

# Zur Meßtechnik einschließlich Tracermethoden bei der Bestimmung der Wirkstoffkonzentration am Arbeitsplatz

Von Gerd-Jürgen Mejer, Braunschweig-Völkenrode\*)

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

DK 632.934.1:331.43

Ausgehend von im Arbeits- und Umweltschutz bewährten Meßverfahren, liefert die Messung der Wirkstoffkonzentration von Pflanzenbehandlungsmitteln Basisdaten über die Belastung des Arbeitsplatzes. Der bei Belagsmessungen übliche Tracer Brillantsulfoflavin ist nur eingeschränkt tauglich. Kochsalz in hoher Konzentration liefert unter Beachtung der stofflichen Unterschiede zu den Pflanzenbehandlungsmitteln sehr gut reproduzierbare Meßwerte. Für die Messung handelsüblicher Wirkstoffe universell einsetzbar ist eine Kombination aus Kältefalle und Glasfaserfilter, mit der auch Wirkstoffanteile aus der Dampfphase sicher erfaßt werden.

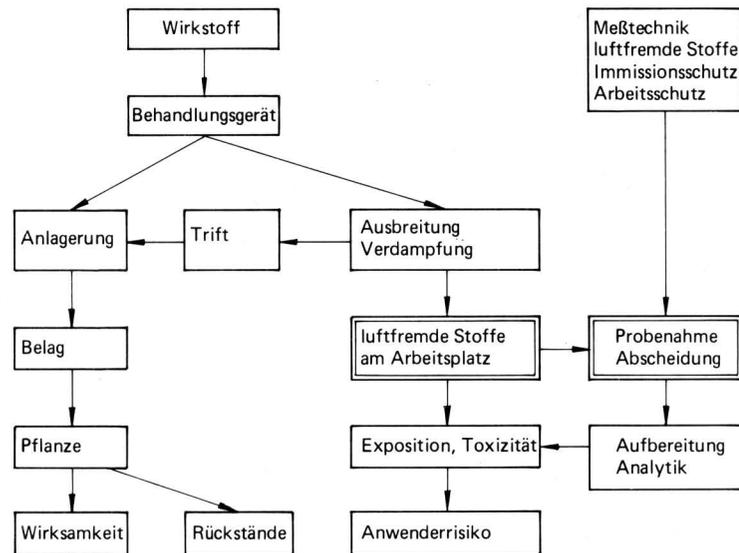
## 1. Einleitung

Bei der Bestimmung von Wirkstoff- oder ersatzweise Tracerkonzentrationen am Arbeitsplatz handelt es sich grundsätzlich um die Messung luftfremder Stoffe. Diese, von der natürlichen Zusammensetzung der Luft abweichenden Bestandteile werden entsprechend ihrem Wirkungspotential auch als luftverunreinigende Stoffe bzw. als luftgetragene Schadstoffe bezeichnet, die gasförmig sowie als Partikeln in flüssiger oder fester Form vorkommen können.

Die Bestimmung ihrer Konzentration in der Luft besteht im wesentlichen aus einer Probenahme der Luft sowie der Abscheidung, Aufarbeitung und Analytik der Schadstoffe. Derartige Meßketten sind, zugeschnitten auf das jeweilige Anwendungsgebiet, bereits für eine große Zahl von Schadstoffen entwickelt und eingeführt. Zu nennen sind hier emissionsmindernde Maßnahmen und die Überwachung industrieller Arbeitsplätze, für die es z.B. im VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft [1] detaillierte Meßvorschriften für den Einsatz bewährter Meßverfahren zum Zwecke des Immissionsschutzes [2] und des Arbeitsschutzes [3] gibt.

Auch für die Messung von Pflanzenbehandlungsmitteln gibt es bewährte Meßverfahren. Die Hauptfragestellung, auf die diese Meßverfahren zugeschnitten sind, lautet zunächst: wie kommt der Wirkstoff bestimmungsgemäß an die Pflanze. Hier werden vorzugsweise fluoreszierende Farbstoffe als Tracer eingesetzt [4]. Des Weiteren interessieren die Transport- und Wirkungsmechanismen auf und in der Pflanze und letztlich die Rückstände in der Futter- und Nahrungsmittelkette [5]. Bei Triftmessungen [6] handelt es sich im Prinzip um dieselben Fragestellungen, nur daß es dabei nicht um die Zielpflanzen, sondern um die Pflanzen und sonstigen Organismen in der Nachbarschaft geht.

Im Unterschied dazu lautet hier die Fragestellung jedoch nicht, wie kommt der Wirkstoff an die Pflanze, sondern, wieviel Wirkstoff belastet den Arbeitsplatz, **Bild 1**.



**Bild 1.** Rahmenbedingungen für die Meßtechnik bei der Bestimmung der Wirkstoffkonzentration am Arbeitsplatz.

## 2. Aufgabenstellung

Aufgrund dieser unterschiedlichen Fragestellung kann nicht einfach die im Pflanzenschutz allgemein übliche Meßtechnik, auch nicht die der Triftmessungen, unverändert übernommen werden. Es besteht vielmehr die Aufgabe, die in den Bereichen Arbeits- und Umweltschutz eingeführte und bewährte Meßtechnik für luftfremde Stoffe an die speziellen Bedingungen, wie sie am Arbeitsplatz beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln herrschen, anzupassen.

Selbstverständlich kann dabei ein Großteil der Erfahrungen genutzt werden, die aus den Trift-, Belags- und Rückstandsmessungen vorliegen. Dies gilt insbesondere für die bewährten Methoden der Aufarbeitung und Analytik der aus der Luft abgeschiedenen Wirkstoffe bzw. Tracer, während der Probenahme und Abscheidung besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden muß.

Eine für alle Meßverfahren unabdingbare Forderung ist die Entnahme von für die Arbeitsplatzbelastung repräsentativen Luftproben. Dabei ist zu beachten, daß infolge der applikationstechnischen und meteorologischen Gegebenheiten die zeitlichen und örtlichen Wirkstoffkonzentrationen in der Luft starken Schwankungen unterworfen sind, ebenso wie die Windeinflussrichtung, die Tropfengrößenspektren und die Wirkstoffanteile in festem, flüssigem und gasförmigem Aggregatzustand.

Derartigen Schwankungen wird bei den im Arbeits- und Umweltschutz üblichen Meßverfahren durch entsprechend lange Meßzeiten

\*) Dipl.-Ing. G.-J. Mejer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Rechnung getragen. Die so erhaltenen Meßwerte sind Konzentrationsmittelwerte. Sie erlauben Aussagen über die im Laufe eines Zeitraumes, z.B. eines 8-Stunden-Arbeitstages, einwirkenden Schadstoffmengen. Wirkungsbezogene Konzentrationsgrenzwerte, wie z.B. die Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK), basieren überwiegend auf derartigen Langzeitmessungen.

Das Ziel der hier auf dem Versuchsstand und auch im praktischen Feldeinsatz durchgeführten Messungen ist jedoch vorrangig die Ermittlung der Kausalitäten [7], d.h. eine Aufklärung der Mechanismen, wie die Pflanzenbehandlungsmittel an den Arbeitsplatz gelangen, sowie Aussagen über Abhängigkeiten von den verschiedenen Parametern, die die Arbeitsplatzbelastung beeinflussen. Das setzt u.a. eine exakte Zuordnung der Konzentrationsmeßwerte zu den Umgebungsbedingungen wie Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur und Luftfeuchte voraus. Um hier von den natürlichen Schwankungen dieser Umgebungsbedingungen unabhängig zu werden, oder zumindest deren Schwankungsbreite in vorgegebenen Grenzen halten zu können, ist eine kurze Meßzeit erforderlich. Im Feldeinsatz unter praktischen Bedingungen wird schon allein durch die Zeit, bis eine Tankfüllung ausgebracht ist, die Meßzeit auf etwa 5 bis 10 Minuten begrenzt.

Um in dieser Zeit auch bei sehr niedrigen Konzentrationen ausreichende Wirkstoffmengen für die quantitative Auswertung zu erhalten, ist ein großer Luftvolumenstrom bei der Probenahme vorteilhaft.

### 3. Probenahme

Die wichtigsten Gesichtspunkte bei der Luftprobenahme sind neben den genannten Rahmenbedingungen die Art und Weise, wie die Wirkstoffe als luftfremde Stoffe auf den Arbeitsplatz einwirken, Bild 2.

Verfahren	Spritzen	Sprühen	
Wirkstoffgehalt	gesamt	gesamt	
Teilchendurchmesser	$d < 60 \mu\text{m}$	$d < 60 \mu\text{m}$	$d \geq 60 \mu\text{m}$
Anteil	atembar	atembar	nicht atembar
Probenahme Ansaugquerschnitt	isokinetisch vertikal	Ringspalt	horizontal

Bild 2. Atembare und nicht atembare Wirkstoffanteile beim Spritzen und Sprühen und ihre meßtechnische Differenzierung.

Beim Spritzen kann man davon ausgehen, daß auf dem Weg zwischen Spritzbalken und Arbeitsplatz alle Teilchen (Tropfen) mit einem Durchmesser  $d > 60 \mu\text{m}$  nach dem Prinzip des Querstromsichters aussedimentieren und sich bestimmungsgemäß auf Pflanzen und Boden niederschlagen, und nur Teilchen mit einem Durchmesser  $d < 60 \mu\text{m}$  an den Arbeitsplatz gelangen können.

Das bedeutet, daß dort der Gesamtwirkstoffgehalt in der Luft atembar ist. Auch die Luftbewegung ist am Arbeitsplatz im wesentlichen durch die Fahrgeschwindigkeit und durch den atmosphärischen Wind bestimmt, so daß die bekannte isokinetische Probenahme mit vertikalem Einströmquerschnitt möglich und sinnvoll ist.

Beim Sprühen können auch Teilchen mit einem Durchmesser  $d > 60 \mu\text{m}$ , die also nicht atembar sind, den Arbeitsplatz erreichen: entweder solche, die nach oben gesprüht ihr Ziel, die Pflanze, verfehlt haben und zurückfallen, oder solche, die von behandelten Pflanzen wieder abtropfen.

Ferner ist zu berücksichtigen, daß infolge des starken Gebläseluftstromes am Fahrerplatz die Windrichtung nicht bestimmt ist, so daß eine isokinetische Probenahme nicht durchführbar ist. In Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2262 [8] ist deshalb der Probenahmekopf für die Messung des atembaren Wirkstoffgehalts so ausgebildet, daß in einem Ringspalt nur Teilchen mit einem Durchmesser  $d < 60 \mu\text{m}$  angesaugt werden, während die Messung des Gesamtwirkstoffgehalts durch einen horizontalen Einströmquerschnitt erfolgt. Beide Anordnungen sind unabhängig von der Windrichtung.

Bild 3 zeigt schematisch die Probenahme, wie sie bei den Konzentrationsmessungen beim Spritzen und Sprühen jeweils durchgeführt wurde, im oberen Bildteil mit Filterköpfen und darunter mit Ansaugrohren für die Kältefalle und für die Impinger-Waschflaschen. Beim Spritzen, links im Bild, die bekannte isokinetische Probenahme: der vertikal angeordnete Querschnitt des Ansaugtrichters bzw. des Ansaugrohrs ist so bemessen, daß die Eintrittsgeschwindigkeit gleich der relativen Windgeschwindigkeit ist. Rechts im Bild ist die Anordnung zur Messung des Gesamtgehaltes beim Sprühen dargestellt, und die Bildmitte zeigt, wie eine gewölbte Abdeckung dafür sorgt, daß Tropfen mit  $d > 60 \mu\text{m}$  nicht in die Probe gelangen. Flüssige Teilchen neigen dazu, sich schon im Ansaugtrichter oder im Ansaugrohr an der Wand anzulagern. Um auch diese Teilchen mit zu erfassen, wird der Ansaugtrichter mit Filterpapier ausgekleidet, und das Ansaugrohr wird direkt nach der Messung mit Lösungsmittel ausgespült.

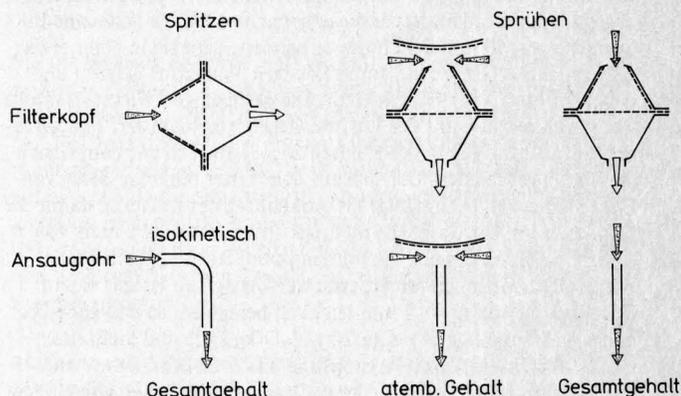


Bild 3. Luftprobenahme beim Spritzen und Sprühen.

### 4. Abscheidung

Bei der Abscheidung der Wirkstoffe aus der angesaugten Probenluft ist zu beachten, daß die Wirkstoffe am Arbeitsplatz gasförmig oder als feste und flüssige Teilchen sehr unterschiedlichen Durchmessers in der Luft vorhanden sein können [9]. Diese Tatsache ist bei der Wahl der Abscheider zu berücksichtigen.

Filter, insbesondere Glasfaserfilter, haben hervorragende Abscheidegrade für feste Teilchen, und auch flüssige Teilchen werden ebensogut abgeschieden, wenn sichergestellt ist, daß das Filter nicht zu stark durchfeuchtet wird.

Die Voraussetzung, für Meßzwecke einen normalen Filter einsetzen zu können, ist, daß der Wirkstoff bzw. Tracer einen so niedrigen Dampfdruck hat, daß er praktisch nicht verdampft. Und zwar nicht nur auf dem Weg vom Gerät bis zum Arbeitsplatz, sondern — und das ist noch wichtiger — auch nicht auf dem Filter. Denn dort sind die Bedingungen für das Verdampfen noch sehr viel günstiger. Einmal zeitlich: vom Gerät bis zum Arbeitsplatz braucht der Wirkstoff nur wenige Sekunden, auf dem Filter ist er aber für den Rest der Meßzeit, d.h. mehrere Minuten, einer hohen Luftgeschwindigkeit ausgesetzt, die die Verdampfung fördert. Das bedeutet: selbst für Wirkstoffe mit geringer Flüchtigkeit sind normale Filter als Ab-

scheider ungeeignet, weil ein unbestimmter Anteil des Wirkstoffs verdampfen kann und somit bei der Messung nicht erfaßt wird [10].

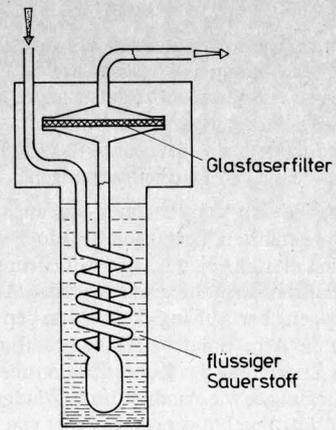
Bei Belags- und Triftmessungen ist es üblich, Brillantsulfoflavin (BSF) als Tracer einzusetzen [6]. Glasfaserfilter haben einen sehr guten Abscheidegrad auch für sehr kleine feste und flüssige Teilchen. Beim Ablösen des Farbstoffs vom Filter im Ultraschallbad bleibt aber leider ein nicht reproduzierbarer Anteil des Farbstoffs auf dem Glasfaserfilter haften [11]. Von Filtern aus  $\alpha$ -Cellulose dagegen läßt sich BSF problemlos wieder vollständig ablösen, aber die Abscheidegüte dieser Filter ist nicht immer befriedigend, weil sie stark von der Teilchengröße abhängt. Gerade die feinen, atembaren Flüssigkeitstropfen verdunsten bei niedriger Luftfeuchte sehr schnell und die übriggebliebenen Farbstoffteilchen sind dann so klein, daß sie von  $\alpha$ -Cellulose-Filtern nicht mehr sicher abgeschieden werden. Auch durch Verwendung mehrerer Filterlagen läßt sich dieser Nachteil nur graduell mindern, nicht aber prinzipiell vermeiden.

Das bedeutet: so wertvoll BSF auch für Belagsmessungen ist, für die Messung der Arbeitsplatzbelastung, bei der gerade die kleinen Teilchen maßgeblich sind, ist dieser Tracer nur eingeschränkt, d.h. nur bei sehr hoher Luftfeuchtigkeit geeignet.

**Bild 4** zeigt die Kombination eines Glasfaserfilters mit einer Kältefalle. Diese ist so konzipiert, daß sie universell für die Messung aller Pflanzenbehandlungsmittel am Arbeitsplatz geeignet ist, indem alle festen, flüssigen und gasförmigen Wirkstoffanteile gleichzeitig abgeschieden werden. Bevor die angesaugte Luft die wirksame Filterfläche von 80 mm Durchmesser passiert, wird sie in einer etwa 1,75 m langen Glasspirale durch flüssigen Sauerstoff geleitet und dabei auf etwa  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  abgekühlt. Die gasförmigen Wirkstoffanteile werden zusammen mit der Luftfeuchtigkeit kondensiert und gefroren und so zum Teil in der Kühlschlange, zum Teil auf dem Glasfaserfilter abgeschieden. Der sich auf dem Filter bildende Belag von Eiskristallen verlangsamt die Abkühlung der Luft und damit die Kondensation der Gase. Die niedrige Temperatur des Filters von  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  verhindert auch das Verdampfen bereits abgeschiedener Wirkstoffe. Der Innendurchmesser der Glasspirale ist mit einem Durchmesser von  $d_1 = 12\text{ mm}$  reichlich bemessen, so daß auch bei hoher Luftfeuchtigkeit bis zu  $20\text{ g H}_2\text{O/kg}$  Luft und Meßzeiten bis zu 30 Minuten keine Verstopfung durch Eiskristalle auftritt. Die auf dem Filter abgeschiedenen Eiskristalle erhöhen jedoch den Druckabfall auf etwa 40 bis 60 kPa (0,4–0,6 bar) und machen damit den Einsatz einer entsprechend leistungsfähigen Vakuumpumpe erforderlich.

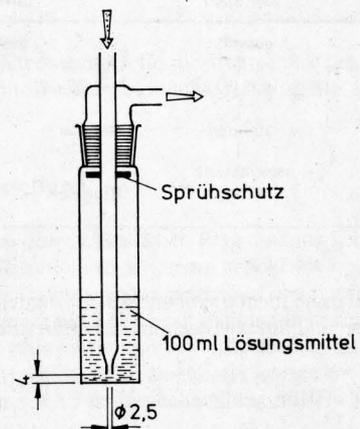
Üblicherweise kühlt man im Bereich niedriger Temperaturen mit flüssigem Stickstoff, dessen Siedetemperatur  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  beträgt, während flüssiger Sauerstoff bei  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$  siedet. Das hat zur Folge, daß in einer mit flüssigem Stickstoff gekühlten Falle Luftsauerstoff kondensieren und sich ansammeln kann. Wenn dieser kondensierte Luftsauerstoff wieder verdampft, besteht die Gefahr, daß er die abgeschiedenen Wirkstoffe aus der Falle herausschleudert. Durch den Einsatz von flüssigem Sauerstoff als Kühlmittel wird dies vermieden. Der beim Umgang mit Sauerstoff erhöhten Brandgefahr wird durch entsprechende Vorsichtsmaßnahmen Rechnung getragen.

Eine erhebliche Fehlermöglichkeit, die grundsätzlich für alle Abscheidungssysteme gilt, liegt in dem zum Teil großen Konzentrationsgefälle. Die in dem Abscheider gesammelte Wirkstoffmenge liegt z.T. im Mikrogrammbereich, während der Abscheider außen, beispielsweise beim Einsatz von Sprüheräten in Raumkulturen, tropfnaß mit Behandlungsflüssigkeit ist. Es gehört viel Sorgfalt dazu, daß bei der Handhabung und Extraktion keine Wirkstoffspuren von außen in das Meßsystem gelangen und so das Meßergebnis verfälschen. Besondere Gefahrenpunkte sind hier Schläufe und sonstige Trennfugen und natürlich alles, einschließlich Finger und Kleidungsstücke, was mit der Behandlungsflüssigkeit oder gar mit dem unverdünnten Pflanzenbehandlungsmittel in Kontakt gekommen ist. Es versteht sich von selbst, daß diese Punkte schon bei der Meßplanung mit berücksichtigt werden müssen.



**Bild 4.** Kombination eines Glasfaserfilters mit einer Kältefalle zum Abscheiden fester, flüssiger und gasförmiger Pflanzenbehandlungsmittel in der Atemluft.

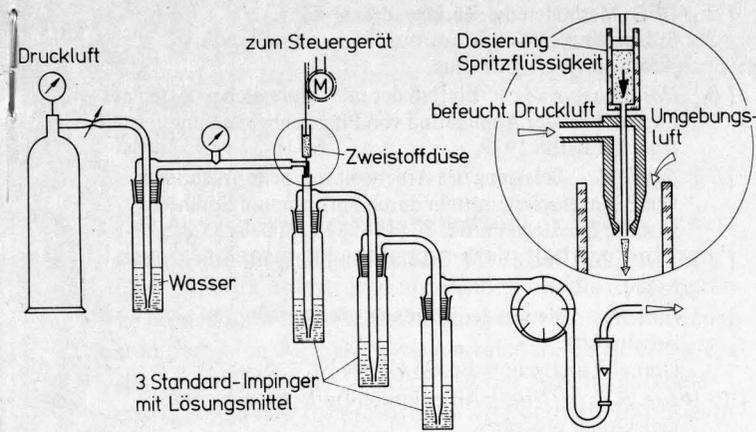
**Bild 5** zeigt eine Impinger-Waschflasche [12]. Ursprünglich ist der Impinger ein Prallabscheider für Teilchen bis etwa  $1\text{ }\mu\text{m}$  Durchmesser, in dem die Luft in der Düse auf eine Geschwindigkeit von etwa  $100\text{ m/s}$  beschleunigt und am Flaschenboden umgelenkt wird. Die Waschflüssigkeit dient eigentlich nur dazu, die abgeschiedenen Teilchen aufzunehmen. Es hat sich aber gezeigt, daß Impinger-Waschflaschen auch gasförmige Wirkstoffe abscheiden, wenn die Waschflüssigkeit als Lösungsmittel auf den Wirkstoff entsprechend abgestimmt ist. Wegen des relativ großen Luftdurchsatzes von bis zu  $30\text{ l/min}$  können aber nur Lösungsmittel mit nicht zu niedrigem Dampfdruck eingesetzt werden, weil sie sonst zu schnell verdunsten. Bei einigen Lösungsmitteln ist zu beachten, daß sie hygroskopisch sind und Wasser ihre Lösungsfähigkeit für Pflanzenbehandlungsmittel beeinträchtigt. Vorteilhaft ist, daß der Wirkstoff für die weitere Analyse bereits in gelöster Form vorliegt.



**Bild 5.** Standard-Impinger-Waschflasche für einen Luftvolumenstrom bis  $1,8\text{ m}^3/\text{h}$ .

Wegen des verhältnismäßig geringen Druckabfalls  $\Delta p$  von etwa  $10\text{ kPa}$  ( $100\text{ mbar}$ ) können auch mehrere Impinger-Waschflaschen hintereinandergeschaltet werden, wie im **Bild 6** dargestellt. Dieses Bild zeigt eine Kalibriereinrichtung zur Bestimmung des Wiederfindungsgrades, hier für die 3 hintereinandergeschalteten Impinger-Waschflaschen. Mit einer Dosiereinrichtung wird eine definierte Menge Pflanzenbehandlungsmittel in den Abscheider eingebracht, um zu bestimmen, wieviel davon am Ende des Versuches und nach Aufarbeitung und Analyse in den Proben wiederzufinden ist. Die Zweistoffdüse ist so ausgelegt, daß sie etwa dasselbe Tropfengrößenspektrum erzeugt, wie es beim Spritzen am Arbeitsplatz vorliegt.

Derartige kritische Prüfungen des Wiederfindungsgrades und der Reproduzierbarkeit sind eine wichtige Grundlage für den jeweiligen Anwendungsfall. Infolge ihrer großen Bandbreite sind die Angaben im Schrifttum (Übersicht bei [10]) hier wenig hilfreich. Auch eigene Untersuchungen mit Impinger-Waschflaschen führten zu widersprüchlichen Ergebnissen, die noch einer genaueren Klärung bedürfen.



**Bild 6.** Kalibriereinrichtung zur Bestimmung des Wiederfindungsgrades von Pflanzenbehandlungsmitteln, wie sie in der Atemluft am Arbeitsplatz vorkommen.

## 5. Ergebnisse und Bewertung

**Bild 7** zeigt als Übersicht für die verschiedenen Abscheider für luftfremde Stoffe einige Kennwerte, die die Bedingungen bei der Messung von Pflanzenbehandlungsmitteln und Tracern am Arbeitsplatz berücksichtigen.

Glasfaserfilter erlauben einen großen Luftdurchsatz je nach Filterfläche bis zu 50 m<sup>3</sup>/h. Der Druckabfall ist gering und bei den hier üblichen Filterbeladungen praktisch konstant, so daß als Saugpumpen einfache Radialgebläse genügen und der Luftvolumenstrom durch das Filter leicht konstant gehalten werden kann.

Luftdurchsatz	m <sup>3</sup> h	Glasfaserfilter		α-Cellulosefilter		Kältefalle + Glasfaserfilter	Impinger*	beschichtete Träger*	PU-Schaum*
		bis 50	bis 50	2,5	bis 1,8				
Abscheidegrad	fest	% > 99	< 90	> 99	> 95	} 67-100			
	flüssig	% > 99	> 99	> 99	> 99				
	gasförmig	% -	-	70-90	13-99				
Wiederfindungsgrad	NaCl	% > 99							
	BSF	% 50-99	(> 99)						
	PBM	% 50-100		70-80	13-99	67-99	79-99		
Reproduzierbar.	NaCl	++							
	BSF	--	(+)						
	PBM	(-)		+	(+)				
Aufwand		gering	gering	groß	mittel	mittel	mittel		
besonders geeignet für		Tracer NaCl	Tracer BSF	PBM univers.	PBM spez.	PBM spez.	PBM spez.		

**Bild 7.** Kennwerte und Eignung von Abscheidern für luftgetragene Pflanzenbehandlungsmittel (PBM) und Tracer am Arbeitsplatz.

\* Daten nach Lee [10].

Der Abscheidegrad für feste und flüssige Teilchen, wie sie am Arbeitsplatz vorkommen, ist praktisch 100 %. Gasförmige Stoffe werden nicht abgeschieden. Der Wiederfindungsgrad zeigt, daß bei BSF unkontrollierbare Anteile auf dem Filter haften bleiben und daß je nach Dampfdruck ein Teil bereits abgeschiedenen Pflanzenbehandlungsmittels wieder verdampft.

Aufgrund dieser Eigenschaften wurde ein Großteil der Versuche mit Kochsalz als Tracer und Glasfaserfiltern als Abscheider durchgeführt. Kochsalz verdunstet nicht und wird in festem und flüssigem Zustand sicher abgeschieden. Durch eine hohe Konzentration von 10 % Kochsalz in der Behandlungsflüssigkeit ist dann die Wirkstoffmasse auf dem Filter groß genug, um sie gravimetrisch, d.h. durch Wiegen des Filters, bestimmen zu können. Durch Konditionieren der Filter in einer Klimakammer und durch mehrmaliges Auswiegen jeweils vor und nach der Beladung erzielt man eine ausgezeichnete Reproduzierbarkeit. Da auf dem Versuchsstand die Behandlungsflüssigkeit fast vollständig aufgefangen und wiederverwendet wird, ist auch die Umweltbelastung minimal.

Filter aus α-Cellulose haben gegenüber Glasfaserfiltern den Vorteil, daß BSF im Ultraschallbad praktisch vollständig abgelöst und damit wiedergefunden wird. Der Nachteil des schlechten Abscheidegrades für feste Teilchen kleinen Durchmessers muß bei der Wahl der Versuchsbedingungen berücksichtigt werden, d.h. es muß sichergestellt sein, daß auch kleine Tropfen auf dem Weg bis zum Filter nicht verdunsten. Messungen mit BSF als Tracer wurden deshalb nur bei hoher Luftfeuchtigkeit und niedriger Lufttemperatur durchgeführt.

Für die Messung der Wirkstoffkonzentration handelsüblicher Pflanzenbehandlungsmittel unter praktischen Einsatzbedingungen ist die Kombination Kältefalle mit Glasfaserfilter universell einsetzbar. Der Wirkstoff wird in festem, flüssigem und gasförmigem Zustand abgeschieden, und für die Aufarbeitung und Messung kann auf eine standardisierte Analytik zurückgegriffen werden [13]. Begrenzend ist der relativ große Aufwand. Diese Methode wurde deshalb vorwiegend im praktischen Feldeinsatz angewendet sowie für den Vergleich zwischen Tracern und handelsüblichen Pflanzenbehandlungsmitteln.

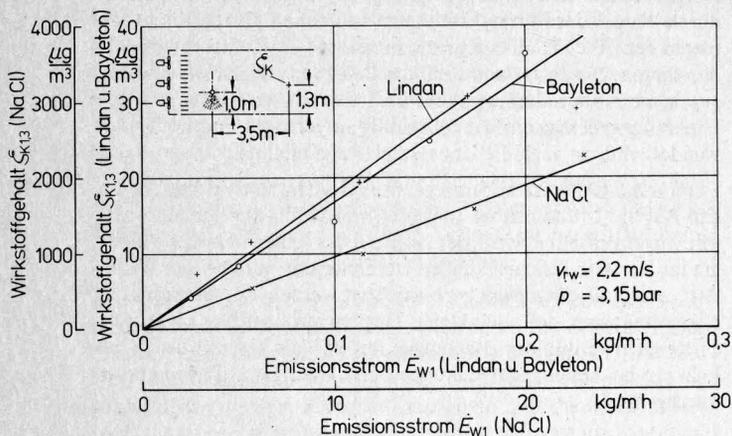
Absorber und Adsorber eignen sich in erster Linie für die Abscheidung gasförmiger Stoffe, obwohl sie bei geeigneter Auslegung auch gleichzeitig feste und flüssige Teilchen abscheiden. So scheiden Impinger-Waschflaschen bei richtiger Wahl des Lösungsmittels einige Wirkstoffe in fester, flüssiger und gasförmiger Form sehr gut, andere dagegen so schlecht ab, daß eine kritische Prüfung der Eignung für den jeweiligen Anwendungsfall unumgänglich ist. Der Aufwand ist geringer als bei der Kältefalle.

In die Gruppe der Absorptionsabscheider gehören auch hochviskose Flüssigkeiten, die als dünne Beschichtung auf inerten Trägerstoffen wie Glasperlen, Spiralen oder Edelstahlgestrieken aufgebracht werden. Diese Entwicklung ist erfolgversprechend, über ihre meßtechnische Eignung für Pflanzenbehandlungsmittel am Arbeitsplatz liegen aber noch nicht genügend Erfahrungen vor.

Adsorber, z.B. Aktivkohle oder Polyurethan-Schaum, haben bei den geringen Wirkstoffkonzentrationen am Arbeitsplatz den Nachteil, daß die für die Ad-

sorption notwendigen starken Bindungskräfte auch die für die anschließende Messung erforderliche vollständige Desorption der Wirkstoffe erschweren. Dieser Weg wurde deshalb zunächst nicht als Meßmethode, wohl aber als Schutzmaßnahme weiter verfolgt [14, 15].

**Bild 8** zeigt im Vergleich die Ergebnisse von Kochsalz als Tracer und zwei handelsüblichen Pflanzenbehandlungsmitteln, Lindan und Bayleton [16]. Die Ergebnisse stimmen in der Tendenz überein, unterscheiden sich aber in den absoluten Beträgen. Das bedeutet: Mit Tracern gefundene Meßergebnisse sind nur auf reale Pflanzenbehandlungsmittel übertragbar, wenn Tracer und Pflanzenbehandlungsmittel in den physikalischen Eigenschaften übereinstimmen. Abweichende Eigenschaften, besonders bezüglich Flüchtigkeit und Löslichkeit, müssen durch spezifische Korrekturfaktoren berücksichtigt werden.



**Bild 8.** Vergleich der mit Pflanzenbehandlungsmitteln und Tracer gemessenen Konzentrationen unter identischen Bedingungen im Windkanal, nach Batel [16].

### Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] ● VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft.  
Fortlaufend erweiterte Sammlung.  
Berlin/Köln: Beuth-Verlag.
- [ 2 ] Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz — Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft — vom 28. August 1974. Gemeinsames Ministerialblatt Nr. 24, S. 426 ff.

- [ 3 ] ● DFG: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte 1983.  
Mitt. XIX der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe.  
Weinheim: Verlag Chemie 1983.
- [ 4 ] Bau, H., U. Dörries u. J. Zaske: Anwendung der Fluorometrie zur Verteilungsmessung in der Pflanzenschutztechnik.  
Landtechnische Forschung Bd. 19 (1971) H. 3/4, S. 93/101.
- [ 5 ] ● DFG: Methoden der Rückstandsanalytik.  
5. Lieferung (1979).  
Weinheim: Verlag Chemie.
- [ 6 ] Hosseinipour, M.: Einfluß der meteorologischen Daten auf die Drift bei der Applikation von Pflanzenbehandlungsmitteln.  
Diss. TU Berlin 1979.
- [ 7 ] Batel, W.: Belastung des Arbeitsplatzes beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln durch Spritzen und Sprühen.  
Grundl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 4, S. 113/24.
- [ 8 ] VDI 2262 (Dez. 1973): Staubbekämpfung am Arbeitsplatz.  
In [1].
- [ 9 ] Hinz, T.: Messen der Tropfengrößenverteilungen am Arbeitsplatz.  
Grundl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 2, S. 65/71.
- [ 10 ] ● Lee, R.E. jr. (Hrsg.): Air pollution from pesticides and agricultural processes.  
Boca Raton, Florida: CRC Press INC. 1976.
- [ 11 ] Smith, D.B., D.D. Plummer, F.D. Harris u. E.E. Pickett: Recovery of fluorescent tracer dyes.  
Trans. ASAE Bd. 26 (1983) Nr. 5, S. 1308/11.
- [ 12 ] VDI 2452 Bl. 1 (März 1978): Messen von Immissionen.  
Messen der Gesamt-Fluoridionen-Konzentration. Impinger Verfahren.  
In [1].
- [ 13 ] Ellwardt, P.-Chr.: Messen der Konzentration von Pflanzenbehandlungsmitteln in der Atemluft.  
Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 52 (1980) S. 100/108.
- [ 14 ] Batel, W.: Schutzwirkung der Fahrerkabine beim Ausbringen von Pflanzenbehandlungsmitteln.  
Grundl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 1/5.
- [ 15 ] Hardegen, B.: Senken der Anwenderexposition durch Fahrerkabine und Schutzkleidung.  
Grundl. Landtechnik Bd. 34 (1984) Nr. 2, S. 82/89.
- [ 16 ] 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.