

Grundlagen der Landtechnik

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

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

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

Grundl. Landtechnik Bd. 35 (1985) Nr. 6, S. 177 bis 204

Exposition des Anwenders während der Applikation von Pflanzen- behandlungsmitteln in Gewächshäusern

Von Wilhelm Batel, Braunschweig-Völkenrode*)

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

DK 632.934.1:331.436:631.234

Über die Anwenderexposition in Gewächshäusern findet man im Schrifttum wenig Unterlagen. Die durchgeführten Untersuchungen haben zum Ziel, in Ergänzung zu früheren Untersuchungen im Freiland, weitere Erkenntnisse über die Expositionshöhe und ihre Abhängigkeiten während der Applikation für diesen Fall zu erarbeiten. Es zeigt sich, daß die Lufttemperatur, die Luftströmungen, die Bewegung der Quelle (Düsen) relativ zum Anwender und der Pflanzenbestand von beachtlichem Einfluß sind. Die Abhängigkeiten vom Aufwand an Spritzmittel und anderen Einflußgrößen lassen sich abschätzen.

Aus den Ergebnissen ergeben sich Hinweise für risikominderndes Arbeiten. Die inhalative Exposition liegt deutlich höher als beim Spritzen im Freien, so daß Bedingungen auftreten können, die einen Atemschutz erfordern. Grundsätzlich ist das Risiko durch dermale Exposition abhängig von der Hautpenetration nicht wesentlich höher als das durch die inhalative — auch deswegen, weil ein Schutz der Haut durch einfache Maßnahmen möglich ist.

1. Einleitung

Für die Expositionshöhe beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln lassen sich hinsichtlich der verursachenden kausalen Zusammenhänge drei verfahrensspezifische Bereiche nennen, nämlich

1. die Ausbringung mit balkengetragenen Düsen im Feldbau,
2. Transport der Mittel in den Pflanzenbestand durch technisch erzeugte Luftströme (Airblast-Spraying) — auch mit Sprühen bezeichnet — und
3. Behandlungsarbeiten im Gewächshaus.

Für die beiden zuerst genannten Bereiche, die die Applikation im Freien betreffen, liegen umfangreiche Ergebnisse vor, die auch die Abhängigkeiten der verschiedenen Einflußfaktoren sowie Methoden der Vorausberechnung, also von Prognosen, einschließen [1]. Demgegenüber liegen über die Exposition beim Ausbringen in geschlossenen Räumen, und hierzu gehören im wesentlichen Gewächshäuser, vergleichsweise wenige Untersuchungen vor. Es war daher Ziel von Versuchen, auch für diesen Bereich weitere Erkenntnisse zu erarbeiten. Dabei wird wie bisher die Exposition ermittelt für die direkten Einwirkungen luftgetragener Wirkstoffe während der Applikation.

2. Versuchsaufbau und -durchführung

Die Untersuchungen wurden in einem doppelwandigen Foliengewächshaus als Versuchsraum durchgeführt. Das Gewächshaus hat eine Grundfläche von 12 x 7 m und eine mittlere Höhe von 2,3 m. Das Volumen liegt bei etwa 195 m³, der Mittelgang ist etwa 0,8 m breit. An der Eingangsseite befindet sich ein Quergang, so daß die nutzbare Bodenfläche 66 m² beträgt. Der Grundriß des Versuchsraumes, die Anordnung der genutzten Bodenflächen und das Bewegungsraster der Spritzdüse ist in Bild 1 dargestellt.

Das Foliengewächshaus, das gegenüber der handelsüblichen Ausführung zusätzlich sorgfältig abgedichtet ist, befindet sich in einer Halle, in der sich die Temperatur durch Beheizen einstellen und konstanthalten läßt. Die Temperatur in der Halle liegt geringfügig oberhalb der Solltemperatur im Versuchsraum. Durch diese Art der Beheizung bilden sich nicht Kondensate an den raumumschließenden Innenwänden.

Die Spritzflüssigkeit mit einer Wirkstoffkonzentration von $c_w = 0,025\%$ wird bei konstanter Fahrgeschwindigkeit mit einer Rundstrahldüse und einem geregelten Druck von 3 bar nach dem mit Bild 1 gezeigten Raster bei verschiedenen Düsenhöhen ausgebracht. Als Referenzstoff wird LINDAN verwendet. Der Aufwand an Wirkstoff liegt stets bei 20 mg/m².

Die Versuche in dem Gewächshaus werden sowohl ohne als auch mit Pflanzenbestand durchgeführt. Die Art des Pflanzenbestandes wird durch den Anteil der Beschattungsfläche an der Grundfläche

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

und die Blattfläche bezogen auf die Grundfläche des Pflanzenbestandes gekennzeichnet. Die Zeitdauer der Applikation beträgt im Mittel 9 Minuten einschließlich der Wendezeiten, während deren keine Applikation erfolgt.

Die Luftprobenahme erfolgt in Atemhöhe in der Nähe des Anwenders mit einer schon früher beschriebenen Kältefalle [2]. Diese Kältefalle, die im Mittel einen Luftdurchsatz von etwa $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ erreicht, ist mit einem senkrecht angeordneten Sondenrohr ausgerüstet, in dem die Eintrittsgeschwindigkeit der Luft etwa $1,2 \text{ m/s}$ beträgt. Da die Tropfen atembare ($< 60 \mu\text{m}$) sind und die Luftgeschwindigkeiten im Raum sehr niedrig liegen – die Versuche werden in ruhender oder nur wenig bewegter Luft durchgeführt –, kann die Probenahme als nahezu repräsentativ angesehen werden.

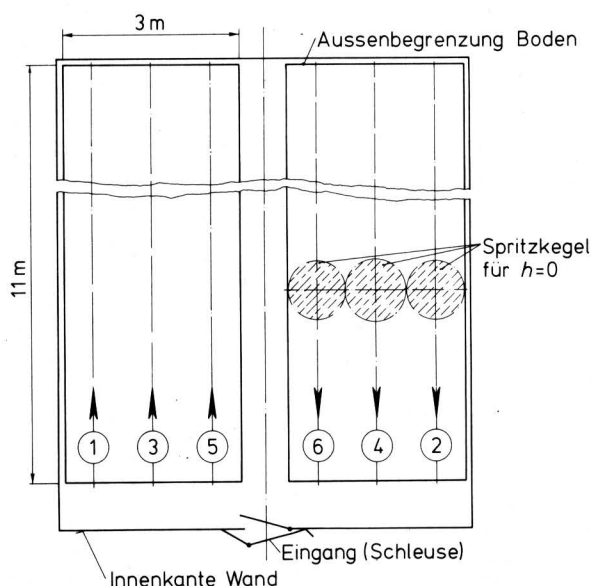


Bild 1. Grundriß des Versuchsraumes und der genutzten Bodenfläche mit Bewegungsbahn der Spritzdüse ($v \approx 0,19 \text{ m/s}$).

3. Versuchsergebnisse

3.1 Wirkstoffgehalt in der Atemluft ohne Pflanzenbestand

Die ersten Versuchsreihen wurden bei verschiedenen Solltemperaturen ohne Pflanzenbestand durchgeführt, um einen Einblick in die zeitliche Entwicklung des Wirkstoffgehaltes zu erhalten. Den zeitlichen Verlauf des Wirkstoffgehaltes in der Atemluft zeigt Bild 2. Die mittleren Gehalte während der Applikation ζ_{GtA} , also während der Dauer t_A , sind dem Zeitpunkt $0,1 \text{ h}$ zugeordnet. Die Bilder zeigen, daß der Wirkstoffgehalt während der Applikation von dem Wert 0 auf einen Wert ζ_{GtAe} ansteigt, um kurz danach einen maximalen Wert ζ_{Gmax} zu erreichen. Es gibt somit drei charakteristische Werte.

Der Verlauf der Kurven erklärt sich im wesentlichen aus der Art der Quelle und der Ausbreitung. Die Ausbreitung nach oben erfolgt im wesentlichen durch turbulente Diffusion. Wird der Wirkstoffgehalt direkt über dem Boden gemessen, so ergibt sich verständlicherweise ein anderer Verlauf, wie Bild 3 zeigt. Hier ist nur die Kurve für die Zeit nach der Applikation dargestellt.

Den Wirkstoffgehalt in der Luft als Funktion der Höhe zeigt zum Zeitpunkt $0,2 \text{ h}$ nach der Applikation Bild 4.

Die sich aus den Versuchen nach Bild 2 ergebenden charakteristischen Werte, nämlich die mittlere Konzentration während der Applikation ζ_{GtA} , die Konzentration am Ende der Applikation ζ_{GtAe} und der maximale Wert ζ_{Gmax} sind in Bild 5 als Funktion der Lufttemperatur dargestellt. Es zeigt sich anschaulich die sehr starke Abhängigkeit des Wirkstoffgehaltes in der Atemluft von der Temperatur im Gewächshaus.

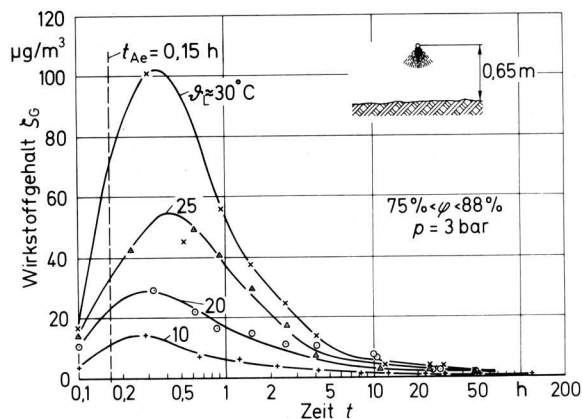


Bild 2. Wirkstoffgehalt (LINDAN) in der Atemluft ($h = 1,55 \text{ m}$) in Abhängigkeit von der Zeit bei verschiedenen Lufttemperaturen. Ort der Probenahme: ortsfest in der Mittellinie des Versuchsraumes; während der Applikation ($t < t_{Ae}$) in der Nähe des Anwenders (ortsveränderlich).

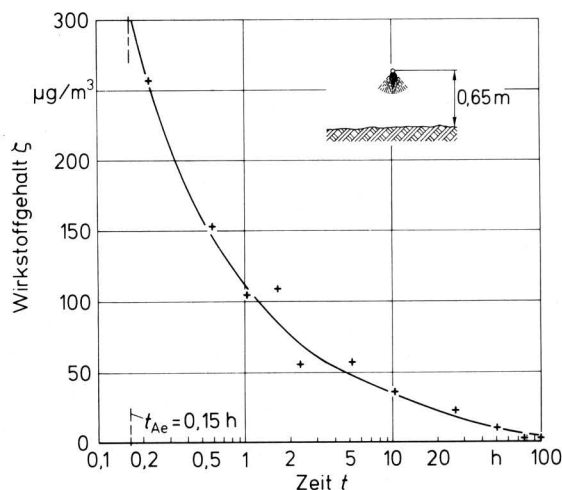


Bild 3. Zeitlicher Verlauf des Wirkstoffgehaltes der Luft unmittelbar über dem Boden ($h = 0,05 \text{ m}$); $\theta_L \approx 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $79\% < \varphi < 84\%$, $A_W = 20 \text{ mg/m}^2$, $p = 3 \text{ bar}$, $\theta_B \approx 23 \text{ }^\circ\text{C}$; Probenahme $1,5 \text{ m}$ neben der Mittellinie.

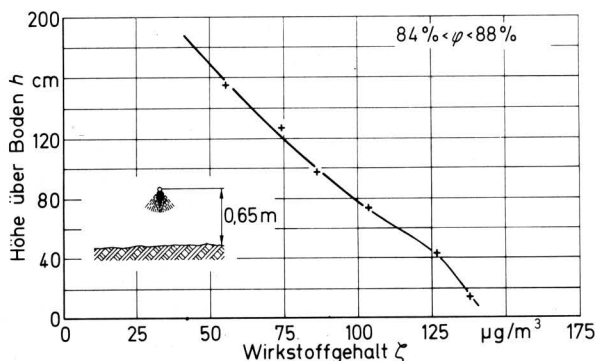


Bild 4. Wirkstoffgehalt der Luft als Funktion der Höhe, $0,2 \text{ h}$ nach Applikationsende, nicht angegebene Bedingungen entsprechend Bild 3.

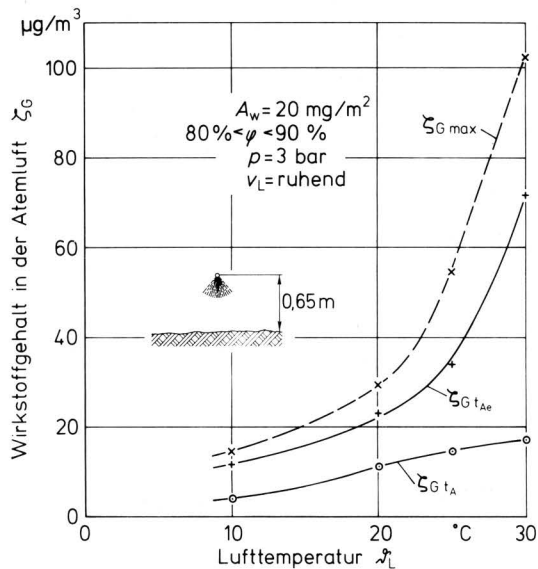


Bild 5. Mittlerer Wirkstoffgehalt während der Applikation ζ_{GTA} , Wirkstoffgehalt bei Applikationsende ζ_{GtAe} und maximaler Wirkstoffgehalt ζ_{Gmax} in Abhängigkeit von der Lufttemperatur im Gewächshaus.

Eine weitere wichtige Einflußgröße ist die Höhe der Düse in bezug auf den Atembereich. Einen Einblick in diese Abhängigkeit zeigt **Bild 6**. Näherungsweise kann man davon ausgehen, daß der Wirkstoffgehalt in der Luft im Atembereich ($h = 1,55 \text{ m}$) etwa linear mit wachsendem lotrechtem Abstand zwischen Atembereich und Düsen abnimmt (für $h - h_D > 0$), bzw. linear mit dem Düsenabstand zum Boden ansteigt. Grundlage dieser Kurve sind Versuchsergebnisse gemäß **Bild 7**.

Die Ausbreitungsbedingungen beim Spritzen werden in hohem Maße von den Luftströmungen im Gewächshaus beeinflusst. Um dies zu zeigen, wurden entsprechende Versuche bei einer horizontalen Luftbewegung von etwa 1 m/s durchgeführt. Diese Strömung wurde mit eingebauten Ventilatoren eingestellt. Die Ergebnisse zeigt **Bild 8**. Der Wirkstoffgehalt ζ_{GTA} liegt fast um das fünffache höher als bei nahezu ruhender Luft.

Insgesamt ergibt sich, daß im Gewächshaus der Wirkstoffgehalt in der Atemluft sehr stark zunimmt mit ansteigender Temperatur, wachsendem Abstand der Düse vom Boden und stärkerer Luftbewegung.

Eine weitere bedeutende Einflußgröße ist der Dampfdruck des Mittels. Da als Referenzstoff nur ein Mittel, nämlich LINDAN, verwendet wurde, lassen sich hierzu keine quantitativen Ergebnisse vorlegen. Entsprechende Versuche sind geplant.

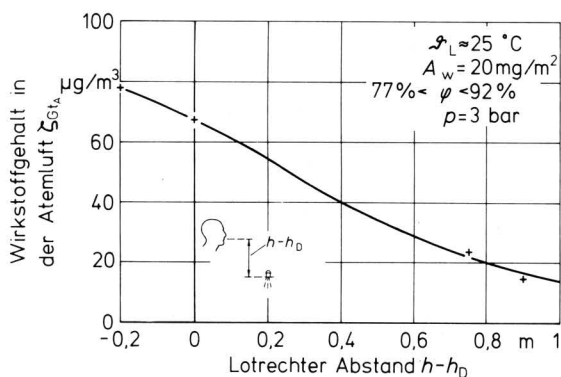


Bild 6. Wirkstoffgehalt in der Atemluft während der Applikation im Gewächshaus in Abhängigkeit vom lotrechten Abstand zwischen Spritzdüse und Atembereich.

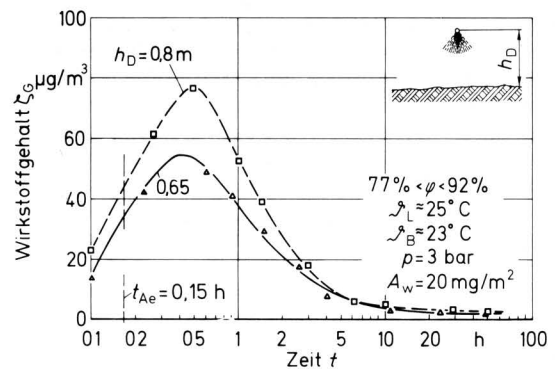


Bild 7. Zeitlicher Verlauf des Wirkstoffgehaltes in der Atemluft für zwei verschiedene Höhen der Spritzdüsen.

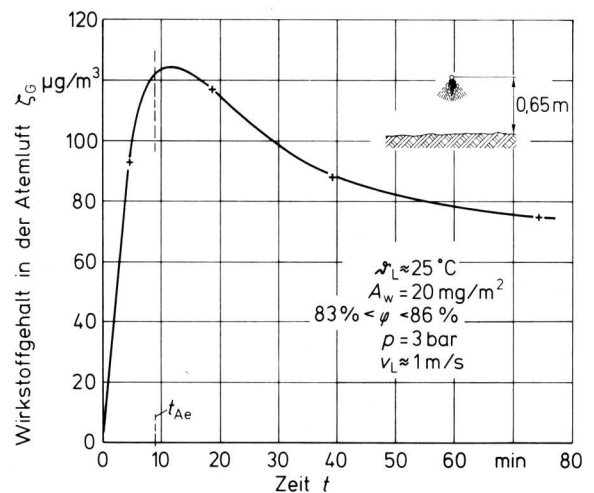


Bild 8. Wirkstoffgehalt in der Atemluft in Abhängigkeit von der Zeit bei einer horizontalen Luftbewegung ($v_L \approx 1 \text{ m/s}$) im Gewächshaus.

3.2 Versuche mit Pflanzenbestand

Den Unterschied im Wirkstoffgehalt der Luft ohne und mit Pflanzenbestand zeigt **Bild 9**. Es ergibt sich, daß mit Pflanzenbestand der Wirkstoffgehalt anfangs niedriger liegt als ohne, nach einer gewissen Applikationsdauer aber deutlich höher. Dafür gibt es mehrere Gründe: Zu Anfang hemmt der Pflanzenbestand die Ausbreitung, gleichzeitig wirkt sich aber die höhere Verdunstung aus. Diese wird noch dadurch unterstützt, daß beim Auftreffen der Tropfen auf Pflanzenteile eine gewisse Reflexion erfolgt. Die hierdurch abspritzenden Partikeln nehmen sowohl an der Ausbreitung als auch an der Verdunstung teil. Auch die Verdunstung von den Blattoberflächen ist von Einfluß.

4. Diskussion der Versuchsergebnisse

4.1 Die Arbeitsplatzbelastung

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, daß im Hinblick auf die Exposition zwischen dem Spritzen im Freien und in einem Gewächshaus wegen der verschiedenen Rahmenbedingungen deutliche Unterschiede bestehen, wenn auch die Vorgänge im Grundsatz ähnlich ablaufen. Die Unterschiede sind vor allem darauf zurückzuführen, daß im Freien der Anteil der Zeit, während der der Anwender von der Abdrift beaufschlagt wird, anders verteilt ist, d.h. es gibt Zeitbereiche ohne oder mit nur geringer Beaufschlagung. Im Gewächshaus treten solche entlastenden Zeiten weniger auf. Dabei ist dar-

an zu denken, wie die Düse in bezug auf den Anwender und die vorliegenden Luftströmungen bewegt wird. Bei den durchgeführten Versuchen ist in den ersten Minuten der Abstand zwischen Düse und Anwender relativ groß, wie das Raster auf Bild 1 zeigt. Demgegenüber liegen die Bewegungsbahnen 5 und 6 ziemlich nahe am Anwender. Aus diesen Bedingungen kann man ableiten, daß bei einem Raster mit geringem Abstand zwischen Düse und Anwender Belastungen während der Applikation auftreten, die dem hier beobachteten Wert am Applikationsende entsprechen.

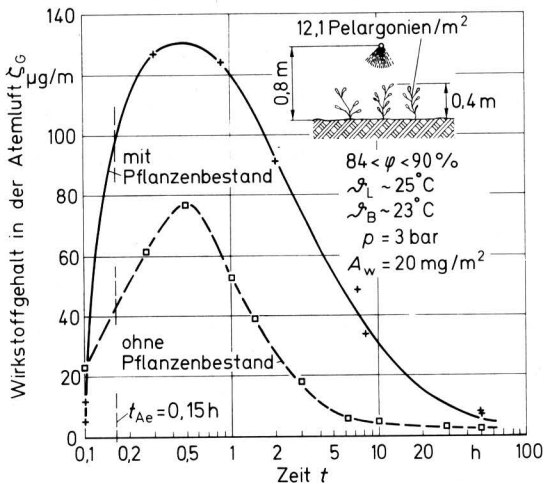


Bild 9. Zeitlicher Verlauf des Wirkstoffgehaltes in der Atemluft im Gewächshaus mit und ohne Pflanzenbestand. Bodenbeschattung durch die Pflanzen etwa 55 %.

Des weiteren ist von Einfluß, wie der Pflanzenbestand im Gewächshaus aufgebaut ist. Befinden sich die Pflanzen beispielsweise auf einem Arbeitstisch, so ist die Düse in Höhe des Atembereiches oder auch darüber zu führen, und es tritt eine höhere Belastung auf.

Welche Folgerungen sind aus diesen Ergebnissen für die praktische Anwendung zu ziehen?

1. Der Abstand der Düse vom Anwender soll möglichst groß sein, und es ist ein Bewegungsraster zu wählen, daß der Anwender sich möglichst in noch unbehandelten Beständen befindet.
2. Es ist dafür zu sorgen, daß während der Applikation in Gewächshäusern möglichst kleine Luftströmungen auftreten, also Luftgebläse abgeschaltet sind und auch thermisch oder anders bedingte Strömungen soweit wie möglich vermieden werden.
3. Es ist bei möglichst niedrigen Temperaturen zu arbeiten, z.B. nicht bei starker Sonneneinstrahlung.

4.2 Arbeitsplatzbelastung bei Veränderung der in den Versuchen konstant gehaltenen Einflußgrößen

Es ist noch zu fragen, welche Arbeitsplatzbelastung ζ_G bei Veränderung der in den Versuchen konstant gehaltenen Einflußgrößen wie Art der Quelle, Aufwand, Art des Wirkstoffes und Größe des Gewächshauses zu erwarten ist.

Grundsätzlich gelten für das Spritzen in Gewächshäusern die gleichen Abhängigkeiten wie beim Arbeiten im Freien, wenn vergleichbare Bedingungen vorliegen. Solche Voraussetzungen treffen zu für die Art der Quelle, z.B. Düsenbauart und Spritzdruck, und auch für den Aufwand, so daß sich die beim Spritzen im Freien gefundenen Ergebnisse für die quantitative Abschätzung der Veränderung heranziehen lassen [1]. So wurde u.a. festgestellt, daß sich die Arbeitsplatzbelastung bei sonst gleichen Bedingungen nahezu proportional mit dem Wirkstoffgehalt in der Spritzflüssigkeit verändert.

Einer der wichtigsten mittelspezifischen Einflußfaktoren ist der Dampfdruck. Liegt dieser niedriger oder höher als der des verwendeten LINDANS, so ist eine entsprechende Veränderung bei der Arbeitsplatzbelastung zu erwarten. Eine quantitative Abschätzung ist noch nicht möglich, weil der Verdunstungsvorgang von dem jeweils vorliegenden Mehrphasensystem, also Tropfengröße, Wirkstoff- und Formulierungseigenschaften, Temperatur, Strömungsbedingungen usw. abhängt. Für diesen Komplex fehlen noch systematische Untersuchungen.

Die Größe des Gewächshauses beeinflusst ebenfalls die Arbeitsplatzbelastung. Da sich die Anwenderexposition aber im wesentlichen aus den Vorgängen im Nahbereich der Quelle ergibt, sind Änderungen, die über Größenordnungen hinausgehen, nicht zu erwarten.

4.3 Abschätzung der inhalativen und dermalen Exposition

Welche Exposition und welches Gesundheitsrisiko ist aus diesen Ergebnissen abzuleiten? Zur Beantwortung dieser Frage ist im ersten Schritt der Bezug zwischen Wirkstoffgehalt am Arbeitsplatz und der Exposition herzustellen. Mögliche Grundlagen für diese Zuordnung sind in früheren Arbeiten vorgelegt worden [3, 4]. Entsprechende Abschätzungen erfordern Hinweise über die Tropfengröße am Arbeitsplatz, die Luftbewegungen relativ zum Anwender und die Art der ungeschützten Hautflächen.

Bei den durchgeführten Versuchen und entsprechenden Bedingungen in der Praxis kann man auch aufgrund von Testmessungen davon ausgehen, daß die Tropfen im Atembereich kleiner als 60 µm und damit atembar sind, d.h. es gilt $\zeta_G^E = \zeta_G^A$. Für die Anströmgeschwindigkeit sind Werte um 1 m/s anzunehmen. Mit diesen Werten sowie den ermittelten Auftreff- und Inhalationsgraden lassen sich die inhalative (β_{resp}) und die dermale Exposition (β_{derm}) bestimmen:

$$\beta_{resp} = \zeta^a Q_{resp} \eta_{resp}$$

$$\beta_{derm} = \zeta^E \epsilon v_{rw} 3600 A_q \frac{A_H}{A} \eta_{derm}$$

Für den Term $Q_{resp} \eta_{resp}$ gilt in guter Näherung ein Wert von 3 m³/h, so daß die stündliche inhalative Exposition mit der Zahlenwertgleichung:

$$\beta_{resp} = 3 \zeta_G \mu\text{g/h}$$

zu bestimmen ist. Bei den verwendeten Einheiten (ζ_G in µg/m³) ergibt sich der Wert der inhalativen Exposition als das Dreifache des Wirkstoffgehaltes.

Für die dermale Exposition mit Kopf, Hals und Händen als ungeschützten Hautflächen gilt näherungsweise

$$\beta_{derm} = \sum \zeta_G \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3600 \cdot A_q \cdot 1 \cdot \eta_{derm}$$

$$= 40 \zeta_G \mu\text{g/h} \quad (\text{Zahlenwertgleichung}).$$

Die nachfolgenden Abschätzungen erfolgen ausschließlich mit dem Ziel, die Größenordnungen zu erfassen.

Die durchgeführten Versuche auch unter Berücksichtigung größerer Gewächshäuser zeigen, daß der Wert ζ_G während der Applikation im Bereich von 5–150 µg/m³ liegt, wenn man von extremen Bedingungen absieht. Als ein häufig auftretender Mittelwert ist $\zeta_G \approx 30 \mu\text{g/m}^3$ abzuschätzen. Dies bedeutet inhalative Expositionen im Bereich 15 < β_{resp} < 450 µg/h, bei einem mittleren Richtwert von $\beta_{resp} \approx 90 \mu\text{g/h}$, und dermale Expositionen im Bereich 200 < β_{derm} < 6000 µg/h bei einem mittleren Richtwert von $\beta_{derm} \approx 1200 \mu\text{g/h}$.

Diese Angaben beziehen sich auf einen Aufwand $A_w = 20 \text{ mg/m}^2$. In guter Näherung verändert sich die Exposition etwa proportional mit A_w , wenn diese Größe bei sonst gleichen Bedingungen über die Wirkstoffkonzentration c_w verändert wird.

Die obigen Abschätzungen werden auch für das Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln durch Spritzen und durch Sprühen im Freien durchgeführt, basierend auf früheren Veröffentlichungen [1]. Es ergibt sich somit ein Gesamtbild nach Tafel 1, wobei nochmals daran zu erinnern ist, daß es sich um die Erarbeitung von Größenordnungen für die Exposition als direkte Einwirkung luftgetragener Wirkstoffe während der Applikation handelt.

Die inhalative Exposition beim Spritzen in Gewächshäusern liegt deutlich höher als beim Spritzen von niedrigen Flächenkulturen im Freien. Sie liegt näher der beim Sprühen.

Die dermale Exposition ist beim Spritzen im Freien und in Gewächshäusern in der Größenordnung etwa gleich. Vergleichsweise hoch ist die dermale Exposition beim Sprühen. Sie beträgt das Zwanzigfache.

Zur toxikologischen Bewertung der Exposition wird für den inhalativen Weg eine vollständige und für den dermalen Weg eine 10 %ige Absorption angenommen. Mit diesen Annahmen für die Bewertung und den Ergebnissen nach Tafel 1 zeigt sich, daß man die dermale Exposition meist als den Hauptrisikofaktor ansehen muß, insbesondere beim Sprühen. Dieses Risiko läßt sich aber durch eine entsprechende Arbeitskleidung beträchtlich vermindern, beispielsweise durch geeignete Handschuhe und Kopfbedeckungen. Beim Sprühen ist zusätzlich eine entsprechende Oberbekleidung zu tragen. Beim Sprühen und beim Spritzen in Gewächshäusern ist bei entsprechend toxischen Mitteln ein Atemschutz zur Risikominderung erforderlich. Entsprechende Hinweise sind den Informationen zum Mitteleinsatz zu entnehmen. Unter Beachtung dieser Empfehlungen ist bei Berücksichtigung des mit Tafel 1 gezeigten Risikopotentials – wovon sich u.a. die bestimmungsgemäße Anwendung ableitet – ein Gesundheitsrisiko auszuschließen.

Unter Beachtung der deutlich geringeren Wirkstoffabsorption bei der dermalen Exposition ist das gesundheitliche Risiko während der Applikation in Gewächshäusern etwa zu gleichen Teilen der inhalativen und der dermalen Exposition zuzuordnen. Unter solchen Verhältnissen ist eine Bewertung des Risikos mit Hilfe der MAK-Werte recht übersichtlich möglich. *) Geht man von dem Risikoverhältnis aus inhalativer und dermalen Exposition von 1 : 1 aus, dann tritt solange kein Risiko auf, wie die Arbeitsplatzbelastung ζ_G den halben MAK-Wert nicht überschreitet. Diese Forderung wird beim Spritzen in Gewächshäusern häufig – aber nicht

immer – erfüllt. Das Auftreten risikobehafteter Fälle läßt sich mit Hilfe der aufgezeigten Abhängigkeiten der Expositionshöhe, der Expositionszeit und der Toxizität der Mittel abschätzen. Dann und in Zweifelsfällen ist Atemschutz und entsprechende Schutzkleidung zu tragen.

5. Zusammenfassung

Die kausalen Zusammenhänge des Wirkstofftransports von der Quelle bis zur Anwenderumgebung bei der Applikation von Pflanzenbehandlungsmitteln in Gewächshäusern stimmen im Grundsatz mit denen überein, wie sie beim Spritzen im Feldbau auftreten. Jedoch liegen durch die raumumschließenden Wände deutlich andere Rahmenbedingungen vor. Dies führt zu anderen Intensitäten der Beaufschlagung des Arbeitsplatzes. Die Messungen zeigen, daß die Exposition – immer bezogen auf die direkte Einwirkung luftgetragener Wirkstoffe während der Applikation – insbesondere abhängt von den Bewegungsbahnen und der Höhe der Spritzdüse in bezug auf den Standort des Anwenders, dem Pflanzenbestand, von der Temperatur und den Luftströmungen im Gewächshaus.

Aus den Ergebnissen lassen sich Hinweise zur Durchführung von Arbeiten zum Pflanzenschutz im Gewächshaus ableiten, um die Exposition während der Applikation auf einem möglichst niedrigen Wert zu halten. Werden die Einflußfaktoren entsprechend berücksichtigt, so kann man davon ausgehen, daß eine gesundheitliche Gefährdung nicht grundsätzlich gegeben ist. Nur bei bestimmten Mitteln und Bedingungen, wie größere Luftgeschwindigkeiten, hohe Düsenführung, ungünstiges Bewegungsraster und hohe Temperaturen, können Expositionen vorliegen, die ein Risiko einschließen. Für solche Zwecke bieten sich entsprechende Schutzmaßnahmen an. Dabei ist daran zu denken, daß die inhalative Exposition eine beachtliche, oft auch die bestimmende Komponente darstellt. In der Größenordnung liegt diese Exposition im Bereich von 15–450 $\mu\text{g}/\text{h}$ mit einem mittleren Richtwert von 90 $\mu\text{g}/\text{h}$. Für die dermale Exposition sind Werte von 200–6000 $\mu\text{g}/\text{h}$ mit einem Richtwert von 1200 $\mu\text{g}/\text{h}$ anzusetzen. Dies bedeutet in manchen Fällen ein gewisses Risiko. Angepaßte Schutzmaßnahmen können aber eine hinreichende Sicherheit ermöglichen. Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Bewertung des Risikos sind – neben der in der vorliegenden Arbeit ausschließlich behandelten Expositionshöhe – die Expositionszeiten. Über die Expositionszeiten liegen Daten vor [5], so daß insgesamt eine Risikoabschätzung möglich ist.

*) Der MAK-Wert bezieht sich in der Regel auf eine vorherrschende inhalative Exposition.

Applikationsverfahren	Wirkstoffgehalt am Arbeitsplatz ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Anwenderexposition ($\mu\text{g}/\text{h}$)	
	atembar ζ^a	gesamt ζ^g	inhalativ β_{resp}	dermal β_{derm}
	Bereich mittl. Richtw.	Bereich mittl. Richtw.	Bereich mittl. Richtw.	Bereich mittl. Richtw.
Im Freien*)				
Spritzen niedrige Kulturen	$\frac{2-40}{8}$		$\frac{4-80}{15}$	$\frac{200-4000}{1000}$
Sprühen (airblast spraying) hohe Kulturen	$\frac{10-200}{40}$	$\frac{50-1000}{200}$	$\frac{20-400}{80}$	$\frac{5 \cdot 10^3 - 100 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3}$
Im Gewächshaus				
Spritzen	$\frac{5-150}{30}$		$\frac{15-450}{90}$	$\frac{200-6000}{1200}$

*) Heckgekoppelte Geräte am Schlepper, offener Fahrerplatz, Wirkstoffaufwand 0,3 kg/ha

Tafel 1. Bereiche mittlerer Expositionshöhen während der Applikation von Pflanzenbehandlungsmitteln (luftgetragene Wirkstoffe). Dermal belastete Körperteile: Hände, Kopf und Hals mit $A = A_H = 0,22 \text{ m}^2$.

Verwendete Formelzeichen

A_W	mg/m ²	Aufwand, pro Flächeneinheit ausgebrachte Wirkstoffmenge
A	m ²	Oberfläche des angeströmten Körperteils
A_H	m ²	ungeschützte Hautfläche des angeströmten Körperteils
A_q	m ²	Querschnittsfläche des angeströmten Körperteils
c_W	%	Wirkstoffgehalt in der Spritzflüssigkeit
h	m	Höhe über Boden
h_D	m	Höhe der Spritzdüse über Boden
p	bar	Druck vor der Düse
Q_{resp}	m ³ /h	stündlich eingeatmete Luftmenge
t	h	Zeit ab Applikationsbeginn
t_A	h	Zeitdauer der Applikation
t_{Ae}	h	Zeit, Applikationsende
v_L	m/s	horizontale Luftgeschwindigkeit
v_{rw}	m/s	Anströmgeschwindigkeit
β_{resp}	µg/h	inhalative Exposition
β_{dem}	µg/h	dermale Exposition
ϵ		Anteil der partikelförmig gebundenen Wirkstoffe am Gesamtgehalt
ζ	µg/m ³	Wirkstoffgehalt in der Luft bei 20 °C, 1013 mbar
ζ_G	µg/m ³	Wirkstoffgehalt in der Luft im Atembereich (Gewächshaus)
ζ_{GtA}	µg/m ³	mittlerer Wirkstoffgehalt ζ_G während der Applikation
ζ_{GtAe}	µg/m ³	Wirkstoffgehalt ζ_G am Ende der Applikation

ζ_{Gmax}	µg/m ³	höchster auftretender Wirkstoffgehalt ζ_G	} Unterscheidung nur, wenn $\zeta^g \neq \zeta^a$
ζ^a	µg/m ³	atembarer Wirkstoffgehalt	
ζ^g	µg/m ³	gesamter Wirkstoffgehalt	
η_{resp}		Respirationsgrad	
η_{derm}		Auftreffgrad	
ϑ_L	°C	Lufttemperatur	
ϑ_B	°C	Bodentemperatur, gemessen 2 cm unterhalb der Oberfläche	
φ	%	relative Luftfeuchtigkeit	

Schrifttum

- [1] Batel, W.: Zur Anwenderexposition beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln durch Spritzen und Sprühen – eine Zusammenfassung der seitherigen Ergebnisse. *Grundl. Landtechnik* Bd. 34 (1984) Nr. 2, S. 33/53.
- [2] Mejer, G.-J.: Zur Meßtechnik einschließlich Tracermethoden bei der Bestimmung der Wirkstoffkonzentration am Arbeitsplatz. *Grundl. Landtechnik* Bd. 34 (1984) Nr. 2, S. 72/76.
- [3] Batel, W.: Zur inhalativen und dermalen Anwenderexposition bei Arbeiten zum Pflanzenschutz. *Grundl. Landtechnik* Bd. 34 (1984) Nr. 2, S. 77/81.
- [4] Batel, W.: Zur inhalativen und dermalen Anwenderexposition beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln durch Gebläsemaschinen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 35 (1985) Nr. 3, S. 65/70.
- [5] Anwenderexposition und -risiko beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln. Beiträge zum FAL-Kolloquium am 18. und 19. Mai 1983 im Rahmen des FAL-Schwerpunktes "Humanisierung der Arbeit in der Landwirtschaft" *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 68 (1984).

Überwachung der Herzschlagrate bei Milchkühen – Sensorentwurf und erste Ergebnisse

Von Wolfgang Paul, Hermann Speckmann, Walter Ihle und Hermann Roth, Braunschweig-Völkenrode*)

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

DK 636.2.034:621.317:591.112.2

In der Milchviehhaltung stehen in enger Verbindung mit der intensiven Milcherzeugung und der darauf abgestimmten produktionsbezogenen individuellen Fütterung zunehmend auch Fragen der Gesundheitsüberwachung und der Brunsterkennung im Vordergrund.

In diesem auch dem weiteren Umfeld des Tierschutzes zugeordneten Bereich lassen sich mit Hilfe der Mikroelektronik durch die Überwachung von physiologischen Größen mit Indikatorfunktionen neue Ansätze verfolgen. Am Beispiel der Überwachung der Herzschlagrate bei Milchkühen wird demonstriert, wie vorhandene Elemente der Mikroelektronik in Hardware und Software an die Aufgabenstellung angepaßt werden. Insbesondere die im Mittelpunkt stehenden Sensoren können robust und preiswert, d.h. auch für den Praxiseinsatz geeignet, ausgelegt werden. Erste Ergebnisse zeigen, daß sich solche automatisierten Überwachungssysteme als Beitrag zum Herdenmanagement anbieten.

*) Dr.-Ing. W. Paul und Dipl.-Ing. H. Speckmann sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel), W. Ihle ist Versuchstechniker und Dipl.-Ing. agr. H. Roth ist Stipendiat am Institut für Betriebstechnik (Leiter: Prof. Dr. H. Schön) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.