

# Berichte

aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

## Reports

from the Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry

---

Heft 110

2002

**Bewertungskonzept zum Nahtransport von  
Pflanzenschutzmitteln infolge Exposition  
über den Luftpfad  
(Abtrift, Verflüchtigung und Deposition)**

Assessment Scheme for the Short Range Transport  
of Plant Protection Products –  
Environmental Exposure by Airborne Routes  
(Spray Drift, Volatilisation and Deposition)

Reinhard Winkler, Rainer Binner, Dietmar Gottschild,  
Wolfgang Koch und Johannes Siebers

Umweltbundesamt  
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Fachgruppe Chemische Mittelprüfung



BBA

---

Herausgeber

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft  
Braunschweig, Deutschland

**Verlag**

Eigenverlag

**Vertrieb**

Saphir Verlag, Gutsstraße 15, D-38551 Ribbesbüttel

Telefon +49(0) 5374 6576

Telefax +49(0) 5374 6577

**ISSN** 0947-8809

**Kontaktadresse**

Dr. Dietmar Gottschild

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Fachgruppe Chemische Mittelprüfung

Messeweg 11/12

D-38104 Braunschweig

Telefon +49(0) 531 299 3512

Telefax +49(0) 531 299 3004

E-Mail [D.Gottschild@bba.de](mailto:D.Gottschild@bba.de)

Internet <http://www.bba.de>

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersendung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Umweltbundesamt\*), Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Fachgruppe Chemische Mittelprüfung, Braunschweig\*\*) und Kleinmachnow\*\*\*)

## **Bewertungskonzept zum Nahtransport von Pflanzenschutzmitteln infolge Exposition über den Luftpfad (Abtrift, Verflüchtigung und Deposition)**

Assessment Scheme for the Short Range Transport of Plant Protection Products – Environmental Exposure by Airborne Routes (Spray Drift, Volatilisation and Deposition)

Von Reinhard Winkler\*), Rainer Binner\*\*\*), Dietmar Gottschild\*\*), Wolfgang Koch\*) und Johannes Siebers\*\*)

### **Zusammenfassung**

Ausgehend von den im Rahmen der Pflanzenschutzmittel-Zulassung für den Prüfbereich Luft zu beachtenden Anforderungen der EU wird die Notwendigkeit der Weiterentwicklung der nationalen Bewertungsgrundsätze aufgezeigt. Hinsichtlich des Nahtransports von Pflanzenschutzmitteln ist hierbei von Bedeutung, dass Oberflächengewässer und terrestrische Nichtzielflächen nicht nur durch die Abtrift von Partikeln während sondern auch durch die Verflüchtigung und Deposition von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen nach der Applikation exponiert werden können. Dies ist insbesondere für Wirkstoffe mit einem Dampfdruck  $> 10^{-6}$  Pa der Fall. Entscheidender Endpunkt für die ökotoxikologische Bewertung ist daher die Gesamtdeposition aus Abtrift und Verflüchtigung.

Soweit experimentelle Daten nicht verfügbar sind, wird die zu erwartende Gesamtdeposition zunächst rechnerisch durch Einsatz des modular aufgebauten Simulationsmodells "EVA 1.1" (Exposure Via Air) ermittelt. Eingehend erläutert wird hinsichtlich der Verflüchtigung insbesondere die Berechnung der Emissionsraten, Luftkonzentrationen über Ziel- und Nichtzielfläche sowie Deposition auf der Nichtzielfläche. Das Modell sowie die dazugehörige Dokumentation sind auf der Internetseite der Zulassungsbehörde frei verfügbar.

Ein Vergleich der errechneten Luftkonzentrationen und Depositionen aus der Verflüchtigung mit im Freiland gemessenen Experimentaldaten zeigte eine akzeptable Übereinstimmung. Für die Durchführung von Untersuchungen im Freiland werden detaillierte Empfehlungen zur Versuchsfläche, Applikation und Analytik, zu den meteorologischen Randbedingungen, Luft- und Wasser-

probenahmen sowie für die Berichterstattung gegeben. Die Experimentaldaten können zur Kalibrierung von „EVA 1.1“ herangezogen werden.

**Stichwörter:** Pflanzenschutzmittel, Verflüchtigung, Nahtransport, Deposition, Risikobewertung, Simulationsmodell, Leitlinie, Versuchsmethodik

### **Abstract**

Taking into account the EU requirements for the assessment of environmental exposure by airborne routes, the assessment strategy which is currently used in the course of the national authorization of plant protection products needs to be updated. In addition to spray drift during application also volatilization and subsequent deposition after the application might contribute to the airborne short range transport of plant protection products to surface waters and terrestrial non-target areas. This is particularly the case for active substances with a vapour pressure  $> 10^{-6}$  Pa. Therefore the crucial exposure endpoint for the ecotoxicological risk assessment is the overall deposition as a result of spray drift and volatilisation.

If no experimental data are available, the expected overall deposition is initially calculated with the modular simulation tool “EVA 1.1” (Exposure Via Air). The calculation of emission rates, of concentrations in air above the target and the non-target area and of the deposition rate on the non-target area are described in detail. Together with a documentation the calculation tool is available from the web site of the registration authority.

The calculated values for concentrations in air and for deposition rates are in acceptable agreement with experimental field data. Detailed recommendations are given on how to perform field volatilisation studies e.g. concerning sampling area, application, analytical measurements, meteorological conditions, sampling of air and water and reporting of the data. The field data might be used for further calibration of “EVA 1.1”.

**Key words:** Plant protection products, volatilization, short-range transport, deposition, risk assessment, simulation model, guidance, test design

## 1 Einleitung

Gemäß der Richtlinie 91/414/EWG ist zu bewerten, ob die infolge der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in die Atmosphäre eingetragenen Rückstände unvertretbare Auswirkungen auf die Umwelt haben. Dazu sind die Verflüchtigungsrate, Luftkonzentration, Deposition und abiotische Abbaubarkeit zu quantifizieren. Die Richtlinie der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) Teil IV, 6 – 1 wird diesen Anforderungen nicht in vollem Umfang gerecht, da insbesondere der Nahtransport nicht berücksichtigt wird.

Die Berücksichtigung der Abtrift ist im Gegensatz zur Verflüchtigung seit Jahren fester Bestandteil der Bewertung der PSM-Exposition aquatischer und terrestrischer Ökosysteme über den Luftpfad. Grundlagen der Quantifizierung der Deposition von PSM infolge Abtrift sind ein auf experimentellen Untersuchungen basierendes Abtriftmodell (GANZELMEIER u.a., 1995) sowie die zwischenzeitlich aktualisierten Abtrifteckwerte (KOHSEK, 2000; NOLTING, 2001).

Neuere Untersuchungen zeigen aber, dass bei (semi)volatilen Wirkstoffen verflüchtigungsbedingte Depositionen auf den an Behandlungsflächen anrainenden Arealen auftreten können, die teilweise zu Belastungen führen, die in der Größenordnung der Abtrift liegen (KÖRDEL u.a., 1998; SIEBERS u.a., 2002). Bei alleiniger Beachtung der Abtrift kann das aus der Anwendung bestimmter PSM resultierende Risiko für den Naturhaushalt somit unterschätzt werden. Dies ist beim gegenwärtigen Kenntnisstand insbesondere bei PSM-Wirkstoffen mit einem Dampfdruck  $> 10^{-6}$  Pa (bei 20°C) der Fall, so dass deren Verflüchtigungspotenzial bei Expositionsabschätzungen berücksichtigt werden muss.

Für das Ausmaß der Verflüchtigung sind neben den physikalisch-chemischen Stoffeigenschaften, der Art der Formulierung und der Aufwandmenge vor allem meteorologische Einflussfaktoren (Temperatur, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit etc.), die Charakteristik der Zielfläche (Bodeneigenschaften, Pflanzenart) sowie die Größe der behandelten Fläche ausschlaggebend. Die Verflüchtigung erfolgt im wesentlichen im Zeitraum der ersten 24 Stunden nach der Applikation, sie kann jedoch - insbesondere vom Boden - auch über längere Zeiträume bis hin zu mehreren Wochen stattfinden (siehe z.B. in: JURY u.a., 1984; ROSS u.a., 1990; TAYLOR u. SPENCER, 1990; WOODROW u.a., 1997). Die dabei gebildeten gasförmigen und an Aerosolen gebundenen Anteile werden mit der Luft verfrachtet, dabei verdünnt und gegebenenfalls abgebaut (z.B. durch direkte Photolyse, photochemisch - oxidative Prozesse oder Hydrolyse).

Für die Bewertung der Abtrift spielt die Applikationstechnik (konventionelle oder abtriftmindernde Technik) eine entscheidende Rolle. Dagegen wird beim gegenwärtigen Erkenntnisstand davon ausgegangen, dass die Applikationstechnik keinen signifikanten Einfluss auf die Verflüchtigung hat.

## 2 Gesamtdeposition

Ausgangsgröße für die Bewertung des aus der Mittelanwendung resultierenden Risikos für aquatische und terrestrische Biozönosen ist die Deposition auf der Nichtzielfläche, die sich als Superposition aus Abtrift und Verflüchtigung ergibt.

Soweit experimentelle Daten nicht verfügbar sind, wird die zu erwartende Gesamtdeposition für Oberflächengewässer und terrestrische Nichtzielflächen in erster Näherung zunächst rechnerisch durch Einsatz des Modells "EVA 1.1" (**E**xposure **V**ia **A**ir) ermittelt (s. Anhang 1). Eingang finden hierbei die folgenden Parameter:

- \* Anwendungsbedingungen (Aufwandmenge, Anzahl der Anwendungen, zeitlicher Abstand zwischen den Anwendungen)
- \* Kultur- und Wetterdaten (Länge und Breite der Kultur, Art und Höhe der Kultur, Höhe des Luftpaketes über der Zielfläche, Windgeschwindigkeit, Temperatur)
- \* Stoffeigenschaften (Molekulargewicht, Schmelzpunkt, Wasserlöslichkeit, Dampfdruck etc.)

Grundsätzlich wird die als Bewertungsgrundlage dienende Konzentration (PEC; **P**redicted **E**nvironmental **C**oncentration) in Abhängigkeit von der Entfernung zur Zielfläche berechnet durch Summation der abtriftbedingten Initialkonzentration unmittelbar nach der Applikation und der Konzentration, die sich aus der über ein Zeitfenster von 24 Stunden nach Applikation zeitlich gewichteten Luftkonzentration via Verflüchtigung ergibt:

$$\text{PEC}_{\text{gesamt deponiert}} = \text{PEC}_{\text{Abtrift initial deponiert}} + \text{PEC}_{\text{deponiert aus 24 h Verflüchtigung}}$$

Dabei kann die verflüchtigungsbedingte Luftkonzentration im o.g. Zeitraum über der Zielfläche durch Deposition und Abbau vermindert werden.

Das Modell wird kontinuierlich dem wissenschaftlichen Erkenntnisstand angepasst. Angaben zu seinem gegenwärtigen Kalibrierungsstatus sind Anhang 2 zu entnehmen.

Zum Nachweis, inwiefern die Verflüchtigung im konkreten Fall bewertungsrelevant ist, bzw. zur Verfeinerung der Expositionsabschätzung kann es erforderlich werden, die Resultate der Modellrechnungen durch experimentelle Untersuchungen im Freiland (s. Anhang 3) zu überprüfen und gegebenenfalls durch deren Ergebnisse zu ersetzen.

### 3 Ökotoxikologische Bewertung

Die sich aus der Abtrift und Verflüchtigung ergebende Gesamtexposition ist für (semi)volatile PSM-Wirkstoffe der Endpunkt, mit dem als Ausgangsgröße die Bewertung für Oberflächengewässer und terrestrische Nichtzielflächen i.d.R. durchzuführen [CS1]ist. Dazu ist die Gesamtd deposition mit den in ökotoxikologischen Tests ermittelten Wirkkonzentrationen zur [CS2]Ableitung von TER - Werten (**T**oxicity / **E**xposure – **R**atio) zu korrelieren.

Da bei der Berechnung der Gesamtd deposition kein Substanzabbau im Zeitfenster von 24 Stunden berücksichtigt wird, ist zu beachten, dass eine unrealistisch hohe Konzentration für Gewässer oder terrestrische Nichtzielflächen durch Summation der deponierten Anteile aus Abtrift und Verflüchtigung resultierenden PEC-Werte ( $PEC_{\text{Abtrift initial deponiert}} + PEC_{\text{deponiert aus 24 h Verflüchtigung}}$ ) in den Fällen errechnet wird, wenn die Wirkstoffe einem sehr schnellen Abbau unterliegen. Realitätsnäher ist hier die weitere alleinige Verrechnung des  $PEC_{\text{Abtrift initial deponiert}}$  - Wertes. Das ist auch der Fall, wenn schwerwiegende Wirkungen auf Nichtzielarten bereits unmittelbar nach der Exposition auftreten.

Für eine realistische Einschätzung dahingehend, ob die Addition von  $PEC_{\text{Abtrift initial deponiert}}$  - und  $PEC_{\text{deponiert aus 24 h Verflüchtigung}}$  - Wert sinnvoll ist oder nicht, ist daher im Einzelfall eine Expertenentscheidung unter Berücksichtigung der vorliegenden Abbaudaten sowie des ökotoxikologischen Wirkprofils des PSM notwendig, wobei die konkreten Testbedingungen (statisch, dynamisch) und die Effektentwicklung nach Exposition zu berücksichtigen sind.

Bei Mehrfachanwendungen wird derzeit nur ein Verflüchtigungsereignis berücksichtigt, das i.d.R. der letzten Mittelanwendung folgt, da sonst unrealistisch hohe Konzentrationen errechnet werden. Auf Grund der vielfältigen Einflussfaktoren auf die Verflüchtigung ist die fortgesetzte Kombina-

tion ungünstiger Bedingungen gemäß den Modellannahmen mit jeder Anwendung nicht genügend realitätsnah („absolute worst case“). Auch kann bei der Verflüchtigung - im Gegensatz zur Abtrift (abnehmende Abtrifteckwerte mit zunehmender Applikationsanzahl) – noch nicht die Kontaminationswahrscheinlichkeit bei der Berechnung der PEC – Werte berücksichtigt werden.

#### 4 Literatur

GANZELMEIER, H., D. RAUTMANN, R. SPANGENBERG, M. STRELOKE, M. HERRMANN, H.-J. WENZELBURGER, H.-F. WALTER, 1995: Untersuchungen zur Abtrift von Pflanzenschutzmitteln, Ergebnisse eines bundesweiten Untersuchungsprogramms. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtsch. Berlin-Dahlem **304**, 111 S.

JURY, W.A., W.F. SPENCER, W.J. FARMER, 1984: Behaviour assessment model for trace organics in soil: IV. Review of experimental evidence. J. Environ. Qual. **13** (4), 580 – 586

KOHSIEK, 2000: Bekanntmachung über die Abtrifteckwerte, die bei der Prüfung und Zulassung von Pflanzenschutzmitteln herangezogen werden. Vom 08. Mai 2000. Bundesanzeiger Nr. 100, 26. Mai 2000, S. 9879 – 9880

KÖRDEL, W., H. KLÖPPEL, 1998: Exposition von naturnahen Ökosystemen durch luftgetragene Pflanzenschutzmittel. Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes, FKZ: 126 05 110, Mai 1998

NOLTING, 2001: Dritte Bekanntmachung über die Abtrifteckwerte, die bei der Prüfung und Zulassung von Pflanzenschutzmitteln herangezogen werden. Vom 15. Juli 2001. Bundesanzeiger Nr. 155, 21. August 2001, S. 18177 - 18178

ROSS, L.J., S. NICOSIA, M.M. MCCHESENEY, K.L. HEFNER, D.A. GONZALEZ, J.N. SEIBER, 1990: Volatilization, off-site deposition, and dissipation of DCPA in the field. J. Environ. Qual. **19**, 715 – 722

SIEBERS, J., R. BINNER, K.-P. WITTICH, 2002: Investigation on downwind short-range transport of pesticides after application in agricultural crops. Zur Veröffentlichung eingereicht 27.3.2002



TAYLOR, A.W., W.F. SPENCER, 1990: Volatilization and vapor transport processes. In: Pesticides in the soil environment, Soil Science Society of America, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA, SSSA Book Series No. 2, Chapter 7

WOODROW, J.E., J.N. SEIBER, 1997: Correlating techniques for estimating pesticide volatilization flux and downwind concentrations. *Environ. Sci. Technol.* **31**, 5213 – 529

## Anhang 1

### Modell „EVA 1.1“

Ausgehend von der bestimmungsgemäßen und sachgerechten PSM-Anwendung dient das Modell der Abschätzung des Eintrages einer relevanten Aktivsubstanz (Wirkstoff oder Metabolit) in unmittelbar benachbarte Gewässer und terrestrische Nichtzielflächen über den Luftpfad. Der Eintrag kann durch Abtrift während der PSM-Applikation (berechnet aus den abgestimmten Abtrift-Eckwerten) sowie durch Deposition von im Anschluss an die Mittelausbringung verflüchtigten Aktivsubstanzen erfolgen.

Hinsichtlich der Verflüchtigung ist zuerst die Emission der PSM-Wirkstoffe und/oder relevanten Metaboliten von der Zielfläche zu beachten, die u.a. mit Hilfe des Dampfdrucks zu ermitteln ist, der als wesentlichster, die Verflüchtigung bestimmender, stoffspezifischer Parameter angesehen wird. Mit der Emission wird dann die Luftkonzentration über der Zielfläche und der Nichtzielfläche als Funktion des Abstandes vom Feldrand berechnet. Daran schließt sich die Berechnung der Deposition an.

Das Programm zeichnet sich durch eine anwenderfreundliche Oberfläche aus und weist durch den modularen Aufbau eine hohe Flexibilität auf. Derart ist gewährleistet, dass die in dem Modell implementierten Teilmodule, Annahmen und Parameter ständig dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse angepasst werden können. Das betrifft z.B. die Emissionsraten oder das verwendete Advektions- bzw. Dispersions - Modell zur Bestimmung der Luftkonzentration.

Derzeit wird die Deposition nur für Anwendungen im Freiland errechnet. Eine Erweiterung um PSM-Anwendungen in Gebäuden (Gewächshäuser, Vorratslager etc.) ist vorgesehen, wenn entsprechende Ergebnisse aus aktuellen Untersuchungen (Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes „Pflanzenschutzmittelemissionen aus Gebäuden: Messung der Emission, Verteilung und Deposition“, FKZ: 200 67 407, 2002, in Vorbereitung) verfügbar sind.

## Berechnungsgrundlagen

### 1. Ermittlung der Emission an PSM von der Zielfläche

#### 1.1 Bewertung des Potenzials der Verflüchtigung über den Dampfdruck

Dampfdruck [Pa] bei 20°C	Verflüchtigungs-Charakteristik	Relevant für Nahtransport
$< 10^{-6}$	schwer flüchtig	nein
$\geq 10^{-6}$ bis $5 \cdot 10^{-3}$	semivolatil	ja
$> 5 \cdot 10^{-3}$	flüchtig	ja

Für die semivolatilen Substanzen wurden entsprechend der weiteren Unterteilung der Dampfdrücke in die Klassen

$\geq 10^{-6}$  bis  $10^{-4}$  Pa

$> 10^{-4}$  bis  $10^{-3}$  Pa

$> 10^{-3}$  bis  $5 \cdot 10^{-3}$  Pa

fiktive Emissionsraten für Flächen- und Raumkulturen auf der Grundlage experimenteller Ergebnisse abgeleitet und festgelegt (siehe KÖRDEL, W., H. KLÖPPEL u. M. MÜLLER: „Entwicklung eines mehrstufigen Verfahrens zur Bewertung des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln in terrestrische Ökosysteme über den Luftpfad“, Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes, FKZ: 360 03 017, Mai 1999).

Für flüchtige Substanzen lagen keine Untersuchungsergebnisse vor. Daher wurde die Unterteilung der Dampfdrücke vorerst durch Verdopplung der Emissionsrate der jeweils vorhergehenden Klasse geringeren Dampfdrucks zusätzlich, d.h. über die Angaben im vorgenannten Forschungsbericht hinausgehend, erweitert:

$> 5 \cdot 10^{-3}$  bis  $10^{-2}$  Pa

$> 10^{-2}$  Pa

## 1.2 Zuordnung der Emissionsrate

Die Zuordnung der Emissionsraten [ $\text{mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ ] erfolgt in Abhängigkeit vom Dampfdruck der Substanz, dem Applikationsziel (Boden oder Pflanze) und von der Kultur (Flächen- oder Raumkultur) zeitgewichtet für einen Zeitraum von 24 Stunden.

Dabei wird angenommen, dass die Verflüchtigung der Aktivsubstanz von der Zielfläche mit zeitlich abnehmender Emissionsrate erfolgt.

Basierend auf den Ergebnissen der o.g. Untersuchungen (Pkt. 1.1) wird bei der Ermittlung der Emission bisher nur die Verflüchtigung von Pflanzen berücksichtigt. Für die Abschätzung der Verflüchtigung vom Boden liegen derzeit noch keine verwertbaren Daten vor. Da die Verflüchtigung eines Wirkstoffs vom Boden erfahrungsgemäß geringer als die von Pflanzenoberflächen ist, werden hier vorerst die um zwei Drittel reduzierten Emissionsraten von der Pflanze herangezogen.

## 2. Abschätzung der Luftkonzentration über der Nichtzielfläche

### 2.1 Box – Modell für Flächenquellen (Box - Modul)

Bei dem verwendeten Volumen-Verdünnungsmodell (Box-Modul) stellt sich ausgehend vom Eintrag emittierter Stoffe in eine Box definierter Abmessungen ein stationärer Zustand ein (Fließgleichgewicht). Das Modul ermöglicht somit die Berechnung einer Stoffkonzentration im Boxvolumen, die u.a. auf zeitgewichteten, flächenbezogenen Emissionsraten (vgl. Pkt.1.) beruht.

Die Konzentration der Aktivsubstanz in der Luft über der Zielfläche wird gemäß der weiter unten aufgeführten Formel berechnet, wobei in der Regel von einer Größe der Applikationsfläche von 1 ha (100 m · 100 m) ausgegangen wird. Unter besonderen Bedingungen der PSM-Anwendung, z.B. im Haus- und Kleingartenbereich (20 m · 20 m), kann von diesen Standardvorgaben abgewichen werden.

Es wird weiter angenommen, dass sich die Aktivsubstanz nach unmittelbarer Einstellung des stationären Zustandes gleichmäßig in einem Luftpaket bis zu 4 m Höhe über der Zielfläche verteilt und sich derart eine mittlere Stoffkonzentration für die entsprechende Emissionsrate ergibt. Die

trockene Deposition in der Box wird i.d.R. berücksichtigt (s. Formel), während der Abbau nur in begründeten Fällen in die Berechnungen einbezogen wird.

Die Konzentration in der Luft-Box im stationären Zustand lässt sich zu

$$C_B = \frac{I}{u \cdot B_{\text{Box}} \cdot H_{\text{Box}} + v_d \cdot L_{\text{Box}} \cdot B_{\text{Box}} + k_{\text{Luft}} \cdot V}$$

$C_B$  Stationäre Konzentration in der Box [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

$I$  Emissionsrate [ $\text{mg}/\text{h}$ ]

$u$  Windgeschwindigkeit [ $\text{m}/\text{s}$ ]

$B_{\text{Box}}$  Breite der Box [ $\text{m}$ ]

$H_{\text{Box}}$  Höhe der Box [ $\text{m}$ ]

$L_{\text{Box}}$  Länge der Box in Windrichtung [ $\text{m}$ ]

$v_d$  Depositionsgeschwindigkeit (trockene Deposition) [ $\text{mm}/\text{s}$ ]

$k_{\text{Luft}}$  Reaktionsgeschwindigkeits-Konstante für den Abbau in der Luft [ $\text{h}^{-1}$ ]

$V$  Volumen der Box [ $\text{m}^3$ ]

(Umrechnungsfaktoren für Einheiten wurden in der Formel nicht berücksichtigt)

berechnen (siehe z. B. TRAPP, S., M. MATTHIES, 1996: Dynamik von Schadstoffen –Umweltmodellierung mit CemoS, Springer Verlag). In diese Gleichung gehen die Emissionsrate, die Advektion sowie die Deposition und der abiotische Abbau in der Box ein.

## 2.2 Gauß - Fahnenmodell (Plume - Modul)

Die Berechnung der Konzentrationsabnahme der verflüchtigten Aktivsubstanz in der Luft über der Nichtzielfläche erfolgt im nächsten Berechnungsschritt näherungsweise mit Hilfe des Gauß-Fahnenmodells [siehe Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA-Luft, 1986)]. Bei diesem Modell wird ausgehend von einer punktförmigen Emissionsquelle mit konstantem Emissionsmassenstrom die Luftkonzentration in einer vorgegebenen Entfernung von der Quelle und Bezugshöhe über dem Boden bestimmt (siehe z. B. ZENGER, A., 1998: Atmosphärische Ausbreitungsmodellierung, Springer Verlag).

Der Emissionsmassenstrom der fiktiven Punktquelle, die im Zentrum der Zielfläche angenommen wird, ergibt sich aus der Verflüchtigungsrate und der Größe der Zielfläche. Die Luftkonzentration

wird im Falle der Standardanwendung in Raum- und Flächenkulturen bis zu einer Entfernung von 50 m von der Quelle - d.h. bis zum Rand der Zielfläche - gemäß des unter Pkt. 2.1 dargestellten Box-Ansatzes und für > 50 m unter zusätzlicher Berücksichtigung der Dispersion mit dem Gauß-Fahnenmodell berechnet. Ausgehend von der Stoffkonzentration in der Box (Zielflächenrand) dient das Gauß-Fahnenmodell somit zur Abschätzung der relativen Konzentrationsabnahme über der Nichtzielfläche.

Die Berechnung der Luftkonzentration kann analog zur Abtrift bis zu einer Entfernung von der Zielfläche von maximal 250 m erfolgen.

Für die Berechnung der Substanzkonzentrationen in der Luft gehen folgende Größen in das Gauß-Fahnenmodell ein (Vorgabewerte in Klammern):

- \* Emissionsmassenstrom (kein Vorgabewert)
- \* Höhe der Emissionsquelle über dem Erdboden (2 m)
- \* mittlere Windgeschwindigkeit (2 m / s)
- \* horizontale u. vertikale Ausbreitungsparameter Sigma  
(für die Stabilitätsklasse III / 1 nach TA - Luft)
- \* Immissionshöhe über dem Erdboden (1,6 m)

Unterschiede in der Emissionshöhe bis zu 2 m können hier vernachlässigt werden (keine Unterscheidung zwischen Flächen- und Raumkulturen). Die Immissionshöhe von 1,6 m wird festgelegt, um Rechenergebnis und bereits durchgeführte Experimente (Exposition von Anwendern und Umstehenden) vergleichen zu können.

### **3. Abschätzung der Deposition der Aktivsubstanz auf der Nichtzielfläche (Depositions - Modul)**

Die Abschätzung der Deposition auf der Nichtzielfläche [ $\text{mg} / \text{m}^2$ ], die aus dem Produkt der zeitgewichteten Luftkonzentration, der Depositionsgeschwindigkeit sowie der Zeitdauer der Deposition (24 h) berechnet wird, beruht auf einem weit verbreiteten Ansatz (siehe z.B. TRAPP, S. und M. MATTHIES, 1996: Dynamik von Schadstoffen - Umweltmodellierung mit CemoS“, Springer Verlag).

Für die Depositionsgeschwindigkeit wird die Summe aus dem Anteil der trockenen, gasförmigen Deposition nach THOMPSON (THOMPSON, N., 1983: Diffusion and Uptake of Chemical Vapour Volatilization from a Sprayed Target Area, Pestic. Sci. **14**, 33 – 39) sowie dem an Partikeln gebundenen, trocken deponierten Anteil unter Verwendung der JUNGE-Formel (JUNGE, C.E., 1975: Basic Considerations About Trace Constituents in the Atmosphere as related to the Fate of Global Pollutants. In: SUFFET, I.H. (Hrsg.): Fate of Pollutants in the Air and Water Environments, S. 7-26, Wiley) berücksichtigt.

Die Summe aus der so berechneten Deposition über die Verflüchtigung und die Sedimentation aus der Abtrift (Gesamtdeposition) ist die Schlüsselgröße für die ökotoxikologische Bewertung im aquatischen und terrestrischen Nichtzielbereich.

### **Hinweis:**

Die rechnergestützte Entscheidungshilfe „EVA 1.1“ sowie die ausführliche Dokumentation „Berechnungsgrundlagen und Erläuterungen zum Simulationsmodell „EVA 1.1“ sind auf der Internetseite der Zulassungsbehörde (<http://www.bba.de> unter „Pflanzenschutz/Pflanzenschutzmittel“) frei verfügbar.

## Anhang 2

### Kalibrierungsstatus „EVA 1.1“

Die Kalibrierung des Verflüchtigungs- und Depositionsmodells im rechnergestützten Expertensystem „EVA 1.1“ basiert bisher auf Ergebnissen von Freilanduntersuchungen der BBA mit drei Wirkstoffen im Dampfdruckbereich zwischen  $4,4 \cdot 10^{-4}$  und  $5 \cdot 10^{-3}$  Pa, nach Applikation von 225 - 250 g a.i./ha auf Wintergerste (Flächenkultur) im Frühjahr / Sommer, so dass das Modell mindestens zur Abschätzung der verflüchtigungsbedingten Deposition unter vergleichbaren Maßgaben herangezogen werden kann (SIEBERS, J., R. BINNER, K.-P. WITTICH, 2002: Investigation on downwind short-range transport of pesticides after application in agricultural crops. Chemosphere, eingereicht 27.3.2002).

Sowohl die experimentell ermittelten, zeitgewichteten Luftkonzentrationen als auch die Depositionsraten wurden in ersten Auswertungen mit den aus „EVA 1.1“ berechneten Ergebnissen verglichen. Dabei zeigte sich eine akzeptable Übereinstimmung von berechneten und gemessenen Werten.

Für die Erweiterung und Optimierung des Modells besteht Klärungsbedarf hinsichtlich

- der verflüchtigungsbedingten Deposition von Wirkstoffen mit anderen Dampfdrücken, insbesondere im Bereich  $< 10^{-4}$  Pa (bei 20°C),
- der verflüchtigungsbedingten Deposition nach PSM-Anwendung in Raumkulturen (z.B. Weinbau, Obstbau),
- des Einflusses der Formulierung auf die verflüchtigungsbedingte Deposition,
- des Einflusses der Länge der behandelten Fläche in Hauptwindrichtung aufgrund der Masseabhängigkeit der Verflüchtigung, und zur Ableitung von „Standardflächen“ für verschiedene Szenarien, z. B. für Ackerbau, Weinbau, Obstbau, Haus- und Kleingartenbereich, und
- der Berücksichtigung der verflüchtigungsbedingten Deposition nach Anwendung von PSM und Vorratsschutzmitteln in Gebäuden (Gewächshäuser, Vorratslager etc.).



## Anhang 3

### Empfehlungen zur experimentellen Bestimmung der verflüchtigungsbedingten Deposition von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen auf Nichtzielflächen

Mit der vorliegenden Empfehlung soll ein Rahmen für die Durchführung von Freilanduntersuchungen vorgegeben werden, mit denen die verflüchtigungsbedingte Deposition auf angrenzenden Flächen als Funktion des Abstands zum behandelten Bestand erfasst wird. Die Empfehlungen beziehen sich auf die Ermittlung des verflüchtigten Anteils direkt in der Luft (Konzentration) und Bestimmung der Deposition in Gewässern. Letztere ist auch die Grundlage für die Berechnung der Deposition auf angrenzenden terrestrischen Flächen.

Es wird empfohlen, ein abweichendes Versuchsdesign mit den zuständigen Behörden abzusprechen.

Unter verflüchtigungsbedingter Deposition ist hier ausschließlich die trockene Deposition von gasförmigen Wirkstoffrückständen sowie von an Feststoffpartikel gebundenen Anteilen zu verstehen. Die nasse Deposition wird hingegen nicht erfasst, da entsprechend den Grundsätzen der „Guten fachlichen Praxis“ davon auszugehen ist, dass die Mittelanwendung nur dann erfolgt, wenn Niederschlagsereignisse während der Applikation und in den darauf folgenden Stunden nicht zu erwarten sind.

#### **Versuchsfläche und Applikation**

Vor der Applikation werden zur Erfassung der Hintergrundbelastung und möglicher, die Analytik erschwerender Fremdstoffe, Blindproben von der Luft im Bestand und des zu untersuchenden Wassers genommen.

Als Mindestgröße einer Behandlungsfläche werden 0,5 ha (besser: 1,0 ha) angesehen. Wesentlich ist, dass die Versuchsfläche so angelegt ist, dass in Hauptwindrichtung die Durchströmung des Bestandes auf einer Länge von 100 m (Mindestfeldlänge in Hauptwindrichtung) erfolgt. Abweichungen von den Vorgaben sind zu begründen, z. B. wegen der praxisüblichen Anwendung auf kleineren Flächen im Weinbau, Obstbau und Haus- und Kleingartenbereich.

Die Versuchsfläche für die Probenahmen im Nichtzielbereich, die das neben der Behandlungsfläche im Lee angrenzende Areal umfasst (Abb.1), sollte auf einem möglichst ebenen Gelände - vorzugsweise in einer Umgebung von Wiesen oder Ackerbaukulturen - angelegt sein. Die Höhe der umgebenden Vegetation muss unter der Höhe der zu behandelnden Kultur liegen. Bei Nachauflauf-Anwendungen sollte die Bodenbedeckung der zu behandelnden Kultur möglichst groß sein. Bei Vorauf- und Vorauf- Anwendungen sollte die umgebende Vegetation die Höhe der Edelstahlwannen (i.d.R. 12 cm), die zur Konzentrationsbestimmung der Prüfsbstanz in Wasser dienen, nicht übersteigen.

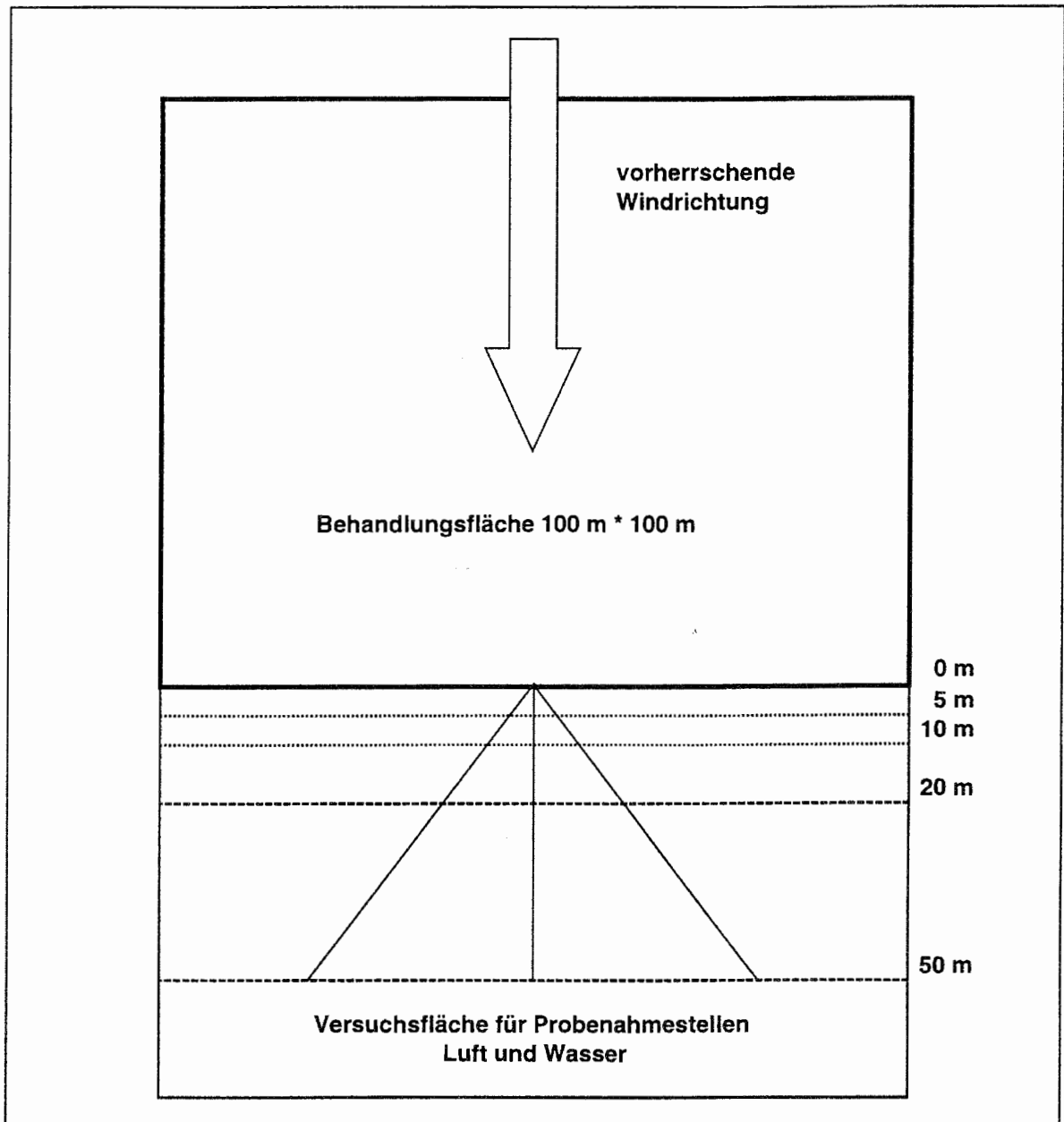


Abb. 1. Schematische Darstellung der Versuchsanlage

In den Versuchen ist die bestimmungsgemäße und sachgerechte Anwendung der PSM strikt zu beachten. So ist z.B. ein praxisüblicher Anwendungszeitpunkt zu wählen, die Aufwandmenge an PSM bzw. Wirkstoffen muss der Fassung der Anwendungsgebiete entsprechen und die Applikation hat unter Verwendung geprüfter Geräte zu erfolgen.

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse experimenteller Studien sind für die Versuche folgende Bedingungen einzuhalten:

Düsen Typ XR 11003 [alternativ Typ ID 12003 (Lechler)]; Druck 2,2 bar; Fahrgeschwindigkeit 6 km / h; Wasseraufwand 200 L.

Aufgrund der hohen Variabilität der meteorologischen Einflussfaktoren ist gleichzeitig mit dem zu testenden Mittel ein semivolatiler Referenzwirkstoff auszubringen, der stabil und gut nachweisbar ist, z.B. Lindan.

### **Meteorologische Randbedingungen**

Der Versuch ist bei trockener Wetterlage durchzuführen. Windrichtung und Windgeschwindigkeit sollten möglichst konstant sein. Als Mindestwindgeschwindigkeit für die Messungen ist 1 m / s anzusehen. Die Windgeschwindigkeit sollte 5 m / s nicht übersteigen.

Während der Versuchsdauer sind alle relevanten Klimadaten, d.h. Windrichtung, Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur, evtl. Bodentemperatur, Globalstrahlung und Niederschlag, von einer nahe gelegenen Messstation aufzuzeichnen. Zeitlich begrenzt auftretende Besonderheiten sind zu erfassen.

### **Luftprobenahme**

Die Probenahme kann mit Pumpen und geeigneten Adsorptionsröhrchen, z.B. Tenax, erfolgen, wobei der Durchfluss zwischen 0,5 und 5 l / min (low volume) liegen sollte. Die Zeitpunkte der Probenahme sind denen der Wasserprobenahme anzugleichen (siehe u.). Im Zeitraum von 12 bis 24 Stunden ist ein Probenahmeintervall von 12 Stunden hinreichend. Die Entfernung der Messpunkte vom Rand der Behandlungsfläche soll 0 m, 5 m, 10 m, 20 m und 50 m betragen. Davon abweichende Messpunkte können zusätzlich eingerichtet werden. Die Messhöhe beträgt 1,6 m.

Die Anordnung der Messpunkte erfolgt in Hauptwindrichtung. Um mögliche Windrichtungsänderungen zu erfassen, sind ausgehend vom Probenahmeort bei 0 m (Rand der Versuchsfläche) zusätzlich zwei weitere, um ca. 45° auseinanderlaufende Messstränge einzurichten (Abb. 1).

Falls nicht ein kurzfristiger Transport der Proben zum Labor möglich ist, wo diese bis zur Aufarbeitung / Bestimmung bei unter -18 °C zu lagern sind, ist eine Kühlung der Proben auf der Versuchsfläche vorzusehen.

### **Wasserprobenahme**

Es werden Edelstahlwannen [Länge: 100 cm; Breite: 50 cm; Höhe: 12 cm (Mindestgröße)] auf planiertem Boden mit freier Anströmung im Lee der Behandlungsfläche aufgestellt. Die Wannen werden mindestens 1 Stunde vor Versuchsbeginn mit 50 l Leitungswasser (Charakterisierung des Wassers, z.B. pH-Wert und Härte, erforderlich) gefüllt.

Die Testgefäße sind so abzudecken, dass die Prüfsubstanzen nicht durch Abtrift in das Wasser gelangen können. Die Abdeckungen sind spätestens 5 Minuten nach erfolgter Applikation zu entfernen.

Die Aufstellung der Wannen erfolgt ausgehend vom Rand der behandelten Fläche analog der Einrichtung der Luftprobenahmeorte in drei Messlinien mit Abständen von 0 m, 5 m, 10 m, 20 m und 50 m. Davon abweichende Messpunkte können zusätzlich eingerichtet werden.

Die Probenahmen aus den Testoberflächengewässern sind zu folgenden Zeiten nach der Applikation vorzunehmen: 0,5, 2, 12 und 24 Stunden. Abweichungen von diesen Vorgaben sind zu begründen. Weitere Probenahmezeitpunkte können zusätzlich vorgesehen werden.

Falls es die Wetterlage zulässt, kann bei Bedarf auch eine über 24 Stunden hinausgehende Versuchsdauer sinnvoll sein. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn auf Grund der Formulierung zu erwarten ist, dass der PSM-Wirkstoff nur verzögert freigesetzt wird, und innerhalb des ersten Versuchstages nicht das verflüchtigungsbedingte Maximum erfasst wird.

Vor den Probenahmen ist das Wasser in den Testgefäßen umzurühren. Der Verdunstungsverlust während der Messperiode ist zu ermitteln. Hierfür wird die Berechnung der Verdunstung über die „Kesselverdunstung“ unter Verwendung der aktuellen Wetterdaten als ausreichend angesehen.

## **Untersuchung auf mögliche Abbauprozesse in Wasser**

Der mögliche Einfluss von Abbaureaktionen (Hydrolyse oder Photolyse) auf die Konzentration der Prüfsubstanz in den Testoberflächengewässern kann in Parallelversuchen mit verschlossenen Quarzkolben, die auf der Versuchsfläche aufgestellt werden, bestimmt werden.

### **Analytik**

Für die Durchführung der analytischen Messungen ist die Leitlinie SANCO 3029/99 anzuwenden.

Die Lagerstabilität der Proben wird mit unter Versuchsbedingungen dotierten Wasserproben und Adsorber - Röhrchen ermittelt.

### **Bericht**

Neben den oben dargestellten Gegebenheiten der Versuchsdurchführung sind alle weiteren Sachverhalte, die das Ergebnis beeinflussen können, z.B. topographische Bedingungen, PSM-Anwendungen in der Nähe der Versuchsfläche, Applikationstechnik und Applikationsweise, Angaben zur Formulierung, aufzuführen.

Als Ergebnis sind die Konzentrationen der Wirkstoffe und gegebenenfalls relevanten Metaboliten in den Wasser- und Luftproben über den Versuchszeitraum mitzuteilen.

Die Konzentrationen in den Wasserproben sind auf das Standardgewässer (1 m · 1 m · 0,3 m) umzurechnen und darüber hinaus für die Risikobewertung für die terrestrische Nichtzielfläche auch als Deposition bezogen auf die Fläche (1 m<sup>2</sup>) anzugeben.

**Berichte** aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft  
erscheinen seit 1995 in zwangloser Folge.

- Heft 91, 2001: EU-Beurteilungsbericht Fenhexamid. Rechtliche Regelungen der Europäischen Union zu Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen. Band D 24.  
Bearbeitet von Herbert Köpp und Elke Leske, getr. Zählung.
- Heft 92, 2001: Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel (Stand: 1. Juli 2001).  
Bearbeitet von Dr. Achim Holzmann, 88 S.
- Heft 93, 2001: Pflanzenschutz im ökologischen Landbau.  
PD Dr. habil. Stefan Kühne, Dr. Marga Jahn, Dr. Mario Wick und Dr. Holger Beer, 52 S.
- Heft 94, 2002: EU-Beurteilungsbericht Glyphosat. Rechtliche Regelungen der Europäischen Union zu Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen. Band D 26.  
Bearbeitet von Dr. Henning Bruno und Susanne Schaper, getr. Zählung.
- Heft 95, 2002: Pflanzenschutz im ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze.  
Fünftes Fachgespräch am 28. Juli 2001 in Kleinmachnow. Hinreichende Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln im ökologischen Landbau. Saat- und Pflanzgut für den ökologischen Landbau.  
Bearbeitet von PD Dr. habil. Stefan Kühne und Britta Friedrich, 177 S.
- Heft 96, 2002: Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel (Stand: 1. Januar 2002).  
Bearbeitet von Andreas Spinti, 74 S.
- Heft 97, 2002: EU-Beurteilungsbericht 2,4-D. Rechtliche Regelungen der Europäischen Union zu Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen. Band D 27.  
Bearbeitet von Dr. Martina Erdtmann-Vourliotis und Susanne Schaper, getr. Zählung.
- Heft 98, 2002: NEPTUN 2000 – Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. Dr. Dietmar Roßberg, Dr. Volkmar Gutsche, Dr. Siegfried Enzian und Dr. Mario Wick, 27 S., Anhang.
- Heft 99, 2002: EU-Beurteilungsbericht Thifensulfuron-methyl. Rechtliche Regelungen der Europäischen Union zu Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen. Band D 28.  
Bearbeitet von Dr. Martina Erdtmann-Vourliotis und Susanne Schaper, getr. Zählung.
- Heft 100, 2002: EU-Beurteilungsbericht Flupyrsulfuron-methyl. Rechtliche Regelungen der Europäischen Union zu Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen. Band D 29.  
Bearbeitet von Dr. Henning Bruno und Susanne Schaper, getr. Zählung.
- Heft 101, 2002: EU-Beurteilungsbericht *Paecilomyces fumosoroseus*. Rechtliche Regelungen der Europäischen Union zu Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen. Band D 30.  
Bearbeitet von Dr. Martina Erdtmann-Vourliotis, Dr. Axel Wilkening und Susanne Schaper, getr. Zählung.
- Heft 102, 2002: EU-Beurteilungsbericht Isoproturon. Rechtliche Regelungen der Europäischen Union zu Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen. Band D 31.  
Bearbeitet von Dr. Henning Bruno und Susanne Schaper, getr. Zählung.
- Heft 103, 2002: Zuständigkeiten bei der Prüfung und Zulassung von Pflanzenschutzmitteln und bei der EU-Wirkstoffprüfung.  
Stand: Februar 2002. Bearbeitet von Edelgard Adam, 58 S.
- Heft 104, 2002: Pflanzenschutz im ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze.  
Sechstes Fachgespräch am 26. Juni 2001 in Braunschweig. Abwehr von Wühlmausschäden im ökologischen Landbau. Bearbeitet von Dr. Hans-Joachim Pelz, 109 S.
- Heft 105, 2002: EU-Beurteilungsbericht Acibenzolar-S-methyl. Rechtliche Regelungen der Europäischen Union zu Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen. Band D 32.  
Bearbeitet von Herbert Köpp und Susanne Schaper, getr. Zählung.
- Heft 106, 2002: EU-Beurteilungsbericht Eisen(III)phosphat. Rechtliche Regelungen der Europäischen Union zu Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen. Band D 33.  
Bearbeitet von Dr. Martina Erdtmann-Vourliotis, Dr. Axel Wilkening und Susanne Schaper, getr. Zählung.
- Heft 107, 2002: EU-Beurteilungsbericht Ethofumesat. Rechtliche Regelungen der Europäischen Union zu Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen. Band D 34.  
Bearbeitet von Dr. Martina Erdtmann-Vourliotis und Susanne Schaper, getr. Zählung.
- Heft 108, 2002: EU-Beurteilungsbericht Cyclanilide. Rechtliche Regelungen der Europäischen Union zu Pflanzenschutzmitteln und deren Wirkstoffen. Band D 35.  
Bearbeitet von Dr. Henning Bruno und Susanne Schaper, getr. Zählung.
- Heft 109, 2002: Alternativen zum Einsatz von kupferhaltigen Präparaten im Apfelanbau. Ergebnisse einer Literaturrecherche.  
Bearbeitet von Dr. Beate Golba in Zusammenarbeit mit dem Institut für Pflanzenschutz im Obstbau der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 67 S.