeinfallswinkel, Unimog 48 kW, Frontanbau, Düsen FU 11,5/1200, Referenzflüssigkeit NaCl-Lösung.



**Bild 14.** Relativer Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit von der relativen Windgeschwindigkeit, mit laufendem Motor (untere Kurve) und stehendem Motor (obere Kurve); sonstige Bedingungen wie bei Bild 13.



**Bild 15.** Strombahnen in der Umgebung und am Fahrerplatz beim Spritzen. Bildteil oben ohne Kühlluftstrom, Bildteil unten mit Kühlluftstrom.

#### 4.2.2 Sprühen

Beim Sprühen ergeben sich im Vergleich zum Spritzen neben Ähnlichkeiten auch Unterschiede. Bild 16 und 17 zeigen den Verdünnungsfaktor  $k$  und Bild 18 bis 21 die sich damit ergebende Arbeitsplatzbelastung  $\zeta_{VF}$  bei einem angenommenen Wirkstoffgehalt an der Quelle von  $\zeta_Q = 20 \text{ mg/m}^3$ . Aus diesen Ergebnissen folgt, daß der Winkelbereich, in dem der relative Wind zu einer Belastung führt, beim Sprühen größer ist als beim Spritzen. Ferner läßt sich aus den Ergebnissen ableiten, daß die Belastung  $\zeta_F^a$  bei vergleichbarem Emissionsstrom beim Sprühen deutlich höher liegt als beim Spritzen. Noch höher liegt der Gesamtgehalt  $\zeta_F^g$ , der für die dermale Belastung relevant ist.

Wegen der unterschiedlichen Wirkungsweise ist der Einfluß des Kühlgebläses auf die Strombahnen beim Sprühen deutlich geringer als beim Spritzen. Demgegenüber wirkt sich der Schlepper als sekundäre Quelle stärker aus. Beide Erscheinungen werden in Abschnitt 4.3.2 durch Messungen belegt.

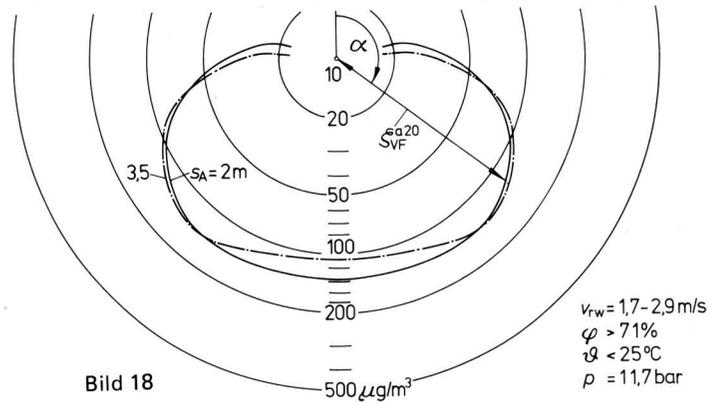


Bild 18

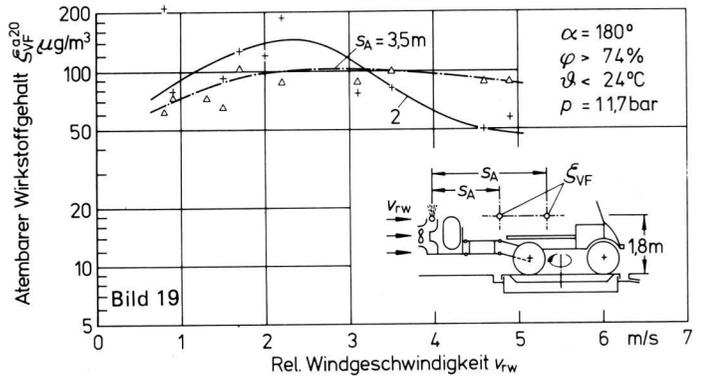


Bild 19

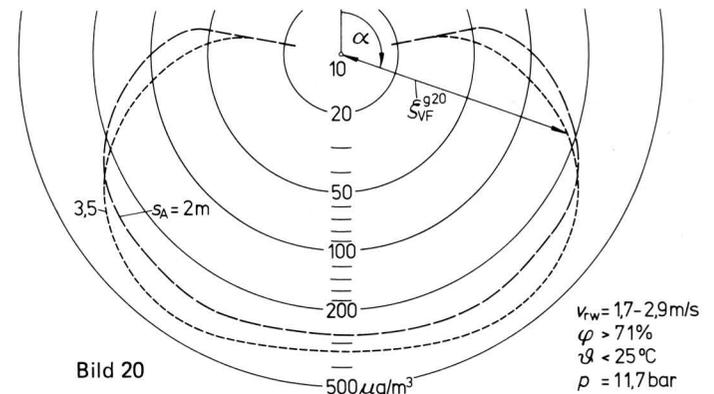


Bild 20

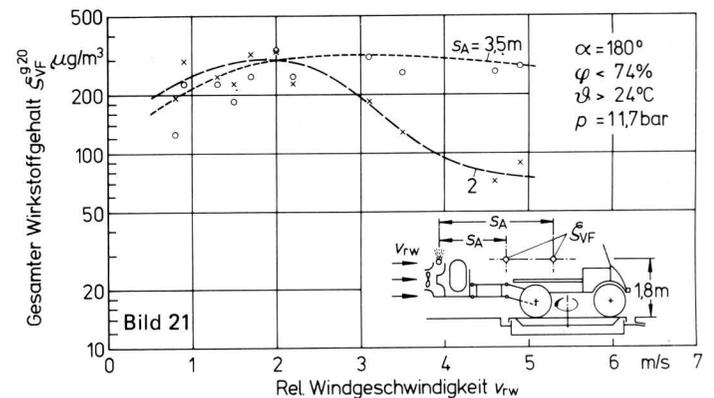


Bild 21

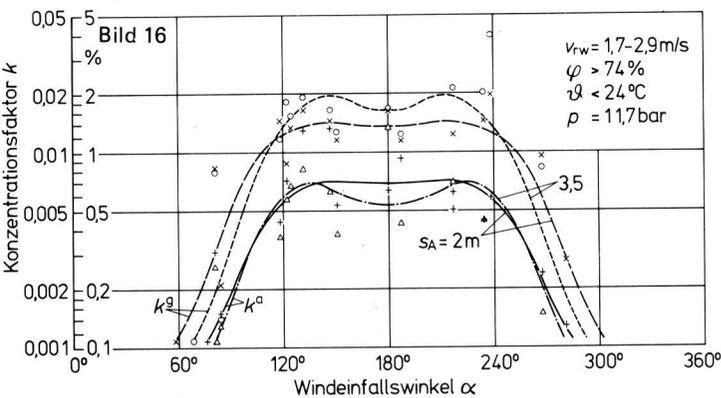


Bild 16

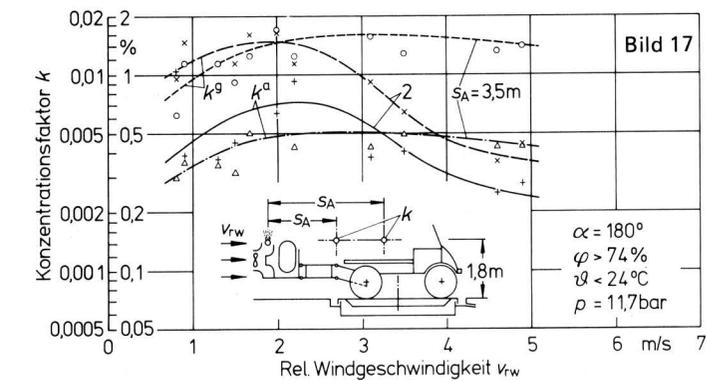


Bild 17

**Bild 16 und 17.** Konzentrationsfaktor  $k$  in Abhängigkeit vom Windeinfallswinkel und der relativen Windgeschwindigkeit beim Sprühen für den gesamten Wirkstoffgehalt ( $k^g$ ) und den atembaren Wirkstoffgehalt ( $k^a$ ) bei  $s_A = 2 \text{ m}$  und  $s_A = 3,5 \text{ m}$ ; 12 Düsen ( $2 \text{ mm } \phi$ ) im Halbkreis angeordnet, Referenzstoff NaCl-Lösung, kein Pflanzenbestand,  $\dot{E}_L = 38000 \text{ m}^3/\text{h}$ .

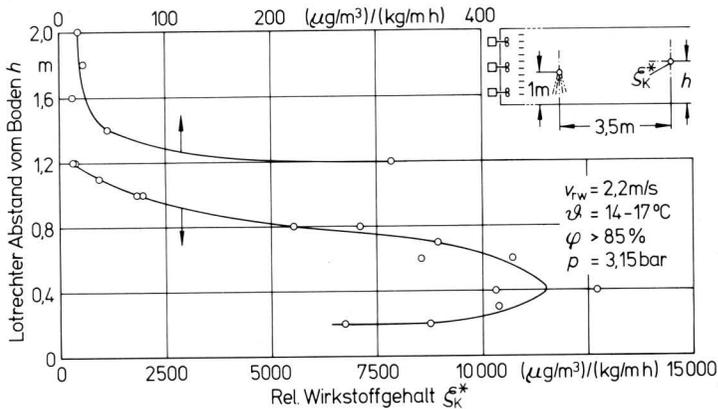
**Bild 18 bis 21.** Wirkstoffgehalt der Luft am Fahrerplatz aus Meßergebnissen nach Bild 16 und 17 bei  $\zeta_Q = 20 \text{ mg/m}^3$ . Bild 18 und 19 atembaren Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit von  $\alpha$  und  $v_{rw}$ ; Bild 20 und 21 gesamter Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit von  $\alpha$  und  $v_{rw}$ .

### 4.3 Einfluß von Geräte- und Pflanzenbedingungen auf die Belastung des Arbeitsplatzes

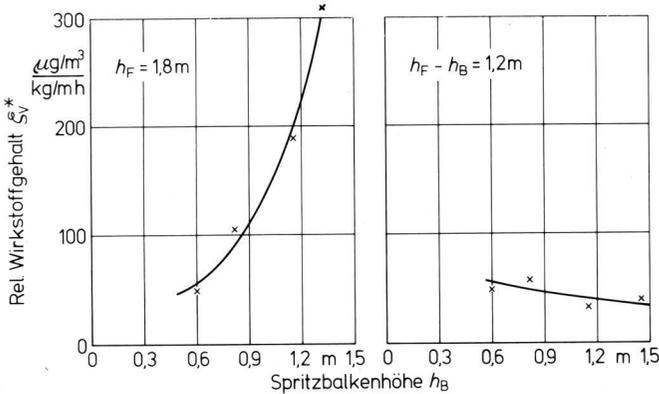
#### 4.3.1 Spritzen

Die bedeutendsten Einflüsse in diesem Bereich sind beim Spritzen die Spritzbalkenhöhe, die Düsenbauart, der Düsendruck, der Schlepper als sekundäre Quelle und die Höhe (auch Dichte) des Pflanzenbestandes. Aus der Konzentrationsverteilung über der Höhe, Bild 22, ergibt sich die starke Abhängigkeit der Belastung von der Spritzbalkenhöhe, Bild 23.

Erwähnenswert ist die Tatsache, daß sich die Belastung nur wenig ändert, wenn mit dem Spritzbalken auch der Fahrerplatz angehoben wird. Daraus läßt sich schließen, daß die vom Boden reflektierten Teilchen an der Belastung am Arbeitsplatz einen vergleichsweise geringen Anteil haben.

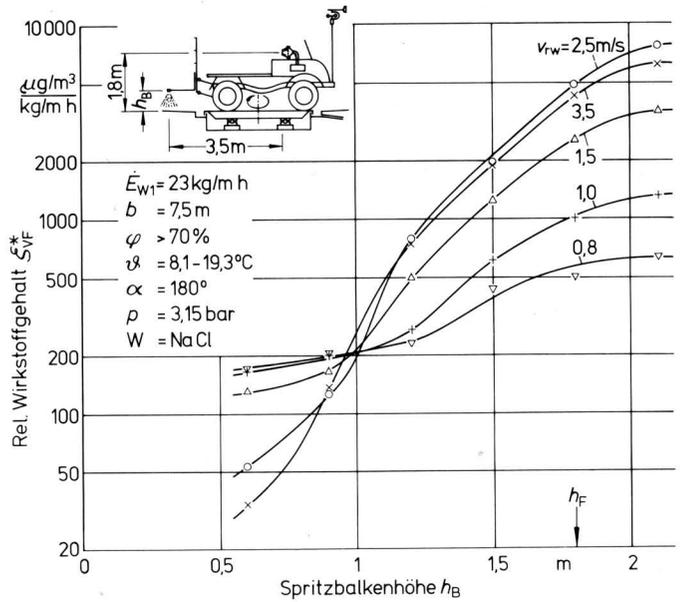


**Bild 22.** Relativer Wirkstoffgehalt in einer Ebene in 3,5 m Entfernung vom Spritzbalken in Abhängigkeit von der Höhe der Meßstelle; Messungen im Windkanal, Düsen FU 11,5/120°, 10 %ige NaCl-Lösung,  $\dot{E}_{W1} = 23 \text{ kg/m h}$ .



**Bild 23.** Relativer Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit von der Spritzbalkenhöhe bei Probenahme in 1,8 m Höhe (links) und bei konstantem vertikalen Abstand (1,2 m) zwischen Meßstelle und Spritzbalken (rechts), Versuchsstand ohne Fahrzeug, weitere Bedingungen wie bei Bild 22.

Wegen des starken Einflusses der Spritzbalkenhöhe wurden umfangreiche Versuche auf dem Versuchsstand mit realen Geräten und einem Unimog als Fahrzeug ohne Spritzbehälter durchgeführt. Gemessen wurde die Belastung in Abhängigkeit von der relativen Windgeschwindigkeit bei verschiedenen Spritzbalkenhöhen. Die aus den so gefundenen Kurven entnommenen Ergebnisse sind in Bild 24 dargestellt.



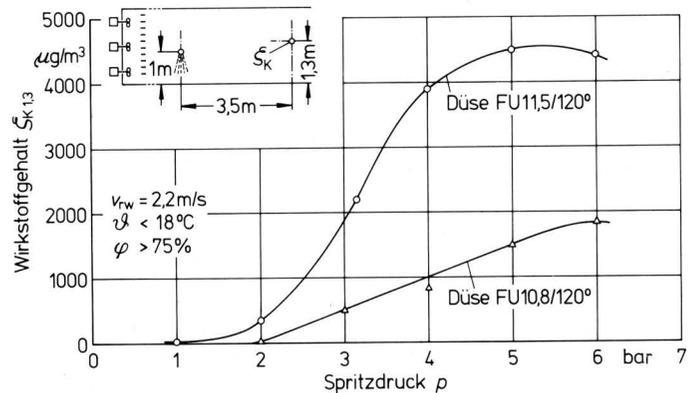
**Bild 24.** Relativer Wirkstoffgehalt  $\zeta^*_F$  am Fahrerplatz in Abhängigkeit von der Spritzbalkenhöhe bei verschiedenen rel. Windgeschwindigkeiten  $v_{w}$ . Düsen FU 11,5/120°; Spritzen; Heckanbau.

Die Struktur der Quelle wird in erster Linie von der Düsenbauart und dem Spritzdruck bestimmt. Auch Stoffeigenschaften haben eine Bedeutung. Über diese Zusammenhänge existiert ein breites Schrifttum [7].

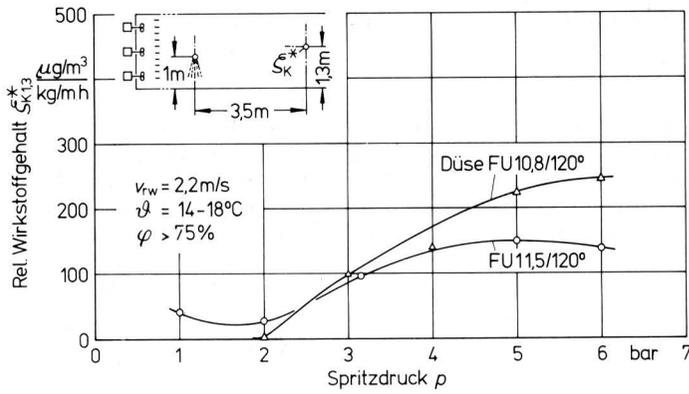
Um den Einfluß der Quelle auf die Belastung zu zeigen, wurden sowohl der Druck als auch die Düsenausführung verändert, Bild 25 und 26. Mit dem Spritzdruck ändert sich sowohl die Tropfenverteilung als auch der Emissionsstrom. (Bei weitergehenden Betrachtungen ist auch noch der induzierte Luftstrom zu berücksichtigen).

Sollten hinsichtlich der Quelle neuere Entwicklungen wie die elektrostatische Aufladung oder rotierende Düsen zunehmende Bedeutung erhalten, so ist der Einfluß auf die Belastung sinngemäß wie mit den Messungen zu Bild 25 und 26 zu untersuchen.

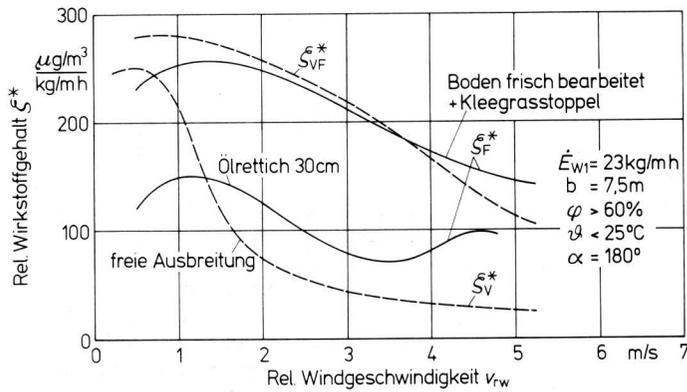
Einen weiteren bedeutenden Einfluß hat der Pflanzenbestand, Bild 27, und vor allem deshalb, weil dadurch der Kühlluftstrom gedämpft wird, d.h. je größer die Höhe und Bestandsdichte, um so geringer die Belastung. Wenn andererseits der Spritzbalkenabstand wegen der Höhe der Pflanzen vergrößert werden muß, steigt die Belastung  $\zeta$ , aber nicht in dem Maße wie mit Bild 24 gezeigt.



**Bild 25.** Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit vom Spritzdruck bei verschiedenen Spritzdüsen; Messungen mit 10 %iger NaCl-Lösung im Windkanal.



**Bild 26.** Relativer Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit vom Spritzdruck bei verschiedenen Spritzdüsen, Messungen aus Bild 25.



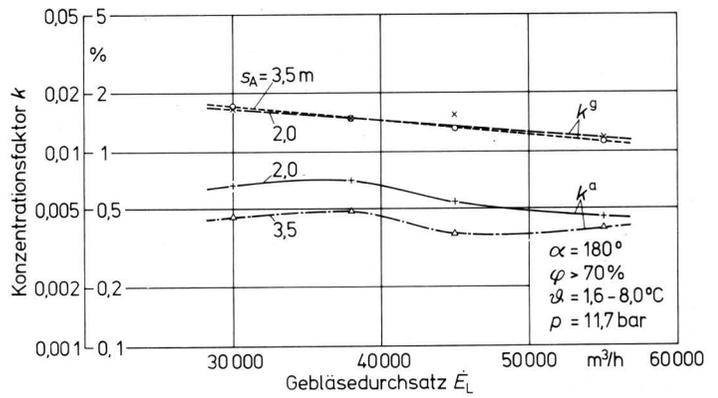
**Bild 27.** Relativer Wirkstoffgehalt am Fahrerplatz in Abhängigkeit von der relativen Windgeschwindigkeit bei verschiedenen Bedingungen, Feldversuche, Unimog Heckanbau, Referenzstoff NaCl,

#### 4.3.2 Sprühen

Beim Sprühen sind als Geräte- und Pflanzenbestandsparameter u.a. zu nennen: der Gebläseluftstrom, die Form des Gebläseluftstrahles, die Düsenbauart (Tropfengrößenverteilung), der Abstand des Fahrerplatzes von der Quelle, der Schlepper als sekundäre Quelle und der Pflanzenbestand.

Zahlreiche Versuche befaßten sich mit dem Einfluß des Luftdurchsatzes  $\dot{E}_L$  und damit der Baugröße der Sprühgeräte auf die Arbeitsplatzbelastung. Aus den bei verschiedenen  $\dot{E}_L$  gemessenen Kurven  $k = f(v_{rw})$  wurden für  $v_{rw} = 2 \text{ m/s}$  Werte entnommen und dargestellt, Bild 28. Es zeigt sich, daß bei gleichem  $\xi_Q$  die Belastung mit Zunahme des Luftdurchsatzes  $\dot{E}_L$  und damit auch der Austrittsgeschwindigkeit geringfügig abnimmt.

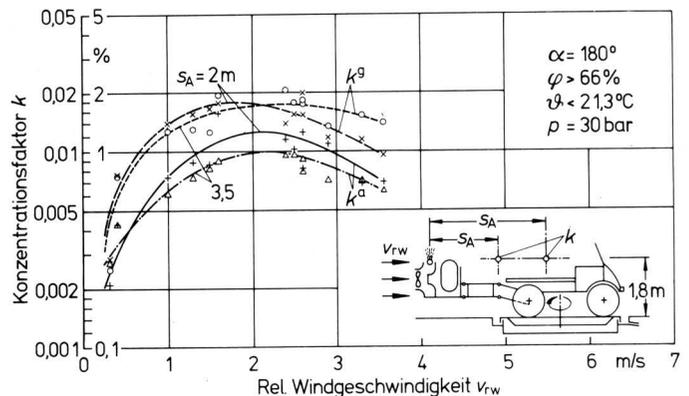
Bei den Sprühgeräten gibt es verschiedene Luftführungssysteme [8], die den Arbeitsplatz in unterschiedlicher Weise belasten. Die für die Versuche gewählte Luftführung, radialer Austritt, voll ausgefüllter Halbkreis und gleichmäßige Düsenbestückung, darf hinsichtlich der Fahrerplatzbelastung als der ungünstigste Fall angesehen werden. Wird beispielsweise ein Sektor von  $30^\circ$  lotrecht über der Fahrzeughängsachse nicht durch Gebläseluft beaufschlagt – solche Lösungen sind üblich, wenn der Pflanzenbestand oberhalb des Fahrzeuges (der Gasse) nicht geschlossen ist – dann sinkt die Belastung z.B. für  $v_{rw} = 1,5 \text{ m/s}$  und sonst gleiche Bedingungen beim atembaren Gehalt um 22 % für  $s_A = 2 \text{ m}$ , um 14 % für  $s_A = 3,5 \text{ m}$  und beim Gesamtgehalt um 5 % bei  $s_A = 2 \text{ m}$  und um 16 % bei  $s_A = 3,5 \text{ m}$ . Wird der nicht beaufschlagte Sektor weiter vergrößert, setzt sich dieser Trend fort.



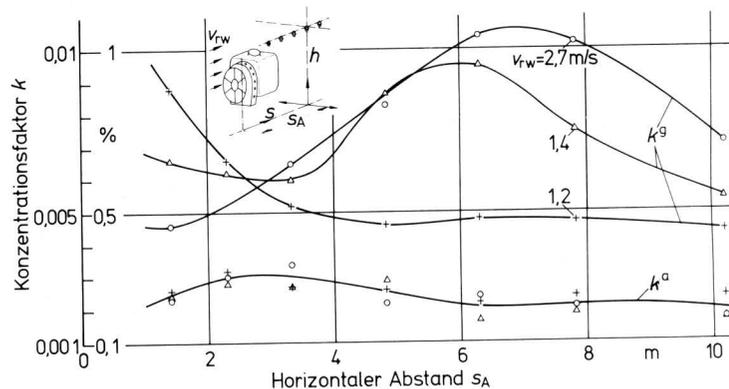
**Bild 28.** Konzentrationsfaktor in Abhängigkeit vom Gebläsedurchsatz;  $\xi_Q = \text{const.}$ , 12 Düsen (2 mm  $\phi$ ) im Halbkreis angeordnet,  $v_{rw} = 2 \text{ m/s}$ , NaCl-Lösung, Versuchsstand, Atembereich  $h = 1,8 \text{ m}$ .

Um den Einfluß der Düsen zu zeigen, wurden Messungen mit einer 1,2 mm Düse im Vergleich zur 2 mm Düse durchgeführt. Die Konzentrationsfaktoren für 1,2 mm Düsen sind in Bild 29 dargestellt. Ein Vergleich mit den Ergebnissen für die 2 mm Düsen (Bild 17) zeigt eine geringe Zunahme bei  $k^g$  und eine stärkere bei  $k^a$ .

Den Einfluß des Abstandes von der Quelle auf den Konzentrationsfaktor  $k$ , der mit  $s_A = 2$  und  $3,5 \text{ m}$  schon in verschiedenen Bildern zu erkennen ist, zeigt Bild 30 im Bereich bis  $s_A = 10 \text{ m}$ .



**Bild 29.** Konzentrationsfaktor beim Sprühen mit Düsen 1,2 mm  $\phi$ ,  $p = 30 \text{ bar}$ , sonstige Bedingungen wie bei Bild 16 und 17.



**Bild 30.** Konzentrationsfaktor als Funktion des horizontalen Abstandes zwischen Quelle und Meßstelle; Sprühen von NaCl bei freier Ausbreitung, Versuchsstand (Bild 7), ohne Schlepper, Antrieb über E-Motor,  $h = 1,8 \text{ m}$ .

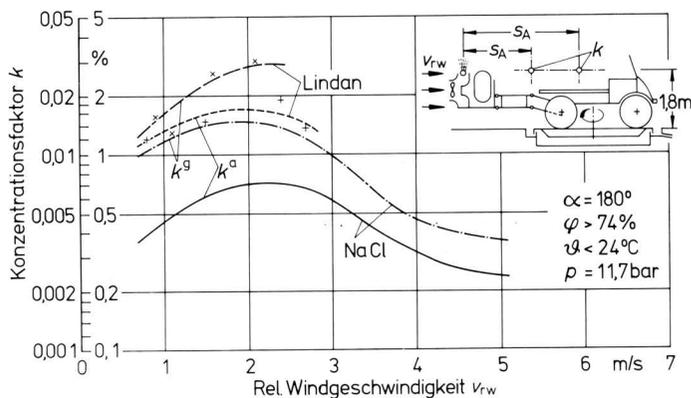
Die Arbeitsplatzbelastung — gekennzeichnet durch  $k$  für entsprechende  $s_A$  — liegt bei diesen Versuchen deutlich niedriger als bei Gegenwart eines Schleppers, wie ein Vergleich mit Werten aus Bild 17 zeigt. Dieser Unterschied ist aber wesentlich kleiner als beim Spritzen. Ferner ergibt sich, daß der Wert  $k^g$  für  $s_A = 2$  m mit abnehmender relativer Windgeschwindigkeit  $v_{rw}$  ansteigt. Dies zeigt sich bei einem Sprühgerät mit Fahrzeug nicht so deutlich.

Es ist davon auszugehen, daß der Schlepper als sekundäre Quelle beim Sprühen von stärkerem Einfluß ist als beim Spritzen. Da die sekundäre Quelle sich vor allem durch den gasförmigen Anteil auswirkt, läßt sich hierüber eine gewisse Abschätzung durchführen, da eine direkte Messung wegen sich überlagernder Effekte nicht möglich ist.

**Bild 31** zeigt den Konzentrationsfaktor beim Sprühen bei sonst gleichen Bedingungen für den Referenzstoff NaCl und das Pflanzenbehandlungsmittel Lindan.

Es ergibt sich, daß der atembare Gehalt bei Lindan relativ stärker ansteigt als der Gesamtgehalt und im Vergleich auch stärker als beim Spritzen. Dies sagt aus, daß die sekundäre Quelle beim Sprühen anteilig größer ist. Insgesamt ist die Zunahme bei Lindan gegenüber NaCl auf einen Komplex von Einflüssen zurückzuführen, nämlich auf veränderte Tropfengrößenverteilung, höheren Wirkstoffgehalt in den feinen Tropfen bei Lindan, Rückführung von belasteter Luft an den Fahrerplatz durch das Kühlgebläse und insbesondere stärkere sekundäre Quelle wegen Verdunstung und Verdampfung von Lindan an den heißen Bauteilen des Schleppers und durch die erwärmte Abluft.

Über den vielschichtigen Einfluß des Pflanzenbestandes gibt **Tafel 1** Hinweise.



**Bild 31.** Konzentrationsfaktor beim Sprühen von Lindan und NaCl-Lösung,  $s_A = 2$  m.

rel. Windgeschw. $v_{rw}$	< 0,5 m/s				um 1 m/s				
	2		3,5		2		3,5		
Abstand $s_A$ [m]	2		3,5		2		3,5		
Wirkstoffanteil	a	g	a	g	a	g	a	g	
$k$	ohne Pfl.	0,0029	0,0085	0,0023	0,0063	0,00465	0,0119	0,0034	0,0095
	mit Pfl.	0,00185	0,0050	0,00135	0,00375	0,00325	0,0110	0,00245	0,0110
$\xi_{20}^F$	ohne Pfl. $\frac{\mu g}{m^3}$	58	170	46	126	93	238	68	190
	mit Pfl. $\frac{\mu g}{m^3}$	37	100	27	75	65	220	49	220
Änderung %	-36,2	-41,2	-41,3	-40,5	-30,1	-7,6	-27,9	+13,6	

**Tafel 1.** Belastung beim Sprühen für  $\alpha = 180^\circ$ ; ohne Pflanzenbestand: Messungen auf dem Versuchsstand; mit Pflanzenbestand: Messungen in einem Laubwald, vergleichbar einem geschlossenen Obstbaumbestand von 8 m Gipfelhöhe und mittlerer Belaubung; Referenzflüssigkeit,  $p = 11,7$  bar. a = atembare Gehalt, g = Gesamtgehalt.

## 5. Vorausberechnung der Arbeitsplatzbelastung

### 5.1 Allgemeine Hinweise zur Vorausberechnung

Da die wichtigsten Einflußfaktoren gemäß Bild 5 in ihren Abhängigkeiten in den Abschn. 4.1 bis 4.3 angegeben sind, läßt sich eine Vorausberechnung durchführen. Dazu ist die zu beurteilende praktische Arbeit in Abschnitte mit jeweils konstanten Bedingungen aufzuteilen. Diesen Abschnitten sind die Belastungswerte nach Abschn. 4.1 bis 4.3 zuzuordnen und den Zeitanteilen entsprechend aufzusummieren. Dabei muß angenommen werden, daß sich die gemessenen Einflußfaktoren nicht gegenseitig beeinflussen. Diese Vereinfachung bedingt eine gewisse Unsicherheit, die aber — wie noch zu zeigen ist — in bezug auf toxikologische Kennwerte den Aussagewert der Prognose nicht gefährdet. Wird nach obiger Vorschritt verfahren, ergibt sich ein Belastungswert.

Um zu allgemeinen Aussagen zu kommen, werden einige Arbeitsbedingungen angenommen. Vorgebar sind die Parameter der Gruppe 1 und 3 nach Bild 5, während sich die Wetterbedingungen (Gruppe 2) stochastisch ändern können. Das führt zu Belastungskollektiven.

Für Prognosen interessieren nicht die vollständigen Belastungsverteilungen, sondern nur einige herausragende Werte, wie die höchste mögliche und die mittlere Dauerbelastung, daneben noch die Spitzenbelastung.

Die Spitzenbelastung ergibt sich unmittelbar aus den Kurven nach Abschn. 4 für bestimmte Windverhältnisse. Eine höchste Dauerbelastung (100 %-Wert der Summenkurve der Arbeitsplatzbelastung) tritt auf bei einer Folge bestimmter Hin- und Rückfahrten, bei Heckanbau des Spritzgerätes beispielsweise bei abwechselnden Fahrten mit Gegen- und Rückenwind. Bei entsprechenden Überlegungen ist daran zu denken, daß Rücken- und Gegenwind wegen der Fahrgeschwindigkeit nicht gleich häufig auftreten. Im Fall, daß die Fahrgeschwindigkeit stets größer ist als die Windgeschwindigkeit, gibt es praktisch nur Gegenwind. Es ist somit davon auszugehen, daß die Häufigkeit des Gegenwindes größer ist als die des Rückenwindes. Der Unterschied in der Häufigkeit steigt mit der Fahrgeschwindigkeit. Aus diesem Grund gibt es bei Frontanbau des Spritzgerätes Bedingungen, bei denen Spitzen- und höchste mögliche Dauerbelastung übereinstimmen.

Zur Berechnung eines mittleren Belastungswertes, der etwa dem 50 %-Wert des Belastungskollektivs entspricht, wird eine gleiche Häufigkeit von Fahrt- und Windrichtungen angenommen, und zwar für das Bezugssystem Fahrbahn. Für die Belastung des Arbeitsplatzes mit dem Bezugssystem Fahrzeug ist dann der Rechen-gang beispielsweise wie folgt:

1. Einteilung der Fahrtrichtungen bezogen auf geographisch Nord in eine Anzahl von Klassen, beispielsweise 36 Klassen mit Sektoren von je  $10^\circ$ .
2. Darstellung der Häufigkeit der vorkommenden Windgeschwindigkeit aus meteorologischen Daten, **Bild 32**, und Aufteilung in einzelne Klassen, beispielsweise mit einer Klassenbreite von je 1 m/s. Je nach Art der Arbeiten ist eine obere zulässige Windgeschwindigkeit festzulegen.
3. Bestimmung der in den Sektoren bei vorgegebener Fahrgeschwindigkeit und gewählter Windgeschwindigkeitsklasse auftretenden relativen Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten.
4. In den Sektoren werden die den relativen Windgeschwindigkeiten und relativen Windrichtungen zugehörigen Belastungswerte (aus den Bildern nach Abschn. 4) zugeordnet.

5. Aufsummieren der Belastung in den Sektoren unter Berücksichtigung der Häufigkeit der vorkommenden Windgeschwindigkeiten.

Man kann die genannten Schritte auch in anderer Folge und Verknüpfung abwickeln. Der so errechnete Mittelwert entspricht einer Meßdauer, die die gesamte bewertete Arbeitsdauer (Belastungsdauer) umfaßt. Für diesen Fall verengt sich das Belastungskollektiv auf nur einen Wert, den 50 %-Wert.

Bei den nachfolgenden Modellrechnungen wird eine mögliche Arbeitsplatzbelastung durch die sekundäre Quelle bei Gegenwind vernachlässigt.

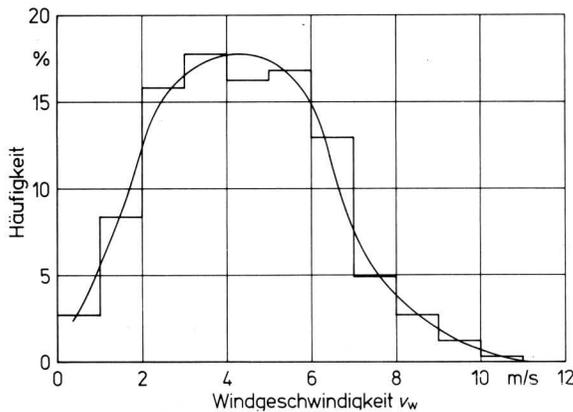


Bild 32. Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit für die Zeit 8–16 Uhr im Raum Braunschweig, Messungen vom 1.8.1978 bis zum 30.7.1979.

### 5.2 Spritzen mit Unimog mit Heck- und Frontanbau sowie mit Standardschleppern

Die genannten charakteristischen Belastungswerte dieser Bauarten sind für geringen Pflanzenbestand und die genannten Bedingungen in **Tafel 2** dargestellt. Die Abhängigkeit der mittleren Belastung (50 %-Wert) von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen zugelassenen maximalen Windgeschwindigkeiten zeigt **Bild 33**.

Der Vergleich von Front- und Heckanbau führt zu dem Ergebnis, daß die Spitzenbelastung bei Heckanbau höher liegt (**Tafel 2**). Umgekehrt sind die Verhältnisse beim 100- und 50 %-Wert. Dieses Ergebnis erklärt sich, wie oben schon angedeutet, dadurch, daß auf das Fahrzeug bezogen wegen der Fahrgeschwindigkeit Gegenwind häufiger auftritt als Rückenwind. Für sehr niedrige, praktisch nicht vorkommende Fahrgeschwindigkeiten ist der Belastungsunterschied bei Front- und Heckanbau gering. Mit wachsender Fahrgeschwindigkeit ändern sich aber die Verhältnisse, um schließlich die in **Tafel 2** genannten Werte zu erreichen.

Da man für die allgemeine Bewertung nicht die Spitzen-, sondern die mittlere Belastung heranziehen muß, ist der Heckanbau (obere Diagramme in **Bild 33**) hinsichtlich der Belastung eindeutig günstiger als der Frontanbau (untere Diagramme) zu beurteilen (unterschiedliche Ordinatenmaßstäbe sind zu beachten).

Das **Bild 33** zeigt neben dem Einfluß der Bauarten auch den bedeutenden Einfluß der zugelassenen oberen Windgeschwindigkeit  $v_{w,max}$ . Ist z.B.  $v_F > v_{w,max}$ , tritt bei Heckanordnung keine Belastung auf.

Liegt ein anderer Aufwand als 1 kg/ha vor, so sind die  $\zeta_F$ -Werte dem Aufwand proportional zu verändern. Bei anderen als den für das Grundmodell angenommenen Geräteparametern sind die Änderungen über entsprechende Meßergebnisse umzurechnen.

Anbauart	Unimog		Standard
	Front	Heck	Heck
Spitzenbelastung $\zeta_{VF}^*$	165	270	310
höchste Dauerbelastung $\zeta_{VF}^*$	165	135	155
mittlere Dauerbelastung $\zeta_{VF}^*$	50	15	5

**Tafel 2.** Vergleich der Arbeitsplatzbelastung (rel. Wirkstoffgehalt  $\zeta_{VF}^*$  in  $(\mu\text{g}/\text{m}^3)/(\text{kg}/\text{m h})$ ) beim Spritzen mit Front- und Heckanbau,  $h_B = 0,6$  m, Unimog und Standardschlepper, offener Fahrerplatz. Für geringen Pflanzenbestand gilt  $\zeta_F^* \approx \zeta_{VF}^*$ ; Mittl. Dauerbelastung errechnet für  $v = 10$  km/h,  $b = 10$  m,  $v_w < 7,5$  m/s.

Beispielsweise soll für folgende Abweichungen vom Grundmodell (**Bild 33**) bzw. dort nicht erfaßte Einflußgrößen eine Fahrerplatzbelastung abgeschätzt werden: Spritzbalkenlänge  $h_B = 1,2$  m und  $v_{rw} \approx 1$  m/s, Spritzdruck = 6 bar, Spritzmittel = Bayleton mit  $E_{W1} = 0,3$  kg/m h.

Dann ist anzusetzen:

$$\zeta_F = \zeta_F^* \cdot \frac{\zeta_{VF}^*(h_B = 1,2 \text{ m})}{\zeta_{VF}^*(h_B = 0,6 \text{ m})} \cdot \frac{\zeta_{K1,3}(p = 6 \text{ bar})}{\zeta_{K1,3}(p = 3,15 \text{ bar})} \cdot \frac{\zeta_{K1,3}(\text{Bayleton}) \cdot 0,3}{\zeta_{K1,3}(\text{NaCl}) \cdot 1}$$

aus Bild:    33                    24                    26                    8

### 5.3 Ausbringen durch Sprühen

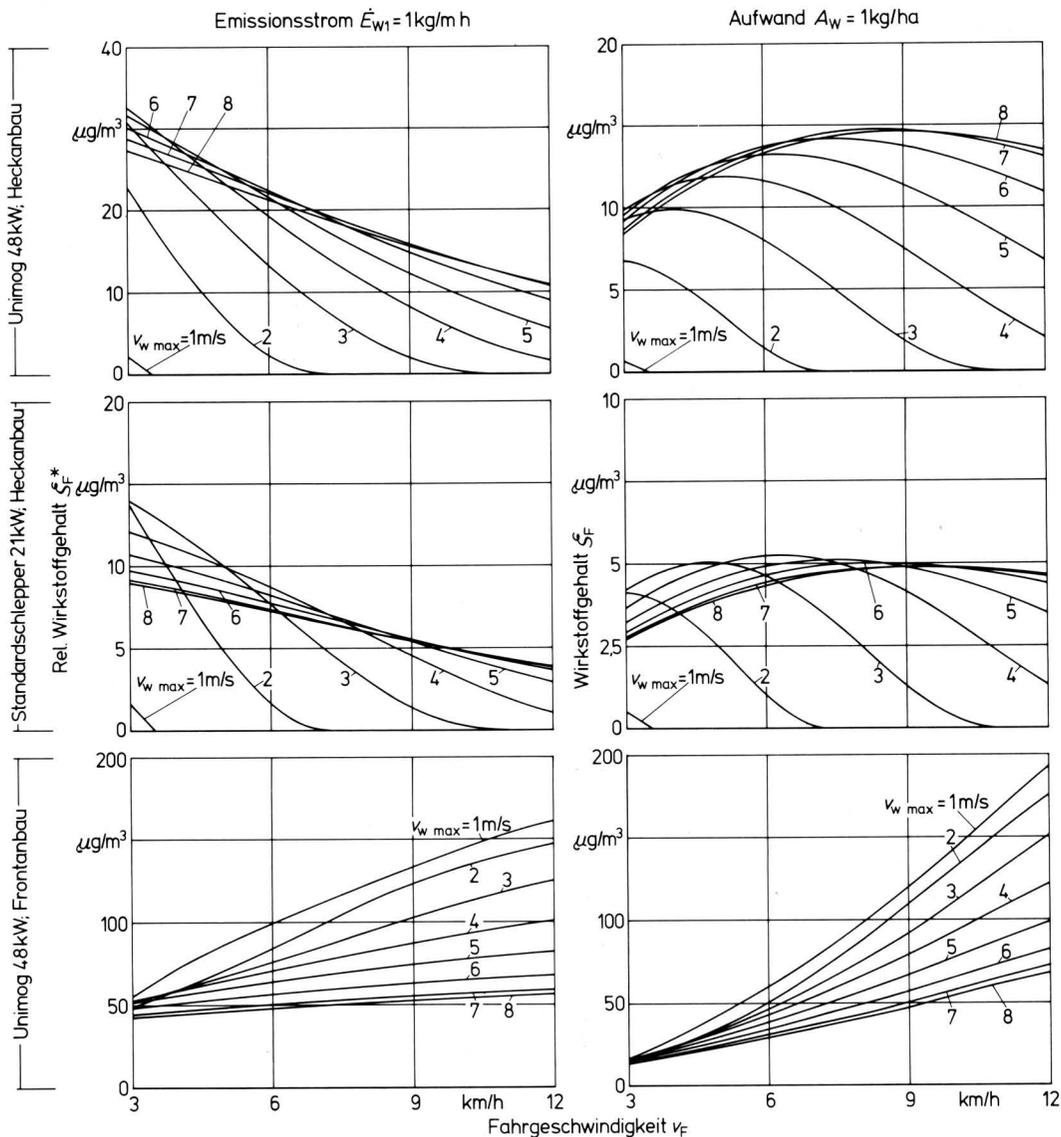
Die Spitzenbelastungen sind aus den Bildern von Abschn. 4 direkt zu entnehmen. Für die höchste mögliche Dauerbelastung ist bei einer Folge von Hin- und Rückfahrten wegen der Heckenordnung der Sprüheräte die Hälfte der Spitzenbelastung anzusetzen. Für die mittlere Belastung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und der maximalen Windgeschwindigkeit gilt **Bild 34**. In Verbindung mit **Bild 35** läßt sich aus den k-Werten für verschiedene Emissionskonzentrationen die Fahrerplatzbelastung angeben. Für die Zuordnung des Aufwandes ist Gl. (4) heranzuziehen.

Für die Belastung beim Sprühen gilt etwa die gleiche Aussage wie für das Spritzen mit Heckanbau, nur ist die Belastung deutlich höher.

### 5.4 Belastungsvergleich und erste Abschätzung des Anwenderrisikos

Ein direkter Vergleich zwischen Sprühen und Spritzen ist wegen des unterschiedlichen Funktionsprinzips und verschiedener Arbeitsbedingungen nicht möglich. Man kann aber vereinfachend eine Arbeit mit gleichem Pflanzenschutzmittelaufwand heranziehen. Gewählt wurde eine Arbeit mit  $A_W = 0,3$  kg/ha, ein Wert, der bei Insektiziden vorkommen kann. Die Spitzenbelastung, höchste Dauerbelastung und mittlere Belastung für bestimmte Bedingungen sind in **Tafel 3** angegeben. Die Berechnung erfolgt nach den Daten von Abschn. 4 und 5.

Es zeigt sich, daß die Belastung beim Sprühen in Raumkulturen teilweise um ein Mehrfaches höher liegt als beim Spritzen von niedrigen Kulturen. Dies gilt vor allem für den gesamten Wirkstoffgehalt, der für die dermale Belastung relevant ist. Trotzdem werden, wenn man Insektizide mit  $A_W = 0,3$  kg/ha ausbringt und für den Wirkstoff Lindan den MAK-Wert von  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  heranzieht, die unbedenklichen Belastungsbereiche im Mittel nicht verlassen. Weitere Erörterungen zu dieser Frage erfolgen in Abschn. 8.



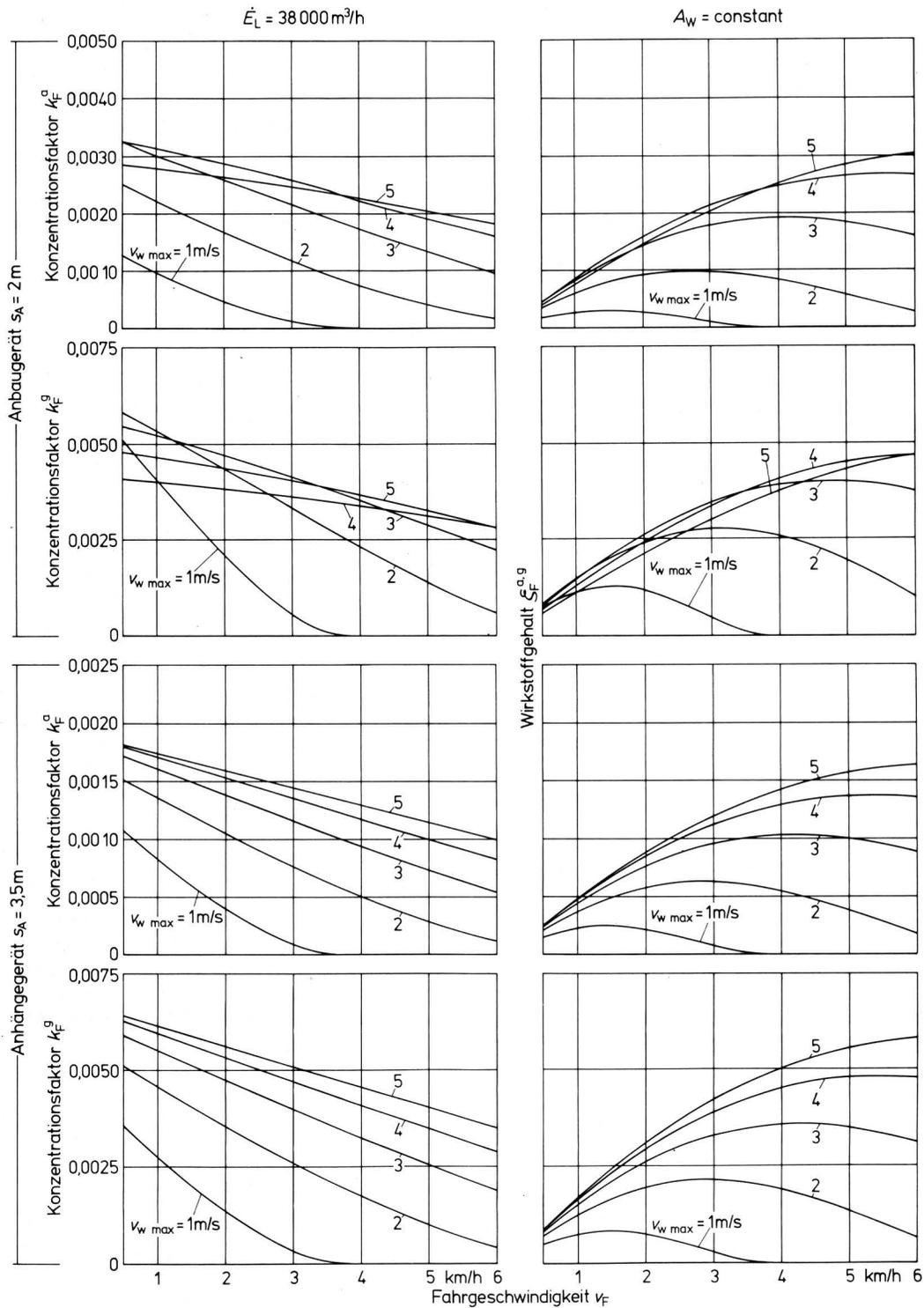
**Bild 33.** Mittlere Belastung beim Spritzen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit mit der max. Windgeschwindigkeit als Parameter;  $\dot{E}_{W1} = 1 \text{ kg/m}^3 \text{ h}$  bzw.  $A_W = 1 \text{ kg/ha}$ , Geräteparameter in den Bildern wie in Abschn. 4, z.B. Düsen 11,5/120°,  $p = 3,15 \text{ bar}$ , kein oder geringer Pflanzenbestand, Referenzstoff NaCl,  $h_B = 0,6 \text{ m}$ , offener Fahrerplatz (zu beachten ist die unterschiedliche Ordinateinteilung bei den verschiedenen Fahrzeugen).

### 5.5 Vergleich von Prognosewerten mit gemessenen Arbeitsplatzbelastungen

Da sich die Vorausberechnung auf Meßwerte abstützt, müssen errechnete und gemessene Belastungsdaten im Rahmen der Meßgenauigkeit übereinstimmen. Unterschiede sind in dem Maße möglich, wie die vorausgesetzten Rahmenbedingungen verschieden sind. So wird u.a. vorausgesetzt, daß die Arbeitsplatzbelastung von den in Bild 5 genannten Einflußgrößen abhängt, aber zwischen diesen Größen keine Abhängigkeit bezüglich  $\zeta_F$  besteht. Dies trifft in einigen Fällen nicht zu. So wird zur Vereinfachung angenommen, daß  $\zeta_F = f(a)$  nicht von der relativen Windgeschwindigkeit abhängt. Nach Messungen besteht aber eine gewis-

se Abhängigkeit. Ferner wird angenommen, daß bei Gegenwind keine Belastung auftritt. Abhängig vom Fahrzeugtyp können durch den Lee-Wirbel hinter der Windschutzscheibe Wirkstoffe zum Fahrerplatz transportiert werden. Dies gilt auch beim Sprühen. Ebenso ist an den Schlepper als sekundäre Quelle zu denken.

In 23 Messungen bei Spritzarbeiten durch Lohnunternehmen im Feldbau wurde bei Heckanbau [2] eine mittlere Belastung von etwa  $40 (\mu\text{g/m}^3)/(\text{kg/m}^3 \text{ h})$  gemessen. Eine Prognose ergibt für den 50 %-Wert des Belastungskollektivs etwa  $35 (\mu\text{g/m}^3)/(\text{kg/m}^3 \text{ h})$ .



**Bild 34.** Mittlerer Konzentrationsfaktor (50 %-Wert der Summenhäufigkeit) und Wirkstoffgehalt am offenen Fahrerplatz (rechts) beim Sprühen, kein oder nur geringer Pflanzenbestand, max. Windgeschwindigkeit als Parameter; Geräteparameter  $\dot{E}_L = 38000 \text{ m}^3/\text{h}$ , 12 Düsen  $2 \text{ mm } \phi$  im Halbkreis,  $p = 11,7 \text{ bar}$ . Wegen nicht genau definierbarer Arbeitsbreite ist in den Bildern für  $A_W = \text{const.}$  die Ordinate nicht quantifiziert. Die Werte sind mit Hilfe von Gl. (4), den  $k$ -Werten der linken Bildhälfte und Bild 35 zu bestimmen.

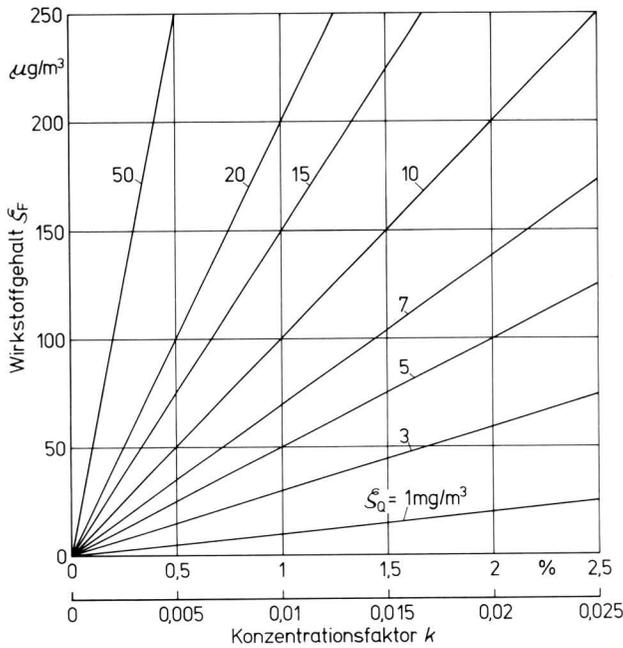


Bild 35. Wirkstoffgehalt  $\zeta_F$  beim Sprühen als Funktion der Emissionskonzentration  $\zeta_Q$  und des Konzentrationsfaktors  $k$ .

## 6. Ermittlung der inhalativen und dermalen Exposition aus der Arbeitsplatzbelastung [9, 10]

Im gewerblichen Bereich wird zur Beurteilung der Exposition der MAK-Wert herangezogen, der sich vor allem auf die inhalative Belastung abstützt [11]. Wegen der beim Spritzen und Sprühen vorkommenden größeren Tropfen am Arbeitsplatz kann die dermale Exposition zu einem höheren Risiko führen. Man strebt daher Hinweise über die inhalative und die dermale Exposition an.

### 6.1 Allgemeine Zusammenhänge

Diese Expositionen lassen sich aus der Arbeitsplatzbelastung  $\zeta_F$  ermitteln, wenn man den Inhalationsfaktor  $\eta_{resp}$  und den Auftreffgrad  $\eta_{derm}$  kennt.

Für die stündliche inhalative Exposition  $\beta_{resp}$  als Folge des atembaren Wirkstoffgehalts am Arbeitsplatz  $\zeta_F^a$  läßt sich ansetzen:

$$\beta_{resp} = \zeta_F^a \cdot Q_{resp} \cdot \eta_{resp} \quad [\mu\text{g}/\text{h}] \quad (7)$$

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

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

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

$$\beta_{derm} = \zeta_F^g \cdot \epsilon \cdot v_{rw} \cdot A_q \cdot \frac{A_H}{A} \cdot \eta_{derm} \quad [\mu\text{g}/\text{h}] \quad (8)$$

Nach diesem Ansatz gibt der Auftreffgrad  $\eta_{derm}$  den Anteil der partikelgebundenen Wirkstoffe im Transmissionsstrom mit dem Querschnitt  $A_q$  an, der auf den angeströmten Körper auftritt 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  $\beta_{derm}$  für die Körperteile mit ungeschützten Hautflächen. Im ungünstigsten Fall sind dies Gesicht, Hals, Ausschnitt, Hände und Teile der Unterarme mit einer Gesamtfläche von maximal  $0,3 \text{ m}^2$ .

Die Werte  $\eta_{resp}$  und  $\eta_{derm}$  wurden im Windkanal zuerst für Bedingungen, die für das Spritzen relevant sind, meßtechnisch ermittelt. Die Meßtechnik wird an anderer Stelle in diesem Heft beschrieben [10]. Die Untersuchungen für das Sprühen sind noch nicht abgeschlossen.

		Spritzen		Sprühen			
		Heck	Front	2	3,5		
Geräte- und Arbeits- daten	Wirkstoffemission $\dot{E}_W$	3		0,76			
	Fahrgeschwindigkeit $v_F$	10		3			
	Windgeschwindigkeit $v_W$	0,5 < $v_W$ < 7,5		0,25 < $v_W$ < 3,25			
	Arbeitsbreite $b$	10		8,5			
	Düsen	FU 11,5/120°		2 mm, 12 Stück			
	Spritzdruck $p$	3,15		11,7			
	Luftdurchsatz $\dot{E}_L$	—		38000			
	Emissionskonzentr. $\zeta_Q$	—		20			
	Balkenhöhe $h_B$	0,6					
	Geräteanbau						
Belastungsgröße		$\zeta_F$	$\zeta_F$	$\zeta_F^a$	$\zeta_F^g$		
		$\zeta_F^a$	$\zeta_F^g$	$\zeta_F^a$	$\zeta_F^g$		
A Arbeits- platz- be- lastung	Spitzenbelastung	80	50	140	300	140	400
	höchste Dauerbelastung	40	50	70	150	70	200
	mittlere Dauerbelastung	5	15	45	84	25	88
B $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Spitzenbelastung	136	90	273	488	271	640
	höchste Dauerbelastung	69	90	136	244	135	320
	mittlere Dauerbelastung	10	27	88	137	48	141

Belastung beim Spritzen und Sprühen — A: NaCl B: LINDAN

Tafel 3. Vergleich der Arbeitsplatzbelastung beim Spritzen mit der beim Sprühen von Raumkulturen und einem Wirkstoffaufwand  $A_W = 0,3 \text{ kg}/\text{ha}$ ; Unimog G 65 mit offenem Fahrerplatz (teilweise abgerundete Werte).

A Spritzflüssigkeit: Wasser mit NaCl  
Pflanzenbestand: beim Spritzen gering  
beim Sprühen ohne

B Spritzflüssigkeit: Wasser mit Lindan  
Pflanzenbestand: beim Spritzen gering  
beim Sprühen geschlossener  
Bestand mit mittlerer Be-  
laubung

## 6.2 Bestimmung des Inhalationsfaktors und Auftreffgrades

Einige Ergebnisse zeigen Bild 36 und 37. Danach kann man beim Inhalationsfaktor von einem Wert  $\eta_{\text{resp}} \approx 1$  ausgehen, wenn alle Anströmwinkel etwa gleich häufig auftreten. Die übliche Berechnung der inhalativen Exposition nach der Gleichung

$$\beta_{\text{resp}} = \xi_F^2 \cdot 1,75 \quad (9)$$

ist daher für Abschätzungen hinreichend genau.

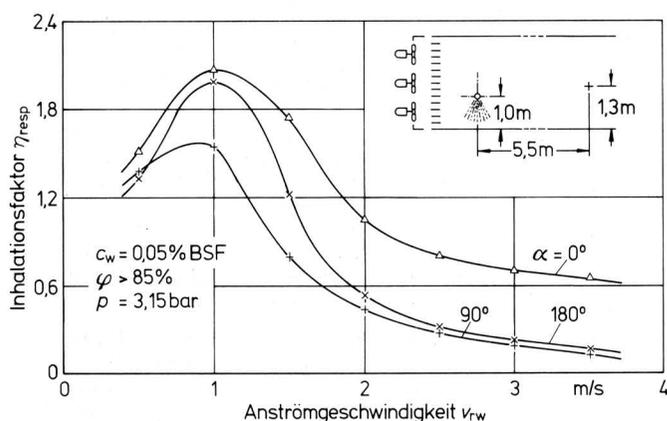
Von den im Anströmungsquerschnitt vorhandenen Tropfen treffen nach Bild 37 im Mittel etwa 5 % auf einen ungeschützten Kopf und bleiben dort haften.

Zur Veranschaulichung zeigt Bild 38 das Verhältnis aus dermalen und inhalativer Exposition. Bei niedriger Anströmgeschwindigkeit ist der Unterschied zwischen den beiden Expositionsarten gering.

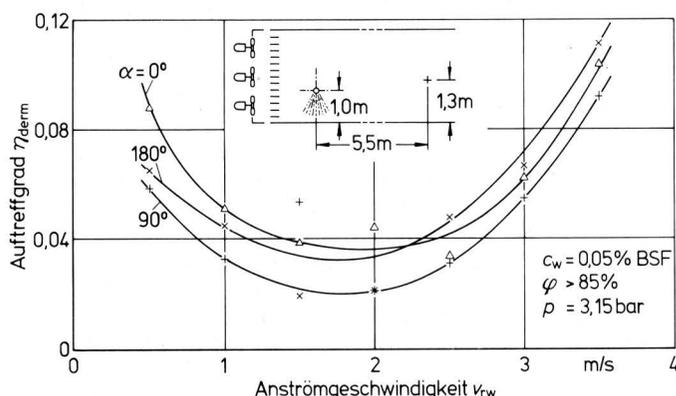
Das Verhältnis steigt aber mit der Anströmgeschwindigkeit schnell an, um den Wert 50 (Mittelwert) bei etwa 3 m/s zu erreichen.

Die vollständigen Meßergebnisse für das Sprühen liegen noch nicht vor. Hinsichtlich der respiratorischen Belastung wird der Unterschied zum Spritzen nicht sehr groß sein. Dagegen kann der Wert  $\eta_{\text{derm}}/\eta_{\text{resp}}$  bis zum 10fachen höher liegen [10].

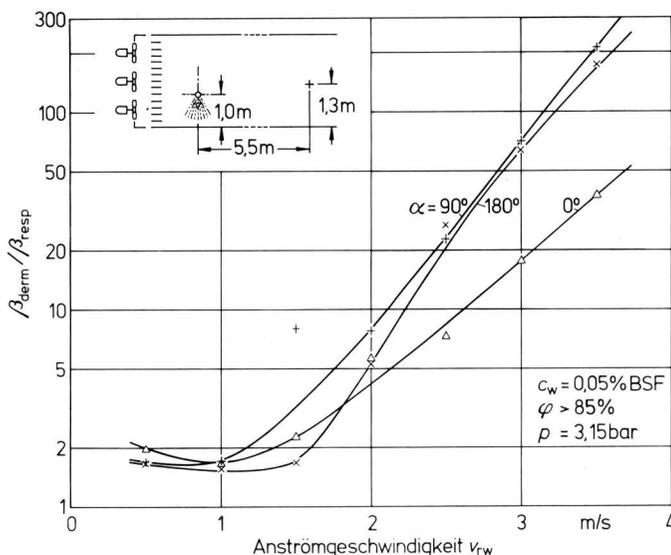
Trotz der beachtlichen dermalen Exposition ergeben sich hinsichtlich des Anwenderrisikos keine entsprechend starken Auswirkungen (s. Abschn. 8). Dennoch ist der dermalen Exposition vor allem beim Sprühen durch eine geeignete Bekleidung zu begegnen.



**Bild 36.** Inhalationsfaktor beim Spritzen bei verschiedenen Anströmwinden  $\alpha$ .  $\alpha = 0$  bedeutet Anströmung axial von vorne. Atemvolumen  $Q_{\text{resp}} = 1,75 \text{ m}^3/\text{h}$ , Nasenatmung, Atemfrequenz 18 pro Min.



**Bild 37.** Auftreffgrad beim Spritzen bei verschiedenen Anströmwinden  $\alpha$ . Akzeptor Kopf und Hals mit  $A_q = 0,033 \text{ m}^2$  bei  $\alpha = 0^\circ$  und  $180^\circ$  und  $0,039 \text{ m}^2$  bei  $\alpha = 90^\circ$ .



**Bild 38.** Verhältnis von dermalen und inhalativer Exposition, errechnet mit Bild 36 und 37 und den Gln. (7) und (8).

## 7. Maßnahmen zur Senkung der Exposition

Grundsätzlich strebt man an, eine Exposition so klein wie möglich zu halten. Die hierzu während der Applikation geeigneten Maßnahmen lassen sich direkt von den Einflußgrößen, die zur Exposition führen (Gl. (4)), ableiten. Nachstehend sei an einige erinnert. (Eine anwendungsempfohlene Arbeit wird vorausgesetzt.)

### 7.1 Über die Auswahl der Mittel

Die Abhängigkeiten hinsichtlich der Stoffströme zeigen, daß das Produkt Aufwand mal Toxizität, beispielsweise  $A_W \cdot 1/L_D$  (für  $L_D$  auch andere toxikologische Kriterien), einen möglichst kleinen Wert annehmen sollte. Dies ist bei der Auswahl der Mittel zu beachten. Neben der Toxizität ist vor allem der Aufwand ein entscheidender Faktor. Der notwendige Aufwand ist aber nicht nur eine Funktion der Wirkstoffeigenschaften, sondern setzt auch optimale Applikationsbedingungen voraus, d.h. richtige Wahl der Düsen, des Wetters, der Klimabedingungen usw.

### 7.2 Ausbringungstechnik

Hinsichtlich der Umgebungsbedingungen zeigen die Einflußfaktoren, daß die herrschende Windgeschwindigkeit möglichst niedrig und die Fahrgeschwindigkeit im Rahmen bestehender Vorgaben möglichst hoch liegen sollte. Bei ungünstigen Bedingungen, etwa dahingehend, daß mit relativem axialem Gegen- und Rückenwind gearbeitet werden muß, kann man beim Sprühen daran denken, Fahrten mit relativem Rückenwind als Leerfahrten auszuführen.

### 7.3 Ausbringungsgeräte und -fahrzeuge

Hinsichtlich der Ausbringungsgeräte und -fahrzeuge ist anzustreben, möglichst nur Düsen mit einem geringen Anteil feiner Tropfen einzusetzen. Entscheidend ist beim Spritzen vor allem die Spritzbalken- oder Spritzbogenhöhe, die so niedrig wie möglich zu halten ist. Beim Sprühen sind vor allem dann Gefährdungen gegeben, wenn im Pflanzenbestand keine Schneise oberhalb des Fahrzeuges vorhanden ist, also in geschlossenen Raumkulturen zu sprühen ist.

Wenn sich die Exposition durch obenstehende Wege einschließlich einer geeigneten Arbeitskleidung nicht hinreichend begrenzen läßt, oder wenn man eine große Sicherheit bei hohem Komfort anstrebt, dann ist u.a. auf Schutzmaßnahmen hinzuweisen. Es gibt zwei Wege, nämlich die personengetragenen Mittel wie die Atemmaske, den Atemschutzhelm und die schultergetragene Atemschutzhaube und fahrzeuggekoppelte Maßnahmen wie die Fahrerkabine, die sich auch aus anderen Gründen zunehmend durchsetzt.

Für kurzzeitige Arbeiten empfehlen sich personengetragene Einrichtungen. Da sie aber zu einer gewissen Behinderung führen, ist für längerzeitige Arbeiten, wie in Großbetrieben und bei Lohnunternehmen, an die allseits geschlossene Fahrerkabine (Modulkabine) zu denken.

Über die Schutzwirkung einer solchen Fahrerkabine gegen teilchenförmige feste Fremdstoffe in der Luft, also Staub, liegen hinreichende Meßergebnisse vor. Man kann diese Ergebnisse aber nur begrenzt auf Pflanzenbehandlungsmittel übertragen, weil flüssige Teilchen während der Transmission ihren Aggregatzustand verändern können, z.B. durch Übergang von der flüssigen in die feste oder auch in die gasförmige Phase. Die Frage nach der Schutzwirkung von Kabinen soll daher mit Hilfe grundsätzlicher Überlegungen durch Messungen beantwortet werden [4, 12].

#### 7.4.1 Grundsätzliches zur Schutzwirkung einer Fahrerkabine gegen luftfremde Stoffe

Wirkstoffe aus der Umgebung können auf drei Wegen in die Kabine gelangen: über das Zuluftfilter, über Lecköffnungen (Undichtigkeiten) und gegebenenfalls über einen kontaminierten Fahrer. Der zuletzt genannte Fall wird für die weiteren Betrachtungen vernachlässigt.

Für den Sauerstoffwechsel des Menschen ist der Kabine eine bestimmte Luftmenge zuzuführen. Der mit dieser Luft eindringende Wirkstoffstrom hängt vom Wirkstoffgehalt und der Arbeitsweise bzw. Güte des Filters (Abscheiders) ab.

Die Wirkstoffe sind beim Austritt aus der Quelle in Flüssigkeit dispergiert oder gelöst; die Tropfengrößenverteilung stellt sich in Abhängigkeit von den Zerstäubungsparametern ein. Mit diesem Zeitpunkt beginnt eine Verdunstung, die von den Stoffeigenschaften, dem Luftzustand und den Vorgängen am Fahrzeug abhängt. Am Arbeitsplatz können Wirkstoffe daher außer in Tropfen auch in festem und gasförmigem Zustand vorliegen.

Über die Abscheidung solcher Stoffgemische durch Filter liegen die meisten Erfahrungen aus dem Bereich der Atemschutzfilter vor. Diese bestehen für diese Aufgabe aus einem Faserfilter zur Abscheidung fester und flüssiger Teilchen und einem nachgeschalteten Aktivkohlefilter zur Adsorption der gasförmigen Wirkstoffe. Für hohe Anforderungen sollte man diese Lösung auch für den Abscheider im Zuluftstrom der Kabine wählen.

In den meisten Fällen kann man bei Kabinen aber auf ein Aktivkohlefilter verzichten, weil wasserunempfindliche Normalfilter entsprechender Bauart einen hinreichenden Abscheidegrad für flüssige und feste Teilchen erreichen. Dagegen ist die Adsorption gasförmiger Komponenten meist gering. Weiter ist zu berücksichtigen, daß die auf dem Filter abgeschiedenen Flüssigkeitstropfen – wenn auch meist langsam – verdunsten, d.h. der Durchlaßgrad nimmt scheinbar mit der Expositionszeit zu und selbst nach Beendigung der Sprüh- und Spritzarbeit erfolgt noch ein Transport von Wirkstoffen in die Kabine.

Die über die Lecköffnungen in die Kabine gelangende Wirkstoffmenge hängt von der Größe und Anordnung der Öffnungen und der Außendruckverteilung ab. Durch Begrenzen der Fläche der Lecköffnungen läßt sich bei einem Zuluftstrom von 100–300 m<sup>3</sup>/h ein ausreichend großer Überdruck erzeugen (z.B. > 50 Pa), so daß die Kabine bei den vorkommenden Anströmbedingungen genügend "dicht" ist.

Einige Meßergebnisse sind in **Tafel 4** dargestellt. Als Aussage ergibt sich:

Bei Einsatz eines Aktivkohlefilters mit Vorfilter liegt nach Spalte 7 der Wirkstoffgehalt am Fahrerplatz beim Sprühen unter Spitzenbelastung stets unter 6,2 µg/m<sup>3</sup> und beim Spritzen unter 2,6 µg/m<sup>3</sup>. Vergleicht man diese Werte mit MAK-Werten von Pflanzenbehandlungsmitteln, die für die Bedingungen in Fahrerkabinen uneingeschränkt gelten, so ergibt sich, daß unter diesen Bedingungen kein Gesundheitsrisiko besteht, d.h. mit einer Fahrerkabine ist eine Schutzwirkung von 100 % möglich.

Welche weiteren Hinweise sind aus den Ergebnissen abzuleiten? Man kann bei hinreichend dichten Kabinen, geeigneten Normalfiltern in der Zuluft und Pflanzenbehandlungsmitteln nicht zu hoher Flüchtigkeit von einem Abscheidegrad auch von über 80 % ausgehen. Dies bedeutet, daß derart ausgerüstete Kabinen beim Spritzen von Flächenkulturen ausreichen. Der Zulufttritt sollte am Dach und an der Frontseite der Kabine liegen.

Auch beim Sprühen reicht eine Kabine mit hoher Dichtheit und Normalfilter im allgemeinen aus. Bei längerzeitig zum Sprühen eingesetzten Schleppern und/oder Mitteln hoher Flüchtigkeit ist der Einbau eines Aktivkohlefilters zu empfehlen. Normalfilter sollte man nach Arbeitsende täglich austauschen. Dabei ist es nicht notwendig, die Filter zu verwerfen. Man kann durch Zwischenlagerung unter entsprechenden Bedingungen ein Verdunsten oder einen Abbau der Pflanzenbehandlungsmittel erreichen und das Filter dann erneut einsetzen.

Ein gewisses Problem bei den Aktivkohlefiltern ist die Standzeit, also die Zeit bis zur Sättigung des Filters. Ihre Bestimmung setzt die Kenntnis der Daten der Aktivkohle (u.a. Korngröße, spez. Oberfläche, Porenverteilung, ggf. Imprägnierung), der Art und Konzentration des zu adsorbierenden Stoffes, der Einsatztemperatur und der Wasseraufnahme des Filters voraus. Eine Abschätzung der zulässigen Zeiten kann von der Herstellerfirma gemacht werden, wenn mittlere Belastungs- und Klimawerte aus repräsentativen Messungen vorliegen.

Beim Einsatz von Normalfiltern ist daran zu denken, nur jene Bauarten zu verwenden, die feuchtigkeitsunempfindlich sind, also für die Abscheidung von Flüssigkeitstropfen geeignet sind.

Vorstehende Ergebnisse beziehen sich auf eine innen nicht kontaminierte Kabine und einen nicht kontaminierten Fahrer. Aber selbst, wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, werden sich die Belastungen in der Kabine nur wenig ändern, wenn eine gute Luftführung vorliegt. Hierunter ist zu verstehen, daß neben einer definierten Zuluft- auch eine definierte Abluftführung besteht. Dies erfordert, daß der Dichtheit der Kabine und der Verteilung der Lecköffnungen für die Abführung der Abluft mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden muß, als es bei den derzeit handelsüblichen Kabinen der Fall ist. – Untersuchungen über Einzelfragen der Kabinengestaltung wie Größe und Verteilung der Lecköffnungen, Anordnung des Zulufttritts, Zuluftmenge, Abscheider für die Zuluft, Warn- oder Signaleinrichtungen sind noch nicht abgeschlossen.

Die dermale Belastung über die Luft ist in Kabinen zu vernachlässigen. Mit einer Fahrerkabine läßt sich für alle Arbeiten zum Pflanzenschutz ein Gesundheitsrisiko des Anwenders mit Sicherheit ausschalten, wenn die Konstruktion die folgenden Merkmale aufweist:

1. geeigneter, richtig ausgelegter und betriebener Abscheider in der Zuluft
2. hinreichend dichte Kabine derart, daß bei der betrieblich empfohlenen Zuluftmenge ein Überdruck von ca. 50 Pa in der Kabine herrscht, gemessen bei ruhender Umgebungsluft
3. leckfreie Abdichtung des Abscheiders gegen die Wände des Zuluftkanals und
4. eine der Aufgabe angepaßte Luftführung in der Kabine wie z.B. die Verdrängungsströmung
5. dem Ausbringungsverfahren angepaßte Anordnung des Zulufttritts.

1	2	3					4		5		6		7	8		9	10	11
		Wirkstoffgehalt					Entlastungs- und Abscheidegrad		$\zeta_{zu}$ $\zeta_F$ bzw. $\frac{\zeta_{zu}}{\zeta(1)}$									
		ohne Kabine		mit Kabine			gesamt			atemb.								
Rel. Windgeschw. $v_{rw}$ m/s	gesamt $\zeta_F^g$ $\mu g/m^3$	atembar $\zeta_F^a$ $\mu g/m^3$	Filterart	$\zeta_{zu}$ $\mu g/m^3$	$\zeta_{FKab}$ $\mu g/m^3$	E	A	E										
Sprühen mit $\zeta_Q = 14,2 \text{ mg/m}^3$	0,8	290	215	Aktivkohle- u. Vorfilter	311,2	1,8	99,4	99,4	99,2	1,07								
	1,3	332	250		246,2	6,2	98,1	97,5	97,5	0,74								
	1,6	335	285		367,2	4,3	98,7	98,8	98,5	1,10								
	1,9	400	300		421,5	2,2	99,5	99,5	99,3	1,05								
					$\phi$		98,9	98,8	98,6									
		0,6	276	200	Normalfilter u. Vorfilter	379,7	21,2	92,3	94,4	89,4	1,38							
		0,7	280	205		272,8	32,5	88,4	88,1	84,1	0,97							
		1,5	330	280		372,6	9,1	97,2	97,6	96,8	1,13							
		2,5	360	200		345,5	30,7	91,5	91,1	84,7	0,96							
			$\zeta(1)$			$\phi$	92,4	92,8	88,8									
Spritzen mit $\dot{E}_{W1} = 0,056 \text{ kg/m}^3 \text{ h}$	1,4	24		Aktivkohle- u. Vorfilter	35,6	2,6		92,7	89,2	1,48								
	1,6	27			37,6	1,1		97,1	95,9	1,39								
	1,9	27			42,7	2,5		94,1	90,7	1,58								
	2,5	23			52,4	1,4		97,3	93,9	2,28								
					$\phi$		95,3	92,4										

Tafel 4. Wirkstoffgehalt in der Luft und Entlastungs- bzw. Abscheidegrad einer Fahrerkabine bei verschiedenen relativen Windgeschwindigkeiten; Spritzen (3,15 bar) und Sprühen (11,7 bar) von Flüssigkeit mit 0,025 % Lindan (Wirkstoff); Fahrerkabine mit  $Q_{zu} = 300 \text{ m}^3/\text{h}$  und 50 Pa Überdruck bei  $v_{rw} = 0$ , Abluftquerschnitt  $50 \text{ cm}^2$ ; mittl. Lufttemperatur ca.  $17,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , mittl. Luftfeuchte ca. 80 %, rel. Windrichtung  $\alpha = 180^\circ$  (axialer Rückwind).

Eine Kabine, die zur Bedienung der Geräte oder wegen schlechter Klimabedingungen während der Applikation geöffnet werden muß, bietet keinen definierten Anwenderschutz mit einer Ausnahme, die dermale Belastung beim Sprühen wird wegen der Schirmwirkung erheblich gesenkt. Dazu genügt aber auch ein Wetterschutzverdeck! Besondere Beachtung erfordert die Anordnung des Zuluft Eintritts. Aufgrund der Wirkstoffverteilung über der Höhe, Bild 39, sollte die Zuluftöffnung beim Spritzen möglichst hoch, beim Sprühen möglichst tief und ferner von sekundären Quellen genügend weit entfernt liegen.

Damit ein Schlepper aber für beide Verfahren eingesetzt werden kann, ist nach einer günstigsten Lösung zu suchen. Da der Einfluß der Höhe auf die Arbeitsplatzbelastung beim Sprühen vergleichsweise gering ist, ist der beste Ort im Kabinendach vorn oder seitlich. Unabdingbar ist diese Lösung zu fordern, wenn beim Spritzen auch Frontanbau möglich sein soll. Eine Übersicht über die Auswirkungen von Schutzmaßnahmen gibt Tafel 5.

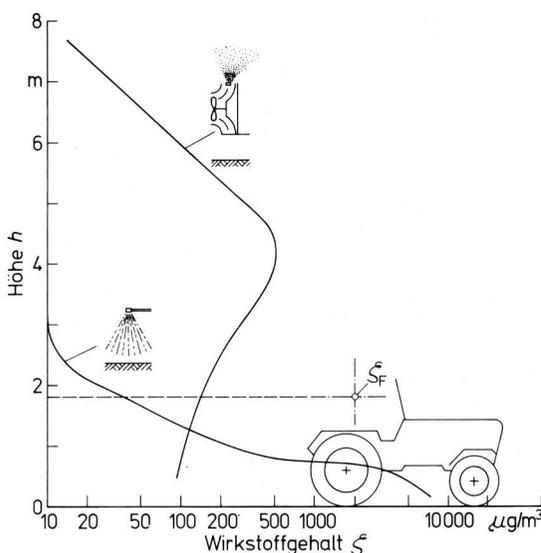


Bild 39. Wirkstoffverteilung bei freier Ausbreitung Spritzen und Sprühen.

Verfahren		Exposition $\beta$ [mg/h]									
		Spritzen Flächenkultur					Sprühen Raumkultur				
Schutzmaßnahmen	keine	Handschuhe		Kopfbedeckung		keine	Handschuhe		Kopfbedeckung		
		Verdeck	Kabine	Verdeck	Kabine						
ungeschützte Hautflächen	Kopf	Hals	Hand	Gesicht	Hals	Kopf	Hand	Kopf	Hals	Gesicht	Hals
Applikation	inhalative $\beta_{resp}$	0,08	0,08	0,08	0,08	0,01	0,35	0,35	0,35	0,35	0,01
	dermale $\beta_{derm}$	2	0,5	0,2	0,1	0,01	25	10	4	2	0,01
Anmischen usw.	dermale $\beta_{derm}$	10	< 1	< 1	< 1	< 1	20	< 1	< 1	< 1	< 1

Tafel 5. Änderung der Exposition beim Spritzen und Sprühen durch verschiedene Schutzmaßnahmen wie Handschuhe, Kopfbedeckung, Wetterschutzverdeck und Fahrerkabine. Die Angaben sind von Prognoseergebnissen und Expositionsmessungen abgeleitet und als Richtwerte aufzufassen. Durch Atemschutzhauben und -masken werden etwa die gleichen Expositionswerte wie in Kabinen erreicht.

## 8. Abschätzung des Gesundheitsrisikos beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln mit den Möglichkeiten des Anwenders

Der grundsätzliche Weg zur Abschätzung des Anwenderrisikos besteht, wie schon oben angesprochen, darin, daß man die Exposition  $\beta$  des Anwenders, verknüpft mit den Vorgängen an der Systemgrenze Mensch (Stoffübergang  $\sigma$ ), in Beziehung zu toxikodynamischen Kenndaten setzt, z.B.  $f = \Sigma \beta \cdot \sigma$ /Toxizitätsdaten. So einfach dieses Vorgehen aussieht, die Handhabung und Interpretation verlangt sehr spezielle Kenntnisse sowohl auf dem Gebiet der Toxikologie als auch über die Entstehung und den Ablauf der Exposition. Der zuletzt genannte Bereich war vorherrschender Gegenstand des Kolloquiums.

Es soll nun versucht werden, mit dem erarbeiteten Wissensstand zur Anwenderexposition auf der einen und den im Schrifttum mitgeteilten Toxizitätsdaten auf der anderen Seite beispielhaft eine Risikoabschätzung durchzuführen, und zwar aus der Sicht des Anwenders.

### 8.1 Expositionsdaten

Ausgehend von den entwickelten Grundmodellen läßt sich für die Exposition des Anwenders setzen:

$$\beta = \beta_{\text{resp}} + \beta_{\text{derm}} + \beta_{\text{M}} \quad (10)$$

$$= \zeta_{\text{F}}^{\text{a}} Q_{\text{resp}} \eta_{\text{resp}} + \zeta_{\text{F}}^{\text{g}} \epsilon v_{\text{rw}} A_{\text{q}} \frac{A_{\text{H}}}{A} \eta_{\text{derm}} + \beta_{\text{M}} \quad (11)$$

Hierbei gibt  $\beta_{\text{M}}$  die Exposition während der Arbeitsabschnitte außerhalb der Applikation an.

Nachfolgend wird für repräsentative Fälle und anwendungsempfohlene Ausbringung die Exposition ermittelt und das Risiko abgeschätzt. Es werden die Daten nach Tafel 3 und für Lindan zugrunde gelegt. Weitere Bedingungen und Annahmen: ungeschützte Hautfläche nur der Kopf mit  $A_{\text{q}} = 0,033 \text{ m}^2$ ,  $A = 0,14 \text{ m}^2$ ; Spritzbalkenhöhe  $h_{\text{B}} = 1,2 \text{ m}$ , bei  $\alpha = 180^\circ$   $v_{\text{rw}} \approx 1,5 \text{ m/s}$ . Damit wird  $\zeta_{\text{F}} = 0,01 \cdot 4 \text{ [mg/m}^3]$ ; Anströmgeschwindigkeit des Kopfes  $v_{\text{rw}}$  im Mittel  $2 \text{ m/s}$ ;  $\epsilon = 1$ ,  $Q_{\text{resp}} = 1,75 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\eta_{\text{resp}} = 1$ ,  $s_{\text{A}} = 2,5 \text{ m}$ ;  $\eta_{\text{derm}}$  beim Spritzen  $0,04$ , beim Sprühen  $0,34^*$ .

Dann wird beim Spritzen:

$$\beta_{\text{resp}} = 0,01 \cdot 4 \cdot 1,75 \cdot 1 = 0,07 \text{ mg/h}$$

$$\beta_{\text{derm}} = 0,01 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3600 \cdot 0,033 \cdot 0,04 = 0,38 \text{ mg/h}$$

$$\beta_{\text{M}} = 0,3 \text{ mg/h} \quad (\text{geschätzt})$$

$$\beta = 0,07 + 0,38 + 0,3 = 0,75 \text{ mg/h} \quad (12)$$

Sprühen:

$$\beta_{\text{resp}} = 0,088 \cdot 1,75 \cdot 1 = 0,15 \text{ mg/h}$$

$$\beta_{\text{derm}} = 0,137 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3600 \cdot 0,033 \cdot 0,34 = 11 \text{ mg/h}$$

$$\beta_{\text{M}} = 0,3 \text{ mg/h} \quad (\text{geschätzt})$$

$$\beta = 0,15 + 11 + 0,3 = 11,45 \text{ mg/h} \quad (13)$$

\*) vorläufiger Wert aus noch nicht veröffentlichten Versuchsergebnissen.

### 8.2 Toxikologische Kenndaten

Zur Entwicklung und Zulassung von Pflanzenbehandlungsmitteln sind im Hinblick auf das Anwenderrisiko die unmittelbaren Kenndaten aus dem Tierversuch sowie weitere fachspezifische Kenntnisse heranzuziehen [13, 14]. Für den Anwender können solche Voraussetzungen nicht angenommen werden, dennoch sollte er handlungs- und abschätzungsfähig sein.

Für diesen Zweck hat man den MAK-Wert (in den USA: TLV) eingeführt. Dieser Wert beschreibt diejenige Konzentration am Arbeitsplatz, bei deren Einhaltung kein Gesundheitsrisiko besteht. Auf die Rahmenbedingungen wurde schon an anderer Stelle hingewiesen [11]. Der MAK-Wert stützt sich im wesentlichen auf eine Arbeitsumgebung ab mit gasförmigen luftfremden Stoffen sowie teilchenförmigen Stoffen, die atembar sind. Beim Spritzen und Sprühen kann eine hiervon deutlich abweichende Arbeitsumgebung vorliegen. Die luftfremden Stoffe bestehen aus Flüssigkeitsteilchen, die mit Wirkstoffen beladen sind. Ferner sind die Tropfen am Arbeitsplatz deutlich größer als die sonst in der Luft schwebenden Teilchen. Dies bedingt, daß eine beachtlich höhere dermale Belastung möglich ist, wie auch die Expositionsdaten zeigen. Um trotzdem mit dem MAK-Wert arbeiten zu können, wird daraus die täglich tolerierbare Aufnahmemenge errechnet. Diese ergibt sich aus dem MAK-Wert multipliziert mit dem Atemvolumen und der Arbeitszeit

$$T = \text{MAK} \cdot 1,75 \cdot 8 \quad (14)$$

Diese Vorgehensweise setzt voraus, daß die Wirkung der in den Körper gelangenden Wirkstoffe ( $\beta \cdot \sigma$ ) nahezu unabhängig ist vom Applikationsweg. Dies ist streng nicht zulässig, aber für Abschätzungen bei Pflanzenbehandlungsmitteln durchaus üblich und auch vertretbar.

Man wird aufgrund dieser Überlegungen anmerken, daß man daran denken kann, statt des so errechneten T-Wertes den ADI-Wert einzusetzen, der die tolerierbare tägliche Aufnahme mit der Nahrungskette angibt. Beide Werte unterscheiden sich aber oft um mehr als eine Größenordnung. Dies ist auf den Sicherheitsfaktor zurückzuführen, der wegen der von den Kennwerten betroffenen verschiedenen Personengruppen unterschiedlich ist.

### 8.3 Risikoabschätzung

Diese erfolgt für den vorliegenden Fall nach der Gleichung

$$f = \frac{\Sigma (\beta \sigma t)}{\text{MAK} \cdot 1,75 \cdot 8} \quad (15)$$

Für die tägliche Arbeitszeit  $t$  wird angenommen:

Spritzen: 8 h, davon 6 h Applikation

Sprühen: 6 h, davon 4 h Applikation

Für den Wirkstoffübergang an der Systemgrenze Mensch wird angesetzt: im Respirationstrakt  $\sigma_{\text{resp}} = 1$ , für die Haut  $\sigma_{\text{derm}} = 0,1$ .

$$\text{Spritzen: } f = \frac{(0,07 \cdot 1 + 0,38 \cdot 0,1) \cdot 6 + 0,3 \cdot 2}{0,5 \cdot 1,75 \cdot 8} = 0,18 \quad (16)$$

$$\text{Sprühen: } f = \frac{(0,15 \cdot 1 + 11 \cdot 0,1) \cdot 4 + 0,3 \cdot 2}{0,5 \cdot 1,75 \cdot 8} = 0,8 \quad (17)$$

Das Ergebnis zeigt, daß beim Spritzen von niedrigen Feldkulturen, Heckenbau und entsprechender Spritzbalkenhöhe der Risikofaktor beachtlich unter dem Wert 1 liegt. Auch beim Sprühen in Raumkulturen wird der Wert 1 nicht erreicht. Nun liegt der MAK-Wert für Lindan nicht sehr niedrig. Würde man bei den gleichen Arbeiten und sonst gleichen Bedingungen von einem MAK-Wert =  $0,1 \text{ mg/m}^3$  ausgehen, dann wäre beim Spritzen kein, beim Sprühen ein gewisses Risiko vorhanden, dem sich aber durch entsprechende Kleidung begegnen läßt. So sinkt beim Sprühen die dermale Exposition eines Kopfes durch eine geeignete Kopfbedeckung um mehr als die Hälfte, wie Messungen zeigen.

Die vorgenommenen Berechnungen zeigen den beachtlichen Einfluß der dermalen Exposition beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln. Danach obliegt dem Hersteller der Mittel die Suche z.B. nach Formulierungsstoffen mit einem möglichst geringen Absorptionskoeffizienten für die menschliche Haut. Der Anwender sollte einer angemessenen Arbeitskleidung hinreichend Beachtung schenken. Grundsätzlich sollte man bei allen Pflanzenschutzarbeiten Gummihandschuhe tragen, beim Sprühen in Raumkulturen zusätzlich noch eine undurchlässige Kopfbedeckung mit breitem Schirm und Schutzrand auch seitlich und im Nacken sowie eine hinreichend wasserdichte Oberbekleidung.

Es läßt sich einwenden, daß MAK-Werte nur für wenige Pflanzenbehandlungsmittel vorliegen. Dieser Nachteil zeigt sich darin, daß man bei fehlenden MAK-Werten für die gewünschte Risikoabschätzung meist nicht einfach zugängliche toxikodynamische Kennwerte oft in Verbindung mit fachlichem Rat heranziehen muß.

Die Gl. (15) gibt weiter Hinweise auf den bedeutenden Einfluß der Expositionszeit. Mit welchen Werten man zu rechnen hat, darüber wird an anderer Stelle in diesem Heft berichtet.

## 9. Zusammenfassung

Nach Messung der wichtigsten quantitativen Wirkungsabläufe im Bereich zwischen Quelle und Akzeptor ist es möglich, die Exposition beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln durch Spritzen und Sprühen während der Applikation im voraus zu berechnen und in Verbindung mit toxikokinetischen und toxikodynamischen Daten das Anwenderisiko abzuschätzen.

Danach ist bei Einhaltung der bestehenden Richtlinien hinsichtlich Aufwand, Geräte-, Arbeitsbedingungen und Arbeitskleidung (anwendungsempfohlene Ausbringung) im Grundsatz kein Risiko für den Anwender gegeben. Nur bei extremen Bedingungen, wie z.B. sehr großem Spritzbalkenabstand zum Boden und geringer Fahrgeschwindigkeit, Frontanbau sowie geschlossenen Beständen beim Sprühen, ist ein gewisses Risiko nicht auszuschließen, wenn man auf einen hinreichenden Kopf- und Atemschutz verzichtet.

Mit einer Fahrerkabine entsprechender Gestaltung läßt sich jedes Risiko ausschalten, und dies bei gleichzeitig hohem Arbeitskomfort.

Die Expositionen bei den der Applikation vor- und nachgeschalteten Arbeiten werden hier im einzelnen nicht behandelt. Diese Expositionen sind nicht systembedingt und vorherrschend abhängig von der Sorgfalt bei der Durchführung der genannten Arbeiten und daher im Grundsatz vermeidbar.

### Verwendete Formelzeichen

$\zeta$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Wirkstoffgehalt (Schadstoffgehalt) in der Luft (20 °C, 1013 mbar); = Belastung der Luft durch Wirkstoffe der Pflanzenbehandlungsmittel

$\zeta^*$   $\frac{\mu\text{g}/\text{m}^3}{\text{kg}/\text{m}^3 \text{ h}}$  relativer Wirkstoffgehalt in der Luft bei  $\dot{E}_{W1} = 1 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ h}$ , sonstige Bedingungen wie bei  $\zeta$

### Transmission

k Konzentrations- oder Verdünnungsfaktor

Indizes für  $\zeta$ ,  $\zeta^*$  und k tiefgesetzt

F am Fahrerplatz eines Spritz- oder Sprühfahrzeuges im Feldeinsatz, Meßstelle Atembereich

$F_{\text{Kab}}$  am Fahrerplatz in einer Kabine

K1,3 im Windkanal; Meßstelle im Abdriftstrom 1,3 m über dem Boden

Q im Trägerluftstrom bei Austritt aus dem Sprüherät

V		Versuchsstand
V <sub>F</sub>		Versuchsstand mit Spritz- oder Sprühfahrzeug, Meßstelle Atembereich am Fahrerplatz in der Zuluft für eine Kabine
zu		
hochgesetzte		
a		atembarer Wirkstoffanteil beim Sprühen
g		gesamter Wirkstoffanteil beim Sprühen
20		Wirkstoffgehalt oder Verdünnungsfaktor beim Sprühen, wenn im Trägerluftstrom an der Quelle ein Wirkstoffgehalt von $\zeta_Q = 20 \text{ mg}/\text{m}^3$ vorliegt
Emission		
$\dot{E}_W$	kg/h	Emissionsstrom aus Wirkstoff; Wirkstoff = aktiver Bestandteil im Präparat, d.h. im Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel
$\dot{E}_{W1}$	kg/m <sup>3</sup> h	Emissionsstrom aus Wirkstoff pro m <sup>3</sup> Spritzbreite und Stunde
$\dot{E}_L$	m <sup>3</sup> /h	Gebläse-Luftstrom beim Sprühen
Luftbewegungen und Luftzustände		
Q <sub>resp</sub>	m <sup>3</sup> /h	Atemvolumen (Atemluftstrom)
Q <sub>zu</sub>	m <sup>3</sup> /h	Zuluftstrom
v <sub>rw</sub>	m/s	relative Windgeschwindigkeit,
	m/h	Anströmgeschwindigkeit auf den Körperteil mit ungeschützten Hautflächen
v <sub>w</sub>	m/s	Windgeschwindigkeit
v <sub>wmax</sub>	m/s	obere zugelassene mittlere Windgeschwindigkeit (Verteilung nach Bild 32)
a	°	Windeinfallswinkel (relative Windrichtung), Winkel zwischen Fahrzeuglängsachse und Windrichtung (bei axialem Gegenwind ist a = 0)
φ	%	relative Luftfeuchte
θ	°C	Lufttemperatur
Abmessungen		
b	m	Spritzbreite = Anzahl der Düsen x Düsenabstand
h	m	lotrechter Abstand vom Boden
h <sub>B</sub>	m	Abstand zwischen Boden und Spritzbalken
s <sub>A</sub>	m	horizontaler Abstand zwischen Meßstelle und Spritzbalken bzw. Sprüherät
V	m <sup>3</sup>	Behälterfüllung
andere Formelzeichen		
A	%	Abscheidegrad
A <sub>H</sub>	m <sup>2</sup>	ungeschützte Hautfläche des angeströmten Körperteils
A <sub>W</sub>	kg/ha, kg/m <sup>2</sup>	Aufwand an Wirkstoff bezogen auf die Fläche
A <sub>q</sub>	m <sup>2</sup>	Querschnittsfläche des angeströmten Körperteils mit ungeschützter Hautfläche
D	%	Durchlaßgrad
E	%	Entlastungsgrad
c <sub>w</sub>	%	Massenanteil des Wirkstoffes in der Spritzflüssigkeit
d <sub>p</sub>	μm	Tropfen- oder Partikelgröße
p	bar	Spritzdruck — gemessen vor der Düse
t	s, h	Spritzdauer
v <sub>F</sub>	m/s, m/h	Fahrgeschwindigkeit
β <sub>M</sub>	μg/h	stündliche Exposition in den Arbeitsabschnitten außerhalb der Applikation

$\beta_{\text{derm}}$	$\mu\text{g/h}$	stündliche dermale Exposition
$\beta_{\text{resp}}$	$\mu\text{g/h}$	stündliche inhalative Exposition
$\epsilon$		Anteil des Wirkstoffs in partikelförmigem Zustand oder in einem partikelförmigen Träger am Gesamtgehalt
$\eta_{\text{derm}}$		Auftreffgrad
$\eta_{\text{resp}}$		Inhalationsfaktor, Respirationsfaktor
$\sigma$		Stoffübergangsfaktor, Absorptionskoeffizient
$\rho$	$\text{kg/m}^3$	Dichte

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] • Lee, R.E. jr. (Hrsg.): Air pollution from pesticides and agricultural processes. (264 Seiten, 12 Verfasser, 995 Schrifttumshinweise). Boca Raton, Florida: CRC Press INC, 1976.
- [ 2 ] Batel, W.: Belastung des Arbeitsplatzes durch Wirkstoffe beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln. *Grundl. Landtechnik* Bd. 31 (1981) Nr. 3, S. 94/108.
- [ 3 ] Batel, W.: Belastung des Arbeitsplatzes beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln durch Spritzen und Sprühen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 32 (1982) Nr. 4, S. 113/24.
- [ 4 ] Batel, W.: Schutzwirkung der Fahrerkabine beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln. *Grundl. Landtechnik* Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 1/5.
- [ 5 ] DFG: Verschiedene Mitteilungen der Kommission für Pflanzenschutz-, Pflanzenbehandlungs- und Vorratsschutzmittel. Sekretariat der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Bonn-Bad Godesberg, Kennedyallee 40.
- [ 6 ] Ellwardt, P.-Chr.: Messen der Konzentration von Pflanzenbehandlungsmitteln in der Atemluft. *Landbauforschung Völkenrode*, Sonderheft 52, 1980, S. 100/108.
- [ 7 ] Schmidt, P. u. P. Walzel: Zerstäuben von Flüssigkeiten. *Chem.-Ing.-Techn.* Bd. 52 (1980) Nr. 4, S. 304/11.
- [ 8 ] • Lüders, W.: Pflanzenschutzmaschinen und deren Einsatz. Stand 1979. Bezugsquelle: Landesanstalt für Pflanzenschutz Stuttgart.
- [ 9 ] Batel, W.: Zur inhalativen und dermalen Exposition bei Arbeiten zum Pflanzenschutz. *Staub-Reinhalt. Luft* Bd. 44 (1984) Nr. 4, S. 192/95.
- [ 10 ] Batel, W.: Zur inhalativen und dermalen Anwenderexposition bei Arbeiten zum Pflanzenschutz. *Grundl. Landtechnik* Bd. 34 (1984) Nr. 2, S. 77/81.
- [ 11 ] • DFG: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen 1983. Mitt. XVI der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Boppard: Verlag H. Boldt 1983.
- [ 12 ] Miller, M.L., A.W. Eissler u. J.W. Ackley: Tractor operator enclosure environment during pesticide application operations. ASAE-Paper No. 79-1009.
- [ 13 ] WHO: Principles and methods for evaluating the toxicity of chemicals. WHO Genf 1978.
- [ 14 ] • Klimmer, O.R.: Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel. Hattingen: Verlag Hundt 1971.

## Ausbreitung von Wirkstoffen nach einer Quelle

Von Karl-Heinz Krause, Braunschweig-Völkenrode\*)

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

DK 632.934.1:331.43

Die beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln freigesetzten luftfremden Stoffe gelangen an den Arbeitsplatz aufgrund verschiedener sich überlagernder Luftströmungen: dominant ist das äußere turbulente Windfeld, das allerdings in Nähe der Arbeitsmaschinen durch Wirbelbildungen an Abrißkanten und durch das Motorkühlgebläse Veränderungen erfährt. Stromlinienaufnahmen an Modellen weisen auf die kritischen Umströmungsbereiche in der Kombination von Spritz- bzw. Sprühgerät und Antriebsaggregat hin; in den leeseitigen Wirbelgebieten kann es zu lokalen Konzentrationsanreicherungen kommen. Im Motorbereich kann das Verdampfen der Pflanzenbehandlungsmittel zu einer zusätzlichen Belastung führen.

### 1. Einleitung

Beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln gelangen — handhabungs- und systembedingt — Wirkstoffe an den Arbeitsplatz. Zumindest die letztgenannte Ursache für Arbeitsplatzbelastungen unterliegt einer physikalischen Kausalkette. Ihre Einzelglieder können allerdings nicht in allen Nuancen angegeben werden, dazu ist die Verknüpfung der Luftströmungsfelder und solcher der Wirkstoffkonzentrationen zu komplex. Eine Problemlösung auf rein analytischem Wege scheidet wegen fehlender allgemeiner Lösungen aus, so daß als methodische Hilfsmittel Experimente in der Natur und Modelluntersuchungen im Windkanal heranzuziehen sind. Sie führen zur Angabe praktikabler Empfehlungen [1], denn einige Wesensmerkmale lassen sich herauskehren: sie betreffen die durch Transport und Umwandlung bedingte Ausbreitung von Wirkstoffen nach einer Quelle.

Dazu wird vorab die allgemeine Strömungssituation ohne die Ausbringungsmechanismen dargelegt, sozusagen das Strömungsfeld. Dieses wird durch die Spritz- und Sprühvorgänge unterschiedlich beeinflusst und führt aus der Sicht der Ausbreitung luftfremder Stoffe auch zu unterschiedlichen Transmissionsströmen. Vor diesem Hintergrund ist die Auslegung und Bewertung von Meßergebnissen zur Arbeitsplatzbelastung zu sehen. Gemessene Wirkstoff-

\*) Dr.-Ing. K.-H. Krause ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.