

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. 37 (1987) Nr. 1, S. 1 bis 36

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Ermittlung der Exposition beim Umgang mit Pflanzenschutzmitteln, sich daraus ableitende personengetragene Schutzeinrichtungen und Versuche zu ihrer Eignung

Von Wilhelm Batel, Braunschweig-Völkenrode*)

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

DK 632.934.1:331.436

Zur Bewertung des gesundheitlichen Risikos beim Umgang mit Pflanzenbehandlungsmitteln benötigt man toxikologische und Expositionsdaten. Für die Expositionshöhe wurde eine Methode zur Vorausberechnung erarbeitet, so daß man in Verbindung mit Feldmessungen in der Lage ist, verbesserte Expositionsprognosen zu erstellen. Zeigt sich aufgrund solcher Daten ein gewisses Anwenderisiko, empfehlen sich Schutzmaßnahmen. Anforderungsprofile an den Schutzgrad und geeignete Prüfkriterien werden vorgestellt. Mit diesen Unterlagen läßt sich die bestimmungsgemäße Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und damit die Vermeidung von Gesundheitsrisiken vertieft absichern. Dabei wird der Akzeptanz von personengetragenen Schutzeinrichtungen besondere Beachtung geschenkt.

Inhalt

1. Einleitung
2. Ermittlung der Expositionshöhe beim Umgang mit Pflanzenschutzmitteln
3. Anforderungen an Schutzmaßnahmen und ihre Umsetzung durch personengetragene Einrichtungen
4. Eignung und Bewertung personengetragener Schutzeinrichtungen
 - 4.1 Handschutz
 - 4.2 Körperschutz
 - 4.3 Kopfschutz
 - 4.4 Inhalationsschutz

5. Versuche zum Durchlaßgrad von Textilien als Körperschutz
 - 5.1 Durchlaßgrad
 - 5.2 Die thermische Behaglichkeit
 - 5.3 Testeinrichtung zur Prüfung der Eignung von porösen textilen Stoffen für Schutzanzüge
6. Versuche zum Durchlaßgrad von Atemschutzgeräten auch in Verbindung mit dem Kopfschutz
7. Übertragung der Versuchsergebnisse auf andere Bedingungen
8. Zusammenfassung

1. Einleitung

Das Gefahrenpotential für ein gesundheitsschädliches Risiko beim Umgang mit Pflanzenschutzmitteln ergibt sich aus der Anwenderexposition β einerseits und den toxikologischen Daten der Mittel T andererseits. So läßt sich ein Risikofaktor R_i beispielsweise nach der Beziehung

$$R_i = \frac{\beta_{\text{resp}}}{T_1 S} + \frac{\beta_{\text{dem}}}{T_2 S}$$

formulieren. T_1 und T_2 beinhalten toxikologische Daten, die man über zeitbezogene Dosis-Wirkung-Untersuchungen ermittelt. Hierbei wird nach akuten, subakuten, chronischen, subchronischen, cancerogenen, mutagenen, teratogenen und allergenen Wirkungen getestet. So werden für T_1 und T_2 beispielsweise die akute Toxizität LC_{50} inhalativ in mg/l (4 h) bzw. LD_{50} dermal in mg/kg oder für subchronische Wirkungen der no-observable-effect-level (NOEL) in mg/kg eingesetzt. Des Weiteren ist noch ein Sicherheitsfaktor S einzubringen. Aufgrund solcher Überlegungen, die von den Herstellern der Pflanzenschutzmittel und der Zulassungsbehörde vorgenommen werden, erfolgt auch eine für den Anwender lesbare Kennzeichnung des Gefahrenpotentials des Mittels [1].

Bei der Kennzeichnung unterscheidet man im wesentlichen in die Gruppen: sehr giftige (Gefahrensymbol Totenkopf, Kennbuchstabe T+), giftige (Gefahrensymbol Totenkopf, Kennbuchstabe T), mindergiftige (Gefahrensymbol Andreaskreuz, Kennbuchstabe X_n) und nicht kennzeichnungspflichtige Mittel. Daneben gibt es im Hinblick auf andersartige Gefährdungen noch weitere Kennzeichnungen (z.B. ätzend, reizend, feuergefährlich). Im Jahre 1984 waren etwa 7 % der Pflanzenschutzmittel als giftig eingestuft.

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

Die genannten Gefahrensymbole geben einen ersten Hinweis über die Gefährlichkeit. Weitere Einzelheiten werden für den Anwender auf dem Kennzeichnungsfeld angegeben durch standardisierte Hinweise auf die besonderen Gefahren, sogenannte R-Sätze, wie z.B.:

- Verursacht Verätzungen (R 34)
- Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich (R 43)
- Reizt die Augen (R 36).

Zeigt sich wegen $R_1 > 1$ ein Risiko, dann werden Maßnahmen und Handlungen vorgeschrieben, um eine mögliche Gefährdung hinreichend zu verhindern. Dies erfolgt mit standardisierten Sicherheitsratschlägen, sogenannten S-Sätzen, wie z.B.

- Beim Räuchern/Versprühen geeignetes Atemschutzgerät anlegen (S 42)
- Geeignete Schutzhandschuhe tragen (S 37)
- Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung tragen (S 36)
- Bei Verschlucken sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder Etikett vorzeigen (S 46).

Die Gebrauchsinformation legt insgesamt gesehen die bestimmungsgemäße Anwendung der Mittel fest. Bei ihrer Einhaltung ist ein gesundheitliches Risiko für den Anwender auszuschließen.

Die nachfolgenden Untersuchungen haben zum Ziel, die Kenntnisse für die Festlegung dieser Bestimmungen und insbesondere ihre Umsetzung zu vertiefen.

Für den Anwender sind die toxikologischen Daten und Eigenschaften der Mittel als vorgegeben und wegen der Zulassungspflicht auch als bekannt anzusetzen. Aus dieser Sicht beinhaltet eine Risikoabschätzung die Bestimmung der mittelspezifischen, nicht mehr als tolerierbar anzusehenden Expositionen. Ist eine solche Situation zu erwarten, ist an Schutzmaßnahmen zu denken mit der Aufgabe, die Exposition hinreichend zu senken. Damit stellen sich zwei Fragen:

1. Welche Expositionshöhe und -dauer ist beim Umgang mit Pflanzenschutzmitteln zu erwarten und für welche Ausbringungsbedingungen ist eine nicht mehr tolerierbare Exposition abzuschätzen?
2. Welche Anforderungen sind an Schutzmaßnahmen zu stellen und von welchen Einrichtungen werden sie erfüllt?

2. Ermittlung der Expositionshöhe beim Umgang mit Pflanzenschutzmitteln

Für den Umgang mit Pflanzenschutzmitteln lassen sich im wesentlichen zwei Situationsbereiche unterscheiden:

1. Exposition durch das meist unverdünnte Mittel (Handelsform) beim Anmischen und beim Beschicken der Geräte, wobei die Exposition vor allem durch direkten Kontakt mit dem Mittel erfolgt.
2. Die Exposition durch das verdünnte Mittel, also in Ausbringform, während der Applikation. Hierbei erfolgt der Transport zum Anwender im wesentlichen über die Luft.

Hinsichtlich der Expositionswege sind im Hinblick auf eine Gefährdung des Anwenders die inhalative und die dermale Exposition zu erfassen.

Zur Bestimmung der Expositionshöhe gibt es zwei Methoden:

1. Messen der Exposition im Feldversuch
2. Vorausberechnung über die kausalen Zusammenhänge, die die Exposition verursachen.

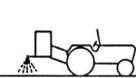
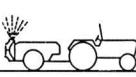
Die meßtechnische Bestimmung der Expositionshöhe, zusammenfassend beschrieben in den EPA pesticide assessment guidelines: Applicator exposure monitoring [2], ist derzeit die vorherrschende Methode. Sie ist für alle Situationen anwendbar und gibt gesicherte Werte für den konkreten Fall. Nachteilig ist, daß eine Risikoabschätzung auf die meßtechnisch erfaßten Fälle beschränkt ist. Dies bedingt, daß für allgemeingültige Aussagen wegen der sehr vielen Einflußfaktoren beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln entweder außerordentlich viele, wohl nicht zu bewältigen-

de Feldmessungen erforderlich sind, oder man muß einen vergleichsweise großen Unsicherheitsbereich in Kauf nehmen.

Diese Nachteile lassen sich in dem Maße abbauen, wie es gelingt, die Vorgänge, die zu einer Exposition führen, nach Größe und Abhängigkeit systematisch zu erfassen und einer Berechnung zugänglich zu machen.

In unseren Arbeiten wurden beide Methoden angewendet und verknüpft. Der Schwerpunkt liegt jedoch bei der Erfassung der kausalen Zusammenhänge, weil hierüber im Schrifttum vergleichsweise wenig berichtet wird. Die nachfolgenden Ausführungen können aus Platzgründen nur die grundsätzlichen Schritte ansprechen.

Hinsichtlich der Expositionssituation ist in die mit **Tafel 1** gezeigten verfahrensspezifischen Bereiche aufzugliedern. Der Fall der Applikation mit Luftfahrzeugen wird nicht behandelt, ist aber als weiterer Bereich existent.

Symbol	Beschreibung
	Spritzen von niedrigen Flächenkulturen mit erdwärts gerichtetem Tropfenstrom
	Ausbringen in höheren Flächenkulturen mit luftgetragener Transport der Mittel (airblast spraying)
	Ausbringen in Gewächshäusern
	Anmischen und Beschicken der Geräte

Tafel 1. Verfahrensspezifische Bereiche beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln – ohne die Applikation durch Luftfahrzeuge.

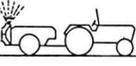
Die Exposition wird verursacht durch einen Stofftransport von der Quelle bis zum Anwender und daher beschrieben durch die Kausalkette Emission, Transmission, Immission und Exposition. Somit ist dieser Ablauf Grundlage von Methoden der Vorausberechnung, **Tafel 2**.

Die Emission durch die Ausbringungsgeräte wird durch den Wirkstoffstrom E_W bzw. die Emissionskonzentration ζ_Q beschrieben. Diese Größen ergeben sich (untere Zeile in **Tafel 2**) aus dem Aufwand A_W , der Mittelkonzentration c_W , der Fahrgeschwindigkeit v , der Arbeitsbreite b und dem Luftstrom Q .

Der Stofftransport von der Quelle zum Arbeitsplatz – die Transmission – läßt sich durch die Ausbreitungsfunktionen k_1 und k_3 bzw. den Verdünnungsfaktor k_2 erfassen. Diese Funktionen sind abhängig vom Windeinfallswinkel α , der rel. Windgeschwindigkeit v_{rw} , der Lufttemperatur ϑ , den Tropfengrößen d_p , Gerätedaten wie der Austrittshöhe h_p und dem Pflanzenbestand F . Solche Abhängigkeiten wurden in Versuchen ermittelt [3, 4, 5]. Wegen ihres Umfangs können sie hier im einzelnen nicht diskutiert werden.

Die so funktional erfaßbare Ausbreitung bestimmt die Belastung der Luft in der Arbeitsumgebung durch Pflanzenschutzmittel, beschrieben durch die Immissionskonzentration ζ . Aus dieser Größe, den Luftbewegungen in der Arbeitsumgebung und den Auftreffbedingungen am Akzeptor (Anwender) ergibt sich die Exposition. In Analogie zu Methoden der Strömungsmechanik werden zur Berechnung Einflußfaktoren wie die Tropfengröße d_p , die Anströmgeschwindigkeit v_r , die angeströmten Flächen A_q usw. durch den Inhalationsgrad η_{resp} und den Auftreffgrad η_{dem} zusammengefaßt.

Für die Exposition außerhalb der Applikation sind die Stoffströme zum Anwender kausalanalytisch nicht hinreichend zu erfassen, so daß man auf statistisch gefundene Daten angewiesen ist.

Kausalkette:	Emission E	Transmission k	Immission ζ	Exposition β
	E_{W1}	k_1	$\zeta = k_1 E_{W1}$	$\beta_{resp} = \zeta^a \cdot Q_{resp} \cdot \eta_{resp}$ $\beta_{derm} = \zeta \cdot v_r \cdot A_q \cdot \eta_{derm}$
	ζ_Q	k_2	$\zeta = k_2 \zeta_Q$	
	E_{W3}	k_3	$\zeta = k_3 E_{W3}$	
	Kontakt + E_{W4}			β_{resp} β_{derm}
Abhängigkeiten	$E_W = f(A_W, c_W, v, b \dots)$ $\zeta_Q = f(A_W, c_W, v, b, Q)$	$k = f(a, v_{rw}, \vartheta; d_p, h_B \dots; F \dots)$		$\eta_{resp} = f(d_p, v_r \dots)$ $\eta_{derm} = f(d_p, v_r, A \dots)$

Tafel 2. Grundschemata einer Methode zur Vorausberechnung der Exposition.

Die Ergebnisse von Untersuchungen zur Arbeitsplatzbelastung (Immission) und Exposition, verknüpft mit Meßergebnissen aus Feldversuchen (eigene und aus dem Schrifttum), sind in Tafel 3 in einer Übersicht dargestellt.

Es zeigt sich, daß die dermale Exposition bei allen Ausbringungsverfahren grundsätzlich deutlich höher liegt als die inhalative, insbesondere beim Spritzen in hohen Kulturen. Die inhalative Exposition ist vergleichsweise niedrig beim Spritzen von Flächenkulturen, aber zu beachten beim Spritzen in hohen Kulturen und in Gewächshäusern. Beim Anmischen und beim Beschicken der Geräte ist die dermale Exposition dominant.

Bei der Bewertung der durch die Exposition beschriebenen Wirkstoffströme ist zu bedenken, daß von ihnen nur ein Teil in den Organismus des Anwenders gelangt. Dieser Anteil wird durch den Penetrationskoeffizienten erfaßt. Für den inhalativen Weg wird dieser Koeffizient mit 1 und für den dermalen Weg mit 0,1 angesetzt, wenn keine spezifischen Daten genannt werden.

3. Anforderungen an Schutzmaßnahmen und ihre Umsetzung durch personengetragene Einrichtungen

Setzt man die Expositionsdaten aus Tafel 3 in Bezug zu den toxikologischen Daten der eingesetzten Mittel entsprechend der eingangs vorgestellten Risikoabschätzung, dann zeigen sich die Bereiche, für die Schutzmaßnahmen geboten sein können. Das Ergebnis einer solchen Abschätzung für Mittel unterschiedlicher Toxizität und akuter oder äquivalenter Wirkung ist in Tafel 4 aufgeführt. (Die Wahl der zuzuordnenden Expositionsdaten – Höchst- oder Mittelwerte – hängt von den jeweils zugrunde liegenden toxikologischen Kriterien ab.)

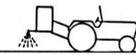
Die Anforderungen an die Schutzmaßnahmen werden in der oberen Tafelhälfte beschrieben durch den höchsten zulässigen Durchlaßgrad für die Wirkstoffe. In der unteren Tafelhälfte sind diesen Anforderungen entsprechende personengetragene Schutzeinrichtungen mit Symbolen eingetragen.

Relativ geringe Anforderungen werden beim Spritzen mit erdwärts gerichtetem Tropfenstrom gestellt. Deutlich höher sind die Anforderungen beim Sprühen, auch im Hinblick auf den Kopfschutz (s. Abschnitt 4.3).

Zur Aufstellung der vorstehenden Übersichten in Tafel 4 sind die toxikologischen Daten, die Anforderungen an Schutzmaßnahmen und ihre Umsetzung zu vergleichsweise großen Klassen zusammengefaßt worden. Hinweise für den mittelbezogenen Einzelfall, beschrieben in der Gebrauchsinformation der Mittel und damit festzulegen vom Mittelhersteller und der Zulassungsbehörde, können daher von den Empfehlungen in Tafel 4 abweichen. Dies gilt u.a. dann, wenn andere toxikologische Daten, wie der ebenfalls zu berücksichtigende no-observable-effect-level (NOEL), ein höheres Risiko als die akute Toxizität anzeigen.

Applikationsverfahren Handhabung	Wirkstoffaufwand kg/ha	Lufttemp. ϑ_L (°C)	Wirkstoffgehalt am Arbeitsplatz (mg/m ³)		Anwenderexposition (mg/h)	
			atembar ζ^a Bereich mittl. Richtw.	gesamt ζ^g Bereich mittl. Richtw.	inhalativ β_{resp} Bereich mittl. Richtw.	dermal β_{derm} Bereich mittl. Richtw.
	0,3	um 20	$\frac{0,002-0,04}{0,008}$		$\frac{0,004-0,08}{0,015}$	$\frac{0,2-4}{1}$
	0,3	um 20	$\frac{0,01-0,2}{0,04}$	$\frac{0,05-1}{0,2}$	$\frac{0,02-0,4}{0,08}$	$\frac{5-100}{20}$
	0,2	25	$\frac{0,05-0,15}{0,03}$		$\frac{0,015-0,45}{0,09}$	$\frac{0,2-6}{1,2}$
	—	—	$\frac{0,001-0,1}{0,01}$		$\frac{0,003-0,3}{0,03}$	$\frac{1-40}{15}$

Tafel 3. Bereiche und mittlere Richtwerte des Wirkstoffgehalts in der Luft am Arbeitsplatz und der Anwenderexposition bei verschiedenen Verfahren der Applikation flüssiger Pflanzenbehandlungsmittel (luftgetragene Wirkstoffe) und beim Anmischen; Werte ermittelt aus Feldmessungen und Vorausberechnung, dermal belastete Fläche $A = 0,22 \text{ m}^2$ von Kopf, Hals und Händen. Unter vergleichbaren Bedingungen verändert sich die Exposition etwa direkt proportional mit dem Wirkstoffaufwand; eine Temperaturerhöhung um 5 °C führt abhängig vom Dampfdruck meist zu einer Verdoppelung der inhalativen Exposition.

Ausbringungs-, Handhabungs- art	Handschutz bei LD50 derm. [mg/kg]			Körperschutz bei LD50 derm. [mg/kg]			Atemschutz bei LC50 [mg/l] 4 h		
	400-4000	50-400	< 50	400-4000	50-400	< 50	0,5-5	0,1-0,5	< 0,1
	30	20	10	50	25	10	-	-	30
	10	5	5	10	5	5	-	20	5
	20	10	5	20	10	5	30	20	5
	10	5	5	20	10	5	-	20	10

und sich daraus ableitende personengetragene Schutzeinrichtungen

	+	+	+	A	A	B	-	-	
	+	++	++	B	B	B	-		
	+	++	++	A	B	B			
	+	++	++	(A, B) + S			-		

Zeichenerklärung

- + Schutzhandschuhe kurzzeitig beständig
- ++ Schutzhandschuhe längerzeitig beständig
- A Arbeitsanzug z.B. Overall aus Baumwolle
- B Schutzanzug und $D_{SB} < 5\%$ sowie $R_{et} = f(\vartheta_L)$ z.B. aus Goretex, Propylen-Kimberly-Clark, Tyvek
- S Latzschürze gut beständig gegen Mittel

-  Halbmaske
-  Atemschutz mit Filter z.B. A2 + P2

Tafel 4. Anforderungen an Schutzmaßnahmen bei der Applikation und beim Anmischen von Pflanzenbehandlungsmitteln unterschiedlicher Toxizität, dargestellt oben durch den maximalen zulässigen Durchlaßgrad D in %, unten durch Symbole für personengetragene Schutzeinrichtungen, die die oben dargestellten Anforderungen erfüllen.

Hinsichtlich der formulierten Anforderungen an Schutzeinrichtungen ist zu erwähnen, daß sie meist nicht, wie zu erwarten, im gleichen Maße gestuft sind wie die Toxizität der Mittel. Dafür gibt es mehrere Gründe.

Für die Risikoabschätzung ist wie dargelegt die Gesamtexposition anzusetzen. Im Hinblick auf Schutzmaßnahmen ist aber auch die Verteilung der Exposition hinsichtlich der Art und des Ortes z.B. bei der dermalen Exposition zu berücksichtigen. So ist bekannt, daß die Handexposition grundsätzlich den größten Anteil liefert. Nur beim Sprühen kann die Kopfexposition etwa den gleichen Anteil erreichen. Bezieht man weiter die Akzeptanz mit in die Überlegungen ein, so ist es sinnvoll, die Anforderungen dort hoch zu wählen, wo ihre Umsetzung den geringsten Widerstand beim Anwender erwarten läßt (s.a. folgende Abschnitte).

Auch ist anzustreben, ein System von Schutzeinrichtungen in der Handhabung so einfach wie möglich zu gestalten.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß bei Fahrzeugen mit geschlossener Kabine, hinreichender Überdruck und geeignete Filter für die Zuluft vorausgesetzt, alle personengetragenen Schutzeinrichtungen während der Applikation entfallen können.

Die vorstehenden Überlegungen liefern eine übergeordnete Orientierung und dienen dazu, den Herstellern von Pflanzenschutzmitteln, Verpackungen, Ausbringungsgeräten und Schutzeinrichtungen Hinweise für Entwicklungen zu geben. Dem Anwender und seinen Beratern möge dadurch die Einschätzung der Risikosituation und die optimale Handhabung der Mittel und Geräte bei seiner Arbeit erleichtert werden.

4. Eignung und Bewertung personengetragener Schutzeinrichtungen

Die Umsetzung der in Abschnitt 3 genannten Anforderungen verlangt Kriterien für die Eignung von Schutzeinrichtungen. Diese lassen sich hier auf zwei anwendungsspezifische Eigenschaften begrenzen, nämlich

1. eine bestimmte Sperrwirkung gegen Pflanzenschutzmittel, gekennzeichnet durch den Durchlaßgrad,
2. eine hinreichende Akzeptanz, die beim Schutzanzug insbesondere vom thermischen Tragekomfort bestimmt wird.

Aufgrund der unterschiedlichen Expositionswege und der möglichen Gegenmaßnahmen werden folgende Schutzbereiche unterschieden: Hand-, Fuß-, Körper-, Kopf- und Augenschutz sowie Schutz der Inhalationswege.

4.1 Handschutz

Grundsätzlich muß man beim Umgang mit Pflanzenbehandlungsmitteln, die als gefährdend (auch ätzend) gekennzeichnet sind, geeignete Schutzhandschuhe tragen. Die Handexposition ist nämlich nach Dauer und Intensität vergleichsweise dominierend.

Im Rahmen der Arbeitssicherheit gibt es für die Eignung von Schutzhandschuhen unterschiedliche Prüfverfahren. Hingewiesen sei unter anderem auf die DIN-Vorschrift 4841. Ergänzend zu diesen Prüfkriterien ist für den Umgang mit Pflanzenbehandlungsmitteln vor allem die chemische Beständigkeit ein wichtiges Merkmal (Entwurf ISO/DPJ 6529). Nur wenn eine dem Anwendungsfall angepasste Beständigkeit gewährleistet ist, können Handschuhe als geeignet angesehen werden. Ihr Anteil an den insgesamt angebotenen Arbeitshandschuhen ist vergleichsweise klein, weil nur bestimmte Materialien, wie z.B. Chloroprene, Nitril und Butylkautschuk für viele Mittel hinreichend undurchlässig sind. Es gibt Hinweise dafür, daß eine neu auf dem Markt vorgestellte Handschuhkonstruktion wahrscheinlich für fast alle Pflanzenbehandlungsmittel einen hinreichenden Schutz bietet. Derzeit läuft in der Bundesrepublik eine Untersuchung der Mittelhersteller, um die Eignung von Schutzhandschuhen vertieft abzusichern. Es ist daher damit zu rechnen, daß in absehbarer Zeit verbesserte Empfehlungen zur Verfügung stehen.

4.2 Körperschutz

Für den Umgang mit Pflanzenbehandlungsmitteln werden, wenn gefordert, derzeit zwei Schutzanzüge empfohlen [6]. Der Schutzanzug 1 – zu benutzen u.a. bei staubförmigen Mitteln – ist beispielsweise ein Overall aus einem dichten Baumwollgewebe von etwa 180 g/m². Der Schutzanzug 2 aus einem leichten Baumwollgewebe von etwa 150 g/m² mit einseitiger PVC-Beschichtung ist zu verwenden bei flüssigen Pflanzenschutzmitteln.

Die Akzeptanz dieser Körperschutzkleidung ist dann gering, wenn die thermische Behaglichkeit bei den auftretenden Arbeitstemperaturen nicht gegeben ist. Ein Grund hierfür ist u.a. die zu geringe Wasserdampfdurchlässigkeit des Anzuges. In den letzten Jahren sind neue ("atmungsaktive") Textilien auf dem Markt erschienen, die sich dadurch auszeichnen, daß sie eine hohe Wasserdampfdurchlässigkeit erreichen, und dies bei niedrigen Durchlaßgraden für partikelförmige feste und flüssige Stoffe in der Luft.

Nun stehen sich aber die Forderungen nach einer hohen Durchlässigkeit für Wasserdampf und einer niedrigen für Pflanzenbehandlungsmittel im Grundsatz entgegen, weil beide Vorgänge im gleichen porösen textilen System, jedoch in entgegengesetzter Richtung ablaufen. Daher ist nach Materialien zu suchen, die beide Forderungen möglichst optimal erfüllen. Um diese Frage beantworten zu können, wurden entsprechende Versuche durchgeführt, über die in Abschnitt 5 berichtet wird.

4.3 Kopfschutz

Der Kopfschutz ist komplexeren Forderungen unterworfen, da neben der thermischen Behaglichkeit und der Schutzwirkung gegenüber einer dermalen Exposition (einschließlich der Augen) keine nennenswerte Behinderung der Bewegungen und keine Einengung der Informationsprofile von Sicht und Gehör auftreten darf.

Grundsätzlich sollte man bei allen Pflanzenschutzarbeiten mit entsprechend gekennzeichneten Pflanzenbehandlungsmitteln einen Kopfschutz tragen, zumindest eine Kopfbedeckung mit einer Krempe, und dies insbesondere bei Spritzarbeiten in hohen Kulturen. Es kann aber Bedingungen geben, unter denen dieser einfache Schutz nicht ausreicht. Dann empfiehlt man derzeit in zunehmendem Maße Hauben aus porösen Textilien. Hierüber wird in Abschnitt 6 berichtet.

4.4 Inhalationsschutz

Im Hinblick auf den Atemschutz existiert ein breites Spektrum entsprechender Einrichtungen mit gesicherten Daten. Gewisse Probleme beinhaltet die Standzeit der Filtermedien. Wird von Seiten der Mittelhersteller und der Zulassungsbehörde ein Atemgerät

mit Filter empfohlen, so ist aufgrund der Expositionssituation und der Toxizitätsdaten in der Regel von einer Halbmaske mit Kombinationsfiltern der Schutzstufen A2 + P2 auszugehen. Eine Vollmaske ist nur dann zu fordern, wenn ein zusätzlicher Augenschutz und/oder ein sehr niedriger Durchlaßgrad notwendig ist.

Grundsätzlich kann man davon ausgehen, daß der Durchlaßgrad von Atemschutzmasken für Pflanzenbehandlungsmittel etwa in der gleichen Größenordnung liegt wie der, der bei den amtlichen Prüfverfahren mit gasförmigen Schadstoffen ermittelt wurde, wie durchgeführte Versuche bestätigen.

5. Versuche zum Durchlaßgrad von Textilien als Körperschutz

Zur Überprüfung der Eignung von textilen Stoffen als Körperschutz sind zu ermitteln

- 5.1 Der Durchlaßgrad gegenüber Pflanzenschutzmitteln und
- 5.2 Die Behaglichkeit.

5.1 Durchlaßgrad

Der Durchlaßgrad wird unter realen Bedingungen in einem Gewächshaus mit LINDAN in flüssiger Formulierung als Testsubstanz ermittelt. Die Intensität der Exposition läßt sich über eine mehrfache Ausbringung verändern. Die Beladung der Luft wird über die Wirkstoffkonzentration ζ_G beschrieben. Die Versuchsanordnung zeigt Bild 1. Der Durchlaßgrad ergibt sich aus

$$D_{SB} = \frac{\beta_{\text{dem B}}}{\beta_{SB}}$$

Der Wirkstoffstrom auf die Flächeneinheit des Anzuges β_{SB} wird über "pads", also Auffangflächen, bestimmt, die auf der Oberfläche angebracht sind [2].

Der Wirkstoffstrom durch den Anzug $\beta_{\text{dem B}}$ – und damit auf den Körper – läßt sich wegen des möglichen hohen gasförmigen Wirkstoffanteils [5] nicht hinreichend nach dieser Methode bestimmen. Daher wird, wie das Bild 1 zeigt, eine bestimmte Probenluftmenge auf der Innenseite des Anzuges abgesaugt, die Wirkstoffmenge abgeschieden und ermittelt. Unter Berücksichtigung des Volumens zwischen Anzug und Körper sowie der Mengen auf den Innenpads läßt sich der gesamte Wirkstoffstrom durch den Anzug ermitteln.

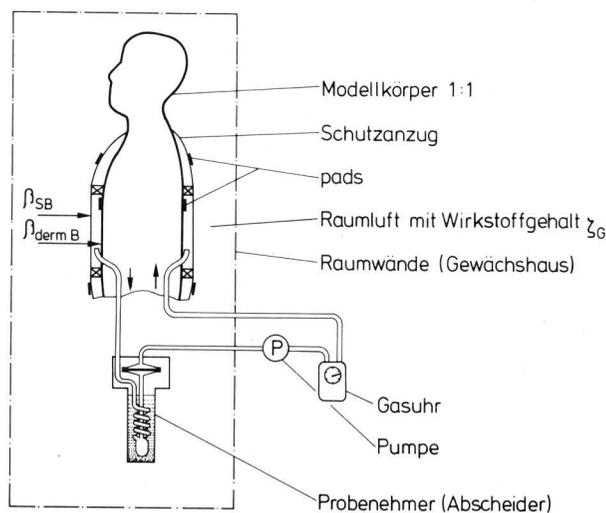


Bild 1. Versuchsanordnung zur Messung der Wirkstoffströme gegen (β_{SB}) und durch den Schutzanzug ($\beta_{\text{dem B}}$) mit einem Modellkörper 1 : 1 im Gewächshaus; Probenluftstrom etwa 2 m³/h, dampfförmige Anteile im Probennehmer durch flüssigen Sauerstoff kondensiert, Partikel durch Filter abgeschieden.

Der gemäß Meßanordnung definierte Durchlaßgrad geht von einer ausreichenden Senke für den Wirkstoff innerhalb des Schutzanzuges aus, d.h. bei der Simulation ist der Durchlaßgrad der Haut deutlich höher als der des Anzuges, oder anders ausgedrückt: Der auf dem dermalen Weg in den Organismus gelangende Wirkstoffstrom kann nicht höher liegen als der für den Anzug gemessene Wert.

Versuchs- und Arbeitsbedingungen:

Doppelt-Folien-Gewächshaus, 7 m breit, 11 m lang, 2,5 m mittlere Höhe, Mittelgang, rechts und links davon Bodenflächen ohne Pflanzenbestand, Umluftströmung über zwei Axialventilatoren einstellbar, Lufttemperatur $\vartheta_L \approx 25^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit $85 < \varphi < 92\%$.

Rückenspritze, 3 bar vor Rundlochdüse, Düsenabstand zum Boden 0,8 m, Spritzflüssigkeit mit 0,025 % LINDAN, Aufwand $A_W = 20\text{--}60\text{ mg/m}^2$, Meßdauer jeweils 10 min. Die Abhängigkeit und die Form des Wirkstoffgehaltes in der Luft von den Arbeits- und Umgebungsbedingungen sowie der Zeit ist in [5] beschrieben.

Die Anströmgeschwindigkeit gegen das Modell mit Sheffield-Kopf (entsprechend der Atemschutzprüfung) beträgt etwa 0,2 m/s. Der Durchlaßgrad wird für eine Ringfläche des Schutzanzuges von $0,45\text{ m}^2$ zwischen $h = 0,8\text{ m}$ und $h = 1,2\text{ m}$, also für den Brust- und Bauchbereich, und ein definiertes Luftvolumen zwischen Anzug und Modell ermittelt. Der Anzug hat in diesem Bereich keinen Kontakt mit der Unterbekleidung oder dem Körper.

Die Ergebnisse für 3 repräsentative textile Stoffe U, K und N mit Eigenschaften nach Tafel 5 sind in Bild 2 dargestellt. Aus diesen Werten ergeben sich die Durchlaßgrade in Bild 3.

Die Sperrwirkung gasdurchlässiger textiler Stoffe gegen partikel-förmige Pflanzenschutzmittel wird im wesentlichen von der Diffusion, der Kapillarität, dem Durchströmungswiderstand und der chemischen Beständigkeit beherrscht. Über diese Phänomene existiert ein umfangreiches Lehrbuchschritttum, auf das verwiesen werden muß. Die Anteile der einzelnen Vorgänge ergeben sich u.a. aus der Intensität und Dauer der Beaufschlagung sowie der Kontaktsituation zwischen dem Schutzanzug und der Unterbekleidung oder der Haut. Für die dem Bild 2 zugrunde liegenden Bedingungen ist die Diffusion vorherrschend, wodurch sich der Verlauf der entsprechenden Kurven erklärt.

Der sich aus diesen Kurven ergebende Durchlaßgrad, Bild 3, ist für die Stoffe U und N im untersuchten Bereich nahezu konstant, für den Stoff K ergibt sich ein deutlicher Anstieg mit dem Wirkstoffgehalt. Die Werte für einen weiteren Stoff, Goretex, liegen nach anderen Messungen zwischen den Kurven von N und K.

Diese Ergebnisse sind, von der Expositionssituation her gesehen, repräsentativ für die Schutzwirkung während der Applikation bei Arbeiten im Gewächshaus (ohne Kontakt zu den Pflanzen) und beim Spritzen von niedrigen Flächenkulturen (s. Tafel 3).

Um der Expositionssituation beim Ausbringen in Raumkulturen näher zu kommen, wurden Versuche mit zusätzlicher Besprühung der Anzugsoberfläche mit dem Mittel in Ausbringungsform durchgeführt, Tafel 6. Es zeigt sich, daß der Durchlaßgrad — spezifisch für den jeweiligen Anzug — sinkt, konstant bleibt oder weniger als nach Bild 3 ansteigt. Dies erklärt sich daraus, daß im Ansprühstrom keine gasförmigen Wirkstoffanteile vorliegen und die Sperrwirkung gegen die größeren Tropfen in diesem Strom besser ist.

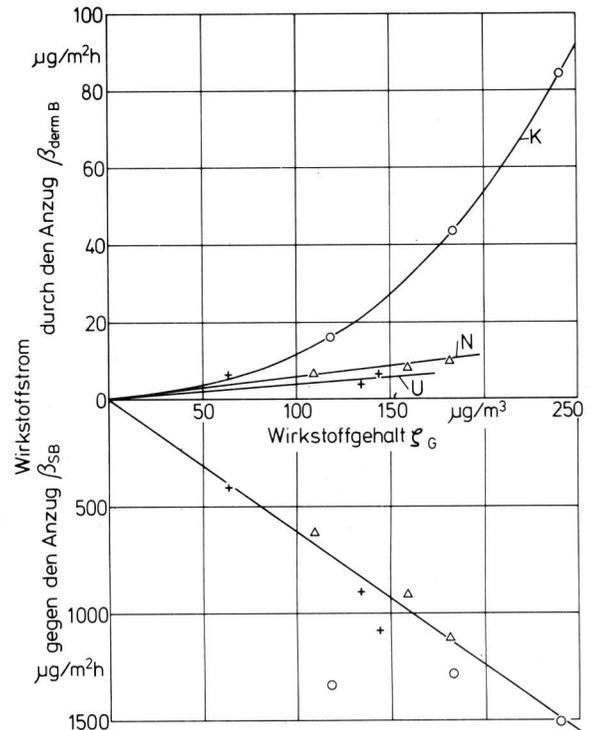


Bild 2. Gemessene Wirkstoffströme gegen (β_{SB}) und durch den Schutzanzug (β_{dermb}) in Abhängigkeit vom Wirkstoffgehalt der Luft im Gewächshaus; die Meßhöhe für ζ_G liegt bei $h = 1\text{ m}$.

Versuchs- Bezeichnung	Textile Merkmale			Wasserdampf-	
	Textilname, -hersteller	Material, Aufbau	Gewicht g/m^2	durchgangs- widerstand R_{et} $\text{m}^2\text{ mbar}/\text{W}$	durchlässig- keit WD $\text{g}/\text{m}^2\text{h mbar}$
U	Avilastik, Nordfaser Neumünster	Filamentgarn mit Polyurethan Beschichtung	200	$2466 \cdot 10^{-3}$	0,6
K	Kinguard, Kimberly- Clark	3-Schichten- Material aus Polypropylen	60	$25,6 \cdot 10^{-3}$	58,1
N	Tyvek 1422 A, Dupont	spinngebundene Polyäthylen Fasern	40	$142 \cdot 10^{-3}$	10,4

Tafel 5. Benennung und Eigenschaften der untersuchten textilen Stoffe von Schutzanzügen.

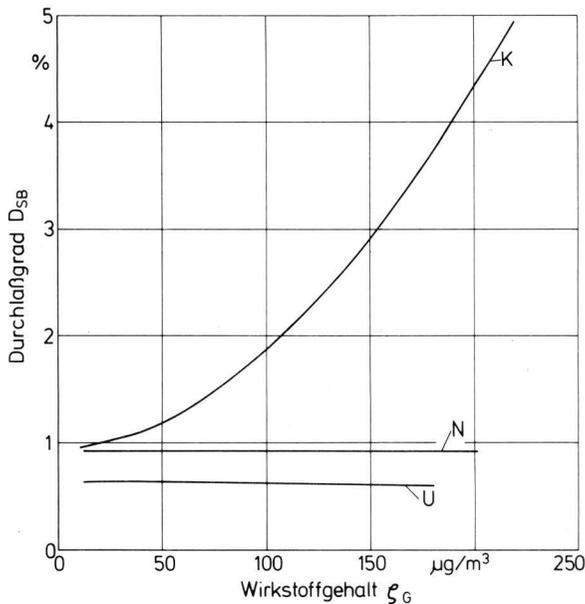


Bild 3. Durchlaßgrad der Stoffe für Schutzanzüge K, N und U in Abhängigkeit vom Wirkstoffgehalt der Luft im Gewächshaus; errechnet aus den Meßwerten nach Bild 2.

Bei der Applikation in Raumkulturen sind nach Tafel 3 Expositionen bis 100 mg/h oder etwa 450 mg/m²h denkbar. Für diesen Extremfall wird der Durchlaßgrad mit der Testeinrichtung nach Bild 5 (s. Abschnitt 5.3) durchgeführt. Für die untersuchten Stoffe ergeben sich hierbei Durchlaßgrade $D < 0,5\%$. Kombiniert man diese Werte mit denen nach Tafel 6, dann zeigt sich, daß die in dieser Tafel genannten Durchlaßgrade auch während der Applikation in Raumkulturen nicht überschritten werden.

Zusammenfassend ergibt sich, daß die untersuchten textilen Stoffe und Goretex die Forderungen an einen Schutzanzug B nach Tafel 4 hinsichtlich des Durchlaßgrades während der Applikation erfüllen.

In diesem Zusammenhang ist noch anzumerken, daß Schutzanzüge auch nach dem Umgang mit Pflanzenbehandlungsmitteln Wirkstoffe über die Gasphase abgeben können. Nach Abschluß der Arbeiten ist daher der Anzug auszuziehen und entsprechend aufzubewahren.

Über den Durchlaßgrad derzeit eingesetzter Arbeitskleidung findet man im US-Schrifttum Hinweise [2]. Man hat Durchlaßgrade bis etwa 50 % gefunden. Im Mittel liegen die Werte aber bei etwa 5 %. Dichte Baumwollgewebe erreichen eine bessere Sperrwirkung als Mischgewebe z.B. aus 65 % Kunststoff und 35 % Baumwolle.

5.2 Die thermische Behaglichkeit von Schutzkleidungen

Die thermische Behaglichkeit wird von den Eigenschaften des textilen Stoffes, der Schwere der Arbeit und den klimatischen Bedingungen am Arbeitsplatz bestimmt. Für letztere sind vor allem die Lufttemperatur ϑ_L und die rel. Luftfeuchte φ relevant. Auszugehen ist von Bereichen $20 < \vartheta_L < 30$ °C und $\varphi < 85\%$.

Nach Arbeiten des Bekleidungsphysiologischen Instituts [7] ist die Wasserdampfdurchlässigkeit WD nach DIN 54101 bzw. der sich daraus ergebende Wasserdampfdurchgangswiderstand R_{et} eine charakteristische Größe für die thermische Behaglichkeit, Bild 4. Daher wird dieser Kennwert zur Beurteilung der Behaglichkeit der Schutzkleidung herangezogen, indem die Wasserdampfdurchgangswiderstände der Stoffe aus Tafel 5 in Bild 4 eingetragen werden.

Für leichte Arbeit mit etwa 292 W wird Behaglichkeit erreicht, wenn $R_{et} < 200 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{mbar/W}$. Der Stoff U liegt mit $R_{et} = 2466 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{mbar/W}$ deutlich oberhalb dieses Wertes. Für den Träger dieses Schutzanzuges ist Behaglichkeit nur für Temperaturen $\vartheta_L < 18$ °C anzunehmen.

Beim Stoff N liegt der Wert $R_{et} = 142 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{mbar/W}$ nur wenig unterhalb des Richtwertes, so daß der Anzug hinreichenden Tragekomfort bei mittelschwerer Arbeit bis $\vartheta_L \approx 22$ °C und $\varphi < 60\%$ vermittelt.

Der Stoff K erreicht mit $R_{et} = 25,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{mbar/W}$ den niedrigsten Wert des Wasserdampfdurchgangswiderstandes und einen sich daraus ableitenden hohen Tragekomfort.

Nach Daten aus dem Schrifttum liegt der Wert R_{et} für Goretex zwischen denen der Stoffe K und N.

Mit solchen Unterlagen läßt sich abhängig von Klimazonen eine geeignete Schutzkleidung im Hinblick auf den thermischen Tragekomfort auswählen.

Über Versuche des Institutes zur thermischen Behaglichkeit bei höheren Temperaturen und Sonneneinstrahlung wird in Kürze in dieser Zeitschrift berichtet.

Art der Exposition	Luftgetragene Wirkstoffe bei Applikation				Luftgetragene Wirkstoffe bei Applikation + Besprühung (von Hand)			
	Wirkstoffgehalt ξ_G $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Wirkstoffstrom aus Bild 2		Durchlaßgrad D_{SB} %	Wirkstoffstrom		Wirkstoffstrom durch Ansprühen $\beta_{SB}^+ - \beta_{SB}$ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Durchlaßgrad D_{SB}^+ %
Anzug		$\beta_{derm B}$ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	β_{SB} $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$		$\beta_{derm B}^+$ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	β_{SB}^+ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$		
U	103	3,9	639	0,62	4,7	2145	1506	0,22
	172	6,6	1065	0,62	5,6	4741	3676	0,12
	226	8,4	1400	0,60	6,4	3453	2053	0,18
K	107	13,4	670	2,00	96,6	2999	2329	3,22
	155	29,4	961	3,06	171,6	3308	2347	5,19
N	130	7,5	810	0,93	28,0	2322	1512	1,21
	186	10,5	1152	0,91	24,2	4876	3724	0,50

Tafel 6. Wirkstoffströme und Durchlaßgrade für 3 Stoffe von Schutzanzügen bei Exposition durch luftgetragene Wirkstoffe (links) und bei zusätzlich von Hand besprühter Stoffoberfläche (rechts).

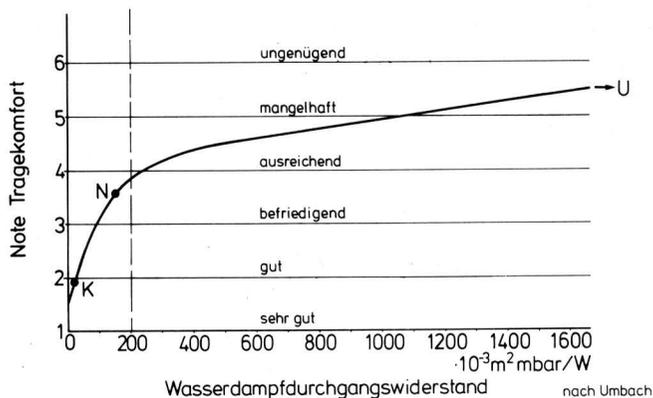


Bild 4. Subjektive Beurteilung des Tragekomforts von Schutzkleidung als Funktion des Wasserdampfdurchgangswiderstandes; Trageversuchszeit $t = 130$ min, $\vartheta = 20$ °C, $\varphi = 60$ %, Gehen mit $v = 4,5$ km/h, Muskelleistung $M = 292$ W; nach *Umbach* [7].

5.3 Testeinrichtung zur Prüfung der Eignung von porösen textilen Stoffen für Schutzanzüge

Die Bestimmung des Durchlaßgrades von Schutzanzügen unter praxisnahen Bedingungen ist recht aufwendig, wie dieser Bericht zeigt. Es ist daher daran zu denken, diese wichtige Eigenschaft durch einfache, standardisierte Meßmethoden zu bestimmen. Zu diesem Zweck wird die in **Bild 5** im Schema dargestellte Anordnung vorgeschlagen und auf ihre Eignung untersucht.

Die Zerstäubung einer vorgebbaren Menge an Pflanzenbehandlungsmittel in Ausbringungs- oder auch Handelsform erfolgt durch eine Zweistoffdüse. Das Mittel wird der Düse über eine Injektionspritze zugeführt. Über eine Kalibrierung läßt sich ermitteln, welcher Anteil der injizierten Menge die Zielfläche, die zu testende Stoffprobe, erreicht. Unterhalb der Probe befindet sich ein Sorptionsmittel, das den durchgehenden Wirkstoff aufnimmt. Dessen Menge wird über die mittelspezifischen Eigenschaften analytisch bestimmt. Somit sind die Daten zur Berechnung des Durchlaßgrades bekannt.

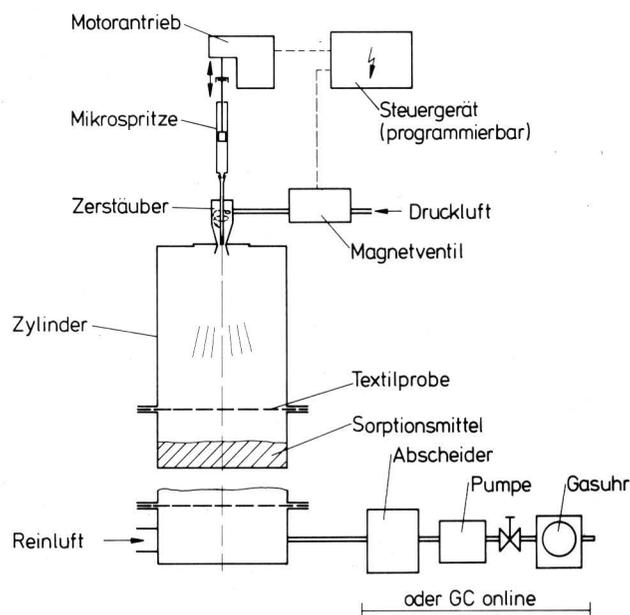


Bild 5. Entwurf für eine Testeinrichtung zur Bestimmung des Durchlaßgrades von Stoffen für Schutzanzüge.

Derzeit wird daran gearbeitet, optimale, repräsentative Testbedingungen zu finden. Zu klären ist dabei u.a. die Simulation des Kontaktes zwischen Anzug und Träger, d.h. Textilprobe und Sorptionsmittel.

Einige Mittelhersteller beabsichtigen oder haben damit begonnen, diese Einrichtung zur mittelspezifischen Prüfung der Eignung von textilen Stoffen für Schutzanzüge einzusetzen.

Für die vorliegende Arbeit wurde diese Einrichtung u.a. dazu benutzt, um den Durchlaßgrad für extreme Belastungen durch flüssige Pflanzenschutzmittel während der Applikation in Raumkulturen zu ermitteln (Abschn. 5.1). Dazu wurde der Spritzflüssigkeit der Farbstoff Brillantsulfoflavin (BSF) zugesetzt. Unter der Stoffprobe befinden sich als Sorptionsmittel mit direktem Kontakt Filterpapiere aus α -Cellulose. Für die angenommene extreme Exposition ist die gesamte Stoffoberfläche u.U. mit einem Flüssigkeitsfilm bedeckt, der unter realen Bedingungen teilweise vom Anzug abfließen würde.

Für die 3 untersuchten Stoffe ergaben sich bei einer Belastungsdauer von einer Stunde Durchlaßgrade $D < 0,5$ %. Diese niedrigen Werte erklären sich daraus, daß bei den gewählten Bedingungen keine gasförmigen Wirkstoffanteile auftreten.

Zu fragen ist noch, wie sich die Schutzanzüge bei Störfällen mit einer hohen Auftreffgeschwindigkeit der Flüssigkeit verhalten. Wie zu erwarten, zeigt für diesen Fall der Stoff K die größte und der Stoff U die niedrigste Durchlässigkeit.

6. Versuche zum Durchlaßgrad von Atemschutzgeräten auch in Verbindung mit dem Kopfschutz

Es gibt Arbeitsbedingungen, für die Atemschutz gefordert wird. Aus diesem Grund wurde geprüft, welcher Atemschutz in der Regel zu empfehlen ist, auch in Verbindung mit einer Kopfhäube.

Die Beurteilung des Atemschutzes erfolgt über den jeweiligen Durchlaßgrad für das Mittel. Dieser ergibt sich zu

$$D_A = \frac{\xi_{\text{resp}}}{\xi_G}$$

Die Versuchsanordnung für diese Messungen zeigt **Bild 6**. Die Bedingungen im Gewächshaus entsprechen denen nach Abschnitt 5. Die Meßeinrichtung entspricht im Grundsatz der zur Prüfung von Atemschutzgeräten [8]. Wegen der flüssigen Partikel wird die gesamte eingeatmete Luft durch einen Abscheider geleitet, um die Wirkstoffmenge ohne die Probleme einer Teilstromentnahme erfassen zu können. Dem damit verknüpften hohen Druckverlust entsprechend, wurde eine diesen Bedingungen genügende künstliche Lunge ausreichender Pumpenleistung entwickelt. Das gewünschte Atemprofil läßt sich durch eine elektronische Steuerung von Ein- und Ausatemventil einstellen. Gewählt wurden 18 Perioden pro Minute mit etwa $1,5$ m³/h Luftvolumenstrom. Dieser Meßeinrichtung läßt sich eine weitere (z.B. Flammen-Ionisations-Detektor, FID) überlagern, um auch mit ausschließlich gasförmigem Schadstoffanteil in der Luft arbeiten zu können. Dies ermöglicht es, Anschluß an die Daten aus der amtlich vorgeschriebenen Atemschutzgeräteprüfung zu erhalten. Auch lassen sich damit die Leckagen (Verpassungs- und Ventilleckagen) anteilig erfassen. Dazu wird in schadstoffbelasteter Raumluft der Atemschutzmaske über den Filteranschluß Reinluft zugeführt.

Für die Vergleichsmessungen zur Atemschutzprüfung wurde die Luft im Gewächshaus mit 2000 ppm Propan angereichert. Verwendet wurden 2 geprüfte Halbmasken (S; U) mit Kombinationsfiltern A2+P3 bzw. A1+P3. Die Ergebnisse zeigt **Tafel 7**. Die ermittelten Durchlaßgrade entsprechen den amtlichen Prüfergebnissen.

Für Versuche mit Pflanzenschutzmittel zeigen **Bild 7** und **8** in Abhängigkeit vom Wirkstoffgehalt der Raumluft die ermittelten Wirkstoffmengen in der eingeatmeten Luft bei Verwendung der Halbmasken Bauart S und U jeweils mit und ohne Kopfhäube.

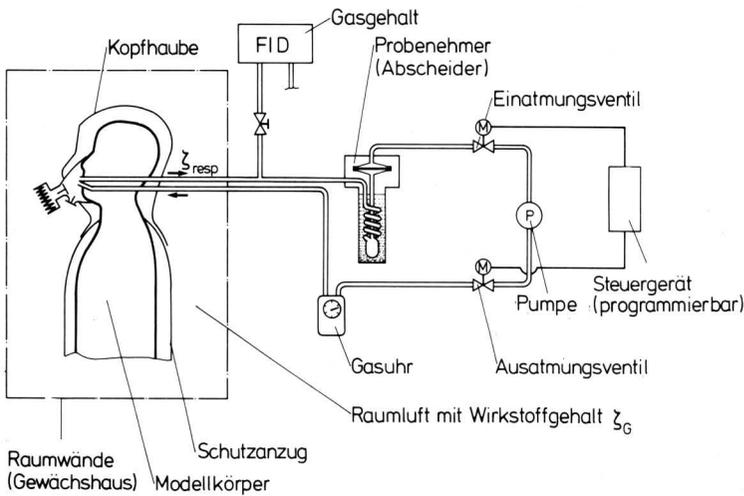


Bild 6. Versuchsanordnung zur Messung der eingeatmeten Wirkstoffmenge bei unterschiedlichem Atem- und Kopfschutz; der Wirkstoffgehalt unter der Kopfhäube wird mit einer Anordnung entsprechend Bild 1 ermittelt.

Bauart	Durchlaßgrade (%)		
	D_{ges}	D_F	D_L
S	0,7–1,6	0,9–1,2	0,1–0,3
	<u>1,2</u>	<u>1,0</u>	<u>0,2</u>
U	0,9–1,1	0,8–1,0	0,1–0,3
	<u>1,0</u>	<u>0,9</u>	<u>0,2</u>

D_{ges} = Gesamtdurchlaßgrad
 D_F = Durchlaß Filtersystem
 D_L = Durchlaß über Leckagen
 Unterstrichene Zahlen geben Mittelwerte an.

Tafel 7. Durchlaßgrade der untersuchten Halbmasken S und U für etwa 2000 ppm Propan in Luft; Modell im Gewächshaus, $\vartheta \approx 25^\circ\text{C}$, $\varphi \approx 70\%$.

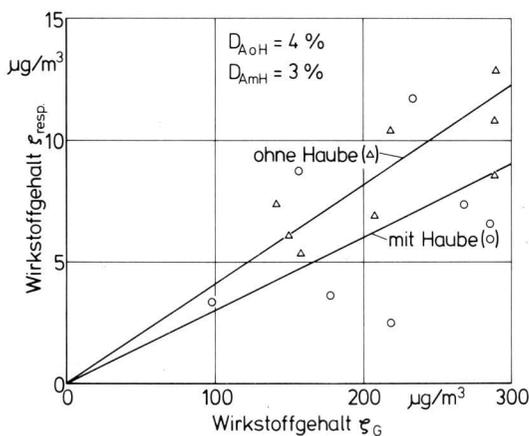


Bild 7. Wirkstoffgehalt in der eingeatmeten Luft ζ_{resp} in Abhängigkeit vom Wirkstoffgehalt der Luft im Gewächshaus in Kopfhöhe; Halbmaske S (Kombinationsfilter A2+P3) mit und ohne Kopfhäube.

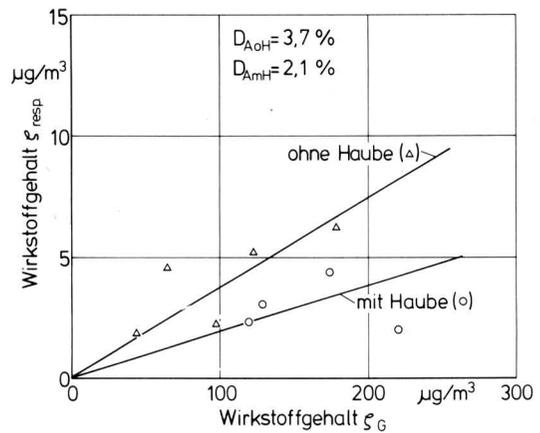


Bild 8. Wirkstoffgehalt in der eingeatmeten Luft ζ_{resp} in Abhängigkeit vom Wirkstoffgehalt der Luft im Gewächshaus in Kopfhöhe; Halbmaske U (Kombinationsfilter A1+P3) mit und ohne Kopfhäube.

Es zeigt sich, daß die Durchlaßgrade ohne Haube D_{AoH} für Pflanzenschutzmittel deutlich höher liegen als für reines Gas. Dies ist aber nicht auf den Stoff, sondern auf die höhere Verpassungsleckage zurückzuführen. Bei den Messungen mit reinem Gas wurde diese Leckage durch Nachsetzen der Maske solange verändert, bis der niedrigste Wert erreicht wurde. Auf diese Möglichkeit wurde beim Messen mit dem Pflanzenbehandlungsmittel verzichtet, um auch ungünstigere Fälle und die Wirkung der Schutzhaube zu erfassen.

Insgesamt zeigt sich, auch aufgrund weiterer hier nicht mitgeteilter Versuche, daß die bei der amtlichen Prüfung von Atemschutzgeräten ermittelten Durchlaßgrade der Halbmasken für Gase auch für Pflanzenbehandlungsmittel voll gültig sind und daß sich die Ergebnisse für die flüssige Ausbringungsform und EC-Formulierung bei Übergang U von Schutzstufe P3 auf Schutzstufe P2 nicht signifikant ändern.

Die Versuche bei zusätzlichem Schutz mit einer Kopfhäube (Parameter in Bild 7 u. 8) zeigen, daß durch diese Maßnahme eine gewisse Verringerung des Durchlaßgrades möglich ist. Diese Abnahme ist abhängig von der Größe der Verpassungsleckage.

Die vergleichsweise große Streuung der Meßwerte in diesen Bildern ist auf die unterschiedliche Verpassungsleckage zurückzuführen.

Verschiedentlich wird für Pflanzenschutzarbeiten auch eine Vollmaske gefordert. Wegen der inhalativen Belastung ist eine solche Forderung aufgrund der in der Praxis auftretenden Expositionsdaten außer in Sonderfällen nicht erforderlich. Ein Grund für die Verwendung einer Vollmaske kann dann vorliegen, wenn ein entsprechender Augenschutz erforderlich ist. In diesem Zusammenhang wird die Frage aufgeworfen, ob sich dies nicht besser durch eine Kopfhäube erreichen läßt. Zu diesem Zweck wurde auch der Durchlaßgrad einer Kopfhäube aus Tyvek 1622 E ermittelt. Dazu wird eine Meßanordnung entsprechend Bild 1 verwendet. Die pads werden auf der Haube angeordnet.

Die ermittelten Ergebnisse zeigen Bild 9 und 10. Diese Kopfhäube, die gegenüber dem Körperschutz nicht abgedichtet ist, sondern nur lose aufliegt, hat für praxisnahe Bedingungen ($\zeta_G < 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Gewächshaus) einen Durchlaßgrad von etwa $D_{SH} < 20\%$. Verbesserte Formen erreichen auch niedrigere Werte. Auf diese Weise läßt sich die dermale Exposition deutlich vermindern, und zwar im Gegensatz zur Vollmaske für den gesamten Kopf- und Halsbereich.

Hieraus ist zu schließen, daß eine Vollmaske nur dann gefordert werden sollte, wenn aufgrund der toxikologischen Daten ein entsprechender Augen- und Atemschutz erforderlich ist.

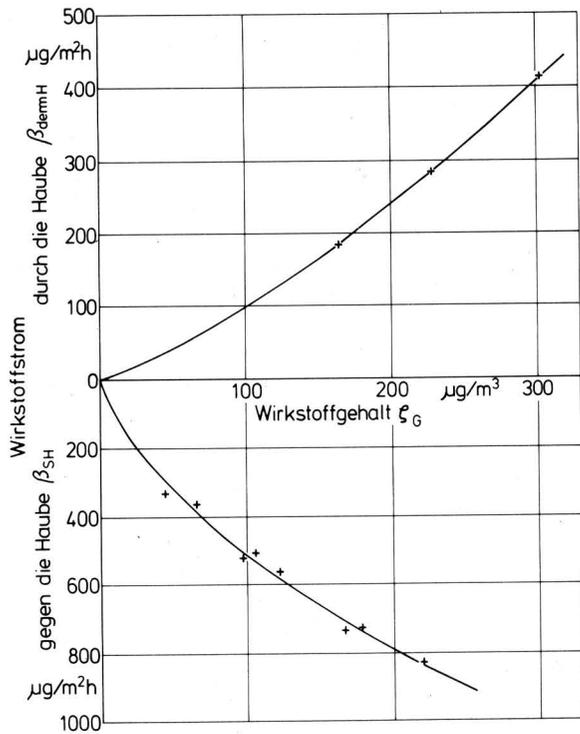


Bild 9. Wirkstoffströme gegen (β_{SH}) und durch die Kopfhaube (β_{demH}) in Abhängigkeit vom Wirkstoffgehalt der Luft im Gewächshaus in Kopfhöhe; Halbmaske S, Haubenmaterial Tyvek 1622 E.

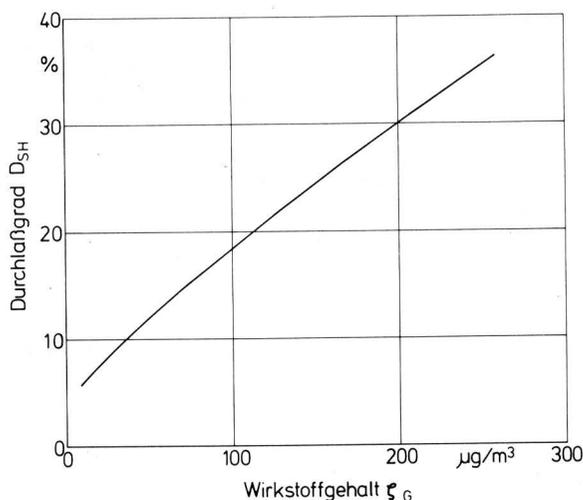


Bild 10. Durchlaßgrad der Kopfhaube in Abhängigkeit vom Wirkstoffgehalt der Luft im Gewächshaus; errechnet aus den Meßwerten nach Bild 9.

7. Übertragung der Versuchsergebnisse auf andere Bedingungen

Die durchgeführten Messungen nach Abschnitt 5 und 6 gelten für LINDAN in flüssiger Ausbringungsform und EC-Formulierung. Es ist zu fragen, ob und inwieweit sich die für diese Bedingungen gefundenen Ergebnisse auf andere Pflanzenbehandlungsmittel übertragen lassen.

Die Frage der Übertragbarkeit ist zu bejahen, wenn die untersuchten textilen Stoffe gegenüber dem jeweiligen Mittel hinreichend chemisch beständig sind. Davon ist bei hoher Verdünnung der Wirkstoffe in Wasser, also in Ausbringungsform, im allgemeinen auszugehen. Für die unverdünnten Präparate ist dies nicht in gleichem Maße zu erwarten.

Ergänzende Versuche mit der Einrichtung nach Bild 5 zeigen nämlich, daß der Durchlaßgrad für unverdünnte Präparate nach Sättigung des Stoffes auch derart mit der applizierten Menge ansteigen kann, daß die untersuchten Stoffe beim Anmischen und Beschicken der Geräte nicht immer einen hinreichenden Schutz bieten. Um die Vorteile dieser Anzüge dennoch nutzen zu können, ist es notwendig, während dieses Arbeitsabschnittes zusätzlich eine mittelundurchlässige Latzschürze zu tragen.

Aus diesem Grund ermitteln Hersteller von Pflanzenbehandlungsmitteln mit der Testeinrichtung nach Bild 5 den Durchlaßgrad verschiedener textiler Stoffe für Präparate in Handels- und Ausbringungsform, für die S-Sätze relevant sind.

Bei hinreichender chemischer Beständigkeit und schwacher Benetzung der textilen Stoffe ist im Vergleich zu LINDAN für andere Mittel zu erwarten:

Für Pflanzenbehandlungsmittel mit einem Dampfdruck, der niedriger liegt als der von LINDAN (10^{-4} mbar, 25 °C), wird der Durchlaßgrad für poröse Textilien ebenfalls niedriger liegen. Die Zunahme des Wertes von D_{SB} ist für den Dampfdruckbereich $10^{-4} < p < 10^{-2}$ mbar in der Größenordnung als gering abzuschätzen. Für Wirkstoffe mit einem Dampfdruck $p > 10^{-2}$ mbar ist zu prüfen, ob die gasförmige dermale Exposition aufgrund toxikologischer Daten als relevant anzusehen ist. Gegebenenfalls ist dies in der Gebrauchsinformation zu nennen.

Zur Übertragung der Versuchsergebnisse auf andere Wirkstoffkonzentrationen ist daran zu denken, daß sich die gemessene Sperrwirkung kausal aus dem Spritzmittelstrom ergibt, aber der Wirkstoffstrom als beschreibende Größe angegeben wird. Für Umrechnungen ist von den entsprechenden Größen auszugehen, d.h. die Wirkstoffströme sind in Spritzmittelströme umzusetzen.

Ein Beispiel: Wird die Wirkstoffkonzentration der Flüssigkeit gegenüber den Versuchen bei sonst gleichen Bedingungen von $c_W = 0,025\%$ auf $c_W = 0,1\%$ erhöht, steigen auch der Wirkstoffgehalt der Luft ξ_G und der Wirkstoffstrom β_{SB} auf etwa das Vierfache, der Durchlaßgrad aber bleibt nahezu unverändert.

Diese Umrechnung ist aber nur unter der Bedingung zulässig, daß der Durchlaßgrad unabhängig ist von der Wirkstoffkonzentration. Dies trifft für den Atemschutz und für textile Stoffe im wesentlichen nur zu für Mittel in sehr hoher Verdünnung, also in Ausbringungsform.

Bei WP-Formulierung sind geringfügig niedrigere Durchlaßgrade zu erwarten. Deutlich niedriger sind die Durchlaßgrade für die staubförmige Ausbringungsform abzuschätzen.

8. Zusammenfassung

Aus Expositions- und toxikologischen Daten läßt sich das gesundheitliche Risiko für den Anwender abschätzen. Existiert ein Gefahrenpotential — meist nur bei Insektiziden und Rodentiziden — kann man dieses u.a. über Schutzmaßnahmen hinreichend abbauen.

Um die Sicherheit einer Risikoabschätzung und damit die aus ihr abzuleitenden Schutzmaßnahmen zu verbessern, haben Arbeiten des Instituts zum Ziel, nicht nur die Expositionshöhe zu messen, sondern auch die Abhängigkeiten kausalanalytisch zu ermitteln. Die grundsätzlichen Schritte dieser Methode werden angesprochen und die seitherigen Ergebnisse eingebracht.

Ausgehend von diesen Expositionsdaten wird versucht, ein Anforderungsprofil für Schutzmaßnahmen zu entwickeln. Diese Anforderungen sind Grundlage für Versuche über die Eignung von Schutzeinrichtungen.

Zur Beurteilung von Schutzanzügen ist neben der Sperrwirkung die Akzeptanz heranzuziehen. Diese hängt insbesondere von der thermischen Behaglichkeit ab, für die als charakteristische Größe der Wasserdampfdurchgangswiderstand nach DIN 54101 geeignet ist.

Für Lufttemperaturen um 20 °C und Luftfechtigkeiten $\varphi < 60\%$ wird Behaglichkeit für einen Wasserdampfdurchgangswiderstand der Stoffe von $R_{et} < 200 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{mbar/W}$ erreicht. Mit steigender klimatischer Belastung erniedrigt sich dieser Wert.

Es gibt textile Stoffe, die diese Bedingung wie auch die Forderung nach einem hinreichend niedrigen Durchlaßgrad erfüllen. Hinsichtlich der Sperrwirkung solcher gasdurchlässiger Stoffe ist nach der Expositionssituation zu unterscheiden, nämlich Belastung durch luftgetragene Teilchen und durch Kontakt mit dem unverdünnten Mittel. Während der Applikation erreichen die untersuchten Stoffe eine hinreichende Schutzwirkung, nicht immer aber unter Bedingungen wie beim Anmischen und Beschieken der Geräte mit flüssigen Präparaten. Für diesen Arbeitsabschnitt muß man dann zusätzlich eine undurchlässige Latzschürze tragen.

Den insgesamt beachtlichen Vorteilen wasserdampfdurchlässiger und damit thermisch behaglicher Schutzanzüge steht die Notwendigkeit gegenüber, daß für ihre Verwendung ausgehend von Expositions-, Klima- und Sperrwirkungsdaten u.U. Handhabungshinweise erforderlich sind.

Um die recht aufwendigen Untersuchungen über die Sperrwirkung textiler Stoffe gegen Pflanzenschutzmittel unter praxisnahen Bedingungen ohne Aussageverlust durch einfache Versuche ersetzen zu können, wurde die Entwicklung einer Testeinrichtung aufgenommen.

Für den Durchlaßgrad von Atemschutzgeräten gegenüber Pflanzenbehandlungsmitteln lassen sich die Ergebnisse der amtlichen Geräteprüfung heranziehen. Für den Normalfall ist eine geprüfte Halbmaske mit Kombinationsfilter A2+P2 als geeignet zu bezeichnen.

Durch eine Kopfhaut wird die inhalative Exposition dann herabgesetzt, wenn eine Verpassungsleckage auftritt. Die dermale Exposition des Kopfes läßt sich durch einfache Kopfhauten deutlich senken.

Verwendete Formelzeichen

A	m ²	Oberfläche
A _w	kg/ha	Aufwand an Wirkstoff
c _w	%	Wirkstoffkonzentration in der Spritzflüssigkeit
D	%	Durchlaßgrad (Anteil des Wirkstoffstromes gegen eine Schutzeinrichtung, der durchgelassen wird)
D _A	%	Durchlaßgrad eines Atemschutzes
D _{AmH}	%	Durchlaßgrad D _A mit Kopfhaut
D _{AoH}	%	Durchlaßgrad D _A ohne Kopfhaut
D _{SB}	%	Durchlaßgrad eines Schutzanzuges
D _{SH}	%	Durchlaßgrad einer Kopfhaut
h	m	Höhe über Boden
p	mbar	Dampfdruck
R _{et}	m ² mbar/W	Wasserdampfdurchgangswiderstand nach DIN 54101
WD	g/m ² h mbar	Wasserdampfdurchlässigkeit nach DIN 54101

β	$\mu\text{g}/\text{h}$	Wirkstoffstrom
β_{dem}	$\mu\text{g}/\text{h}$	dermale Exposition = Wirkstoffstrom gegen die Haut
$\beta_{\text{dem B}}$	$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Wirkstoffstrom durch einen Schutzanzug
$\beta_{\text{dem H}}$	$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Wirkstoffstrom durch eine Kopfhaut
β_{resp}	$\mu\text{g}/\text{h}$	inhalative Exposition (Wirkstoffstrom in den Atemtrakt)
β_{SB}	$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Wirkstoffstrom gegen einen Schutzanzug
β_{SH}	$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Wirkstoffstrom gegen eine Kopfhaut
ξ_G	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Wirkstoffgehalt in der Luft im Gewächshaus in Höhe der jeweiligen Meßstelle
ξ_{resp}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Wirkstoffgehalt in der eingeatmeten Luft
ϑ_L	°C	Lufttemperatur
φ	%	Luftfeuchtigkeit

Schrifttum

- [1] Leitfaden des Bundesgesundheitsamts: Gesundheitsschutz durch Einstufung und Kennzeichnung von Pflanzenbehandlungsmitteln nach Gefahrstoffverordnung. Entwurf v. 26.9.1986. BGA, D-1000 Berlin 33, Postfach 33 00 13.
- [2] EPA: Pesticide Assessment Guidelines. Subdivision U: Applicator Exposure Monitoring. Januar 1986 (Entwurf). U.S. EPA, 401 M Street SW, Washington DC 20460.
- [3] *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.
- [4] *Batel, W.:* Zur inhalativen und dermalen Anwenderexposition beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln. *Grundl. Landtechnik* Bd. 35 (1985) Nr. 3, S. 65/70.
- [5] *Batel, W.:* Exposition des Anwenders während der Applikation von Pflanzenbehandlungsmitteln in Gewächshäusern. *Grundl. Landtechnik* Bd. 35 (1985) Nr. 6, S. 177/82.
- [6] Merkblatt 18/1 der Biologischen Bundesanstalt: Persönliche Schutzausrüstung beim Umgang mit Pflanzenbehandlungsmitteln. BBA, D-3300 Braunschweig, Messeweg.
- [7] *Umbach, K.H.:* Bekleidungsphysiologische und technische Aspekte von wasserabweisenden, jedoch wasserdampfdurchlässigen Textilkonstruktionen. *Schlußbericht zum Forschungsvorhaben AIF-Nr. 5296 (1985), Bekleidungsphysiologisches Institut, 7124 Bönnigheim, Schloß Hohenstein.*
- [8] *Riediger, G., H.U. Tobis u. H. Kunst:* Untersuchungen zur Leckage von filternden Atemschutzgeräten. *Staub-Reinhaltung der Luft* Bd. 45 (1985) Nr. 11, S. 525/31.