

(Aus der Bundesanstalt für Pflanzenschutz, Wien. Direktor: a. o. Prof. Dr. K. Russ)

Über das Auftreten von Pflanzenschutzmitteln in der Luft

Von H. NEURURER UND R. WOMASTEK

1. Problemstellung

Grundsätzlich können Pflanzenschutzmittel während der Applikation, solange sie sich noch nicht auf der Zielfläche abgesetzt haben, durch Wind oder Thermik abgetriftet werden. Auch die Möglichkeit, daß gewisse leicht flüchtige Produkte aus einem Belag verdampfen können, war bekannt. Dieser Verdunstungsabtritt wurde aber bisher — mit Ausnahme einiger leicht flüchtiger Stoffe — zumindest im Freiland keine große Bedeutung beigemessen. Deshalb war die Applikationstechnik darauf ausgerichtet, während der Ausbringung der Mittel die Umweltbelastung durch Direktabtritt zu vermeiden.

Aufgrund neuester Untersuchungen können aber größere Mengen schon innerhalb von 24 Stunden von einem Belag verdunsten und in die Atmosphäre gelangen. Das bedeutet, daß auch durch sachgemäße Applikationstechnik Pflanzenschutzmittelverluste, die die Umwelt belasten, nicht ausreichend vermieden werden können. Hiefür müßten neue Wege in der Produktentwicklung und der Formulierungstechnik beschritten werden.

2. Derzeitiger Wissensstand

Seit der Mitte der sechziger Jahre ist bekannt, daß einige Wirkstoffe aus der Reihe der chlorierten Kohlenwasserstoffe sich über die Luft global verteilen können. Spektakuläre Ergebnisse über den Nachweis von DDT in der Antarktis führten bald zu einer Reihe weiterer Untersuchungen, die ergaben, daß die Verfrachtung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen über weite Strecken keineswegs typisch für alle Pflanzenschutzmittel ist. Nur bei ausreichender Persistenz, die in der Luft vor allem hydrolytische und photolytische Stabilität der Substanzen zur Voraussetzung hat, kann eine weiträumige Verteilung erfolgen. Es zeigte sich auch, daß durch Codestillation mit Wasser Wirkstoffe mit sehr niederem Dampfdruck in die Atmosphäre gelangen können (ACREE und MA. 1963).

Die wesentlichen Wege, auf denen der Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in die Luft erfolgt, wie Direktabtritt während der Applikation, Verdunstungsabtritt, Thermikabtritt, Verdunstung von sekundären Depositoberflächen, Verfrachtung von an Staubteilchen adsorbierten Wirkstoffen durch den Wind sowie direkter Eintrag bei der Herstellung und Formulierung der Pflanzenschutzmittel, wurden ausführlich beschrieben (NEURURER 1975, EWENS und STEPHENSON 1979).

Zur mengenmäßigen Erfassung verdunstender Wirkstoffe werden oft Modelloberflächen, wie Filterpapier oder häufiger Glasoberflächen herangezogen

(PHILLIPS 1971). Dies hat den Vorteil guter Reproduzierbarkeit und dient vor allem dazu, bei systematischer Variation der für die Verdunstung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen wesentlichen Einflußfaktoren, nähere Kenntnisse über Verdunstungsprozesse zu gewinnen.

Als entscheidende Parameter für die Verdunstung sind vor allem die Einflüsse von Temperatur, Feuchtigkeit, Luftaustauschrate, Dampfdruck, Adsorptionsfähigkeit, Löslichkeit und Formulierung zu nennen. Neben dieser Vielzahl von Einflußgrößen wird die theoretische Erfassung der Verdunstungsprozesse durch die Tatsache erschwert, daß es sich um dynamische Prozesse handelt. Die Beschreibung mittels thermodynamischer Größen ist deshalb streng genommen unrichtig (SUNTIO und Ma. 1988). Um mittels mathematischer Rechenmodelle Prognosen über das Verdunstungsverhalten einzelner Substanzen stellen zu können, ist daher die Kenntnis der Massenflüsse und der dazugehörigen Stoffübergangs- bzw. Diffusionskoeffizienten unbedingt erforderlich. Diese fehlen aber bislang weitgehend.

Der Verdunstungsvorgang läßt sich in die folgenden vier Abschnitte gliedern (NOLTING und Ma. 1988):

1. Transport des Wirkstoffes zur Oberfläche des Substrats (entweder über die Gasphase oder die flüssige Phase),
2. Desorption von der Oberfläche,
3. Diffusion durch eine ruhende Luftschicht direkt über der Oberfläche,
4. Konvektiver Abtransport in turbulent durchmischte Luftschichten.

Alle Teilschritte sind durch entsprechende Übergangskoeffizienten miteinander gekoppelt. Jeder der vier Einzelvorgänge kann dabei geschwindigkeitsbestimmend für den Gesamtvorgang sein. Eine Trennung der Einzelvorgänge ist sowohl experimentell als auch theoretisch schwierig.

Auch zur mengenmäßigen Beschreibung der Verdunstung einzelner Stoffe oder Stoffgruppen als reine Wirkstoffe oder in Formulierungen, gibt es große Wissenslücken. Bisher wurden vor allem Wirkstoffe aus der Reihe der chlorierten Kohlenwasserstoffe und einiger Phosphorsäureester näher untersucht (SPENCER und Ma. 1979, LICHTENSTEIN und SCHULZ 1970, NASH 1983).

Bei den Untersuchungen, die in letzter Zeit durchgeführt wurden, zeigte sich vor allem, daß der Verdunstungsprozeß im wesentlichen bereits 24 Stunden nach der Applikation abgeschlossen ist (BOEHNCKE und Ma. 1989). Auch wird immer deutlicher, welch großen Einfluß die Natur der Oberfläche hat, von der die Verdunstung erfolgt, insbesondere wenn es sich um Blattoberflächen handelt. Die systematische Untersuchung der Verdunstungsabtrift wird daher in Zukunft stärker im Vordergrund stehen müssen.

Zur Verdunstung von Herbiziden aus einem Spritzbelag im Vegetationshaus und Freiland wurde z. B. von NEURURER (1975) festgestellt, daß 2,4-D, das von behandelten Glasplatten verdunstete, empfindliche Testpflanzen in Vegetationskabinen schädigte. Im Freiland dagegen war keine derartige Schädigung bei ähnlicher Versuchsanstellung feststellbar. Auch bei großflächiger Applikation wirkte sich eine Verdunstung von Herbiziden aus einem Spritzbelag nur dann schädigend aus, wenn leicht flüchtige Herbizide wie CIPC, oder Präparate in Dieselöl gelöst verwendet wurden (NEURURER 1974 und 1975).

Grundsätzlich können drei Abtriftformen unterschieden werden, und zwar die Direktabtrift durch den Einfluß des Windes während der Applikation, die Thermikabtrift durch aufsteigende Luftbewegung unter Mitnahme leichter Tröpfchen, sowie die Verdunstungsabtrift durch Phasenwechsel der Substanzen von einem Belag in die Luft. Aufgrund kaum aufgetretener Herbizidschäden konnte bisher der Verdunstungsabtrift keine größere Bedeutung beigemessen werden.

3. Material und Methodik

3.1 Laboruntersuchungen

Zur Ermittlung der Verdunstung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen von Modelloberflächen wurden Petrischalen mit je 60 g gereinigten Glaskugeln (4 bis 5 mm Durchmesser) gefüllt und in einem chemischen Herd bei eingeschalteter Belüftung und einer Temperatur von 20 bis 21° C ausgelegt. Jede Schale wurde mit einer definierten Menge Wirkstoff (0,3 mg) in 2 ml Äthylacetat bzw. i-Octan versetzt, in bestimmten Zeiträumen (1, 3, 5, 24 Stunden) wurden die Schalen aus dem chemischen Herd genommen und die verbliebenen Wirkstoffmengen mit Äthylacetat bzw. i-Octan eluiert. Zur Ermittlung der Wiederfindungsraten wurden die Wirkstoffe von den Glaskugeln sofort nach den jeweiligen Aufgaben eluiert. Die Bestimmung der einzelnen Rückstände erfolgte gaschromatographisch nach den folgenden Analysemethoden:

Die Glaskugeln wurden sorgfältig mit Äthylacetat, bzw. bei Lindan oder lindanenthaltenden Präparaten mit i-Octan, eluiert. Das Lösungsmittel wurde danach über Natriumsulfat getrocknet, abfiltriert und auf ein für die Gaschromatographie geeignetes Volumen gebracht.

Bei den Freilandversuchen wurden die Blattproben, die sofort mit dem Lösungsmittel versetzt wurden, homogenisiert, filtriert und der Filtrerrückstand zweimal mit Lösungsmittel gewaschen. Die vereinigten organischen Extrakte wurden über Natriumsulfat getrocknet und mit Lösungsmittel auf ein definiertes Volumen gebracht. Diese verdünnten Extrakte wurden für die Bestimmungen von Mevinphos und Atrazin direkt, ohne weitere Vorreinigung, gaschromatographisch bestimmt. Die Blattproben mit Rückständen von Lindan wurden mit i-Octan extrahiert und nach der Homogenisierung, Filtration und Trocknung über Natriumsulfat der Extrakt vorsichtig am Rotavapor auf 2 ml eingeeengt. Anschließend wurde der Extrakt auf eine Säule mit 15 g Aluminiumoxid aufgegeben und mit i-Octan eluiert. Der gereinigte Extrakt wurde auf ein geeignetes Volumen verdünnt und gaschromatographisch bestimmt.

Bedingungen für die Gaschromatographie: Alle Wirkstoffe, außer Lindan, wurden mit einem HRGC 5300 Mega Series Gerät der Firma Erba Science bestimmt. Injektor 220° C, Ofentemperatur: 180° C für Mevinphos, 200° C für Chlorpyrifos, Fenitrothion, Methidathion, Parathion, Pendimethalin und Atrazin. Detektortemperatur 270° C (NPD), Trägergas: Helium, Brenngase: Luft und Wasserstoff, Säule: 5 % OV 101, Gaschrom Q 125 bis 150 µ, 1,2 m Länge, 2,5 mm Durchmesser.

Die Bestimmung von Lindan erfolgte an einem mit ECD Detektor ausgestatteten HP 5890 der Firma Hewlett Packard. Injektor: Cool on-column, Ofen: von 95° C auf 215° C mit 20° C/min., von 215° C auf 245° C mit 10° C/min., dann zehn Minuten isotherm.

Säule: Megabore HP 5, 15 m, Detektortemperatur: 350° C, Trägergas: N₂, Make-up Gas: Helium.

Für die Versuche wurden folgende Wirkstoffe mit hohem oder mittlerem Dampfdruck ausgewählt:

Wirkstoff	Dampfdruck (mbar) nach ПЕРКОВ (1985)
Mevinphos	$3,8 \times 10^{-3}$ (21° C)
Chlorpyrifos	$2,4 \times 10^{-5}$ (25° C)
Fenitrothion	$7,0 \times 10^{-5}$ (20° C)
Methidathion	$1,3 \times 10^{-6}$ (20° C)
Parathion	$7,4 \times 10^{-6}$ (20° C)
Pendimethalin	$8,4 \times 10^{-5}$ (25° C)
Atrazin	$4,0 \times 10^{-7}$ (20° C)
Lindan	$1,2 \times 10^{-5}$ (20° C)

Zusätzlich wurden diese Wirkstoffe in Form von Pflanzenschutzmitteln als wäßrige Spritzbrühen auf die Glaskugeln appliziert, um etwaige Einflüsse des wäßrigen Milieus und der Formulierungsbeistoffe auf das Verdunstungsverhalten der Wirkstoffe zu ermitteln. Folgende Präparate wurden eingesetzt:

Präparat	Wirkstoff
Phosdrin EC, Reg. Nr. 797 (Shell)	Mevinphos
Gamma flüssig, Reg. Nr. 2228 (Epro)	Lindan
E 605 forte Universal Insektizid, Reg. Nr. 133 (Bayer Austria)	Äthylparathion
Ultracid 20 Emulsion, Reg. Nr. 1404 (Ciba-Geigy)	Methidathion
Gesaprim 500 flüssig, Reg. Nr. 1583 (Ciba-Geigy)	Atrazin
Dicontal Neu, Reg. Nr. 1032 (Bayer Austria)	Fenitrothion
Dursban 4 E, Reg. Nr. 1692 (Agro)	Chlorpyrifos
Stomp, Reg. Nr. 2183, (Cyanamid)	Pendimethalin

Da neuere Untersuchungen über die Verflüchtigung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen zeigen, daß der Verdunstungsprozeß von Blattoberflächen 24 Stunden nach der Applikation im wesentlichen abgeschlossen ist (БОЖЕНСКИЕ und Ma. 1989), wurden die Probenahmen bei den Labor- und Freilandversuchen auch nur bis zu 24 Stunden nach Applikation vorgenommen.

3.2 Vegetationshausversuche

In Vegetationshauskabinen im Ausmaß von 18 m³ wurden vier Stück 0,5 m² große Glasplatten, die vorher außerhalb der Kabinen mit 0,2 ml/m² 68%igem 2,4-D-Salzpräparat bespritzt wurden, ausgelegt. Die Kabinentemperatur betrug 20° C, die Belichtung — Sonneneinstrahlung Mitte Mai bis Mitte Juni, die relative Luftfeuchtigkeit schwankte zwischen 60 und 80 %. In der Kabine wurden die Testpflanzen Tomate, Paprika, Raps und Salat im Sechs-Blattstadium in Töpfen in vierfacher Wiederholung aufgestellt. Die Pflanzen wurden regelmäßig hinsichtlich des Auftretens von typischen Wachstumsanomalien beobachtet.

3.3 Freilandversuche

3.3.1 Verdampfungsmessung

Zur Untersuchung von Verdunstungsvorgängen bei Wirkstoffen von Blattoberflächen unter praxisnahen Bedingungen wurden Freilandversuche in Sonnenblumen- und Zuckerrübenkulturen durchgeführt. Dabei wurden die Wirkstoffe Mevinphos, Atrazin und Lindan in Form von Spritzbrühen der Präparate Phosdrin, Gesaprim 500 flüssig und Gamma flüssig in praxisüblichen Konzentrationen mittels Handspritze, die mit einer Flachstrahldüse 11004 ausgestattet war, unter Anwendung eines Druckes von 2,5 bar ausgebracht.

Sofort nach der Applikation dieser Präparate wurden in beiden Kulturen, nach ein und nach 24 Stunden, pro Kultur je drei Blattproben entsprechend einer Fläche von je 20 × 20 cm entnommen und in verschließbare Glasgefäße gegeben, die mit 250 ml Äthylacetat, bzw. 250 ml i-Octan für Gamma flüssig, versetzt wurden. Die Proben wurden sofort ausgearbeitet und die Rückstände der Wirkstoffe gaschromatographisch bestimmt.

Zur Ermittlung des Einflusses unterschiedlicher Luftaustauschraten auf die Verdunstung der Wirkstoffe von den Blattoberflächen wurde ein Teil der Kulturen nach der Applikation mit einer Kunststoff-Folie abgedeckt und von den darunter befindlichen Pflanzen in gleicher Weise wie oben beschrieben Proben gezogen.

Gleichzeitig wurden Petrischalen, gefüllt mit je 60 g gereinigten Glaskugeln, im Freien ausgelegt und parallel zu den Applikationszeitpunkten bei den Son-

nenblumen und Zuckerrüben mit je 1 ml Spritzbrühe der Präparate Phosdrin, Gesaprim 500 flüssig und Gamma flüssig versetzt. Eine und 24 Stunden nach der Behandlung wurden die Glaskugeln mit Äthylacetat bzw. i-Octan (Gamma flüssig) eluiert und die Rückstände, wie bei den Laborversuchen beschrieben, analysiert. Ziel des Versuches war, einen direkten Vergleich zwischen den Verdunstungsraten der Wirkstoffe von den Blattoberflächen und den Glaskugeln bei praktisch identen äußeren Bedingungen zu erhalten.

Bei den Zuckerrüben wurde auch der Rübenkörper auf etwaige Rückstände untersucht, um eine Konzentrationsabnahme in den Blättern aufgrund einer raschen Verteilung des systematischen Wirkstoffes Mevinphos ausschließen zu können.

3.3.2 Versuche im Windschatten

An den vier Außenwänden eines Feldschuppens wurden wiederum 0,5 m² große Glasplatten, die — gleich wie beim Vegetationshausversuch — mit 0,2 ml/m² eines 68%igen 2,4-D-Salz-Präparates behandelt waren, ausgelegt, mit Testpflanzen umstellt und fortlaufend beobachtet. Die Versuche wurden von Mitte Mai bis Anfang Juni durchgeführt. Während der ersten zwei Versuchstage war es sonnig und windstill, bei Mittagstemperaturen von 21° C. Es sollte geklärt werden, ob auch die für eine Schädigung erforderliche Kontamination in der umgebenden Luft unter extremen Freilandbedingungen erreicht werden kann.

3.3.3 Exposition behandelter Glasplatten in Weingärten

Vier Glasplatten, die gleich wie im Vegetationshaus behandelt wurden, aber nicht mit einem 2,4-D-Salzpräparat, sondern mit einem 48%igen 2,4-D-Esterprodukt, wurden in einem zehnjährigen Weingarten der Sorte „Grüner Veltliner“ in zwei Zeitstufen ausgelegt, und zwar zum Zeitpunkt der besonderen Empfindlichkeit der Reben gegen 2,4-D-Mittel, kurz nach dem Austrieb am 20. Mai und beim vollen Austrieb am 1. Juli.

3.3.4 Praxisnaher Großversuch

In einem praxisnahen Großversuch wurde ein 2 ha großes Weizenfeld nach der Bestockung am 15. Mai mit einem 48%igen 2,4-D-Esterpräparat in der empfohlenen Aufwandmenge behandelt. Die Spritzung erfolgte bei leichtem Wind von 1 m/s um 14 Uhr, so daß feine schwebende Spritztröpfchen sofort horizontal abgetriftet wurden. Das Weizenfeld war auf drei Seiten (ausgenommen die Seite in Windrichtung) von Weingärten umgeben, die eine eventuelle Verdunstungsabtrift angezeigt hätten. Außerdem wurden Testpflanzen sowohl innerhalb des Weizenfeldes als auch in allen vier Himmelsrichtungen außerhalb in Abständen von zehn Metern bis 200 m Entfernung aufgestellt. Eine Stunde nach der Spritzung herrschte völlige Windstille.

3.3.5 Untersuchung von Waldschäden

Im Rahmen eines großen Versuchsprojektes zur Erforschung der Ursache für das Eichensterben sollte geklärt werden, ob die in der Landwirtschaft zur Unkrautspritzung in Getreide verwendeten Phenoxypräparate einen Einfluß ausüben. Von verschiedenen Eichenbeständen wurden uns in den Monaten April bis Juni zahlreiche Proben von Regenwasser und Abtropfwasser im Bereich der Eichenkronen zur Untersuchung vorgelegt. Die Proben wurden mittels Kresstest (NEURUBER 1972) untersucht. Außerdem wurden nach dem Austrieb die Bestände auf Wachstumsanomalien untersucht, die eventuell Hinweise auf Einwirkung wuchsstoffhaltiger Unkrautbekämpfungsmittel geben könnten.

3.3.6 Untersuchung vermeintlicher Verdunstungsabtriftschäden in der Praxis

Es wurden 60 Abtriftschäden, die in der Praxis der Verdunstungsabtrift angelastet wurden, genau untersucht und deren Kausalität festgestellt.

4. Versuchsergebnisse

4.1 Ergebnisse der Laborversuche

Die Ergebnisse der Analysedaten wurden als Mittelwerte aus je n Wiederholungen jeder Versuchsreihe (Tabelle 1) dargestellt und die Streuung der Meßwerte durch Berechnung der Vertrauensbereiche gemäß einer 95%igen statistischen Sicherheit wiedergegeben. Außerdem wurde der mittlere Fehler des Mittelwertes (s_x) als Quotient der Standardabweichung und der Wurzel der Anzahl der Wiederholungen angegeben. Zur übersichtlichen Darstellung des Verdunstungsmaßes wurden die Rückstände der Wirkstoffe als mittlere prozentuale Anteile der Initialkonzentration wiedergegeben. Die Ergebnisse der Laborversuche sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1
Ergebnisse der Laborversuche

Wirkstoff (Präparat)	n	Zeit Std.	Rückstand (ppm)	s_x	Rückstand (%)
Methidathion	3	0	5,00 ± 0,25	0,058	100
	3	1	4,75 ± 0,13	0,030	95
	3	3	4,35 ± 0,22	0,050	87
	3	5	4,40 ± 0,31	0,072	88
	3	24	4,05 ± 0,33	0,077	81
Methidathion in Ultracid 20 Emulsion	3	0	5,10 ± 0,15	0,034	102
	3	1	4,80 ± 0,13	0,029	96
	3	3	4,35 ± 0,26	0,060	87
	3	5	4,15 ± 0,44	0,102	83
	3	24	4,00 ± 0,36	0,083	80
Chlorpyrifos	3	0	5,00 ± 0,37	0,086	100
	3	1	4,70 ± 0,69	0,159	94
	3	3	4,60 ± 0,26	0,060	92
	3	5	4,40 ± 0,63	0,145	88
	3	24	3,95 ± 0,26	0,060	79
Chlorpyrifos in Dursban 4E	3	0	5,15 ± 0,69	0,160	103
	3	1	4,85 ± 0,47	0,109	97
	3	3	4,90 ± 0,32	0,074	90
	3	5	4,65 ± 0,19	0,044	93
	3	24	4,40 ± 0,29	0,066	88
Pendimethalin	3	0	5,00 ± 0,19	0,044	100
	3	1	4,90 ± 0,07	0,016	98
	3	3	4,80 ± 0,07	0,016	96
	3	5	4,50 ± 0,07	0,016	90
	3	24	3,95 ± 0,19	0,044	79
Pendimethalin in Stomp	3	0	4,90 ± 0,07	0,016	98
	3	1	4,65 ± 0,15	0,034	93
	3	3	4,70 ± 0,12	0,028	94
	3	5	4,50 ± 0,07	0,016	90
	3	24	4,20 ± 0,22	0,050	84

Wirkstoff (Präparat)	n	Zeit Std.	Rückstand (ppm)	$s_{\bar{x}}$	Rückstand (%)
Parathion	3	0	4,90 ± 0,15	0,034	98
	3	1	4,65 ± 0,36	0,084	93
	3	3	4,30 ± 0,07	0,016	86
	3	5	4,15 ± 0,32	0,073	83
	3	24	3,95 ± 0,29	0,066	79
Parathion in E605 forte Universal- Insektizid	3	0	5,10 ± 0,13	0,029	102
	3	1	4,50 ± 0,31	0,072	90
	3	3	4,15 ± 0,75	0,032	83
	3	5	4,00 ± 0,73	0,031	80
	3	24	4,00 ± 0,25	0,011	80
Mevinphos	11	0	4,96 ± 0,18	0,081	99
	11	1	3,99 ± 0,42	0,189	80
	11	3	3,20 ± 0,18	0,080	64
	11	5	2,90 ± 0,24	0,108	58
	11	24	2,20 ± 0,37	0,166	44
Mevinphos in Phosdrin EC 0,226 mg Wirkstoff	14	0	3,77 ± 0,14	0,032	100
	14	1	3,15 ± 0,24	0,056	82
	14	3	2,26 ± 0,29	0,067	60
	14	5	1,62 ± 0,27	0,062	43
	14	24	1,02 ± 0,11	0,025	27
Atrazin	3	0	5,15 ± 0,40	0,096	103
	3	1	5,05 ± 0,40	0,096	101
	3	3	5,00 ± 0,15	0,035	100
	3	5	5,00 ± 0,15	0,035	100
	3	24	5,00 ± 0,15	0,035	100
Atrazin in Gesaprim 500 flüssig 0,4 %ig entsprechend 1,8 mg Wirkstoff	3	0	29,40 ± 0,42	0,098	98
	3	1	30,00 ± 0,00	0,000	100
	3	3	28,50 ± 4,50	1,046	95
	3	5	39,40 ± 2,67	0,620	98
	3	24	27,90 ± 3,06	0,711	93
Lindan	3	0	4,65 ± 1,19	0,275	93
	3	1	4,55 ± 0,44	0,101	91
	3	3	3,45 ± 0,50	0,115	69
	3	5	2,25 ± 0,45	0,103	45
	3	24	1,00 ± 0,90	0,208	20
Lindan in Gamma flüssig	3	0	4,80 ± 0,61	0,142	96
	3	1	4,80 ± 0,76	0,175	96
	3	3	3,50 ± 0,40	0,090	70
	3	5	3,05 ± 0,13	0,029	61
	3	24	2,25 ± 0,44	0,101	45
Lindan in Gamma flüssig 0,5 %ig entsprechend 3,45 mg Wirkstoff	3	0	55,78 ± 4,28	0,996	97
	3	1	53,48 ± 10,30	2,393	93
	3	3	51,75 ± 6,58	1,530	90
	3	5	52,90 ± 9,51	2,210	92
	3	24	48,30 ± 6,23	1,447	84
Fenitrothion	3	0	5,05 ± 0,26	0,060	101
	3	1	4,90 ± 0,26	0,060	98
	3	3	4,75 ± 0,07	0,016	95
	3	5	4,75 ± 0,25	0,058	95
	3	24	4,30 ± 0,40	0,093	86
Fenitrothion in Dicontal Neu	3	0	4,95 ± 0,13	0,029	99
	3	1	4,75 ± 0,07	0,016	95
	3	3	4,75 ± 0,47	0,109	95
	3	5	4,85 ± 0,44	0,101	97
	3	24	4,40 ± 0,33	0,077	88
Fenitrothion in Dicontal Neu 0,3 %ig entsprechend 0,375 mg Wirkstoff	3	0	6,13 ± 0,09	0,020	98
	3	1	5,88 ± 0,16	0,036	94
	3	3	5,94 ± 0,16	0,036	95
	3	5	6,00 ± 0,09	0,020	96
	3	24	5,94 ± 0,09	0,020	95

n = Anzahl der Wiederholungen

4.2 Ergebnisse der Vegetationshausversuche

Die ersten typischen Wachstumsanomalien traten am 8. Tag bei Tomaten auf. Dann folgte Salat und Paprika und am Schluß zeigte auch Raps Stengeltorsionen. 14 Tage nach Versuchsbeginn zeigten somit alle Pflanzen mehr oder weniger Schadsymptome, die auf die Einwirkung des 2,4-D-Salzproduktes hinwiesen. Das Herbizid verdampfte aus dem Belag der Glasplatten und kam mit der umgebenden Luft mit der Pflanze in Berührung. Da bekanntlich Tomaten 7 bis 8 Tage nach einer 2,4-D-Einwirkung die ersten Blattanomalien zeigen, kann davon ausgegangen werden, daß bereits in den ersten Tagen der Exposition die für die Schädigung notwendige 2,4-D-Menge aus dem Belag verdunstet war.

4.3 Ergebnisse der Freilandversuche

4.3.1 Ergebnisse der Verdunstungsmessungen im Freiland

Die Ergebnisse werden als die nach der Applikation (nach einer Stunde und nach 24 Stunden) auf den Sonnenblumen- und Zuckerrübenblättern vorhandenen Rückstände in Prozent, bezogen auf die Initialwerte, wiedergegeben. Vier Applikationstermine für die Wiederholungen der Versuche werden in der Tabelle 2 in der 2. Spalte mit den Ziffern 1 bis 4 bezeichnet, um kenntlich zu machen, welche Applikationen unter gleichen äußeren Bedingungen stattfanden. Bei den Versuchen mit den Wirkstoffen Lindan und Mevinphos wurden außerdem, zur Verminderung der Luftaustauschrate, die behandelten Pflanzen mit einer Folie abgedeckt.

Die Wetterbedingungen während der Versuche können durch sommerliche Mittagstemperaturen im Bestand von 20 bis 25° C und im Schatten von 30 bis 36° C sowie Luftfeuchten zwischen 45 % und 80 % und geringe Windgeschwindigkeiten charakterisiert werden.

Tabelle 2

Ergebnisse der Verdunstungsmessung im Freiland

Wirkstoff	Substrat	Applikation	1 Std.	24 Std.	unter Folie	
			%	%	1 Std. %	24 Std. %
Lindan in Gamma flüssig 0,5 %	Zuckerrübe	4.	61	36	100	40
	Sonnenblume	4.	65	46	98	54
	Glaskugeln	4.	102	95	—	—
Mevinphos in Phosdrin 0,2 %	Zuckerrübe	1.	67	9	—	—
		2.	49	14	51	13
		3.	32	3,5	—	—
	Sonnenblume	1.	44	2,3	—	—
		2.	32	11	65	21
	Glaskugeln	1.	80	15	—	—
3.		75	2,1	—	—	
Atrazin in Gesaprim flüssig 0,4 %	Zuckerrübe	1.	99	73		
		3.	88	78		
	Sonnenblume	1.	89	54		
		3.	92	94		

4.3.2 Ergebnisse der Versuche im Windschatten

Keine der aufgestellten Testpflanzen zeigte eine Schädigung. Es besteht daher zurecht die Annahme, daß der Schwellenwert der 2,4-D-Konzentration in der Luft für eine Schädigung der Testpflanzen nicht erreicht wurde. Da es zwei Tage nach Versuchsbeginn windstill war, und bei Sonneneinstrahlung leichte Thermik herrschte, waren mit Sicherheit zumindest auf einer Seite des Feldschuppens optimale Voraussetzungen für eine Anreicherung der umgebenden Luft mit dem Herbizid gegeben.

4.3.3 Ergebnisse der Exposition der Glasplatten innerhalb des Weingartens

Das Auslegen der behandelten Glasplatten führte zu keiner Mißbildung an den Rebblättern. Die Sorte „Grüner Veltliner“ reagiert kurz nach dem Austrieb besonders empfindlich auf 2,4-D-Einwirkung: eine geringe Dosis in Form eines feinen Sprühnebels mit Konzentrationen von unter 0,05 ppm führt bereits zu deutlichen Blattanomalien. Somit ist auch in diesem Versuch die für einen Schaden notwendige Konzentration in der Luft nicht erreicht worden.

4.3.4 Ergebnisse des praxisnahen Großversuches

Die Behandlung eines 2 ha großen Weizenfeldes mit einem 2,4-D-Esterpräparat hatte keine Beeinträchtigung der Testpflanzen durch Verdunstungsabtrift zur Folge, nachdem sichergestellt war, daß die noch schwebenden Herbizidtröpfchen kurz nach der Applikation durch Wind aus dem Versuchsareal abgeführt wurden.

4.3.5 Ergebnisse der Untersuchung von Waldschäden

Das Regenwasser und Abtropfwasser im Bereich von Eichenkronen zeigte im Biotest (Kressewurzelttest) keine Kontamination mit Wuchsstoffherbiziden. Es konnten im Bestand auch keine Hinweise auf Einfluß von Wuchsstoffherbiziden festgestellt werden. Die Erfassungsgrenze von Phenoxysäuren mittels Kressewurzelttest liegt bei 0,02 ppm (NEURURER 1972).

4.3.6 Ergebnisse der Untersuchung vermeintlicher Verdunstungsabtriftschäden in der Praxis

Im Laufe von fünf Jahren wurden 60 Abtriftschäden, insbesondere in den Getreide- und Weinbaugebieten, genau überprüft. Von Praktikern wurde immer wieder behauptet, daß die Abtrift nicht während der Spritzung stattfand — es wäre ja kein Wind gegangen — sondern erst nach der Aufweichung des Spritzbelages durch Tau und anschließende Verdunstung am nächsten Tag erfolgte.

Aus den vielen Erhebungen kann folgende Schlußfolgerung abgeleitet werden: Allylalkohol als Bodendesinfektionsmittel, CIPC zur Unkrautbekämpfung in Zwiebelkulturen und 2,4,5-T-Mittel in Dieselöl gelöst, führen nachweislich auch im Freiland, durch Verdunstung des Mittels aus dem Belag, zu Schäden an benachbarten Kulturen. Alle anderen in der Praxis aufgetretenen Abtriftschäden wurden durch Direktabtrift oder Thermikabtrift der noch schwebenden Spritzflüssigkeitströpfchen während oder nach der Applikation hervorgerufen.

5. Diskussion

Die Versuche zeigen, daß Mevinphos — eine Substanz mit hohem Dampfdruck — nach 24 Stunden zu mehr als 50 % verdunstet ist (siehe Tabelle 1). Die ebenfalls erstaunlich hohe Verdampfungsrate bei Lindan, das immerhin einen um zwei Potenzen geringeren Dampfdruck als Mevinphos besitzt, bestätigt die von

BOEHNCKE und Ma. (1989) ermittelte Lindan-Verdampfung an der Oberfläche von Glaskugeln und zeigt deutlich, daß der Verdunstungsprozeß nicht immer direkt mit dem Dampfdruck korrelierbar ist. Auch die Löslichkeit eines Wirkstoffes in Wasser muß als wesentliche Einflußgröße für den Verdunstungsvorgang in Betracht gezogen werden (ACREE und Ma. 1963).

Dieser Aspekt kann durch Heranziehung der Henry-Konstante, die das Verhältnis des Partialdruckes einer Substanz in der Luft zu seiner Gleichgewichtskonzentration in Wasser darstellt, beschrieben werden. Wie von SUNTIO und Ma. (1988) gezeigt wurde, korreliert die Neigung zur Verflüchtigung einer Substanz aus Wasser mit der Höhe des Wertes dieser Konstante. Durch diese Beziehung kann somit deutlich gezeigt werden, daß ein geringer Dampfdruck keine Garantie für eine niedrigere Henry-Konstante ist. So werden beispielsweise auch die relativ hohen Verflüchtigungsverluste bei DDT, das einen sehr geringen Dampfdruck besitzt, aber praktisch unlöslich ist, verständlich. Für die Praxis scheint aber die Interpretation der Verdunstung von Pflanzenschutzmitteln mit Hilfe der Henry-Konstante weniger geeignet zu sein, da die Wirkstoffe in den Präparaten nicht in reiner Form vorliegen und ihre Löslichkeiten in der Formulierung kaum bekannt sind.

Bei allen Versuchen, in denen Wirkstoffe in unterschiedlichen Konzentrationen auf die Glasoberflächen aufgetragen wurden, zeigte sich deutlich eine Abhängigkeit des prozentualen Rückstandes von der Konzentration. So erhöht sich z. B. bei Lindan in Gamma flüssig bei Steigerung der aufgetragenen Wirkstoffmengen von 5 ppm auf 57,5 ppm bezogen auf 60 g Glaskugeln, der Rückstand von 45 % auf 84 % der ursprünglich applizierten Menge (siehe Tabelle 1).

Ebenso ist bei Fenitrothion bei einer Konzentration von 6,25 ppm der Rückstand mit 95 % der ursprünglichen Menge höher als bei 5 ppm Initialbelastung mit 86 % Wirkstoff bzw. 88 % (Dicontal Neu) (siehe Tabelle 1).

Die Ergebnisse zeigen umgekehrt bei Reduktion der Konzentration von 5 ppm Mevinphos auf 3,77 ppm eine Verringerung des prozentualen Rückstandes von 44 % auf 27 % (siehe Tabelle 1).

Bei gleichen Anfangskonzentrationen waren zwischen reinem Wirkstoff in organischem Lösungsmittel und technischem Wirkstoff in wässriger Spritzbrühe der Präparate praktisch keine Unterschiede in der Verdunstung zu erkennen.

Die Untersuchungen des Verdunstungsverhaltens von Atrazin sind von besonderem Interesse, da dieser Wirkstoff in meßbaren Konzentrationen im Luftraum vorhanden sein kann (BUSER 1989). Die Ergebnisse aus dem Laborversuch zeigen (Tabelle 1), daß 24 Stunden nach der Applikation des reinen Wirkstoffes gelöst in Äthylacetat, bei einer Anfangskonzentration von 5 ppm bezogen auf das Gewicht der Glaskugeln, keine meßbare Verdunstung erfolgte. Dieses Resultat gilt ebenfalls für die mit 30 ppm Atrazin aus Gesaprim 500 flüssig kontaminierten Glaskugeln, da, wie aus den Streubreiten der Mittelwerte erkenntlich, der Initialwert vom Wert nach 24 Stunden nicht unterscheidbar ist.

Stichprobenartige Untersuchungen von Regenwasser, gesammelt in Talbereichen (400 m Seehöhe) und Bergregionen (bis 1720 m Seehöhe) ergaben dagegen Konzentrationen bis zu 0,55 ppb Atrazin. Die Messungen wurden massenspektrometrisch mittels GC-MS-Kopplung durchgeführt und erfolgten bei Regenwasserproben, die über längere Zeiträume (16 bis 28 Wochen) im Sommer gesammelt wurden. Die Nachweisgrenze der Bestimmungen betrug 0,01 ppb Atrazin. In 15 von 21 Proben war Atrazin nachweisbar.

Die gemessenen Konzentrationen müssen allerdings sehr vorsichtig interpretiert werden, da durch die extrem langen Zeiträume des Regenwassersammelns, infolge teilweiser Verdunstung von Wasser, sicher eine Konzentrierung stattge-

funden hat und die gemessenen Konzentrationen daher keineswegs den ursprünglichen Belastungen des Regenwassers entsprechen dürften.

Auch wenn in Betracht gezogen wird, daß eine Verflüchtigung des Atrazins von Blattoberflächen eher gegeben ist, als von Modelloberflächen (Glaskugeln), werden die relativ hohen Belastungen des Regenwassers mit diesem Wirkstoff wohl kaum allein die Verdunstungsabtrift als Ursache haben. Es scheint vielmehr, daß an Staubpartikel adsorbiertes Atrazin in größeren Mengen durch Winderosion in die Atmosphäre gelangt und so wesentlich zur Kontamination des Regenwassers beiträgt.

Die Ergebnisse der Freilandversuche zeigen generell, daß Pflanzenschutzmittel von Blattoberflächen innerhalb eines Tages rascher verdunsten können, als von Glasoberflächen. Die Versuche ergaben, daß einen Tag nach der Applikation 46 % des ursprünglichen Belages von Atrazin vom Sonnenblumenblatt verdunsteten, 54 % des Belages von Lindan und sogar 89 % des ursprünglich vorhandenen Mevinphos. Etwaige Verluste durch Metabolisierung im Blatt können aufgrund der kurzen Zeitspanne vernachlässigt werden. Auch photolytische Reaktionen am Blatt, dürften bei diesen drei Wirkstoffen innerhalb eines Tages keine wesentliche Rolle spielen.

Bei Vergleich des Abdampfverhaltens von Mevinphos und Atrazin von Sonnenblumen- bzw. Zuckerrübenblättern läßt sich eine starke Neigung zur Verdunstung bei Sonnenblumen konstatieren. Dieser Umstand könnte mit den Struktureigenschaften des Sonnenblumenblattes — Behaarung, die die Oberfläche vergrößert, dünne Wachsschicht und intensiver Gasaustausch über die Spaltöffnung — in Zusammenhang stehen.

Die Belagsmessungen in den Verdunstungsversuchen im Labor und Freiland haben gezeigt, daß bereits innerhalb von 24 Stunden ein Großteil vieler Pflanzenschutzmittel verdunsten kann. Diese Ergebnisse konnten bei Verwendung von Herbiziden mittels Testpflanzen im geschlossenen Vegetationshausversuch bestätigt werden. In Freilandversuchen konnte die für eine Pflanzenschädigung notwendige Herbizidkonzentration in der Luft nur bei wenigen sehr flüchtigen Stoffen, wie CIPC, Allylalkohol und 2,4,5-T-Dieselözübereitungen beobachtet werden.

Aufgrund der nunmehr gewonnenen Versuchsergebnisse muß die bisherige Meinung revidiert werden, wonach die Verdunstungsabtrift von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen aus einem Belag keine Rolle spielen würde. Ein Teil der ausgebrachten Pflanzenschutzmittel gelangt durch die Verdunstung aus dem Belag und nicht nur durch Abtrift feiner Tröpfchen während der Applikation in die Luft. Die feinen Tröpfchen unter 100 μ nehmen je nach Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit der Umgebung rasch an Volumen ab. Bevor sie sich an der Zielfläche anlagern können, sind sie bereits bis auf gesättigte Lösungen, Kristalle und Kondensationskerne verdampft, die infolge ihres geringen Gewichtes nicht mehr sedimentieren, sondern in Schwebelag bleiben und jeder Luftbewegung folgen (NEURURER 1975). Bei einer sachgemäßen Spritzung im Feldbau liegt der Anteil feiner, leicht abtriftbarer Spritztröpfchen unter 5 % des ausgebrachten Spritzvolumens.

Verhalten der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe in der Luft

Über das Verhalten pestizider Wirkstoffe in der Atmosphäre ist derzeit noch wenig bekannt. Grundsätzlich kann der Abbau, die Umwandlung oder Inaktivierung photochemisch oder oxydativ erfolgen. Die Umwandlungsgeschwindigkeit und Abbaurate ist von den physikalisch-chemischen Eigenschaften des Stoffes und von den atmosphärischen Einflüssen abhängig.

Deposition der Wirkstoffe

Die in der Luft vorhandenen Wirkstoffe können durch Regen, Schnee, Nebel, Tau oder gebunden an Staubpartikel wieder auf die Erdoberfläche zurückkehren. Dadurch ist grundsätzlich eine Kontamination von Boden, Pflanzen und Oberflächengewässern möglich. Dies erklärt auch das Vorkommen von Pflanzenschutzmittelspuren in weitab gelegenen Gebieten, in denen keine Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden.

Risikoabschätzung

Das Problem der Verdunstung von Pflanzenschutzmitteln aus einem Spritzbelag darf — solange keine genauen Versuchserfahrungen vorliegen — weder verharmlost noch überbewertet werden. Das Problem muß aber so rasch wie möglich abgeklärt werden.

Aufgrund der bisherigen Versuche mit herbiziden Substanzen und der Untersuchung von aufgetretenen Pflanzenschäden in der Praxis kann angenommen werden, daß die Herbizidkontamination in freier Luft nicht ausreicht, um sichtbare Pflanzenschäden hervorrufen zu können. Akkumulative Auswirkungen sind nicht zu erwarten, da die Mengen, die einer Deposition unterliegen, gering sind und außerdem zwischenzeitlich immer wieder inaktiviert werden. Trotzdem muß aber der Langzeiteinwirkung subletaler Dosen größte Beachtung geschenkt werden.

Es ist anzunehmen, daß sich auch Insektizide und Fungizide in ihren Auswirkungen auf die Umwelt ähnlich verhalten wie Herbizide. Neben dem Einfluß auf den Naturhaushalt müssen aber vor allem die Auswirkungen auf den Menschen erforscht werden, der über Atemluft, Niederschläge und Staubpartikel mit den emittierten Stoffen in Berührung kommen kann. Es muß die Quantifizierung der Emission und die mögliche Konzentration in der Luft pro Zeiteinheit vorgenommen werden.

Vorkehrungen

So wie bisher muß die Abtrift feiner Spritzmitteltröpfchen durch entsprechende Ausstattung und Bedienung der Geräte möglichst vermieden werden. Sollte sich aber die bisher festgestellte Belagsverdunstung in umfangreichen Freilandversuchen bestätigen und für den Naturhaushalt oder Menschen ein Risiko darstellen, dann müssen in der Produktentwicklung und -formulierung neue Möglichkeiten zur Risikominderung gesucht werden. Die Wirkstoffmengen, die von einem Belag verdunsten, belasten nicht nur die Umwelt, sondern stellen auch eine unnötige Verschwendung von Pflanzenschutzmitteln dar.

Zusammenfassung

In Laborversuchen zeigten die Belagsmessungen von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen auf Modelloberflächen (Glaskugeln), daß die Wirkstoffe Parathion und Methidation zu etwa 20 %, Mevinphos zu 56 bis 73 %, Chlorpyrifos und Pendimethalin zu 12 bis 21 %, Fenitrothion zu 5 bis 14 % und Lindan im Bereich zwischen 16 und 80 % innerhalb von 24 Stunden verdunsten können. Lediglich bei Atrazin konnten in diesem Zeitraum keine signifikanten Verdunstungsverluste festgestellt werden.

Deutlich höhere Verdunstungsraten ergaben sich innerhalb von 24 Stunden nach den Applikationen in Freilandversuchen: Von den Blättern von Sonnenblumen bzw. Zuckerrüben verdunsteten bis zu 89 % Mevinphos, bis zu 54 % Lindan und bis zu 46 % Atrazin.

In geschlossenen Vegetationskabinen konnten durch 2,4-D-Verdunstung von einem Belag auf Glasplatten typische Wuchsstoffsymptome an Testpflanzen hervorgerufen werden. In Freilandversuchen waren dagegen mit Herbiziden keine derartigen Schäden induzierbar, was darauf schließen läßt, daß die Schadstoffkonzentration in der Luft den kritischen Wert für eine Schädigung nicht erreicht. Da der mengenmäßige Eintrag und das Verhalten sowie der Verbleib von Pestiziden in der Luft derzeit noch ungenügend abgeklärt ist, kann keine Risikoabschätzung für Mensch und Umwelt vorgenommen werden. Eine rasche Klärung des Problems ist sowohl aus ökonomischer als auch ökologischer Sicht dringend erforderlich.

The Occurrence of Pesticides in the Air

Summary

The volatilization of pesticides from model surfaces (glass-beads) was investigated in laboratory trials, which showed that 20 % of the total quantity of Parathion and Methidathion, 56 to 73 % of Mevinphos, 12 to 21 % of Chlorpyrifos and Pendimethalin, 5 to 14 % of Fenitrothion and 16 to 80 % of Lindane are lost by volatilization within 24 hours after the application. Atrazin, however, did not evaporate in significant quantities from glass beads in laboratory trials.

Much higher volatilization rates than those produced in laboratory trials were observed in field trials 24 hours after the applications of Mevinphos, Atrazin and Lindane in cultures of sunflowers and sugarbeets. The evaporation of pesticides from deposits on foliage mounted up to 46 % Atrazin, 54 % Lindane and 89 % Mevinphos.

Volatilization of 2,4-D from glass surfaces in a greenhouse resulted in typical symptoms produced by plant-growth regulators in sensitive testplant species. No such effects could be induced in fieldtrials with herbicides. This leads to the supposition that the concentrations of herbicides in the air are much too low to cause damage in plant cultures.

As there is still insufficient data and theoretical development concerning the quantities of pesticides evaporating, their behaviour and their persistence in the air, available, no precise risk assessment of their impact on human beings and the environment can be given.

Danksagung

Für die Übermittlung der Wasserproben aus Eichenbeständen möchten wir dem Institut für Forstökologie, Wien, vielmals danken. Außerdem danken wir der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Schönbrunn für die Sammlung und Bereitstellung von Regenwasserproben.

Literatur

- ACREE, F. JR., M. BEROZA and M. C. BOWMAN: Codistillation of DDT with water. *Food Chem.* 11/4, 278—280, 1963.
- BOEHNCKE, A., J. SIEBERS und H. G. NOLTING: Verbleib von Pflanzenschutzmitteln in der Umwelt — Exposition, Bioakkumulation, Abbau — Teil B. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BRD 1989.
- BUSER, H. R.: Atrazine and Other s-Triazine Herbicides in Lakes and in Rain in Switzerland. *Environmental Science & Technology* 24, 1049—1058, 1989.
- EWENS, F. L. and G. R. STEPHENSON: Pesticides in Air. The Use and Significance of Pesticides in the Environment. A Wiley and Interscience Publication, 349—364, John Wiley & Sons, New York — Chichester — Brisbane — Toronto, USA 1979.
- LICHTENSTEIN, E. P. and K. R. SCHULZ: Volatilization of Insecticides from Various Substrates. *J. Agr. Food Chem.* 18, 814—818, 1970.

- NASH, R. G.: Comparative Volatilization and Dissipation Rates of Several Pesticides from Soil. *J. Agric. Food Chem.* 31, 210—217, 1983.
- NEURURER, H.: Untersuchungen über das Verhalten von Herbiziden im Boden. *Die Bodenkultur* 23, 43—73, 1972.
- NEURURER, H.: Gibt es eine Verdunstungsabtrift? *Der Pflanzenarzt* 27, 93—94, 1974.
- NEURURER, H.: Probleme der Abtrift von Herbiziden. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft VII*, 205—217, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1975.
- NOLTING, H. G., A. BOEHNCKE und W. STORZER: Zum Eintrag, Verhalten und Verbleib von Pflanzenschutzmitteln in der Luft. *Biolog. Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, 1—68, 1988.
- PERKOW, W.: *Wirksubstanzen der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel*. 2. Auflage, Verlag Paul Parey, BRD 1983/1985.
- PHILLIPS, F. T.: Persistence of Organochlorine Insecticides on Different Substrates under Different Environmental Condition. I. The Rates of Loss of Dieldrin and Aldrin by Volatilization from Glass Surfaces. *Pestic. Sci.* 2, 255—266, 1971.
- SPENCER, W. F., T. D. SHOUP, M. M. CLIATH, W. J. FARMER and R. HAQUE: Vapor Pressures and Relative Volatility of Ethyl- and Methyl-Parathion. *J. Agric. Food Chem.* 27/2, 273—278, 1979.
- SUNTIO, L. R., W. Y. SHIU, D. MACKAY, J. N. SEIBER and D. GLOTFELTY: Critical Review of Henry's Law Constants for Pesticides. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicologie* 103, 1—59, 1988.

(Manuskript eingelangt am 30. November 1990)

Anschrift der Verfasser:

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hans NEURURER und Dipl.-Ing. Robert WOMASTEK, beide Bundesanstalt für Pflanzenschutz, Trunnerstraße 5, A-1020 Wien