

## Verwendete Formelzeichen

A	$\text{kJ/m}^3$	spezifische Arbeit $A_d$ dynamischer Anteil, $A_s$ statischer Anteil
b	m	Arbeitsbreite
$C_0$	—	Konstante
$k_0$	$\text{kJ/m}^3$	Beiwert
M	$\text{kNm}$	Antriebsmoment
n	$\text{min}^{-1}$	Drehzahl
P	$\text{kW}$	Leistung
r	—	Korrelationskoeffizient
t	m	Arbeitstiefe
u	m/s	Umfangsgeschwindigkeit
v	m/s	Fahrgeschwindigkeit
z	—	Anzahl der Messer in einer Drehebene des Fräsenrotors
$a_u$	$\text{kJ s}^2/\text{m}^5$	Beiwert
$a_{u0}$	$\text{kJ s}^2/\text{m}^5$	Beiwert
$a_{ut}$	$\text{kJ s}^2/\text{m}^6$	Beiwert

$a_{uv}$	$\text{kJ s}^3/\text{m}^6$	Beiwert
$a_v$	$\text{kJ s}^2/\text{m}^5$	Beiwert
$\eta_c$	—	Getriebewirkungsgrad
$\eta_z$	—	Auslastungsgrad des Motors

## Schrifttum

- [ 1 ] *Bernacki, H.*: Nowa technika uprawy roli (Neue Technik in der Bodenbearbeitung).  
Warschau: PWRIL, 1974.
- [ 2 ] *Bernacki, H.*: Untersuchungen von Scharfräsen in der Bodenrinne und auf dem Acker.  
Grundl. Landtechnik Nr. 15 (1962) S. 28/36.
- [ 3 ] *Bernacki, H., J. Haman u. C. Kanafojski*: Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych (Theorie und Konstruktion der Landmaschinen).  
Warschau: PWRIL, 1967.
- [ 4 ] *Majewski, Z., H. Roszkowski u. C. Waszkiewicz*: Wpływ parametrow pracy glebogryzarki na wielkosc zapotrzebowania energetycznego (Der Einfluß der Arbeitsparameter einer Bodenfräse auf die Größe des Energiebedarfs).  
Maszyny i Ciagniki Rolnicze — im Druck.

# Belastung des Arbeitsplatzes beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln durch Spritzen und Sprühen

Von Wilhelm Batel, Braunschweig-Völkenrode\*)

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

DK 631.348:614.7

Abschätzungen über das Anwenderrisiko beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln sind recht unsicher, weil die die Exposition verursachenden Vorgänge nur wenig untersucht sind. Daher wurden mit Hilfe von Messungen die wichtigsten Abhängigkeiten der Arbeitsplatzbelastung von Geräteparametern und Umgebungsbedingungen für das Spritzen und Sprühen ermittelt, um Grundlagen für Belastungsprognosen zu schaffen. Diese zeigen, daß ein Anwenderrisiko außer in Sonderfällen nicht besteht. Solche können vorliegen beim Spritzen mit hohen Spritzbalkenanordnungen und geringer Fahrgeschwindigkeit sowie bei einigen Sprüharbeiten. Durch Schutz- oder auch andere Maßnahmen läßt sich für diese Fälle ein Gesundheitsrisiko ausschalten.

## Inhalt

1. Einleitung
2. Ursachen der Arbeitsplatzbelastung
  - 2.1 Wirkungsablauf zur Arbeitsplatzbelastung
  - 2.2 Quantitativer Zusammenhang zwischen Belastung und Emission

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

3. Experimentelle Ermittlung von Grunddaten für Belastungsprognosen
  - 3.1 Hinweise zur Meßtechnik
  - 3.2 Fahrerplatzbelastung beim Spritzen mit einem Unimog und Heckanbau
  - 3.3 Fahrerplatzbelastung beim Spritzen mit einem Standardschlepper und Heckanbau
  - 3.4 Fahrerplatzbelastung beim Spritzen mit einem Unimog und Frontanbau
  - 3.5 Fahrerplatzbelastung beim Sprühen
  - 3.6 Vergleich der Belastung bei Verwendung des Referenzstoffes und eines Pflanzenschutzmittels
4. Belastungsprognosen
  - 4.1 Allgemeine Berechnungsgrundlagen
  - 4.2 Spritzen mit Unimog und Geräten in Front- und Heckanbau und Standardschlepper
  - 4.3 Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln durch Sprühen
5. Folgerungen und Maßnahmen aus den Prognose- und Meßergebnissen
  - 5.1 Belastungsvergleiche und Abschätzung des Anwenderrisikos
  - 5.2 Möglichkeiten zur Senkung der Arbeitsplatzbelastung
  - 5.3 Schutzmaßnahmen
6. Zusammenfassung

# 1. Einleitung

In zunehmendem Maße stellen Anwender von Pflanzenschutzmitteln vor allem zum Ausbringen von Insektiziden die Frage nach einem mit dieser Arbeit verknüpften Gesundheitsrisiko. Hinweise hierzu findet man vor allem im USA-Schrifttum [1]. Die dort mitgeteilten Angaben über die Belastung gelten für bestimmte Produktions- und Arbeitsbedingungen. Eine Übertragung auf andere Verhältnisse ist nur begrenzt möglich, weil die die Belastung bestimmenden Einflußgrößen und vor allem ihre Abhängigkeiten nicht hinreichend bekannt sind. Solche Kenntnisse sind aber Voraussetzung für differenzierte Belastungsprognosen.

Ziel der durchgeführten und noch laufenden Arbeiten ist es daher, die Vorgänge, die zur Belastung des Arbeitsplatzes führen, derart zu untersuchen, daß man Grundlagen für Belastungsprognosen erhält.

Da die Versuche noch nicht abgeschlossen sind, liegt derzeit erst ein grobes Raster der wichtigsten Einflußgrößen vor. Unbeschadet der noch bestehenden Lücken ist damit aber bereits eine gute Abschätzung der Belastung des Arbeitsplatzes bei Arbeiten zum Pflanzenschutz möglich.

Im Gegensatz zu den USA, wo über 80 % der Pflanzenschutzmittel durch Flugzeuge ausgebracht werden, sind bei uns fahrzeuggetragene Spritz- und Sprüheräte vorherrschend. Im Feldanbau niedriger Pflanzen erfolgt die Verteilung der Wirkstoffe durch Spritzen, bei Raumkulturen, wie dem Wein-, Obst- und Hopfenanbau, und im Forst vorwiegend durch Sprühen, also mit Hilfe eines Trägerluftstromes.

## 2. Ursachen der Arbeitsplatzbelastung

### 2.1 Wirkungsablauf zur Arbeitsplatzbelastung

Den zur Arbeitsplatzbelastung führenden Wirkungsablauf zeigt Bild 1 am Beispiel des Spritzens. Der Wirkstoffemissionsstrom am Spritzbalken ergibt sich aus der Zusammensetzung der Spritzflüssigkeit und dem Ausfluß aus der Quelle. Der nach der Emission entstehende Transmissionsstrom wird durch Luftbewegungen, den relativen Wind, verursacht. Hierdurch kann der Arbeitsplatz belastet werden. Gekennzeichnet wird diese Belastung durch den Wirkstoffgehalt je Volumeneinheit der Luft, beispielsweise in der Einheit  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Daran schließt sich die Frage an, welche Wirkstoffmenge aus der Luft auf den Menschen übergeht, wobei die Wege respiratorischer, dermaler und oraler Art sein können. Welche Beanspruchung sich dadurch ergibt, ist im letzten Schritt von der Medizin zu beantworten.

Aus dieser Kette wird sichtbar, daß die Beschreibung der Arbeitsplatzbelastung über die Menge allein nicht hinreichend ist. Es sind auch Angaben über die Struktur und den Zustand der Wirkstoffe erforderlich.

Die grundsätzlichen Abläufe, auch in den Unterschieden, beim Spritzen und Sprühen zeigt Bild 2.

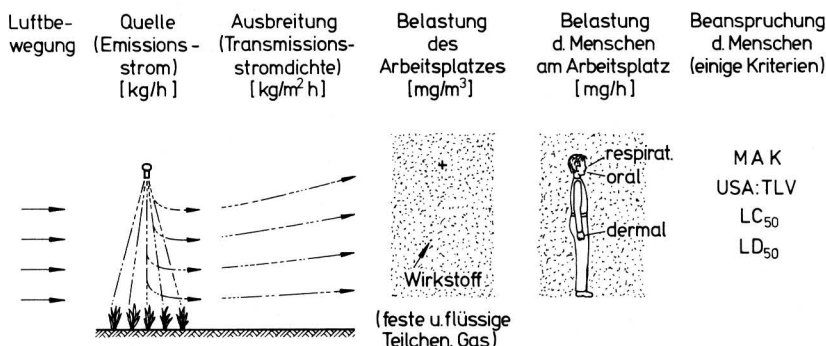


Bild 1. Wirkungsablauf hinsichtlich einer Belastung durch Wirkstoffe beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln.

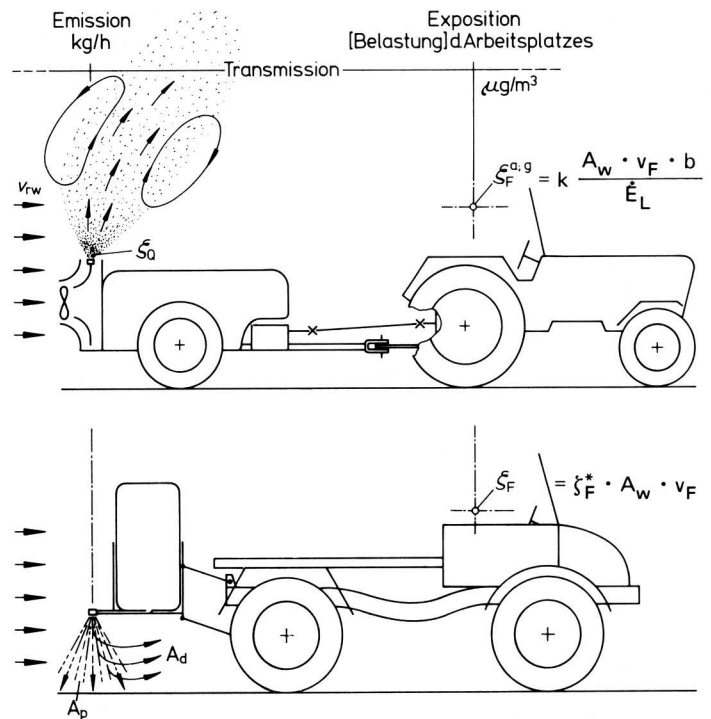


Bild 2. Sprüh- und Spritzverfahren; Prinzipieller Vorgang – Begriffe.

Der aus dem Wirkstoffemissionsstrom entstehende Transmissionsstrom wird beim Spritzen (Bildteil unten) durch den relativen Wind mit der Geschwindigkeit  $v_{rw}$  nach dem Sichtprinzip in einen Applikationsstrom ( $A_p$ ) und einen Abdriftstrom ( $A_d$ ) geteilt. Der zuletzt genannte anteilig gesehene kleine Strom kann abhängig von der relativen Windrichtung den Arbeitsplatz überdecken und ihn belasten. Die Tropfengrößen im Abdriftstrom am Arbeitsplatz liegen meist unter  $60 \mu\text{m}$ , d.h. alle Teilchen sind als atembar anzusehen.

Beim Sprühen (Bildteil oben) werden die Flüssigkeitstropfen mit dem Wirkstoff durch einen Trägerluftstrom seitlich und nach oben in den Pflanzenbestand transportiert. Im Unterschied zum Spritzen erfolgt nach der Emission keine Teilung des Transmissionsstromes, das bedeutet: Pflanzen und Arbeitsplatz befinden sich im gleichen Strom, nur örtlich differenziert. Hieraus folgt, daß bei vergleichbarem Emissionsstrom die Belastung des Arbeitsplatzes beim Sprühen im Grundsatz 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 auch Teilchen, die nicht atembar sind. Man muß daher beim Sprühen unterscheiden zwischen dem Gehalt an Wirkstoff und dem Gehalt in atembarer Form ( $\xi_F^g$  u.  $\xi_F^a$ ).

### 2.2 Quantitativer Zusammenhang zwischen Belastung und Emission

Wenn man Grundlagen für Belastungsprognosen erarbeiten will, dann bedeutet das, ausgehend vom Wirkungsablauf, Zusammenhänge zwischen Emission und Belastung zu ermitteln. Dabei ist vom Bezugssystem Fahrzeug auszugehen, weil der Arbeitsplatz fahrzeuggebunden ist. Die Struktur der Quelle jedoch ergibt sich aus dem durchzuführenden Pflanzenschutzvorgang. Das Bezugssystem hierfür ist die Erdoberfläche.

Für eine Spritzbalkenquelle errechnet sich der Emissionsstrom zu

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

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, von einer Belastung  $\zeta^*$  auszugehen, die bei einem normierten Emissionsstrom, nämlich von 1 kg Wirkstoff je m Spritzbreite, auftritt. Dann kann man für die Belastung am Arbeitsplatz ansetzen:

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

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:

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

oder

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

Das Erklärungsmodell für den Vorgang, der die Arbeitsplatzbelastung bewirkt, beinhaltet daher beim Spritzen im Kern die Teilung des Transmissionsstromes in Applikations- und Abdriftstrom und beim Sprühen seine Verdünnung, also die Vermischung des Trägerluftstromes mit der umgebenden Luft. Der Faktor  $k$  gibt dabei den Anteil an, auf den der Wirkstoffgehalt auf dem Wege von der Quelle bis zum Arbeitsplatz absinkt.

In den grundlegenden Beziehungen Gln. (2) und (6) erfassen  $\dot{E}_{W1}$  und  $\zeta_Q$  die notwendigen, sich aus dem Pflanzenschutz (Aufwand, Fahrgeschwindigkeit und Arbeitsbreite) ergebenden Stoffströme der Quelle.

Die Faktoren  $\zeta^*$  und  $k$  umfassen zwei Gruppen von Einflußgrößen, nämlich einmal die vom Anwender vorgebbaren Geräteparameter wie Gerätebauart, Düsenaufbau und -anordnung, Spritzdruck, Spritzbalkenhöhe und Luftdurchsatz und zum anderen die durch Vorgabe von Grenzwerten, aber sonst nicht zu beeinflussen den Umgebungsbedingungen wie den relativen Wind, die Luftfeuchtigkeit und die Lufttemperatur.

Wenn man nun Grundlagen für Belastungsprognosen erarbeiten will, dann beinhaltet dies, die Abhängigkeiten zwischen der Arbeitsplatzbelastung und den genannten Einflußgrößen zu ermitteln.

### 3. Experimentelle Ermittlung von Grunddaten für Belastungsprognosen

#### 3.1 Hinweise zur Meßtechnik

Die erforderlichen Messungen wurden auf einem Versuchsstand und, soweit notwendig, im realen Pflanzenbestand durchgeführt. Art und Durchführung solcher Versuche wurden bereits beschrieben [2]. Auf einige Erweiterungen sei noch hingewiesen. Beim Spritzverfahren ist eine isokinetiche Probenahme möglich. Beim Sprühen aber liegen durch den starken Gebläseluftstrom Bedingungen vor, die eine solche Probenahme nicht mehr 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 Ringspalt in horizontaler Lage ermittelt. Für den Gesamtgehalt wird ein horizontaler Einströmquerschnitt benutzt.

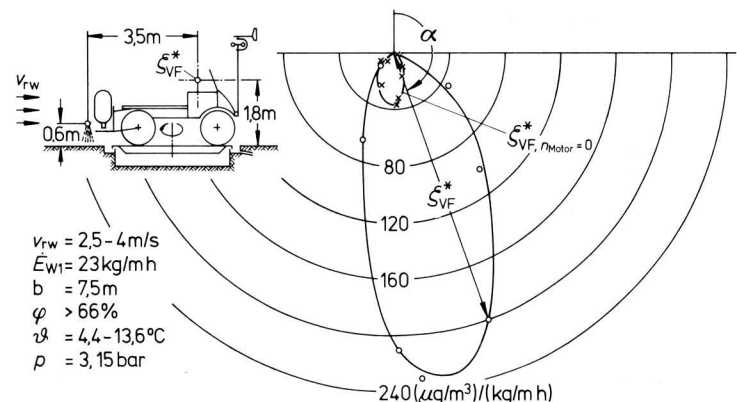
Beim Sprühen werden sowohl Anbau- als auch Anhängergeräte eingesetzt. Ausgehend von den hierbei vorherrschenden Abmessungen wurden Fahrerplatzbelastungen bei einem horizontalen Abstand zur Quelle von  $s_A = 2$  m und  $s_A = 3,5$  m ermittelt (offener Platz ohne Verdeck und Windschutzscheibe). Der größere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

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

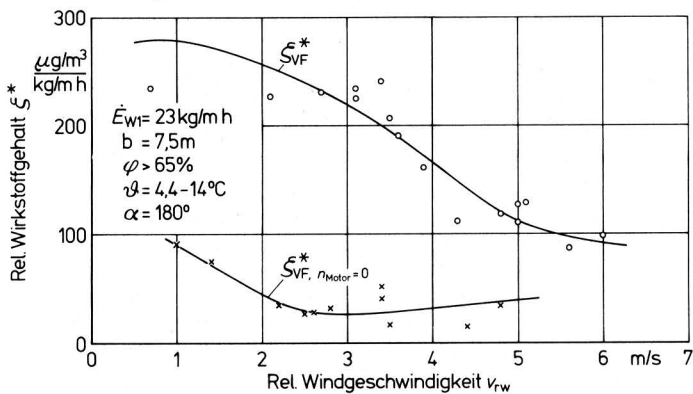
#### 3.2 Fahrerplatzbelastung beim Spritzen mit einem Unimog und Heckanbau

Grundlegende Belastungswerte des Fahrerplatzes für diese Schlepperbauart mit offenem Wetterschutzverdeck und verschiedenen umgebungsbedingten Einflüssen zeigen **Bild 3 und 4** [2].

Bei einer am Heck angeordneten Spritzbalkenquelle ist im allgemeinen eine Belastung nur bei relativem Rückenwind möglich, wobei der Winkelbereich des Windes, in dem eine Belastung auftritt, sich mit der Spritzbalkenbreite etwas vergrößert. (Bei großer Windschutzscheibe und kleinem Abstand  $s_A$  kann auch bei Gegenwind ( $\alpha \approx 0$ ) durch den Lee-Wirbel hinter der Scheibe eine Belastung hervorgerufen werden.) Die Höhe der Belastung hängt außer von der Spritzbalkenhöhe und der Art der Verdüsung auch von der Bauart des Fahrzeuges ab. So zeigen diese beiden Bilder den bedeutenden Einfluß des Kühlgebläses für den Motor. Dessen Luftstrom ist bei achterlichem Wind dem Transmissionsstrom entgegengerichtet. Dieser wird dadurch angehoben, woraus sich die höhere Belastung ergibt. Der Einfluß des Gebläses bringt es weiter mit sich, daß die Belastung bei höheren Pflanzenbeständen wesentlich niedriger liegt, weil der Luftstrom des Kühlgebläses durch die Pflanzen unterhalb des Fahrzeuges gedrosselt wird. Auch der vom Spritzvorgang induzierte Luftstrom wird durch den Pflanzenbestand verringert, so daß sich die Belastung mit höherem Pflanzenbestand, aber unveränderter Spritzbalkenhöhe deutlich vermindert [2].



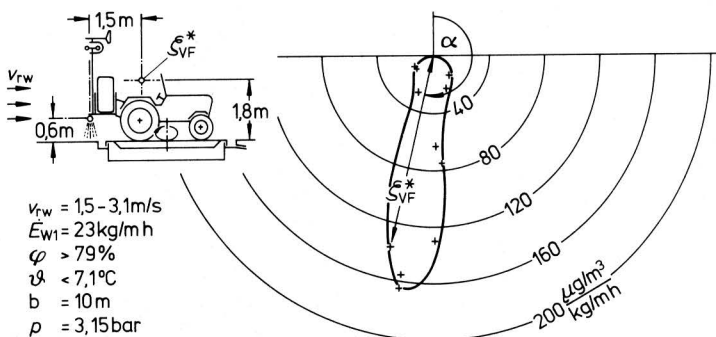
**Bild 3.** Relativer Wirkstoffgehalt der Luft am Fahrerplatz in Abhängigkeit vom Windeinfallswinkel bei normalem Betrieb (äußere Kurve) und bei Stillstand des Fahrzeugmotors (innere Kurve); Spritzen Unimog 48 kW, Heckanbau, Düsen FU 11,5/120°, Referenzflüssigkeit NaCl-Lösung.



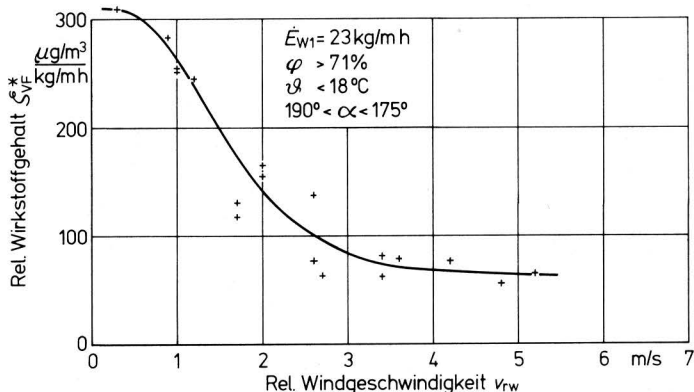
**Bild 4.** Relativer Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit von der relativen Windgeschwindigkeit bei normalem Betrieb (obere Kurve) und bei Stillstand des Fahrzeugmotors (untere Kurve); sonstige Bedingungen wie bei Bild 3.

### 3.3 Fahrerplatzbelastung beim Spritzen mit einem Standardschlepper und Heckanbau

Die für diese Bedingungen gewonnenen Ergebnisse, Bild 5 und 6, stimmen mit denen nach Bild 3 und 4 überein, mit dem Unterschied, daß die Belastung in weiten Bereichen deutlich niedriger liegt. Dies ist in der geringeren Kühlluftmenge begründet. Die Form der Bilder 3 und 5 ist auch dadurch unterschiedlich, daß die Drehrichtung der Kühlgebläse verschieden ist.



**Bild 5.** Relativer Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit vom Windeinfallswinkel; Standardschlepper 21 kW, Heckanbau, Düsen FU 11,5/120°, Referenzflüssigkeit NaCl-Lösung.

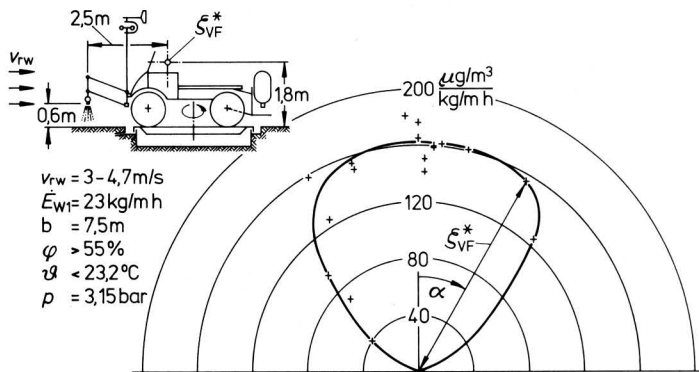


**Bild 6.** Relativer Wirkstoffgehalt als Funktion der relativen Windgeschwindigkeit. Weitere Bedingungen wie bei Bild 5.

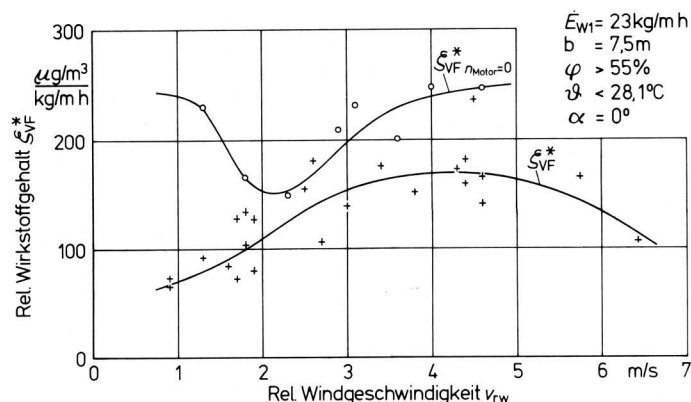
### 3.4 Fahrerplatzbelastung beim Spritzen mit einem Unimog und Frontanbau

Die Ergebnisse für Frontanbau des Spritzgerätes beim Unimog zeigen Bild 7 und 8.

Dadurch, daß der Fahrerplatz näher an der Spritzbalkenquelle liegt, ergibt sich im Vergleich zum Heckanbau ein größerer Winkelbereich mit höherer Belastung. Die Größe der Belastung in Abhängigkeit von der relativen Windgeschwindigkeit mit und ohne Kühlluftstrom bei Gegenwind zeigt Bild 8. Durch das Kühlgebläse existiert im mittleren Bereich des Spritzbalkens eine Senke, d.h. die nach oben gerichteten Komponenten im Abdriftstrom werden hierdurch verringert. Das Kühlgebläse bewirkt eine Verkleinerung der Belastung.



**Bild 7.** Relativer Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit vom Windeinfallswinkel, Unimog 48 kW, Frontanbau, Düsen FU 11,5/120°, Referenzflüssigkeit NaCl-Lösung.



**Bild 8.** Relativer Wirkstoffgehalt in Abhängigkeit von der relativen Windgeschwindigkeit, mit laufendem Motor (untere Kurve) und stehendem Motor (obere Kurve); sonstige Bedingungen wie bei Bild 7.

### 3.5 Fahrerbelastung beim Sprühen

Entsprechend den Ableitungen in Abschn. 2.2 wird die Belastung beim Sprühen gekennzeichnet durch den Wirkstoffgehalt der Luft beim Austritt aus der Quelle  $\zeta_Q$  und den Konzentrations- bzw. Verdünnungsfaktor  $k$ . Wie beim Wirkstoffgehalt zwischen dem Gesamtgehalt und dem atembaren Gehalt zu unterscheiden ist, so auch für den Konzentrationsfaktor.

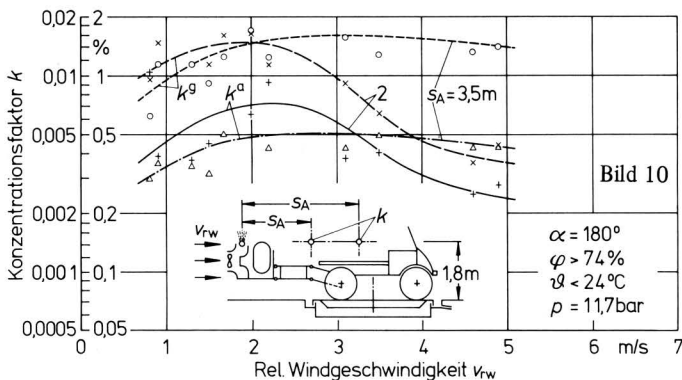
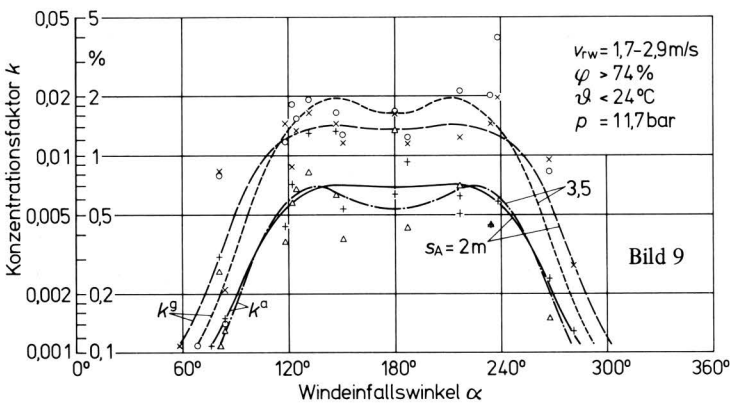
Bei den Meßergebnissen wird neben dem Verdünnungsfaktor  $k$  aus Gründen der Anschaulichkeit noch ein Belastungswert angegeben, der dann auftritt, wenn im austretenden Trägerluftstrom, wie etwa beim Ausbringen von einigen Insektiziden, eine Konzentration  $\zeta_Q = 20 \text{ mg}/\text{m}^3$  vorhanden ist. Liegen andere Werte für  $\zeta_Q$  vor, so kann man leicht eine Umrechnung durchführen:

$$\frac{\zeta_F^g}{\zeta_F^{a20}} = \frac{\zeta_F^a}{\zeta_F^{a20}} = \frac{\zeta_Q}{\zeta_Q = 20} \quad (7).$$

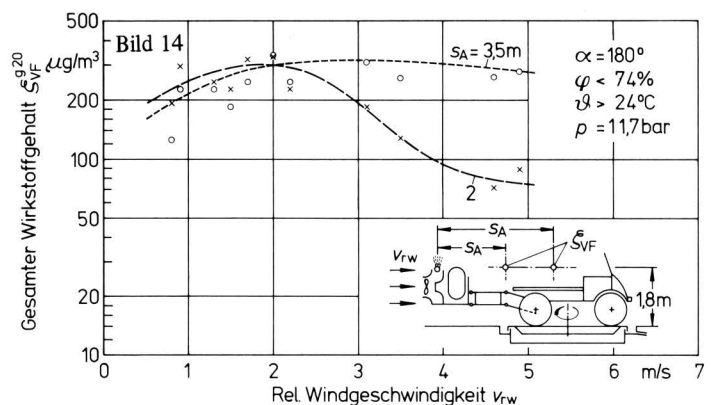
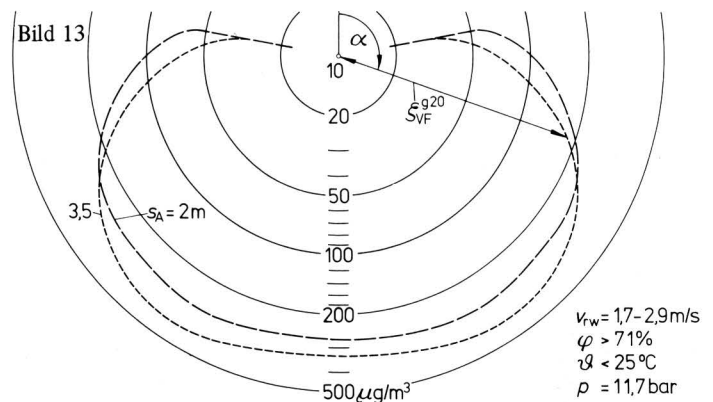
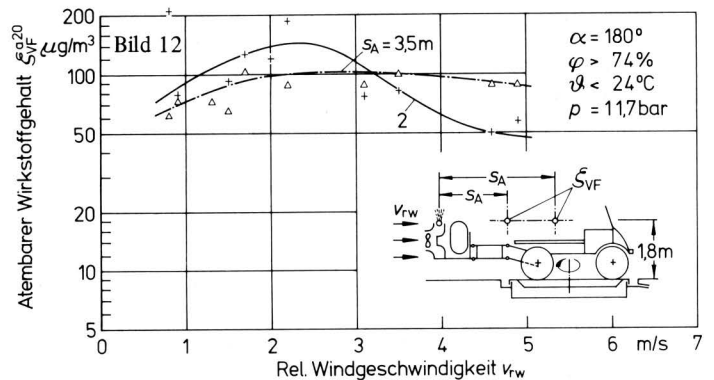
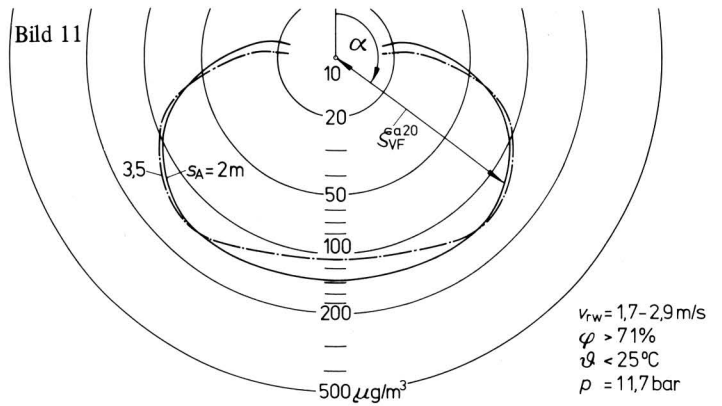
Die Ergebnisse für das Sprühen mit einer bestimmten Düsenanordnung, der genannten Luftmenge und ohne Pflanzenbestand in Abhängigkeit von dem Windeinfallswinkel bzw. der relativen Windgeschwindigkeit zeigen **Bild 9 und 10** für den Verdünnungsfaktor  $k$  und **Bild 11 bis 14** für die sich damit ergebende 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.

Die dargestellten Ergebnisse gelten für den Versuchsstand ohne Pflanzenbestand. Inwieweit die Belastung beim Sprühen in realen Raumkulturen hiervon abweichen kann, zeigt **Tafel 1**.

Danach sinkt die Belastung in unterschiedlichem Maße (letzte Zeile der Tafel). Unter bestimmten Bedingungen kann aber auch eine Zunahme erfolgen. Wegen der sehr vielschichtigen Strömungsabläufe in Raumkulturen ist eine einfache Erklärung der Ergebnisse nicht möglich. Grundsätzlich kann man aber davon ausgehen, daß die Versuchstandmessungen einen oberen Grenzwert beinhalten. Mit zunehmender Belaubung bewegt man sich in Richtung abnehmender Belastung.



**Bild 9 und 10.** Konzentrationsfaktor  $k$  in Abhängigkeit vom Windeinfallswinkel (**Bild 9**) und der relativen Windgeschwindigkeit (**Bild 10**) 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 mm  $\phi$ ) im Halbkreis angeordnet, Referenzstoff NaCl-Lösung, kein Pflanzenbestand,  $\dot{E}_L = 38000 \text{ m}^3/\text{h}$ .



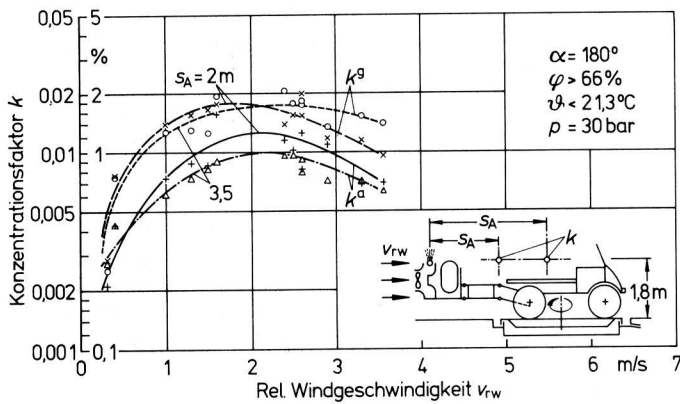
**Bild 11 bis 14.** Wirkstoffgehalt der Luft am Fahrerplatz aus Meßergebnissen nach **Bild 9 und 10** bei  $\zeta_Q = 20 \text{ mg/m}^3$ .

**Bild 11 und 12:** atembarer Wirkstoffgehalt  
**Bild 13 und 14:** gesamter Wirkstoffgehalt

rel. Windgeschw. $v_{rw}$	< 0,5 m/s				um 1 m/s			
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
k mit Pfl.	0,00185	0,0050	0,00135	0,00375	0,00325	0,0110	0,00245	0,0110
$\zeta_F^{20}$ ohne Pfl. $\frac{\mu g}{m^3}$	58	170	46	126	93	238	68	190
$\zeta_F^{20}$ 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

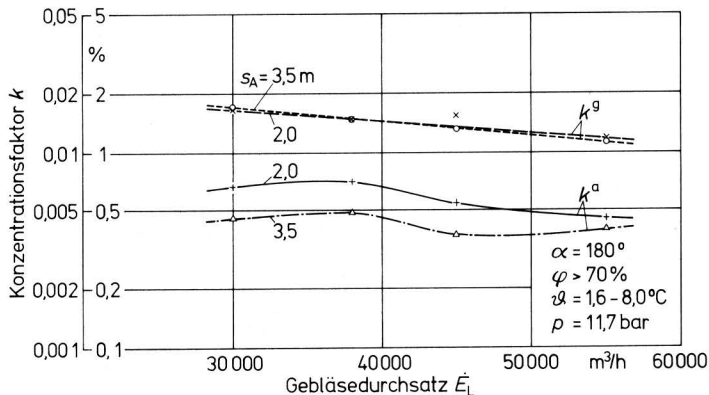
**Tafel 1.** Belastung beim Sprühen für  $\alpha = 180^\circ$ ; ohne Pflanzenbestand: Messungen auf dem Versuchsstand, mit Pflanzenbestand: Messungen in einem Laubwald, vergleichbar einem geschlossenen Obstbaumbestand von 8 m Gipfelhöhe und mittlerer Belaubung; Referenzflüssigkeit,  $p = 11,7$  bar.

Um in Raumkulturen einen möglichst einheitlichen Wirkstoffbelag zu erhalten, werden unterschiedliche Düsen eingebaut [3]. Die Konzentrationsfaktoren für 1,2 mm Düsen sind in Bild 15 dargestellt. Ein Vergleich mit den Ergebnissen für die 2 mm Düsen (Bild 10) zeigt eine geringe Zunahme bei  $k^g$  und eine stärkere bei  $k^a$ .



**Bild 15.** Konzentrationsfaktor beim Sprühen mit Düsen 1,2 mm  $\phi$ ,  $p = 30$  bar, sonstige Bedingungen wie bei Bild 9 und 10.

Zahlreiche Versuche befaßten sich mit dem Einfluß des Luftdurchsatzes  $\dot{E}_L$  und damit der Baugröße der Sprüheräte auf die Arbeitsplatzbelastung. Aus den bei verschiedenen  $\dot{E}_L$  gemessenen Kurven  $k = f(v_{rw})$  wurden für  $v_{rw} = 2$  m/s Werte entnommen und dargestellt, Bild 16. Es zeigt sich, daß bei gleichem  $\zeta_Q$  die Belastung mit Zunahme des Luftdurchsatzes  $\dot{E}_L$  und damit auch der Austrittsgeschwindigkeit geringfügig abnimmt.



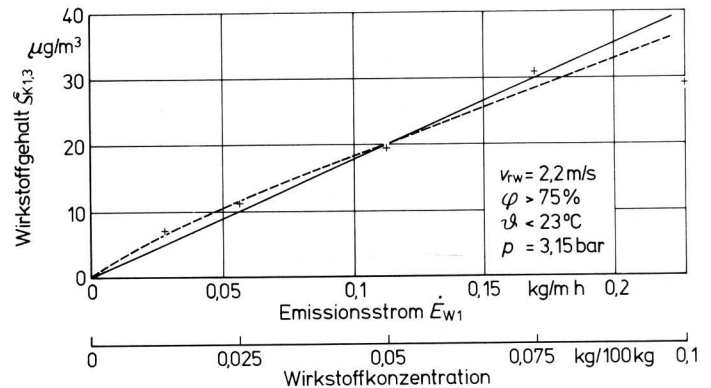
**Bild 16.** Konzentrationsfaktor in Abhängigkeit vom Gebläsedurchsatz;  $\zeta_Q = \text{const.}$ , 12 Düsen (2 mm  $\phi$ ) im Halbkreis angeordnet,  $v_{rw} = 2$  m/s, NaCl-Lösung.

Bei den Sprüheräten gibt es verschiedene Luftführungssysteme [4], 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 Fahrzeuglängsachse nicht durch Gebläseluft beaufschlagt – solche Lösungen sind üblich, wenn der Pflanzenbestand oberhalb des Fahrweges

(der Gasse) nicht geschlossen ist – dann sinkt die Belastung z.B. für  $v_{rw} = 1,5$  m/s und sonst gleichen Bedingungen beim atembaren Gehalt um 22 % für  $s_A = 2$  m, um 14 % für  $s_A = 3,5$  m und beim Gesamtgehalt um 5 % bei  $s_A = 2$  m und um 16 % bei  $s_A = 3,5$  m. Wird der nicht beaufschlagte Sektor weiter vergrößert, setzt sich dieser Trend fort.

### 3.6 Vergleich der Belastung bei Verwendung des Referenzstoffes und eines Pflanzenschutzmittels

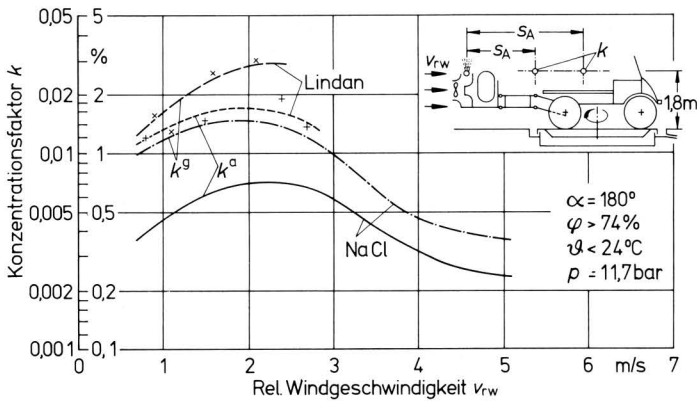
Bei den Spritzversuchen wurde festgestellt, daß die Belastung bei Lindan bis zu 80 % höher liegen kann als beim Referenzstoff NaCl. Nach Windkanalmessungen, Bild 17, ist die Beziehung zwischen Belastung (Wirkstoffgehalt) und Wirkstoffkonzentration der Spritzflüssigkeit mit guter Näherung als lineare Funktion (durchgezogene Linie) anzusehen; die Unterschiede zur Ausgleichsfunktion der Meßwerte (gestrichelte Linie) sind gering.



**Bild 17.** Wirkstoffgehalt in der Luft an einem Ort in 1,3 m Höhe im Transmissionsstrom in Abhängigkeit von der Wirkstoffkonzentration, Meßpunkte, Ausgleichskurve (gestrichelte Kurve) und Kurve für eine lineare Abhängigkeit (durchgezogene Kurve); Versuche im Windkanal, Lindan.

Als Gründe für die wesentlich höhere Belastung bei Lindan sind zu nennen: die durch die anderen Stoffeigenschaften bedingte veränderte Tropfengrößenverteilung und eine nicht einheitliche Wirkstoffkonzentration in den Tropfen. So kann der Lindangehalt in den feinen Tropfen höher liegen. Es gibt aber noch einen weiteren Grund: Auch das Spritzfahrzeug wird durch den Abdriftstrom kontaminiert. Durch Verdunstung gehen Wirkstoffe in den gasförmigen Zustand über und gelangen so an den Arbeitsplatz. Diese Verdunstung ist an den erwärmten Bauteilen, z.B. an der Auspuffanlage, besonders hoch. Da Kochsalz wesentlich weniger als das Pflanzenschutzmittel verdunstet, erklärt sich ein Anteil der höheren Belastung bei Lindan durch diesen Vorgang (sekundäre Quelle). Wie hoch der Unterschied beim Sprühen ausfällt, zeigt Bild 18.

Der Konzentrationsfaktor für den Gesamtgehalt liegt bei Lindan im Vergleich zum Referenzstoff NaCl im Mittel um etwa 70 % höher. Ursache hierfür ist im wesentlichen die sekundäre Quelle,



**Bild 18.** Konzentrationsfaktor beim Sprühen von Lindan und NaCl-Lösung.

nämlich die Verdunstung von Lindan an den heißen oder erwärmten Oberflächen des Schleppers und in der erwärmten Kühl- und Abluft. \*)

Beim atembaren Gehalt liegt die Belastung um etwa 160 % höher. Dies ist verständlich, weil sich hierbei nicht nur die sekundäre Quelle auswirkt, sondern auch der höhere Anteil an feinen Tropfen und der höhere Wirkstoffgehalt in den feinen Tropfen.

Für Drift- und Belagsmessungen hat sich der Farbstoff Brillant-Sulfoflavin (BSF) als Tracer bewährt [1]. Auch für Untersuchungen über die Arbeitsplatzbelastung ist dieser Referenzstoff geeignet. Aus diesem Grund wird im Institut außer NaCl auch BSF eingesetzt. Dazu war zu prüfen, ob und inwieweit sich die Ergebnisse bei Verwendung der genannten Stoffe unterscheiden. Es zeigte sich, daß die Unterschiede im Rahmen der allgemeinen Meßgenauigkeit liegen, im Windkanal beispielsweise innerhalb von  $\pm 5\%$ , wenn man sicherstellt, daß die Abscheidegüte des Filters (bei kleinen Teilstrommengen auch Impinger) im Probennehmer für die verschiedenen Tracer etwa gleich und der Farbstoff bei der Fluorimetrie nahezu vollständig erfassbar ist.

Glasfaserfilter haben eine hohe Abscheidegüte für flüssige und feste Teilchen, aber einen nicht immer hinreichenden "Wiederfindungsgrad" für BSF. Bei Filtermedien aus  $\alpha$ -Zellulose ist es umgekehrt. Der "Wiederfindungsgrad" ist hoch, die Abscheidegüte aber nicht immer befriedigend, weil sie stark von der Teilchengröße und für den Anwendungsfall daher von der Luftfeuchtigkeit abhängt.

Unbeschadet der Eignung verschiedener Referenzstoffe, ist für die abschließende Beurteilung der Belastung durch einen Wirkstoff der Unterschied zur Belastung mit dem Tracer in entsprechenden Versuchen zu ermitteln. Dies ist für die in diesem Bericht mitgeteilten Ergebnisse nur für Lindan geschehen. Es ist Aufgabe einer laufenden Arbeit, solche Messungen für weitere repräsentative Pflanzenschutzmittel durchzuführen.

## 4. Belastungsprognosen

### 4.1 Allgemeine Berechnungsgrundlagen

Zur Vorausberechnung der Belastung ist an die Art der Einflußgrößen zu erinnern. Es gibt zwei Gruppen, nämlich einerseits die vom Anwender voll vorgebbaren Größen wie Aufwand, Emissionsstrom, Fahrgeschwindigkeit, Gerätebauart, Spritzdruck und Spritzbalkenhöhe und andererseits die im Verlauf der Ausbringungsarbeiten nur hinsichtlich etwaiger Grenzwerte festlegbaren, sich sonst aber stochastisch verändernden Umgebungsbedingungen, die sich vor allem in der relativen Windrichtung und -geschwindigkeit abbilden.

In Abschn. 3 wurde die Abhängigkeit dieser Einflußgrößen mitgeteilt. Damit läßt sich für jeden Arbeitsablauf mit konstanten Bedingungen die jeweilige Belastung ermitteln. Da sich die Umge-

\*) Durch den Schlepper als sekundäre Quelle ist auch bei relativem Gegenwind eine Belastung möglich.

gebungsbedingungen aber wie oben dargelegt ändern, ergibt sich für den Anwender als Summe für die verschiedenen Arbeitsabläufe ein Belastungskollektiv.

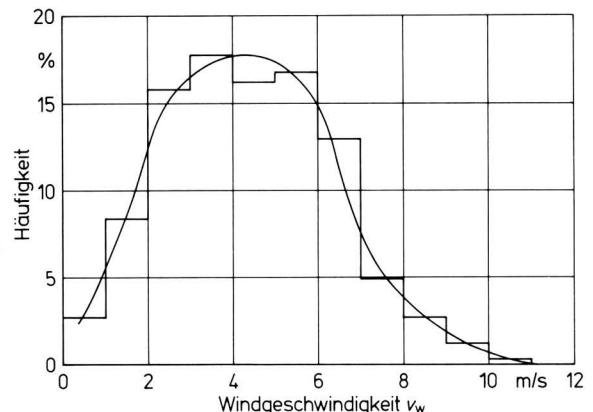
Für Prognosen interessieren nicht die vollständigen Belastungsverteilungen, sondern nur einige herausragende Werte, wie die höchste mögliche und die mittlere Dauerbelastung, daneben noch die Spitzenbelastung.

Die Spritzbelastung ergibt sich unmittelbar aus den Kurven nach Abschn. 3 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 größer als die Windgeschwindigkeit wäre, gäbe es praktisch nur Gegenwind. Es ist somit davon auszugehen, daß die Häufigkeit des Gegenwindes stets 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 Rechengang 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 19**, und Aufteilung in einzelne Klassen, beispielsweise mit einer Klassenbreite von je 0,5 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. Den Sektoren werden die den relativen Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen zugehörigen Belastungswerte (aus den Bildern nach Abschn. 3) 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.



**Bild 19.** Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit für die Zeit von 8–16 Uhr im Raum Braunschweig; Messungen vom 1.8.1978–30.7.1979.

#### 4.2 Spritzen mit Unimog mit Front- und Heckanbau sowie 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 und der maximalen Windgeschwindigkeit zeigt Bild 20.

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

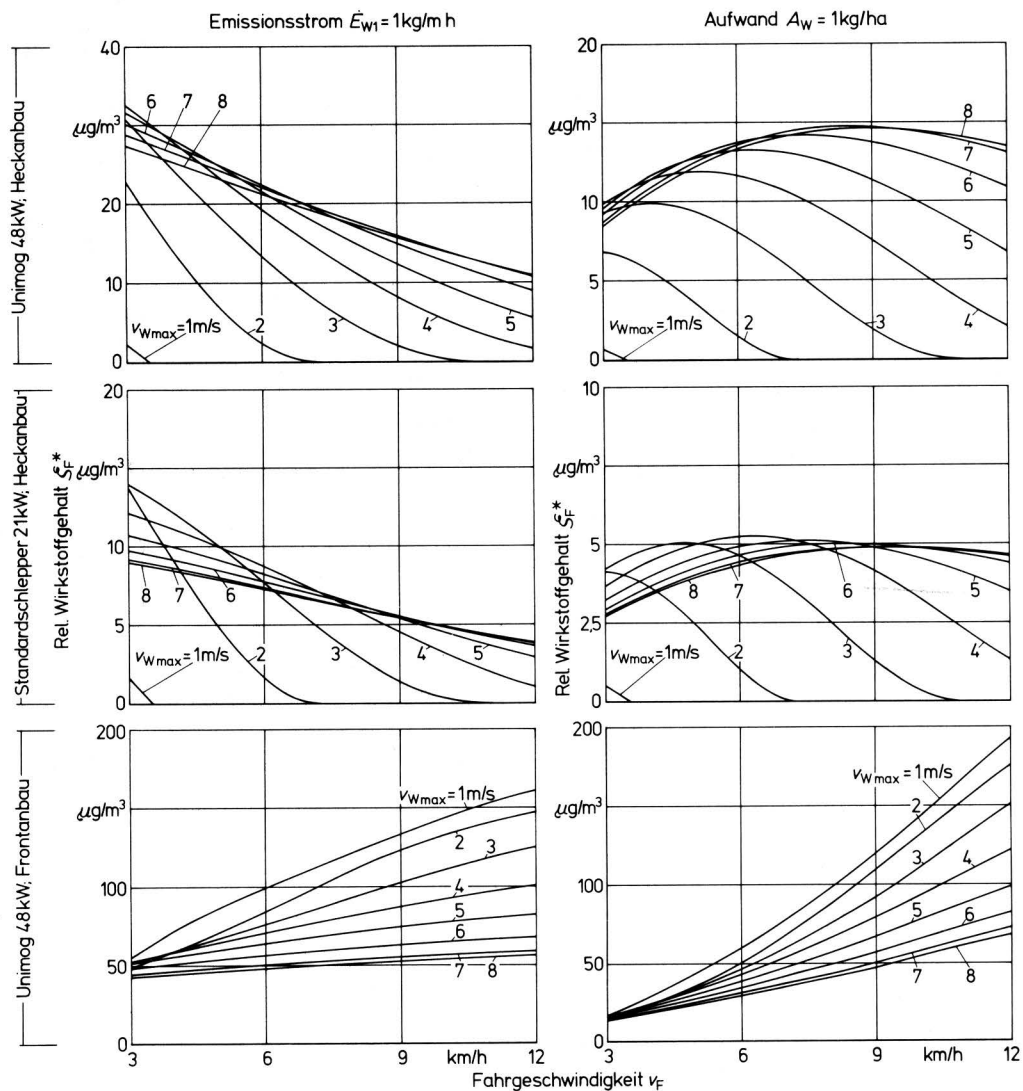
**Tafel 2.** Vergleich der Arbeitsplatzbelastung (rel. Wirkstoffgehalt  $\zeta_{VF}^*$  in  $(\mu\text{g}/\text{m}^3)/(\text{kg}/\text{m h})$ ) beim Spritzen mit Front- und Heckanbau,  $h_B = 0,6 \text{ m}$ , Unimog offener Fahrerplatz und Standardschlepper. Für geringen Pflanzenbestand gilt  $\zeta_F^*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

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 20) hinsichtlich der Belastung eindeutig günstiger als der Frontanbau (untere Diagramme) zu beurteilen (unterschiedliche Ordinatenmaßstäbe sind zu beachten).

Das Bild 20 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  $1 \text{ kg/ha}$  vor, so sind die  $\zeta_F$ -Werte dem Aufwand proportional zu verändern. Bei anderen als den angenommenen Geräteparametern sind die Änderungen über entsprechende Meßergebnisse umzurechnen (siehe auch [2]).



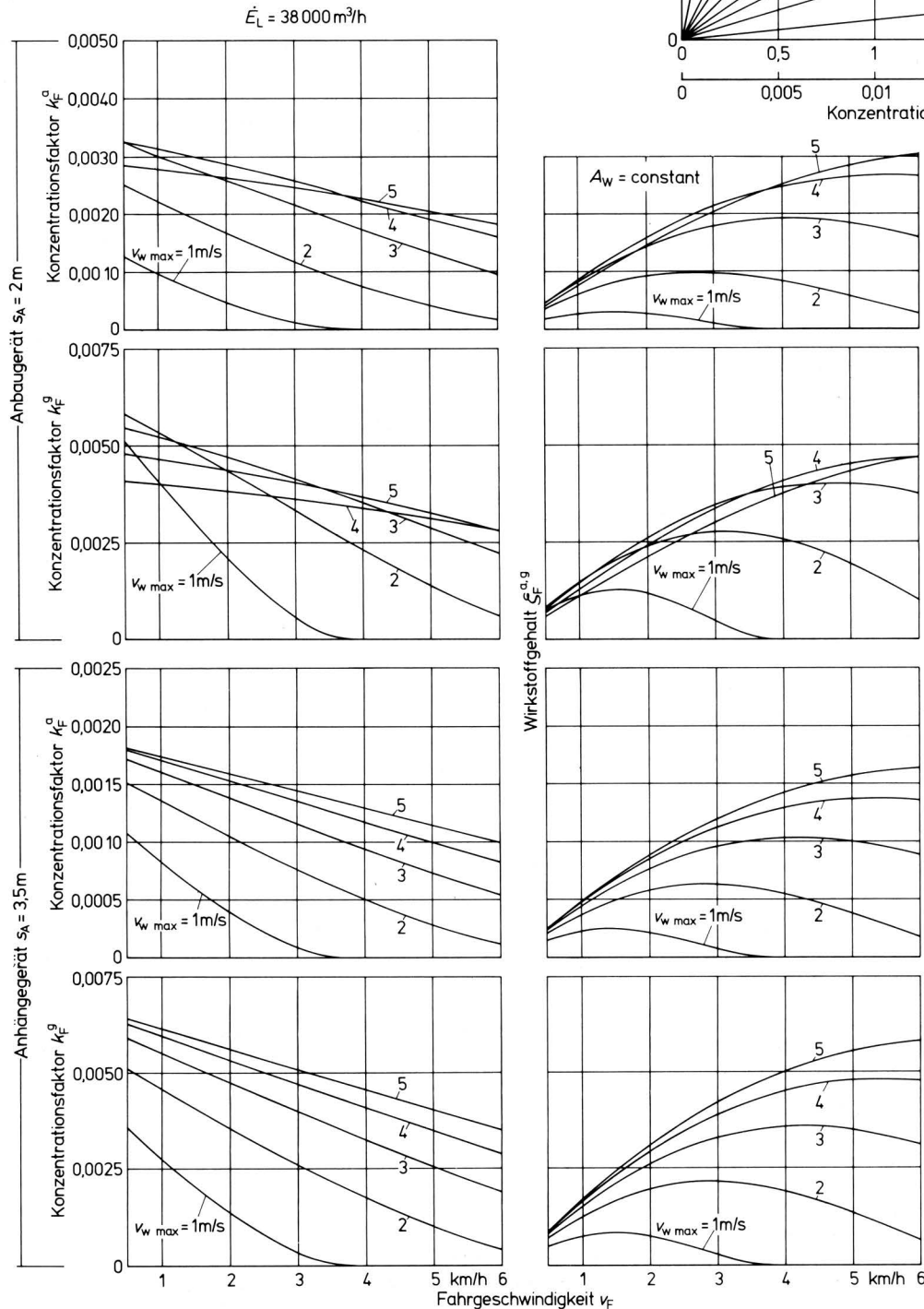
**Bild 20.** Mittlere Belastung beim Spritzen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit mit der max. Windgeschwindigkeit als Parameter;  $\dot{E}_{W1} = 1 \text{ kg}/\text{m h}$  bzw.  $A_W = 1 \text{ kg}/\text{ha}$ , Geräteparameter in den Bildern in Abschn. 3, z.B. Düsen FU 11,5/120°,  $p = 3,15 \text{ bar}$ , kein oder geringer Pflanzenbestand, Referenzstoff NaCl,  $h_B = 0,6 \text{ m}$ , offener Fahrerplatz (zu beachten ist die unterschiedliche Ordinatenenteilung bei den verschiedenen Fahrzeugen).



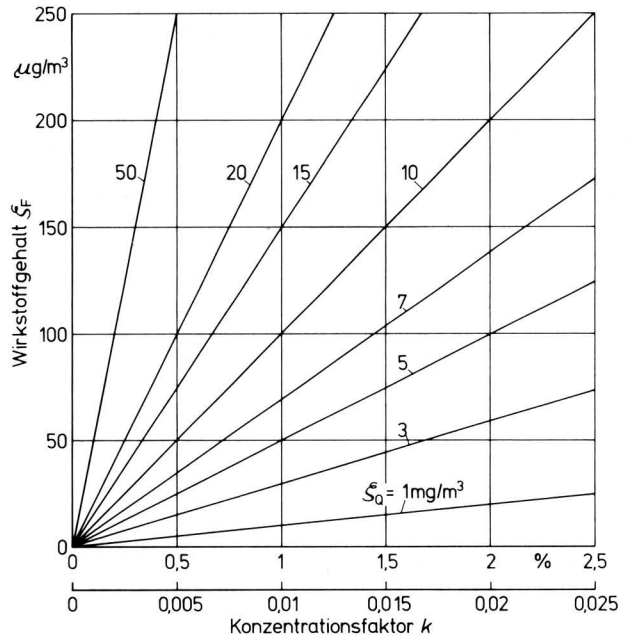
### 4.3 Ausbringen durch Sprühen

Die Spitzenbelastungen sind aus den Bildern von Abschn. 3.5 direkt zu entnehmen. Für die höchste mögliche Dauerbelastung ist bei einer Folge von Hin- und Rückfahrten wegen der Heckanordnung der Sprüheräte die Hälfte der Spitzenbelastung anzusetzen. Für die mittlere Belastung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und der maximalen Windgeschwindigkeit gilt **Bild 21**. In Verbindung mit **Bild 22** 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.



**Bild 22.** Wirkstoffgehalt  $\zeta_F$  beim Sprühen als Funktion der Emissionskonzentration  $\zeta_Q$  und des Konzentrationsfaktors  $k$ .



**Bild 21.** 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 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 22 zu bestimmen.

## 5. Folgerungen und Maßnahmen, abgeleitet aus den Prognose- und Meßergebnissen

### 5.1 Belastungsvergleiche und 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  $A_W = 0,3 \text{ kg/ha}$ , ein Wert, der bei Insektiziden vorkommen kann. Die Spitzenbelastung, höchste Dauerbelastung und mittlere Belastung für bestimmte Bedingungen sind in **Tafel 3** angegeben.

emissionsstrom an der oberen Grenze gelten. Ebenso wird vergleichsweise eine hohe obere Windgeschwindigkeit zugelassen. Die in **Tafel 3** angegebenen Prognosewerte, die für reine Ausbringzeiten gelten, stimmen unter Berücksichtigung der jeweiligen Bedingungen recht gut mit im praktischen Einsatz gemessenen Belastungen überein, sowohl mit Messungen, über die im USA-Schrifttum berichtet wird [1, 5], als auch mit eigenen Messungen [2].

Zur vertieften Abschätzung des Anwenderrisikos wird neben dem MAK-Wert vielfach auch noch die respiratorische, die dermale und die orale Belastung ermittelt und mit Kriterien wie letale Dosis, acceptable daily intake oder ähnlichen toxikologischen Kennwerten bewertet.

		Spritzen		Sprühen				
Geräte- und Arbeits- daten	Wirkstoffemission $\dot{E}_W$	kg/h	3	0,76				
	Fahrgeschwindigkeit $v_F$	km/h	10	3				
	Windgeschwindigkeit $v_W$	m/s	$0,5 < v_W < 7,5$	$0,25 < v_W < 3,25$				
	Arbeitsbreite b	m	10	8,5				
	Düsen		FU 11,5/120°	2 mm, 12 Stück				
	Spritzdruck p	bar	3,15	11,7				
	Luftdurchsatz $\dot{E}_L$	m <sup>3</sup> /h	—	38000				
	Emissionskonzentr. $\zeta_Q$	mg/m <sup>3</sup>	—	20				
	Balkenhöhe $h_B$	m	0,6					
	Geräteanbau		Heck	Front				
Abstand zur Quelle $s_A$	m	3,5	2,5	2	3,5			
Belastungsgröße		$\zeta_F$	$\zeta_F$	$\zeta_F^a$	$\zeta_F^g$	$\zeta_F^a$	$\zeta_F^g$	
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

**Tafel 3.** Vergleich der Arbeitsplatzbelastung beim Spritzen mit der beim Sprühen von Raumkulturen mit einem Wirkstoffaufwand  $A_W = 0,3 \text{ kg/ha}$ ; 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 Belaubung

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  $A_W = 0,3 \text{ kg/ha}$  ausbringt und für den Wirkstoff einen MAK-Wert von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ansetzt (z.B. Methyl-Parathion), die unbedenklichen Belastungsbereiche im Mittel nicht verlassen. Dabei ist zu bedenken, daß die Werte in **Tafel 3** für ununterbrochenes Ausbringen und für einen Wirkstoff-

Dies war der Grund hinsichtlich der Arbeitsplatzbelastung nach Gesamt- und atembarem Gehalt zu unterscheiden. Mit einem angenommenen Atemvolumen von  $1,75 \text{ m}^3/\text{h}$  läßt sich die respiratorische Belastung aus dem atembaren Gehalt  $\zeta_F$  in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  errechnen:

$$\text{eingatmete Menge } (\mu\text{g}/\text{h}) = 1,75 \cdot \zeta_F$$

Der so ermittelte Wert ist als ein oberer Grenzwert anzusehen, weil die in die Atemwege eingeströmten Mengen wegen der instationären Strömung und anderer Effekte etwas niedriger liegen.

Die dermale Belastung läßt sich aus dem Wirkstoffgehalt bei Kenntnis der Tropfengröße, der Luftströmungen und der Form der Hautflächen errechnen. Es existieren teilweise umfangreiche Theorien zur Abscheidung von Partikeln an umströmten Körpern. Da aber die Form der Hautflächen von großer Vielfalt ist, die Anströmvorgänge stochastisch verteilt sind und über das Tropfengrößenspektrum meist keine genauen Werte vorliegen, muß man bei einer solchen Berechnung von einem entsprechenden Ungenauigkeitsgrad ausgehen. Untersuchungen zur Verbesserung der Aussagefähigkeit für diese Bedingungen sind angelaufen.

Die dermale Belastung beträgt meist ein Vielfaches der respiratorischen. Jedoch ist die perkutane Toxizität der Wirkstoffe meist beträchtlich niedriger. Zudem ist es relativ einfach möglich, die Haut zu schützen.

Zur Beurteilung des Anwenderrisikos ist weiter die Aufenthaltsdauer des Beschäftigten am belasteten Arbeitsplatz von Bedeutung. Das Arbeitszeitprofil ist abhängig von Betriebsgröße, -struktur und Produktionsrichtung außerordentlich verschieden.<sup>1)</sup> Man kann davon ausgehen, daß wegen einer gewissen Spezialisierung der Anteil der Pflanzenschutzarbeiten für die mit diesen Arbeiten beschäftigten bei sonst ähnlichen Bedingungen mit der Größe des Betriebes zunimmt und bei Lohnunternehmen am größten sein kann. Auf jeden Fall liegen die realen Belastungen deutlich unter den Belastungen, die bei einer vollen und ausschließlich mit Applikation ausgefüllten Arbeitszeit auftreten.

Eine insbesondere von der Sorgfalt abhängige Belastung ist bei den der Applikation vor- und nachgeschalteten Arbeiten wie z.B. Herstellung der Spritzlösung, Reinigung der Geräte anzunehmen. Auf die bei diesen Arbeiten durch Kontakt mit den Konzentraten beim Transport, Befüllen und anderen Handhabungen möglichen Belastungen [6] wird hier jedoch nicht eingegangen. Diese Arbeit beschäftigt sich nur mit der Belastung durch luftgetragene Teilchen.

Eine insbesondere von der Sorgfalt abhängige Belastung ist bei den der Applikation vor- und nachgeschalteten Arbeiten wie z.B. Herstellung der Spritzlösung, Reinigung der Geräte anzunehmen. Auf die bei diesen Arbeiten durch Kontakt mit den Konzentraten beim Transport, Befüllen und anderen Handhabungen möglichen Belastungen [6] wird hier jedoch nicht eingegangen. Diese Arbeit beschäftigt sich nur mit der Belastung durch luftgetragene Teilchen.

<sup>1)</sup> Im Institut für Betriebstechnik der FAL sind Untersuchungen über das Arbeitszeitprofil beim Spritzen und Sprühen angelaufen.

## 5.2 Möglichkeiten zur Senkung der Arbeitsplatzbelastung

Die in dieser und einer früheren Arbeit [2] mitgeteilten Ergebnisse zeigen die grundsätzlichen Wege und deren Erfolge bei der Minderung des Anwenderrisikos. Nachfolgend sind Möglichkeiten zur Senkung der Arbeitsplatzbelastung mit Ausnahme der Schutzmaßnahmen zusammengestellt. (Derzeitiger Stand der Technik und optimierte Mittelverwendung durch entsprechende Wahl von Zeitpunkt, Mittel, Aufwand usw. vorausgesetzt).

### Anwender

Spritzen: Anzustreben ist Heckanordnung des Spritzgerätes, hohe Fahrgeschwindigkeit, niedrige Windgeschwindigkeit und niedrige Spritzbalkenhöhe (Bei sehr hohen Spritzbalkenanordnungen Maßnahmen wie beim Sprühen s.u.).

Sprühen: Zulässige Windgeschwindigkeit so wählen, daß am Fahrerplatz möglichst nur Gegenwind herrscht, bzw. Fahrgeschwindigkeit und Fahrtrichtung so abstimmen, daß Drift nicht auf den Fahrerplatz gerichtet ist. Wenn Fahrten mit Rückenwind nicht zu vermeiden sind, diese u.U. als Leerfahrten ausführen. Bei stärkerem Seitenwind Düsen auf der Luvseite abschalten. Sektor oberhalb des Sprühgerätes (Fahrschneise) von Sprühmittel freihalten, außer es sind auch in diesem Bereich Pflanzenteile zu behandeln.

### Gerätehersteller

Spritzen: Frontanbau vermeiden, Feinanteil der Tropfen beim Verdüsen weitestgehend ausschalten (Driftreduktion).

Sprühen: Feinanteil der Tropfen beim Verdüsen so gering wie möglich halten, Gebläseluftaustritt radial, aber mit einer Komponente nach hinten, also entgegen der Fahrtrichtung, waagerechter Abstand zwischen Sprühgerät und Fahrerplatz so groß wie möglich.

### Mittelhersteller

Das Produkt aus Toxizität und Aufwand des Mittels klein halten. Niedriger Dampfdruck des Mittels einschließlich der Formulierstoffe ist günstig.

Die vorstehenden Maßnahmen sind geeignet, die Belastung zu senken. In einigen Sonderfällen, dazu gehört auch das Spritzen unter Dach, ist an Schutzmaßnahmen zu denken.

## 5.3 Schutzmaßnahmen

Es zeigt sich, daß man sowohl beim Spritzen wie auch beim Sprühen die MAK-Werte durch anwendungstechnische Maßnahmen im Grundsatz einhalten kann. Es gibt aber Bedingungen – wie sehr hohe Spritzbalkenanordnungen (z.B. bei der Behandlung von Raumkulturen [4]), Frontanbau oder bestimmte Bestände beim Sprühen wie z.B. auch über der Fahrschneise geschlossene Bestände – wo man an der Grenze liegen kann. Insbesondere in solchen Fällen ist an Schutzmaßnahmen zu denken.

Dazu gibt es zwei Möglichkeiten, nämlich die Fahrerkabine und die Schutzkleidung. Beide Möglichkeiten können in richtiger Gestaltung ein Gesundheitsrisiko voll ausschließen.

### Fahrerkabine

Die normale, geschlossene Fahrerkabine mit etwa 40–60 Pa Überdruck reduziert die Gesamtbelastung beim Sprühen zumindest auf den atembaren Gehalt. Aber auch die atembaren Teilchen werden durch das Zuluftfilter zu einem großen Teil abgeschieden. Je nach Dampfdruck erfolgt jedoch anschließend eine gewisse Verdunstung der abgeschiedenen Teilchen. Die Schutzwirkung wird daher in hohem Maße von diesem Vorgang bestimmt. Will man auch die gasförmige Komponente abscheiden, so ist der Einbau eines Aktivkohle-Filters oder eines entsprechenden Abscheiders vorzusehen. Insgesamt gesehen kann man aber bereits mit einer richtig ausgelegten Fahrerkabine in normaler Bauart das Gesundheitsrisiko erheblich mindern [5]. Nur in wenigen Fällen wird man an den Einbau eines zusätzlichen Abscheiders in der Zuluft denken müssen.

## Personengetragene Schutzeinrichtungen

Eine Schutzkleidung gegen dermale Belastung steht im Grundsatz zur Verfügung [6]. Will man auch den atembaren Anteil ausschalten, so ist die schultergetragene Haube mit Aktivkohle-Filter in der Zuluft (z.B. Bauart Helmet-Protector), der für den Anwendungsfall geeignete Atemschutzhelm oder auch die Atemmaske einzusetzen.

## 6. Zusammenfassung

Es wurden Versuche durchgeführt mit dem Ziel, Grundlagen für Belastungsprognosen in Abhängigkeit von dem beim Spritzen und Sprühen emittierten Wirkstoffstrom zu erarbeiten. Die möglichen Belastungen bei den der Applikation vor- oder nachgeschalteten Tätigkeiten wurden nicht behandelt. Die Prognosewerte geben im Vergleich mit den MAK-Werten, der letalen Dosis oder anderen toxikologischen Kennwerten Aufschluß über das Anwenderrisiko. Es zeigt sich, daß bei Einhaltung der empfohlenen Aufwandmengen, bei Verwendung von Geräten, die den Anforderungen der BBA entsprechen, und bei einer entsprechenden Ausbringungstechnik ein Gesundheitsrisiko für den Anwender im allgemeinen nicht besteht. In einigen Fällen kann man in einem Grenzbereich liegen, so z.B. beim Spritzen mit großen Spritzbalkenabständen zum Boden (Spritzbalkenhöhe über etwa 1,4 m und Atembereich z.B. etwa 1,8 m über dem Boden) und niedrigen Fahrgeschwindigkeiten und beim Sprühen in hohen Raumkulturen. In diesen Fällen ist an Schutzmaßnahmen zu denken.

Der Frontanbau von Spritzgeräten ist im Vergleich zum Heckanbau hinsichtlich der Arbeitsplatzbelastung ungünstiger zu bewerten. Beim Sprühen ist der Gesamtwirkstoffgehalt am Arbeitsplatz oft doppelt so hoch wie der atembare Gehalt. Daher empfiehlt sich beim Sprühen ein Schutz gegen die dermale Belastung.

Die Prognosewerte beziehen sich auf den offenen Fahrerplatz, bestimmte Wirkstoffe, verschiedene Umgebungsbedingungen und häufig vorkommende Geräteparameter. Liegen andere als im Bericht genannte Bedingungen vor, auch als Folge möglicher neuer Entwicklungen wie rotierende Düsen oder eine elektrostatische Aufladung, so sind die Belastungsunterschiede in einigen Prüfstandversuchen zu ermitteln und als Korrekturfaktor in die Prognoserechnung einzubringen. Bei der Weiterführung dieser Arbeit werden solche Untersuchungen durchgeführt.

Für das Anwenderrisiko ist weiter zu berücksichtigen, daß die Prognosewerte für die Dauer der Emission (Applikation) gelten. Zur Bestimmung der stündlichen, täglichen oder wöchentlichen Belastung ist daher noch das Arbeitszeitprofil heranzuziehen.

### 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		
F		am Fahrerplatz eines Spritz- oder Sprühfahrzeuges im Feldeinsatz; Meßstelle Atembereich
K1,3		im Windkanal; Meßstelle im Abdriftstrom 1,3 m über dem Boden
Q		im Trägerluftstrom bei Austritt aus dem Sprühgerät
V		Versuchsstand

VF		Versuchsstand mit Spritz- oder Sprühfahrzeug, Meßstelle Atembereich am Fahrerplatz
hochgesetzte		
a		atembare Wirkstoffanteil beim Sprühen
g		gesamter Wirkstoffanteil beim Sprühen
20		Wirkstoffgehalt oder Verdünnungsfaktor beim Sprühen, wenn im Trägerluftstrom an der Quelle ein Wirkstoffgehalt von $\xi_Q = 20 \text{ mg/m}^3$ vorliegt
Emissionen		
$\dot{E}_W$	kg/h	Emissionsstrom aus Wirkstoff; Wirkstoff = aktiver Bestandteil im Präparat, d.h. im Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel
$\dot{E}_{W1}$	kg/m h	Emissionsstrom aus Wirkstoff pro m Spritzbreite
$\dot{E}_L$	$\text{m}^3/\text{h}$	Gebläse-Luftstrom beim Sprühen
Luftbewegungen und Luftzustände		
$v_{rw}$	m/s	relative Windgeschwindigkeit
$v_w$	m/s	Windgeschwindigkeit
$v_{w \text{ max}}$	m/s	obere zugelassene mittlere Windgeschwindigkeit (Verteilung nach Bild 19)
$\alpha$	°	Windeinfallswinkel (relative Windrichtung), Winkel zwischen Fahrzeuglängsachse und Windrichtung (bei axialem Gegenwind ist $\alpha = 0$ )
$\varphi$	%	relative Luftfeuchte
$\vartheta$	°C	Lufttemperatur
Abmessungen		
b	m	Spritzbreite = Anzahl der Düsen x Düsenabstand
h	m	lotrechter Abstand vom Boden
$h_B$	m	Abstand zwischen Boden und Spritzbalken
$s_A$	m	horizontaler Abstand zwischen Meßstelle und Spritzbalken bzw. Sprühgerät

V	$\text{m}^3$	Behälterfüllung
andere Formelzeichen		
$A_W$	kg/ha	Aufwand an Wirkstoff je Hektar
c	%	Massenanteil des Wirkstoffes in der Spritzflüssigkeit
p	bar	Spritzdruck — gemessen vor der Düse
t	s, h	Spritzdauer
$v_F$	m/s, m/h	Fahrgeschwindigkeit
$\rho$	$\text{kg/m}^3$	Dichte

### Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] ● *Lee, R.E. jr. (Hrsg.): Air pollution from pesticides and agricultural processes. (264 Seiten, 12 Verfasser, 995 Schrifttumhinweise). 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 ] *Rößbauer, G. u. M. Heindl: Die Gebläsespritze im Hopfenbau. Hopfen-Rundschau Bd. 32 (1981) Nr. 14, S. 283/87.*
- [ 4 ] ● *Lüders, W.: Pflanzenschutzmaschinen und deren Einsatz. Stand 1979. Bezugsquelle: Landesanstalt für Pflanzenschutz Stuttgart.*
- [ 5 ] *Miller, M.L., A.W. Eissler u. J.W. Ackley: Tractor operator enclosure environment during pesticide application operations. ASAE-Paper No. 79-1009.*
- [ 6 ] *Vorsicht beim Umgang mit Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln. AID Schrift Nr. 136.*

## Mikroprozessorsteuerung der Äthanolgärung

Von A.G. Meiering, R.E. Subden und C.L. Pen, Guelph, Kanada\*)

DK 663:62-523

Die Steuerung der Äthanolgärung zielt darauf ab, den Gärungsprozeß in Hinsicht auf kleine Verweilzeit und gute Rohstoffausnutzung optimal ablaufen zu lassen. Die für die absätzig und kontinuierliche Äthanolgärung von Traubenmost entwickelten Simulations- und Steuerungsprogramme zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen simulierten und gemessenen Daten für Mostdichte, Mosttemperatur, Zellkonzentration und Kohlendioxidkonzentration. Mostdichte und Mosttemperatur

lassen sich mit geringem technischem Aufwand kontinuierlich messen und für die Prozeßsteuerung über einen Mikroprozessor nutzen. Solche Steuersysteme können ihre Entscheidungen außer auf die momentan erfaßten Meßwerte auch auf Vorausberechnungen von Simulationsdaten stützen; sie sind bezüglich der Erweiterungs- und Anpassungsfähigkeit herkömmlichen Systemen überlegen und dürften daher in Zukunft vermehrt zum Einsatz kommen.

\*) Dr. A.G. Meiering ist Professor für Biological Engineering und Dr. R.E. Subden Professor für Botanik und Genetik an der Universität Guelph in Guelph, Ontario, Kanada. Dr. C.L. Pen ist Professor an der Landtechnik-Abteilung der Chunghsin Universität in Taichung, Taiwan.

Forschungsmittel für die in diesem Aufsatz beschriebenen Arbeiten wurden vom National Science and Engineering Research Council of Canada, der Weinindustrie Ontarios und dem Ministerium für Landwirtschaft und Ernährung von Ontario zur Verfügung gestellt.